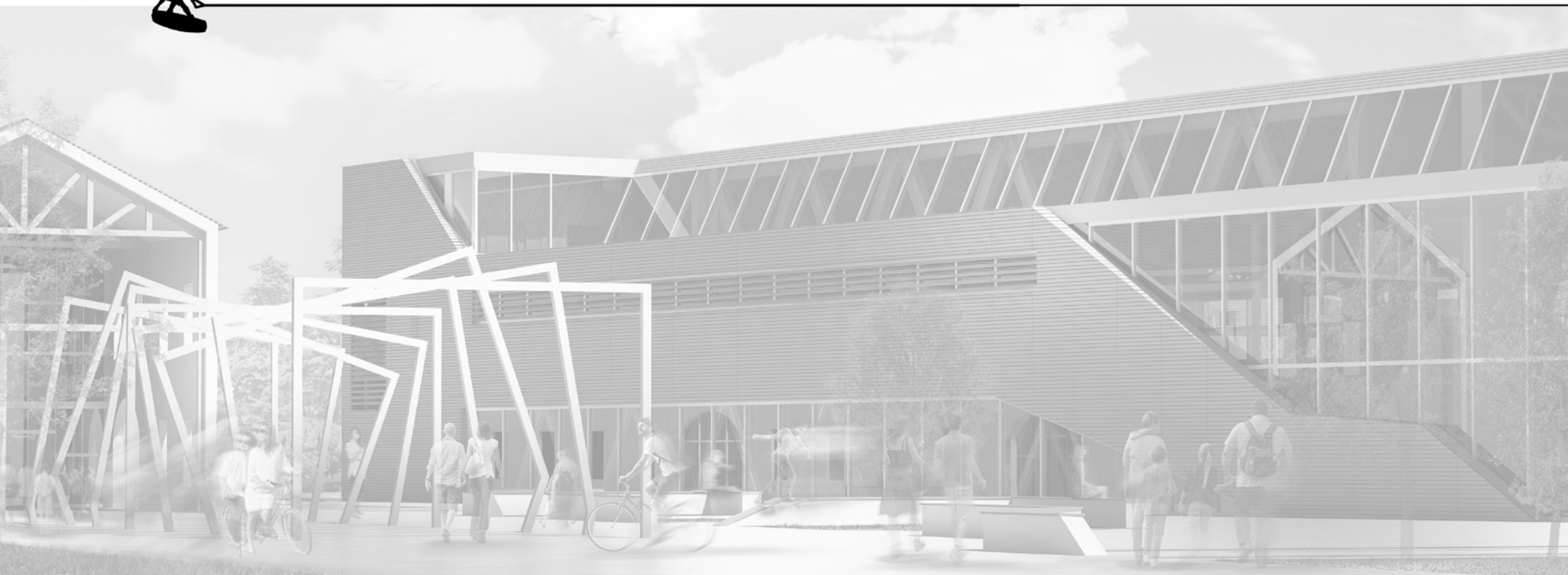




# WAKE UP



## Un nuovo polo sportivo per il recupero dell'area Precampel a Bosisio Parini



### Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile - Architettura

Scuola di Architettura Urbanistica delle Costruzioni

Politecnico di Milano

Anno Accademico 2014/2015

### Tesi di laurea di

Giulia Margherita Bernardi      767344

Sara Fumagalli                      763267

Giuliano Grossi                      763021

### Relatore

Prof.ssa Laura E. Malighetti

### Correlatore

Prof. Graziano Salvalai

Prof. Marcello Scola

## SINOSSI

Nel percorso di tesi si affronta la tematica della riqualificazione del patrimonio edilizio, che negli ultimi anni ha acquisito una rilevante importanza strategica soprattutto nel panorama italiano ed europeo. L'argomento è stato sviluppato attraverso il progetto di recupero della palestra comunale di Bosisio Parini e della rifunzionalizzazione del contesto in cui è inserita.

Il progetto di tesi è infatti nato dal concorso “*Bosisio Parini: nuove connessioni tra lago e luoghi storici urbani*”, bandito dal Politecnico di Milano e dal comune di Bosisio, il cui esito ha visto l'assegnazione di una menzione alla proposta presentata.

La trattazione è organizzata in tre fasi intimamente connesse: un approfondito lavoro di conoscenza del contesto e di rilievo del bene, la definizione del progetto urbanistico ed architettonico ed infine la sua ottimizzazione dal punto di vista tecnico.

La strategia progettuale adottata ricerca un'interazione tra componente urbana e naturalistica, attraverso un processo di rifunzionalizzazione dell'area di intervento, che vede la creazione di nuovi spazi di connessione, il cui baricentro coincide con la palestra.

La nuova immagine dell'edificio è frutto di un processo di trasformazione scaturito dal dialogo tra la preesistenza e lo slancio progettuale, facendo convergere l'esistente e il nuovo verso un'entità rinnovata, dotata di un globale senso di unitarietà. L'intervento tuttavia non si allontana mai dall'intenzione di denunciare marcatamente la sua presenza.

Il progetto è stato ingegnerizzato con l'obiettivo di non stravolgere le scelte architettoniche in funzione di mere necessità tecniche, ma di creare una sintesi virtuosa tra la dimensione ingegneristica e quella compositiva.

L'approfondimento energetico è stato sviluppato effettuando analisi statiche e dinamiche sull'edificio, supportate da un'analisi economica mirata a minimizzare il rapporto tra costi e fabbisogno energetico. La tematica presenta inoltre ulteriori elementi di complessità e di interesse, relazionati alla destinazione d'uso dell'oggetto analizzato.

La tematica strutturale è stata affrontata in prima istanza attraverso una prova sperimentale su un modello fisico del sistema reticolare di copertura, realizzato interamente con pasta e colla e portato a collasso in occasione del concorso *Spaghetti and Structures*. In virtù dei risultati ottenuti è stato possibile verificare la trave reale, analizzata attraverso un modello a elementi finiti.

Lo studio ergotecnico del progetto è stato affrontato considerando le lavorazioni più critiche, studiate dal punto di vista della fattibilità esecutiva, del costo e della programmazione operativa, focalizzandosi in particolare sul sistema strutturale esistente.

## ABSTRACT

The concept of urban regeneration, which in recent years has acquired a significant and strategic importance - especially in the Italian and the European scene - is the main issue of this final dissertation. The dissertation is based on the municipal gymnasium of Bosisio Parini's restoration project and on the renovation of the context in which it appears.

The thesis was decided following the competition “Bosisio Parini: new connections between the lake and the historic urban places”, published by Politecnico di Milano and Bosisio's municipality. The competition outcome appointed a reference for the disclosed proposal.

The discussion has been organized in three intimately connected phases: an in-depth knowledge of the context and a survey of the resource, then the definition of the urban and architectural project and finally its optimization from a technical point of view.

The design strategy researches an interaction between the urban and the naturalistic component, through a process of re-functioning of the intervention's area, creating new access areas, whose center of gravity coincides with the gym.

The new image of the building is the result of a transformation process emerged from the dialogue between the pre-existence and the new design, by converging the existing and the new entity into a renewed one, with an overall sense of unity. The intervention, however, is always markedly denouncing its presence.

The project was engineered not to alter the architectural choices because of technical necessities, thus creating a virtuous synthesis between the engineering dimension and the composition one.

The energy study was developed by performing static and dynamic analysis on the building, supported by an economic analysis that aimed to minimize the relationship between costs and energy requirements. The theme also features additional elements of complexity and interest, related to the future use of the object analyzed.

The structural issue has been faced in a first instance through an experimental test on a geometric model of the reticular structure, made entirely with pasta and glue and led to the collapse during the competition Spaghetti and Structures. By virtue of the results obtained, it was possible to verify the real beam, analyzed by finite element method.

The building process management study has been faced considering the most critical productions, studied from the point of view of the executive feasibility, of the cost and of the operational scheduling, focusing on the existing structural system.

# INDICE

INTRODUZIONE.....	15	2.3.4	Gli indirizzi di gestione del paesaggio.....	46	3.3.3.4	Il wakeboard: una novità attrattiva per il lago di Pusiano.....	65	4.1.5.7	Solaio.....	141	
1.1	Introduzione.....	16	2.3.4.1	Tutela.....	46	3.3.4	Una fitta rete di funzioni.....	67	4.1.5.8	Finestra scorrevole con sistema di oscuramento.....	142
ANALISI DEL CONTESTO.....	21	2.3.4.2	Manutenzione.....	46	3.3.4.1	L'arredo urbano.....	75	IL PROGETTO ARCHITETTONICO.....	145		
2.1	Inquadramento territoriale.....	22	2.3.4.3	Nuovi interventi.....	47	3.3.5	il progetto per casa Francesco.....	78	5.1	La strategia di intervento.....	146
2.1.1	Collocazione geografica e ambiente naturale.....	22	2.3.5	Elementi di connessione: percorsi e servizi	49	STATO DI FATTO.....	89	5.2	Il concept.....	147	
2.1.1.1	I parchi naturali.....	24	2.3.6	Analisi di Lynch.....	49	4.1	La palestra comunale.....	90	5.2.1	l'annessione del nuovo volume.....	147
2.1.2	Collocazione geografica e connessioni ..	26	UN PROGETTO PER IL PRECAMPEL.....	55	4.1.1	Il rilievo fotografico.....	90	5.2.2	I livelli della progettazione.....	147	
2.2	Le radici storiche di Bosisio.....	28	3.1	Le strategie di progetto.....	56	4.1.2	Il rilievo metrico.....	100	5.2.2.1	La sottrazione come nuova apertura ..	147
2.2.1	Evoluzione storica del costruito.....	28	3.2	metaprogettazione.....	57	4.1.3	Il rilievo materico.....	107	5.2.2.2	La trasparenza.....	148
2.2.2	Il retaggio del passato agricolo.....	31	3.2.1	le analisi fdom.....	57	4.1.4	Il rilievo del degrado.....	110	5.2.2.3	La nuova pelle.....	148
2.2.3	La conservazione dell'immagine storica..	33	3.3.3	Gli edifici di progetto e l'area di intervento..	60	4.1.5	Il rilievo tecnologico.....	131	5.2.3	Il disegno strutturale.....	150
2.2.3.1	Il tessuto storico: ville e corti.....	34	3.3.3.1	Casa Francesco.....	60	4.1.5.1	La copertura.....	134	5.2.4	Il materiale di rivestimento.....	152
2.2.3.2	La memoria culturale e artistica.....	38	3.3.3.2	La palestra comunale.....	61	4.1.5.2	Il calcestruzzo armato.....	135	5.2.4.1	Il laterizio nell'architettura contemporanea.....	154
2.3	Il paesaggio.....	40	3.3.3.3	Villa Alba.....	61	4.1.5.3	Serramento composto: parte fissa e parte apribile.....	136	5.3	La distribuzione interna.....	167
2.3.1	La zona costiera.....	40	3.3	il progetto di masterplan.....	62	4.1.5.4	La muratura.....	137	5.3.1	le problematiche allo stato di fatto.....	167
2.3.1.1	Il canneto e l'area del Precampel.....	42	3.3.1	Una nuova connessione tra centro urbano e lago.....	62	4.1.5.5	Le fondazioni.....	138	5.3.2	l'articolazione degli spazi interni.....	168
2.3.2	L'abitato.....	43	3.3.2	La destinazione sportiva dell'area Precampel.....	64	4.1.5.6	Copertura.....	140			
2.3.3	Le ondulazioni del terreno.....	44									

5.4	LE VERIFICHE NORMATIVE.....	184	7.5.1	Il fabbisogno energetico dell'edificio.....	290
5.4.1	la normativa sportiva .....	184	7.5.2	calcolo del fabbisogno e dei costi .....	291
5.4.2	Verifiche sull'accessibilità .....	186	7.6	gli impianti tecnologici .....	299
5.4.3	Verifiche ANTINCENDIO .....	190	7.6.1	i generatori di calore: la caldaia e la pompa di calore .....	300
	IL PROGETTO TECNOLOGICO .....	195	7.6.2	i generatori di calore: i collettori solari....	302
6.1	L'intervento sulle patologie del degrado .....	196	7.6.3	il serbatoio di accumulo .....	304
6.2	l'intervento sull'apparato tecnologico .....	206	7.6.4	le utenze: acqua calda sanitaria e riscaldamento a pavimento .....	305
	IL PROGETTO ENERGETICO .....	235	7.6.5	l'impianto di termoventilazione .....	307
7.1	Introduzione .....	236	7.6.6	l'impianto fotovoltaico .....	309
7.2	Analisi statiche sull'involucro .....	240	7.6.6.1	Dimensionamento .....	311
7.3	Analisi illuminotecniche .....	252		IL PROGETTO STRUTTURALE .....	323
7.3.1	Il quadro normativo.....	252	8.1	Introduzione .....	324
7.3.2	Il metodo di analisi .....	253	8.2	Il sistema strutturale .....	326
7.4	Analisi dinamiche .....	259	8.2.1	Lo strutturale della palestra esistente.....	326
7.4.1	Modellazione dell'edificio .....	260	8.2.2	Il nuovo assetto strutturale.....	328
7.4.2	I carichi interni.....	266	8.3	Spaghetti & Structures 2015/2016 .....	336
7.4.3	Ottimizzazione della temperatura interna .....	275	8.3.1	La geometria per spaghetti and structures.....	339
7.4.4	La ventilazione .....	278	8.3.2	La realizzazione del modello fisico co gli spaghetti.....	343
7.4.5	Gli impianti di riscaldamento e raffrescamento .....	282	8.3.3	Modellazione numerica FEM.....	348
7.5	Ottimizzazione economica.....	290			

8.3.3.1	Vincoli.....	348	8.4.5	Dimensionamento e verifica delle travi reticolari di copertura .....	382
8.3.3.2	Materiali .....	349	8.4.5.1	La modellazione FEM in Sap2000 .....	385
8.3.4	Sezioni .....	350	8.4.5.2	Stato Limite di Esercizio.....	387
8.3.5	Carichi.....	351	8.4.5.3	Stato Limite Ultimo.....	388
8.3.5.1	Carico minimo di progetto: 3000 g.....	354	8.4.6	Unioni saldate .....	394
8.3.5.2	Previsione del carico a collasso .....	357		IL PROGETTO ERGOTECNICO .....	397
8.3.6	Esposizione dei modelli e prove di carico .....	360	9.1	Introduzione .....	398
8.3.7	L'esito della prova .....	365	9.2	Disarticolazione del progetto .....	401
8.3.8	Spaghetti & Structures 2015/2016: conclusioni.....	371	9.2.1	Disarticolazione ergotecnica.....	401
8.4	Dimensionamento delle travi reticolari di copertura .....	374	9.2.2	Disarticolazione tecnologica WBS.....	402
8.4.1	carichi permanenti (G) .....	374	9.2.3	Disarticolazione spaziale.....	409
8.4.2	Carichi variabili (Q) .....	376	9.3	Approccio alle lavorazioni.....	410
8.4.2.1	Azione della neve .....	376	9.3.1	SCHEDE ERGOTECNICHE.....	410
8.4.2.2	Azione del vento .....	377	9.3.2	ANALISI PREZZI .....	410
8.4.3	Combinazioni di carico .....	378	9.3.3	GANTT delle lavorazioni .....	412
8.4.4	Dimensionamento e verifica dell'orditura secondaria .....	379	9.4	Rimozione sistema di copertura .....	413
8.4.4.1	Stato Limite di Esercizio - Combinazione rara.....	379	9.4.1	Scheda ergotecnica.....	413
8.4.4.2	Stato Limite Ultimo.....	381	9.4.1.1	Descrizione della lavorazione.....	413
			9.4.1.2	Rimozione.....	415
			9.4.1.3	Movimentazione .....	420
			9.4.1.4	Stoccaggio/deposito .....	424

9.4.1.5	Dismissione .....	425	9.7.1	Caratteristiche intrinseche dell'area.....	468	9.8	PROGETTAZIONE, ORGANIZZAZIONE E GESTIONE	APPENDICE - PLASTICO E STAMPA 3D .....	502	
9.4.2	Analisi prezzi .....	426	9.7.1.1	Descrizione e ubicazione dei lavori .....	468		DEL CANTIERE.....	475	INDICE DELLE FIGURE.....	506
9.4.3	GANTT .....	434	9.7.1.2	Caratteristiche geomorfologiche del terreno, vincoli di sottosuolo e ottoservizi impiantistici .....	471	9.8.1	Recinzioni e delimitazioni delle aree esterne ed interne del cantiere .....	475	INDICE DELLE TABELLE .....	518
9.5	Demolizione chiusura verticale Nord (CV 01).	435	9.7.1.3	Vincoli di superficie inamovibili e preesistenze .....	471	9.8.2	Accessi al cantiere .....	478	INDICE DELLE TAVOLE .....	524
9.5.1	Scheda ergotecnica.....	435	9.7.1.4	Vincoli aerei.....	472	9.8.3	Viabilità, percorsi, spazi di circolazione e sosta di cantiere .....	481		
9.5.1.1	Descrizione della lavorazione.....	435	9.7.1.5	Proiezione e cadute di masse verso l'interno del cantiere .....	472	9.8.4	Servizi di cantiere .....	481		
9.5.1.2	Rimozione.....	437	9.7.1.6	Emissione di agenti inquinanti dall'ambiente verso il cantiere.....	473	9.8.5	Apparecchi di movimentazione aerea..	482		
9.5.1.3	Movimentazione .....	441	9.7.2	Impatto ambientale del cantiere .....	473	9.8.6	Aree di deposito e stoccaggio e postazioni fisse di lavoro .....	483		
9.5.1.4	Stoccaggio/deposito .....	443	9.7.2.1	Proiezione e cadute di masse all'esterno del cantiere.....	473	9.8.7	Reti impiantistiche .....	484		
9.5.1.5	Dismissione .....	443	9.7.2.2	Emissione di agenti inquinanti dal cantiere verso l'ambiente circostante ..	473	9.9	Layout di cantiere .....	485		
9.5.2	Analisi prezzi .....	444	9.7.3	Interferenze con le condizioni di esercizio dell'area .....	474	9.9.1	Layout generale contestualizzato .....	486		
9.5.3	GANTT .....	451	9.7.3.1	Interferenze con edifici limitrofi e viabilità al contorno .....	474	9.9.2	Layout di rimozione delle coppelle nervate	488		
9.6	consolidamento dei pilastri esistenti in CA.....	452				9.9.3	Layout di rimozione travi di copertura ....	490		
9.6.1	Scheda ergotecnica.....	452				9.9.4	Layout di demolizione della chiusura verticale Nord .....	492		
9.6.1.1	Descrizione della lavorazione.....	452					CONCLUSIONI.....	495		
9.6.1.2	Approvvigionamento .....	453					BIBLIOGRAFIA.....	498		
9.6.1.3	Movimentazione .....	454								
9.6.1.4	Stoccaggio .....	454								
9.6.1.5	Lavorazione .....	455								
9.6.1.6	Messa in opera.....	455								
9.6.2	Analisi prezzi .....	458								
9.6.3	Gantt.....	466								
9.7	Analisi del contesto.....	468								

# 01

---

INTRODUZIONE

Il percorso progettuale che ha dato origine al presente lavoro di tesi è stato intrapreso nel mese di Ottobre 2014, nell'ambito del corso di Recupero e conservazione degli edifici tenuto dalla Prof.ssa Laura E. Malighetti.

Il processo di analisi, rilievo e progettazione è stato fin da subito improntato ad ottemperare le istanze presentate dal comune di Bosisio Parini nel bando di concorso pubblicato in collaborazione con il Politecnico di Milano, il cui tema era il seguente: *"Bosisio Parini: nuove connessioni tra lago e luoghi storici urbani"*.

Il progetto, che ha interessato l'area del comune affacciata sul lago di Pusiano denominata Precampel, prende spunto dalla possibilità di fruizione dei grandi spazi verdi e del lago stesso per praticare attività sportiva. Grazie alle sue qualità paesaggistiche infatti, Bosisio Parini e più in generale i comuni affacciati sui laghi briantei esercitano una grande attrattiva sugli amanti degli sport acquatici ed all'aria aperta. Il tema portante è stato quello della creazione di un polo sportivo, connesso sia al centro storico del paese che al lago attraverso una riprogettazione integrata di tutta

l'area di intervento. La palestra, fulcro dell'intervento e principale oggetto di questa tesi, è stata pensata per ospitare attività strettamente legate al contesto in cui si trova, per poter così allargare metaforicamente le sue mura abbracciando l'area circostante. L'esempio più calzante di questa volontà di apertura è la relazione con il lago, sulle cui acque è stato inserito un wake park, ovvero un impianto di traino per praticare lo sport acquatico del wakeboard, particolarmente adatto al contesto naturale poiché non inquinante, in quanto totalmente elettrico, e poco impattante poiché facilmente rimovibile, di dimensioni contenute e silenzioso. Lo sport del wakeboard è stato integrato e completato all'interno della palestra attraverso la realizzazione di una sala acrobatica, dotata di tappeti elastici ed altri attrezzi particolarmente indicati per gli atleti che intendono progredire in questo sport.

Da quest'attività fisica deriva il nome del progetto, **Wake up**, che ha due accezioni: da un lato, come descritto, quella sportiva; dall'altro quella di risveglio, ripresa, che simboleggia l'obiettivo che il progetto si propone di raggiungere per l'area Precampel e per tutto il comune, la rinascita.



L'occasione di poter partecipare ad un concorso bandito da una pubblica amministrazione ha costituito una rara ed impagabile opportunità per progettare confrontandosi con tematiche reali, rispondendo a specifiche richieste avanzate dal committente. La competizione ha dunque rappresentato un ponte tra il percorso accademico e la realtà professionale, rivelandosi occasione di profondo arricchimento personale.

Caratteristica intrinseca dei concorsi di progettazione è inoltre la necessità di sintetizzare i numerosi elaborati prodotti in un numero molto ridotto di tavole, operazione complessa e determinante; in questo caso il bando richiedeva la presentazione di due tavole in formato A0, riportate in dimensioni ridotte nella pagina accanto, e di una relazione di massimo sei pagine in formato A3. Inoltre è stato possibile presentare un plastico dell'edificio, che è stato realizzato con l'innovativa tecnica della stampa 3D. Questa scelta ha permesso di produrre un modello completo, preciso ed interamente smontabile per poter visionare gli ambienti interni. Al plastico ed alla sua realizzazione è stata dedicata una appendice di questo lavoro di tesi.

Gli elaborati progettuali proposti dagli studenti che hanno partecipato dal concorso sono stati accolti dal Comune, che li ha rielaborati e sintetizzati generando un progetto concreto per l'area Precampel. Il risultato è stato illustrato pubblicamente presso il Centro Studi Parini il giorno 11 Marzo 2016 a Bosisio, alla presenza del Sindaco e dei rappresentanti del Politecnico di Milano.

Il percorso di tesi, una volta terminata l'esperienza concorsuale, che ha visto premiare la proposta presentata con l'assegnazione di una menzione al merito, è proseguito rivedendo alcune scelte sia in chiave urbanistico - architettonica che tecnica: sono stati ridisegnati gli elementi che presentavano delle criticità e si è entrati nel merito dello studio di carattere tecnico sui diversi aspetti dell'edificio.

Gli approfondimenti hanno riguardato l'aspetto energetico, strutturale ed ergotecnico e sono stati sviluppati con l'intento di non piegare l'Architettura a compromessi dettati da necessità tecniche, ma di fondere insieme gli aspetti compositivi ed ingegneristici in una sintesi virtuosa.



**Figura 1.1** Premiazione del concorso



**Figura 1.3** Plastico della proposta presentata dal comune



**Figura 1.2** Plastico stampato in 3D esposto al concorso



**Figura 1.4** Presentazione del progetto per il Precampel



# 02

---

ANALISI DEL CONTESTO

Nel capitolo che segue ci si occuperà della tematica riguardante la conoscenza e l'analisi del contesto entro cui si colloca l'area di intervento, al fine di elaborarne e valutarne le criticità. Nello specifico si tratterà di una sintesi dei contesti geografico, storico, culturali e architettonici, focalizzandosi in particolar modo sull'ambito naturale e su come questo si relaziona al costruito.

## 2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1.1 COLLOCAZIONE GEOGRAFICA E AMBIENTE NATURALE

Bosisio Parini è un comune italiano della provincia di Lecco posto sulle rive del lago di Pusiano.

Le sue bellezze ambientali, naturali e culturali sono legate alle caratteristiche tipiche dei paesaggi racchiusi fra le Prealpi, le colline del "Monte di Brianza", i massicci montani del Cornizzolo, dei Corni di Canzo e del Moregallo e i laghi prealpini morenici.

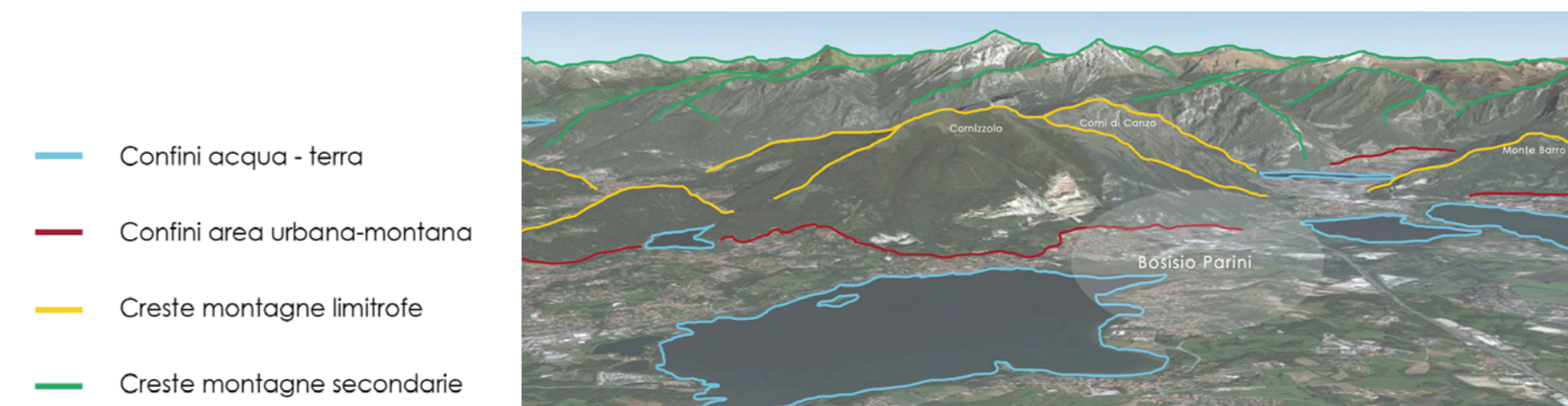
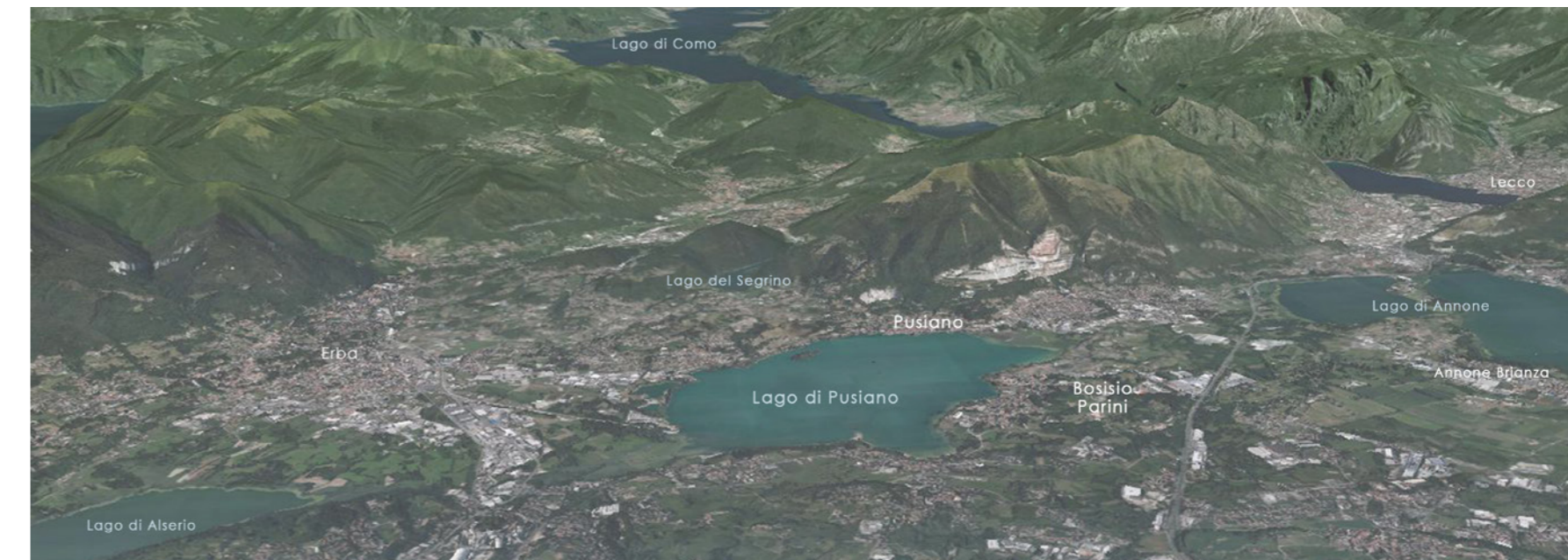
Ai piedi di questi monti, dove si possono visitare gioielli architettonici e paesaggistici come il complesso abbaziale di San Pietro al Monte e il Parco del

Monte Barro, si estende un'area collinare, chiamata comunemente Monte della Brianza, ed una morenica che ha avuto una notevole importanza nello sviluppo industriale nel corso dei due secoli trascorsi.

Il territorio di Bosisio Parini è caratterizzato dalla presenza del lago di Pusiano, appartenente al sistema dei laghi briantei (laghi di origine glaciale) e compreso assieme a quello di Alserio e del Segrino nel bacino del fiume Lambro. Molto probabilmente i laghi di Alserio e Pusiano rappresentavano fino al I sec. d.C. un unico invaso, in seguito separati dall'accumularsi di detriti di origine fluviale che hanno generato i rilievi che li separano e li circondano. Il dislivello massimo riscontrabile nel comune è di circa 50 m, che dividono la quota della sponda del lago a 260 m s.l.m. da quella dell'altura presso la cascina Colombè, a 310 m s.l.m.

**Figura 2.1** Sopra: il sistema dei laghi briantei

**Figura 2.2** Sotto: gli elementi che disegnano il paesaggio naturale



2.1.1.1 I parchi naturali

Il Parco della Valle del Lambro è stato istituito nel 1983 e ha una superficie di 8107 ettari, di cui 4080 ettari di parco naturale.

Il suo territorio si estende tra i laghi di Pusiano e Alserio a nord e fino al Parco della Villa Reale di Monza a sud. La zona dei laghi corrisponde a quella di più spiccato interesse naturalistico, comprendente ambienti lacustri, già in parte tutelati dalla Riserva naturale del Lago di Alserio: entrambi i laghi sono infatti Siti di Interesse Comunitario (SIC). All'ampiezza e alla varietà delle vedute panoramiche si aggiunge un'orografia caratterizzata da altopiani, piccole valli scavate dai fiumi, rogge e torrenti e da grandi estensioni di prati intercalate da più modeste zone boschive.

Il Parco del Monte Barro si trova presso Lecco ed è delimitato dall'estremità orientale del Lago di Como: si tratta di un rilievo calcareo dolomitico alto 922 m, completamente isolato dai monti circostanti e direttamente affacciato sull'alta pianura.

Il parco è un Sito di Importanza Comunitaria, ossia una delle aree europee ritenute di maggior importanza per la conservazione della natura.

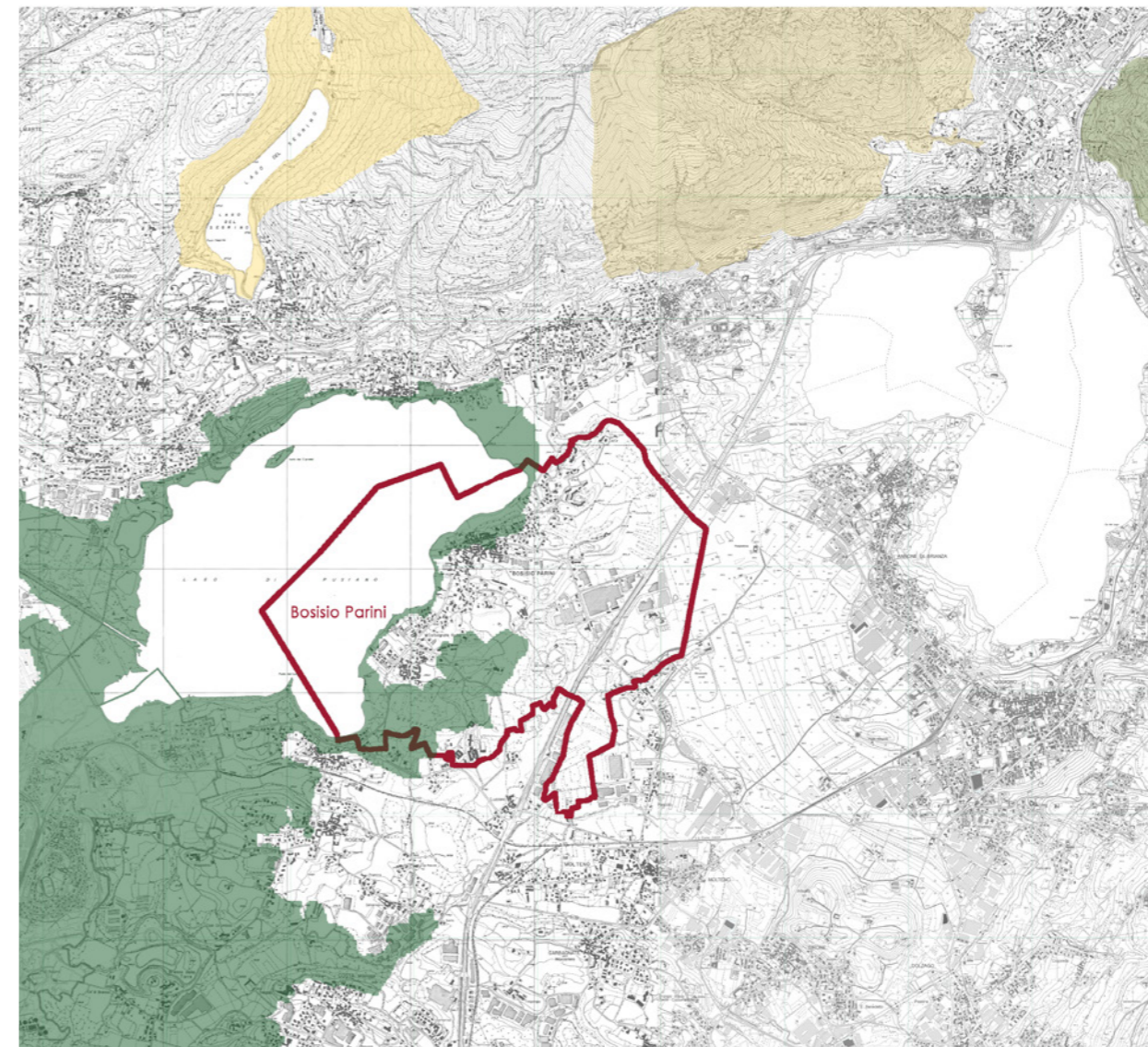
Alcuni tra questi sono anche PLIS, ovvero Parchi Locali di Interesse Sovracomunale.

I vincoli che insistono su tali parchi sono di natura urbanistico-territoriale, e pertanto sono di carattere comunale, legati cioè al Piano di Governo del Territorio<sup>1</sup>.



**Figura 2.3** Vista dall'alto del parco regionale della Valle del Lambro e del lago di Pusiano

<sup>1</sup> Fonte: geoportale della regione Lombardia



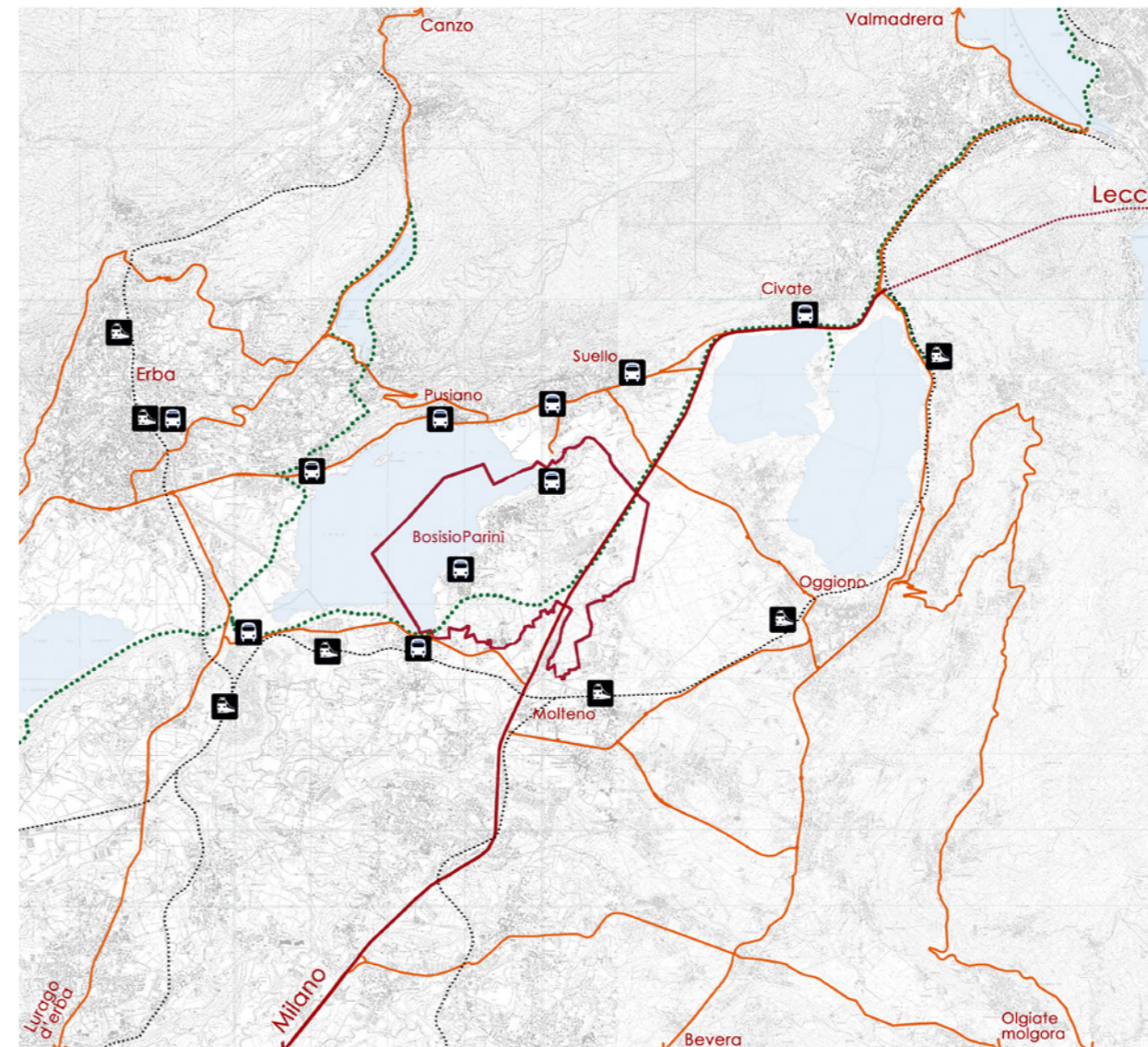
- PARCHI REGIONALI
  - Parco della Valle del Lambro
  - Parco del Monte Barro
- PLIS
  - Parco del Lago del Segrino
  - Parco di San Pietro al Monte e di San Tomaso
- SIC
  - Lago di Pusiano
  - Lago del Segrino
  - Monte Barro

*Parchi nel territorio che circonda e comprende Bosisio Parini*

### 2.1.2 COLLOCAZIONE GEOGRAFICA E CONNESSIONI

Le connessioni verso i centri principali lombardi avvengono principalmente grazie alla strada statale SS36; l'automobile è infatti il mezzo principale utilizzato per raggiungere il comune, nel quale manca una stazione ferroviaria (la stazione più vicina è quella di Molteno). Il servizio di autotrasporti pubblici è invece attivo e ben connesso alla Brianza extraurbana; la linea C40 (Como-Erba-Lecco) collega Bosisio Parini alle due province fornendo agli abitanti e ai turisti un rapido collegamento alla rete di mobilità extraurbana. Per la linea C95 (Bosisio Parini-Erba), si possono riscontrare altri vantaggi: il percorso, seppur più breve, garantisce ai passeggeri una maggior possibilità di fermate, anche nel centro del comune. Ulteriore distinzione va fatta in merito alle diverse fermate, in quanto i tempi di attesa risultano differenti tra l'una e l'altra. Le fermate più sfavorite sono quelle di via Eupilio, Garbagnate Rota, e la Nostra Famiglia. La parte nord del Comune invece risulta più servita e il passaggio dei pullman più regolare nel corso della giornata.

La ciclovia dei laghi non lambisce il lago di Pusiano sulla riva di Bosisio Parini, ma costeggia la superstrada.



- Strada Statale 36 Nuova Valassina
- Strade extraurbane principali
- ... Ciclovia dei laghi
- ... Linea ferroviaria
- Confine comunale Bosisio Parini
- 🚉 Stazioni Ferroviarie
- 🚌 Fermate Bus

Distanza e tempi di percorrenza:  
 — in auto  
 — in treno\*  
 \*tempi di percorrenza in treno calcolati dai centri lombardi alla stazione di Molteno, situata a 3 km da Bosisio Parini

Percorsi e mobilità in relazione ai centri vicini  
 Fonti: geoportale della regione Lombardia e PGT

## 2.2 LE RADICI STORICHE DI BOSISIO

I ritrovamenti archeologici portati alla luce a partire dall'800 in Brianza hanno permesso di datare i primi insediamenti in questi luoghi a circa 8.000 anni fa, quando il territorio era coperto in parte dal canneto, in parte dalla foresta e in parte dalla brughiera. I villaggi erano per lo più composti da abitazioni lacustri piantate su palafitte nelle insenature tranquille dei laghi di Pusiano, Annone e Montorfano, realizzati sul modello dell'insediamento scoperto nell'Isola dei Cipressi. Come suggeriscono i resti rinvenuti in questa zona (varie punte di freccia in selce e un *paalstab* o ascia di bronzo), le comunità praticavano non solo la pesca, l'agricoltura e la pastorizia, ma anche l'artigianato, con la costruzione di oggetti utili ed ornamentali destinati all'uso e al commercio.

Il territorio attualmente appartenente al comune di Bosisio Parini era un possedimento del ducato di Milano, ceduto nel XV secolo a Luigi dal Verme e successivamente entrato a far parte dei possedimenti della famiglia dei Fregoso, quando, in seguito alla morte di Pietro Dal Verme, la vedova Chiara Sforza fece partecipe dei suoi beni, in seconde nozze, il conte

Fregoso. Un secolo dopo il feudo fu alienato a favore del senatore Francesco Sfrondati, i cui discendenti lo mantennero fino agli ultimi anni del '700 quando, con l'estinzione di questa casata, non venne assegnato più ad alcuna famiglia. Il patrimonio storico-artistico del luogo, prevalentemente lascito di quei secoli, consiste soprattutto in signorili ville d'epoca, tra cui la settecentesca villa Appiani con l'annesso oratorio di S. Vitale, appartenuta alla sorella di Andrea Appiani, amico del Parini.

Nell'architettura sacra invece, si distinguono la chiesetta di Garbagnate Rota, dichiarata monumento nazionale, e le parrocchiali, rispettivamente antica e nuova, dedicate a Sant'Anna.

### 2.2.1 EVOLUZIONE STORICA DEL COSTRUITO

Per quanto riguarda l'evoluzione dell'edificato, nel 1888 si evidenziano due nuclei principali, quello di Bosisio Parini e quello di Garbagnate Rota. Nel corso degli anni sono poi sorti altri piccoli nuclei di abitazioni nelle vicinanze dei due principali appena citati. Per quanto concerne le industrie, non avendo a disposizione le mappe dal 1962 al 1982, non è stato possibile vedere

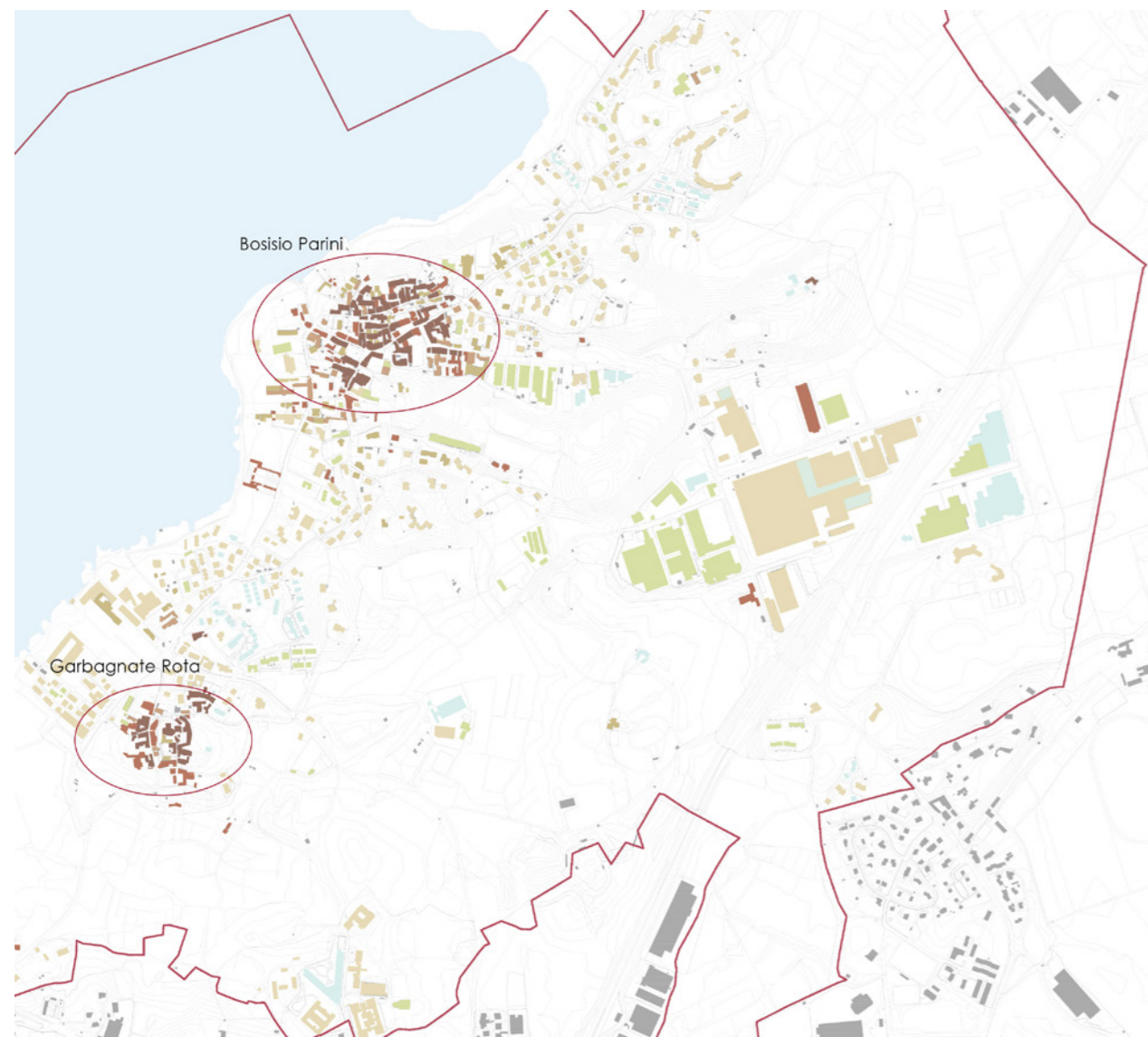
il momento esatto della loro fondazione e dunque, già nel 1982, la situazione si presenta simile a quella odierna.

Il tessuto edilizio mostra una forte concentrazione nello spazio che risulta essere il tessuto storico primario,



**Figura 2.4** Sopra: Chiesa di Sant'Anna Nuova

**Figura 2.5** A sinistra: Chiesa di Sant'Anna Vecchia



- Edifici esistenti prima del 1721  
Rif. Catasto Teresiano (pgt)
- Edifici costruiti tra il 1722 e il 1858  
Rif. Catasto Lombardo Veneto (pgt)
- Edifici costruiti tra il 1859 e il 1898  
Rif. Cessato Catasto (pgt)
- Edifici costruiti tra il 1899 e il 1956  
Rif. Mappa Catastale (pgt)
- Edifici costruiti tra il 1957 e il 1976  
Rif. PRG del 1976 (pgt)
- Edifici costruiti tra il 1977 e il 2000  
Rif. Cartografia nuovo prg (pgt)
- Edifici di più recente edificazione

Soglie storiche dello sviluppo del costruito

sviluppandosi in maniera intricata e compatta attorno ad esso; di contro l'estensione dell'edificato su più ampia area territoriale sembra non avere una forte concentrazione insediativa, bensì andare a compenetrare con gli spazi aperti, riconosciuti per lo più come praterie e aree boschive<sup>1</sup>.

### 2.2.2 IL RETAGGIO DEL PASSATO AGRICOLO

La presenza di aree verdi libere da vegetazione a sviluppo verticale è predominante nel territorio di Bosisio Parini, seppure i boschi ricoprono superfici piuttosto estese; il motivo è da ricercare nel passato prevalentemente agricolo del paese.

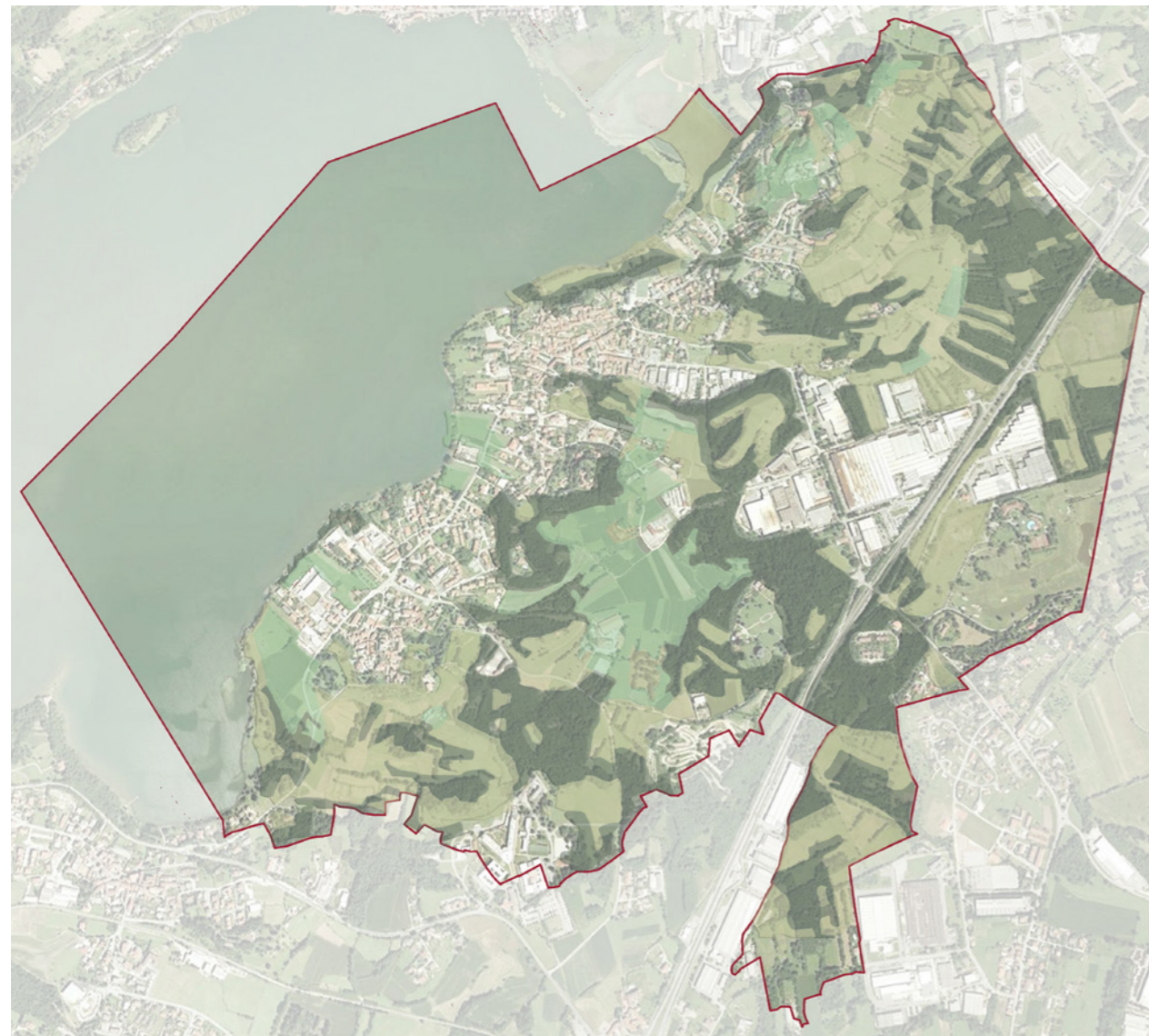
Questa tematica risulta essere molto importante nel nostro percorso di analisi in quanto in essa è da ricercare la motivazione della separazione tra ambiente lacustre e centro abitato. I grandi spazi verdi che separano la riva dal costruito avevano infatti in passato una funzione agricola.

Nella pagina successiva è riportata l'analisi dei paesaggi rurali<sup>2</sup>.

1 Fonte: cartografia storica (vedi legenda pagina precedente)  
2 Fonte: DUSAF 4



Figura 2.6 Riproduzione scultorea rilevata in piazza Parini della zona agricola tra il lungolago e il centro storico.



- Aree boschive
- Ambiti agricoli
- Verde incolto non a bosco

Analisi dei paesaggi rurali e riferimenti fotografici dei retaggi agricoli (sopra: area ex agricola sul fronte lacustre)

### 2.2.3 LA CONSERVAZIONE DELL'IMMAGINE STORICA

Il centro di Bosio, ad oggi conserva la sua immagine storica nel disegno del costruito, negli scorci della viabilità interna del paese e nelle viste panoramiche. Di seguito riportati alcuni esempi di questa tipicità.



Figura 2.9 Accesso alla casa museo Parini (anni '50-2015)



Figura 2.8 Piazza Parini (anni '60-2015)



Figura 2.7 Veduta su Pusiano (anni '50-2015)



Figura 2.10 Casa museo Parini (anni '50-2015)



Figura 2.11 Veduta su Pusiano e la cava (anni '50-2015)



**Figura 2.12** Veduta su Garbagnate Rota(anni '50-2015)



**Figura 2.13** Chiesa e oratorio San Gaetano (anni '30-2015)



**Figura 2.14** Vista da Garbagnate Rota su Bosisio (incisione-2015)

### 2.2.3.1 Il tessuto storico: ville e corti

Il patrimonio storico, artistico e architettonico del luogo, prevalentemente lasciato del XVIII secolo, consiste soprattutto in signorili ville d'epoca, tra cui la settecentesca villa Appiani con l'annesso oratorio di S. Vitale, appartenuta alla sorella di Andrea Appiani, amico del Parini. Contemporanee ad essa sono villa Arnaboldi, strutturata su due piani e con il retrostante parco digradante verso il lago, palazzo Appiani e villa Cesati. Poco distanti vi sono villa Nava, costruita su un convento Benedettino, villa Giulini, eretta nel XVIII secolo, e l'ottocentesca villa Galli, successivamente adibita ad ospedale.

Le ville storiche, motivo caratteristico nell'architettura del paese, caratterizzano il luogo e rappresentano delle vere e proprie emergenze architettoniche; sono inoltre parte del percorso "Ville Aperte sulle orme del Parini"<sup>1</sup>.

Le corti sono un ulteriore elemento caratterizzante l'immagine del costruito storico, nonché uno degli elementi più caratteristici di Bosisio Parini, in quanto sono gli accessi della maggior parte delle abitazioni

<sup>1</sup> .....  
Fonte: Sito ProLoco Bosisio Parini

collocate all'interno del nucleo Storico.

Queste corti, i cui elementi peculiari sono stretti passaggi e grandi archi, caratterizzano fortemente i luoghi del centro abitato e conferiscono al tessuto urbano un ritmo alternato di pieni e vuoti.



**Figura 2.16** Villa Appiani Banfi Cantù

- |                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| 5 Villa Arnaboldi Gallone    | 1 Corte in via Roma            |
| 6 Villa Appiani Banfi Cantù  | 2 Corte in via Giuseppe Parini |
| 7 Casa Museo Giuseppe Parini | 3 Corte in via Pospagliaro     |
| 8 Villa Cesati (Municipio)   | 4 Corte in via Vicolo Chiuso   |



**Figura 2.15** Aerofoto e legenda di Ville e corti principali





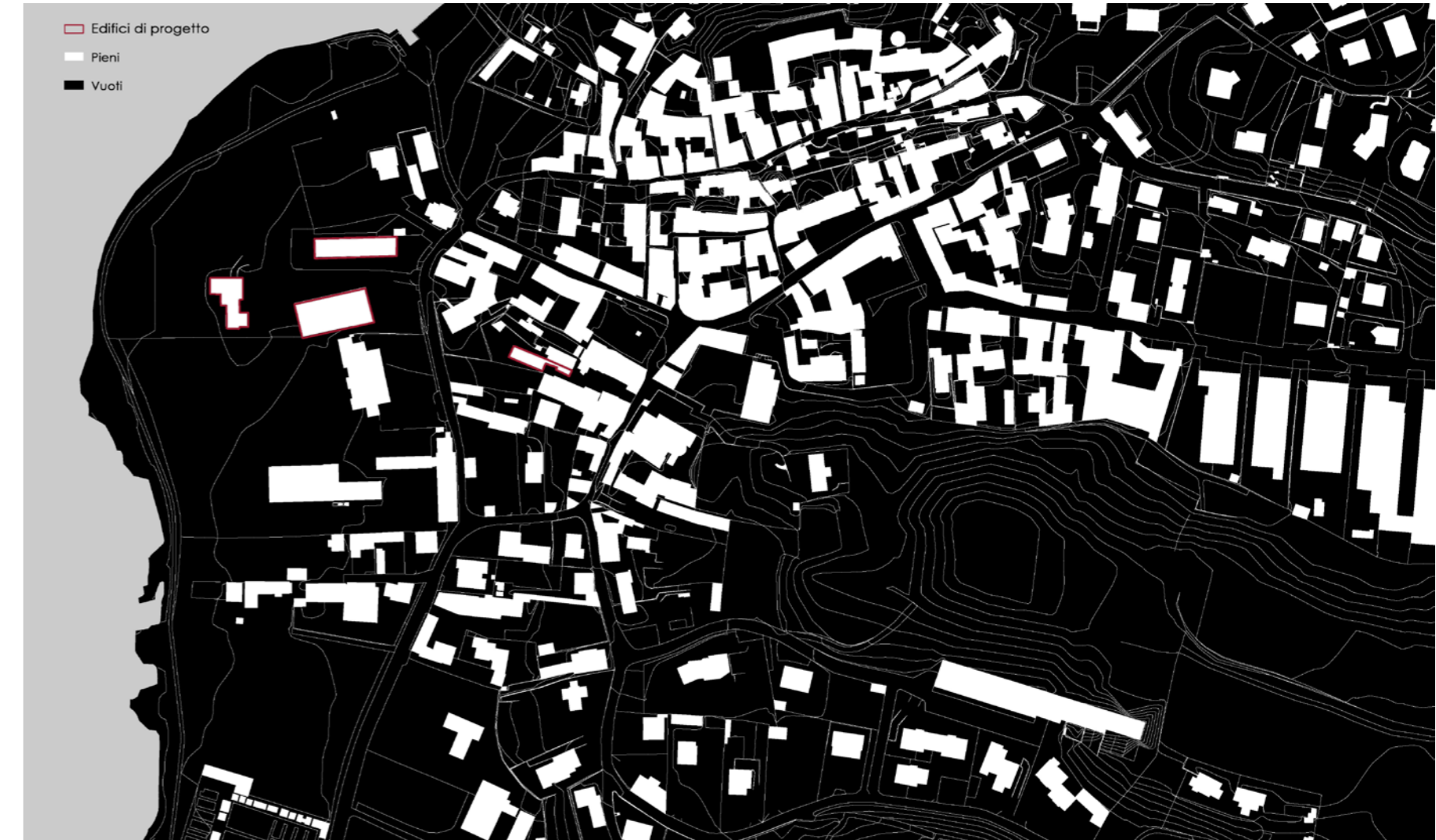
Figura 2.17 Villa Arnaboldi



Figura 2.18 Corte in via Pospagliaro



Figura 2.19 Passaggio verso casa Parini



Analisi sui pieni e vuoti

### 2.2.3.2 La memoria culturale e artistica

*“Colli beati e placidi che il vago Eupili mio cingete con  
dolcissimo insensibil pendio, dal bel rapirmi sento che  
natura vi die' ed esule contento a voi rivolgo il pie' [...]”*<sup>1</sup>

Le radici del lago *Eupili* (il lago di Pusiano) affondano nella preistoria, per risalire dai romani fino ai tempi moderni con le ville settecentesche, luoghi di “delizie” per numerosi artisti come Parini, Monti, Porta, Manzoni, Stendhal e Segantini.

In suo onore il più illustre figlio, Giuseppe Parini, pubblicò il suo primo libro di poesie (di tono arcade), con lo pseudonimo di Ripano Eupilino.

Il primo a parlarne è però, nel 70 d.C., Caio Plinio Secondo, conosciuto come Plinio il Vecchio, che nel suo *Naturalis historia* fa riferimento ai principali laghi lombardi accennando a quello di *Eupili*. Una citazione da cui è possibile desumere il fatto che, nei secoli passati, l'estensione del bacino lacustre dovesse essere di molto maggiore dell'attuale.

La memoria artistica del territorio non è da ricercare solo nella letteratura, ma trova grande ispirazione

<sup>1</sup> Da *La vita rustica*, di Giuseppe Parini, XVIII sec.

anche nelle arti figurative; tra gli artisti che si cimentarono nella raffigurazione del lago di Pusiano, ricordiamo Giovanni Segantini.



**Figura 2.20** A sinistra: G. Segantini, *Ave Maria a trasbordo*, olio su tela, 1882.



*Arriviamo infine su un'altura e scopriamo l'incantevole lago di Pusiano [...]*

*Il lago è delimitato a mezzogiorno da piccole colline non molto alte e ben imboschite, che conferiscono loro un aspetto dolce in contrasto con la severità dei suoi confratelli circondati da alte montagne dai versanti scoscesi. Vi sono montagne alte solo a nord, dietro Pusiano. Questa montagna è brulla e a destra c'è un villaggio. Gran quantità di campanili al di là del lago. La sera, dopo cena, bei lampi e temporale. La punta di un campanile illuminata a giorno!*

<sup>1</sup> *Diario del viaggio in Brianza*, Stendhal

## 2.3 IL PAESAGGIO

Al fine di riconoscere tutte le potenzialità paesaggistiche del comune e, in particolar modo, per intervenire nel rispetto di queste ultime, si è fatto riferimento alla Carta dei Vincoli<sup>1</sup>.

Secondo i Decreti Ministeriali 16 Febbraio 1966 e 28 Aprile 1971, non solo la zona costiera e le viste panoramiche, ma anche l'intero territorio comunale risultano vincolati; di seguito verranno riportati alcuni tratti salienti della descrizione degli elementi del paesaggio soggetti a vincolo.

### 2.3.1 LA ZONA COSTIERA

“La zona costiera ha notevole interesse pubblico perché rappresenta un quadro naturale, offerto dal lago di Pusiano e dalla sua area costiera, quanto mai suggestivo, ricco inoltre di punti di vista e belvedere, accessibili al pubblico, dai quali si gode lo spettacolo di quelle bellezze nonché la vista del lago e della sua opposta sponda; [...]”<sup>2</sup>.

1 Fonte: S.I.B.A.  
<http://www.cartografia.regione.lombardia.it>

2 Decreto Ministeriale 16 Febbraio 1966



**Figura 2.21** Vista verso il Resegone



**Figura 2.22** Vista da Garbagnate Rota su Bosisio



**Figura 2.23** Vista panoramica dal parco Precampel in direzione nord-est (Pusiano)



**Figura 2.24** Vista panoramica da Bosisio Parini in direzione sud-est

### 2.3.1.1 Il canneto e l'area del Precampel

Il canneto è un elemento caratterizzante la vegetazione della sponda lacustre di Bosisio Parini e nello specifico si concentra nell'area del parco Precampel. In questo contesto risulta fondamentale la presenza di una vegetazione che vada ad inquadrare l'immagine del lago di Pusiano.

Quest'area è la più frequentata da un punto di vista turistico, nonostante questo rimanga poco sfruttata, in quanto risulta frammentata dalla presenza di diverse proprietà, private e comunali; lo spazio dedicato al pubblico rimane dunque confinato alla riva, estendendosi poco negli spazi verdi più interni di connessione tra il lago e il paese.



**Figura 2.25** Recinzioni proprietà private dell'area Precampel



**Figura 2.25 - 2.26** Fotografie del canneto sulla vista lago

### 2.3.2 L'ABITATO

“L'abitato del capoluogo, inoltre, nonche' i gruppi sparsi di edifici, costituiscono un insieme di valori espressivi dovuti all'intervento dell'uomo, particolarmente fusi, insieme con la natura, a costituire complessi di cose immobili aventi valori estetici e tradizionali, ove è nota essenziale la concordanza spontanea e la fusione tra l'espressione della natura e quelle del lavoro umano [...]”.<sup>1</sup>



A seguire: alcuni percorsi tra le vie del centro abitato

<sup>1</sup> .....  
Decreto Ministeriale 28 Aprile 1971





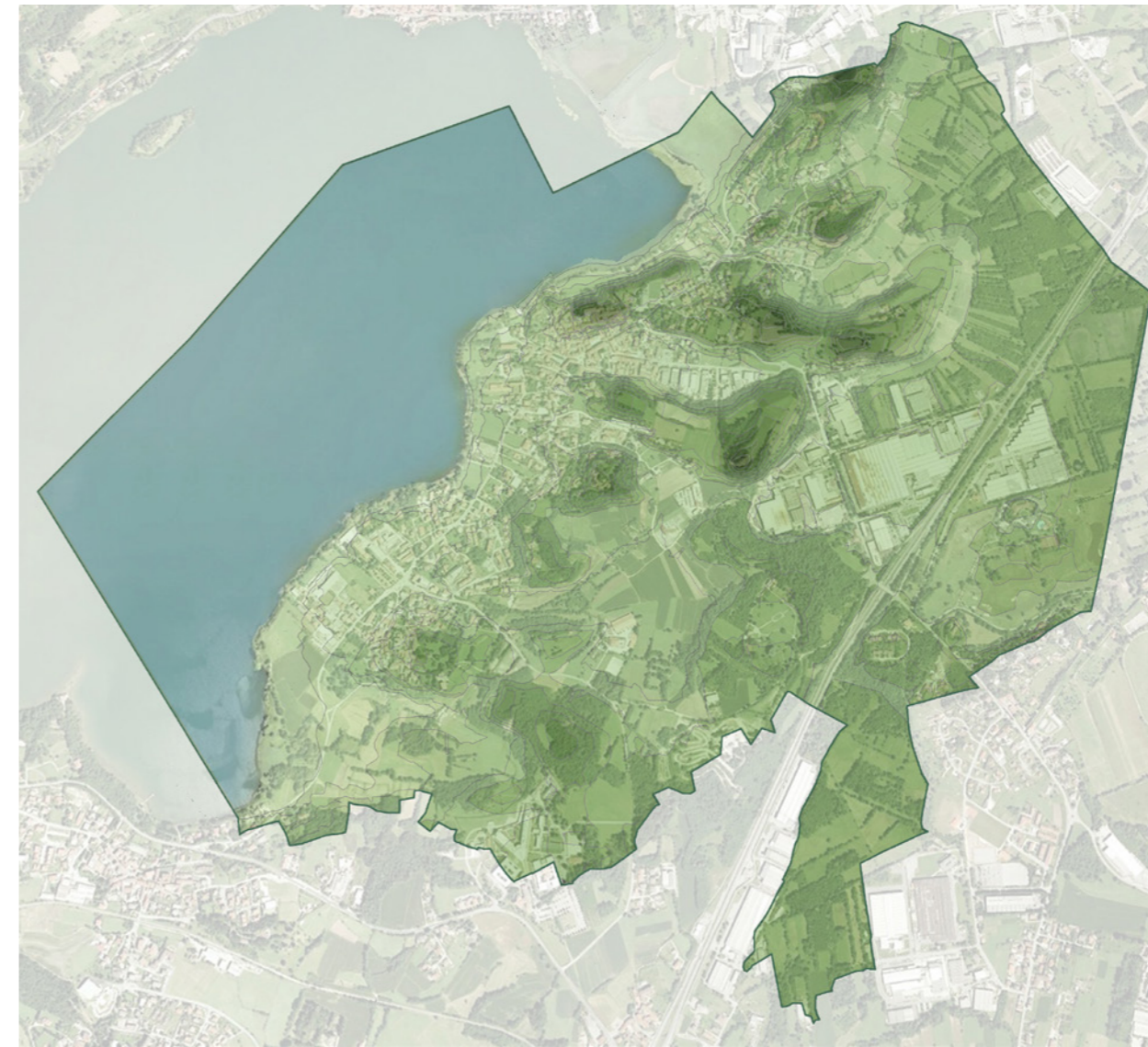
### 2.3.3 LE ONDULAZIONI DEL TERRENO

“Il territorio e' caratterizzato da gradevoli pendici boschose e leggere ondulazioni di terreno che si concludono nella piana che scende dolcemente nel lago formando un quadro naturale di altissimo interesse panoramico.[...]”<sup>1</sup>



**Figura 2.27** Le dolci ondulazioni del terreno nel paese

<sup>1</sup> Dal Decreto Ministeriale 28 Aprile 1971



**Figura 2.28** Le leggere pendenze nel parco Precampel

- 264 - 266 m s.l.m.
- 266 - 268 m s.l.m.
- 268 - 270 m s.l.m.
- 270 - 275 m s.l.m.
- 275 - 280 m s.l.m.
- 280 - 285 m s.l.m.
- 285 - 290 m s.l.m.
- 290 - 295 m s.l.m.
- 295 - 300 m s.l.m.
- 300 - 305 m s.l.m.
- 305 - 310 m s.l.m.
- 310 - 315 m s.l.m.

Variazione altimetrica nell'intero territorio comunale

### 2.3.4 GLI INDIRIZZI DI GESTIONE DEL PAESAGGIO

Considerate le indicazioni definite dalla carta dei vincoli, sono state definite una serie di linee guida da seguire nella gestione dell'elemento paesaggistico, focalizzandosi in particolar modo sull'ambito lacustre, nello specifico del parco Precampel.

Come si è già precedentemente citato, le grandi problematiche dell'area consistono nella mancanza di connessione fra questa e il centro abitato e la sua estrema frammentarietà causata dalle proprietà private ivi presenti.



Figura 2.29 Area Precampel a ridosso del lago

#### 2.3.4.1 Tutela

- Salvaguardare la biodiversità della flora e della fauna lacustri. E' vietata l'introduzione non autorizzata di specie di pesci alloctone di qualsiasi tipo.
- Evitare la costruzione, in prossimità delle aree verdi in riva al lago, di nuovi impianti industriali che nei loro cicli produttivi e nei rifiuti, includano materiali particolarmente inquinanti.
- Salvaguardare le zone di rispetto naturalistico, considerando la loro importanza sulla percezione della totalità del paesaggio.
- Preservare la qualità ambientale del suolo, e la buona permeabilità del substrato naturale e degli spazi aperti ed esterni, potenziando il ruolo della vegetazione per la regolazione delle condizioni microclimatiche, di percezione sonora e d'illuminazione solare.

#### 2.3.4.2 Manutenzione

- Controllare una volta ogni sei mesi ed in seguito a eventi meteorologici eccezionali lo stato di funzionamento di depuratori e tubazioni e fossi

per la gestione e lo smaltimento delle acque reflue.

- Salvaguardare la flora e la fauna autoctone mediante un controllo sull'inquinamento prodotto dalle industrie e gli impianti di smaltimento che utilizzano.
- E' opportuno, nei principali punti di affluenza turistica nel periodo estivo, effettuare controlli giornalieri per la rimozione di rifiuti e oggetti abbandonati dalle aree di raccolta in modo che queste risultino sempre fruibili e in uno stato ottimale.
- Sensibilizzare la comunità al mantenimento ad uno stato ottimale di tutte le aree lacustri e più in generale al rispetto della componente naturalistica del paesaggio.

#### 2.3.4.3 Nuovi interventi

- Disporre un progetto per la pedonalizzazione di una o più aree che colleghino il lungolago con il centro storico, evitando la scissione netta tra le due dimensioni del paese.
- Utilizzare piantumazioni per definire nuovi percorsi

(si consiglia ad esempio l'utilizzo di pioppi cipressini o altre specie autoctone con chiome non particolarmente ingombranti, dato il quasi sempre minimo spazio nelle vie di comunicazione pedonali del centro storico), non più solo nell'ambito della zona lacustre, ma anche come elementi di connessione tra il lago e il centro del paese, conferendo all'intero territorio una maggiore unitarietà definita dall'uso del verde.

- Predisporre un disegno unitario degli spazi verdi cercando di minimizzare l'interruzione e la frammentazione delle strutture ambientali esistenti.
- Disporre il più possibile le nuove piantumazioni in continuità con quello degli insediamenti limitrofi favorendo la regolazione microclimatica.
- Definire un progetto unitario per la zona lacustre e nello specifico per il Parco Precampel.



**Figura 2.30** La difficile percezione del lago dal paese e l'indirizzo di nuovo intervento



**Figura 2.31** Situazione attuale



**Figura 2.32** Indirizzo di nuovo intervento

### 2.3.5 ELEMENTI DI CONNESSIONE: PERCORSI E SERVIZI

Di seguito riportate l'analisi di Lynch, un'indagine su servizi, attività ed eventi e infine un rapporto sulla mobilità nel paese.

### 2.3.6 Analisi di Lynch

L'analisi proposta deriva da un particolare approccio teorizzato e sperimentato nel corso degli anni '50 dall'urbanista e docente americano Kevin Lynch, direttore del Centro per gli Studi Urbani e Regionali del MIT. La lettura della città fatta da Lynch, teorizzata nel testo *L'immagine della città*, è basata sul concetto di immagine della città, che si forma nella mente di ciascun individuo in base alla percezione che ha di essa; si tratta, dunque, di un'immagine soggettiva, che risulta da un'osservazione della realtà filtrata in base al retroterra culturale di ognuno e all'attenzione maggiore o minore che ciascuno pone ai suoi diversi elementi costitutivi. Questo tipo di approccio comporta, perciò, un'attribuzione di significati a ciò che viene osservato sempre differente a seconda, appunto, della soggettività di chi guarda. Inoltre, l'immagine prodotta è legata al concetto di leggibilità del paesaggio

urbano, e cioè alla coerenza e chiarezza con cui le sue parti possono venire riconosciute e organizzate in un sistema organico.

*“L'immagine ambientale è il risultato di un processo reciproco tra l'osservatore ed il suo ambiente. L'ambiente suggerisce distinzioni e relazioni, l'osservatore seleziona, organizza e attribuisce significati a ciò che vede. L'immagine così sviluppata ancora, limita e accentua ciò che è visto, mentre essa stessa viene messa alla prova rispetto alla percezione, filtrata in un processo di costante interazione. L'immagine di una data realtà può così variare notevolmente da un osservatore all'altro”.*<sup>1</sup>

Secondo Lynch, l'immagine si forma attraverso l'individuazione di quelli che egli considera i cinque elementi costitutivi della città. Nel corso dei suoi colloqui, egli invita gli intervistati a ridisegnare le mappe utilizzando unicamente tali elementi e quindi ottenendo dei risultati assolutamente soggettivi in base a come ciascuno li identifica e percepisce.

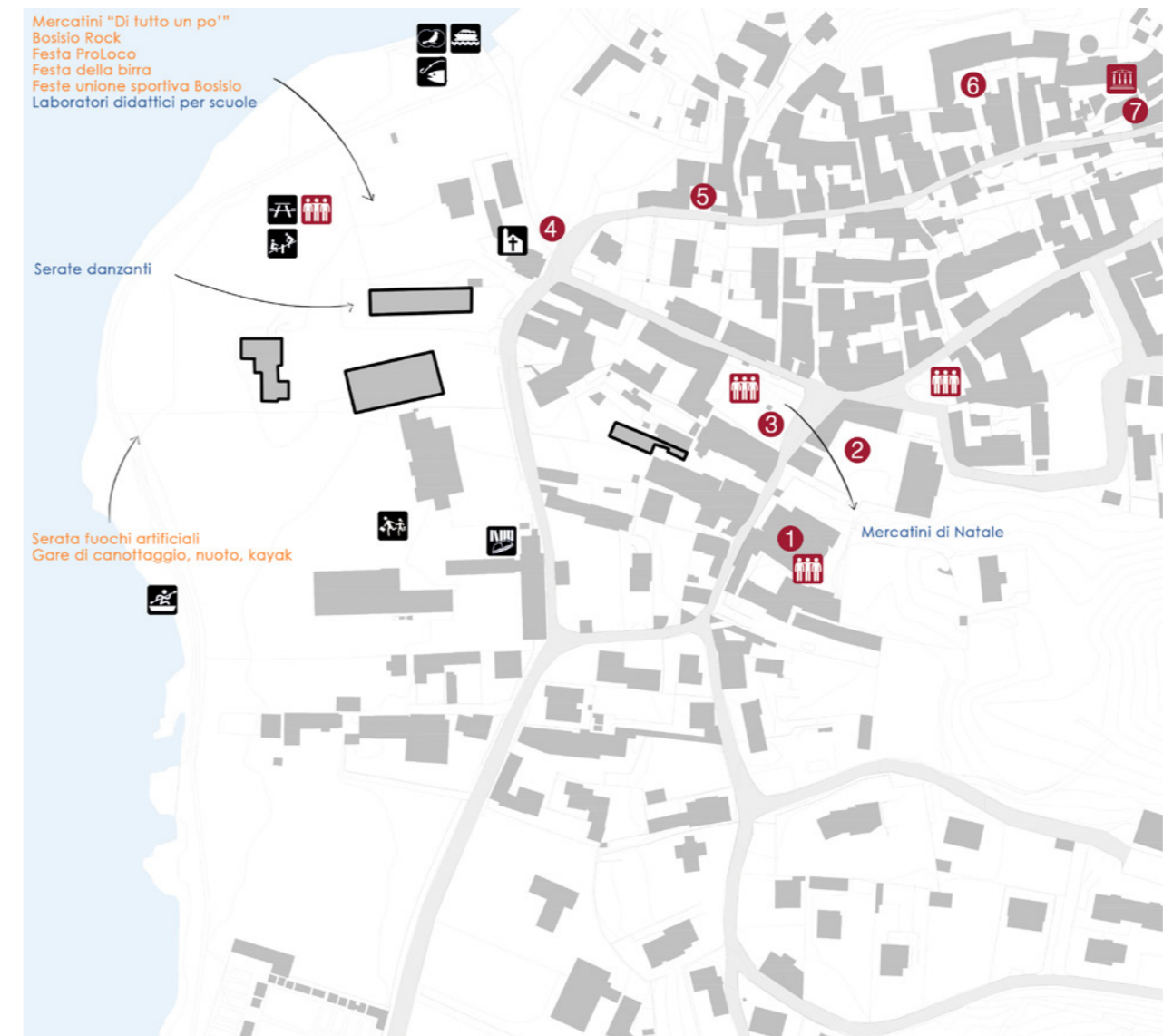
Gli elementi costitutivi della città sono i percorsi, i margini, i quartieri, i nodi e i riferimenti, elementi che rivestono diversi gradi di importanza a livello percettivo.

<sup>1</sup> Da *L'immagine della città*, Kevin Lynch



- Percorsi principali
- Percorsi secondari
- Margini principali
- Margini secondari
- Margini percettivi
- Nodi principali
- Nodi secondari
- Riferimenti principali
- Riferimenti secondari
- Quartieri principali
- Quartieri secondari

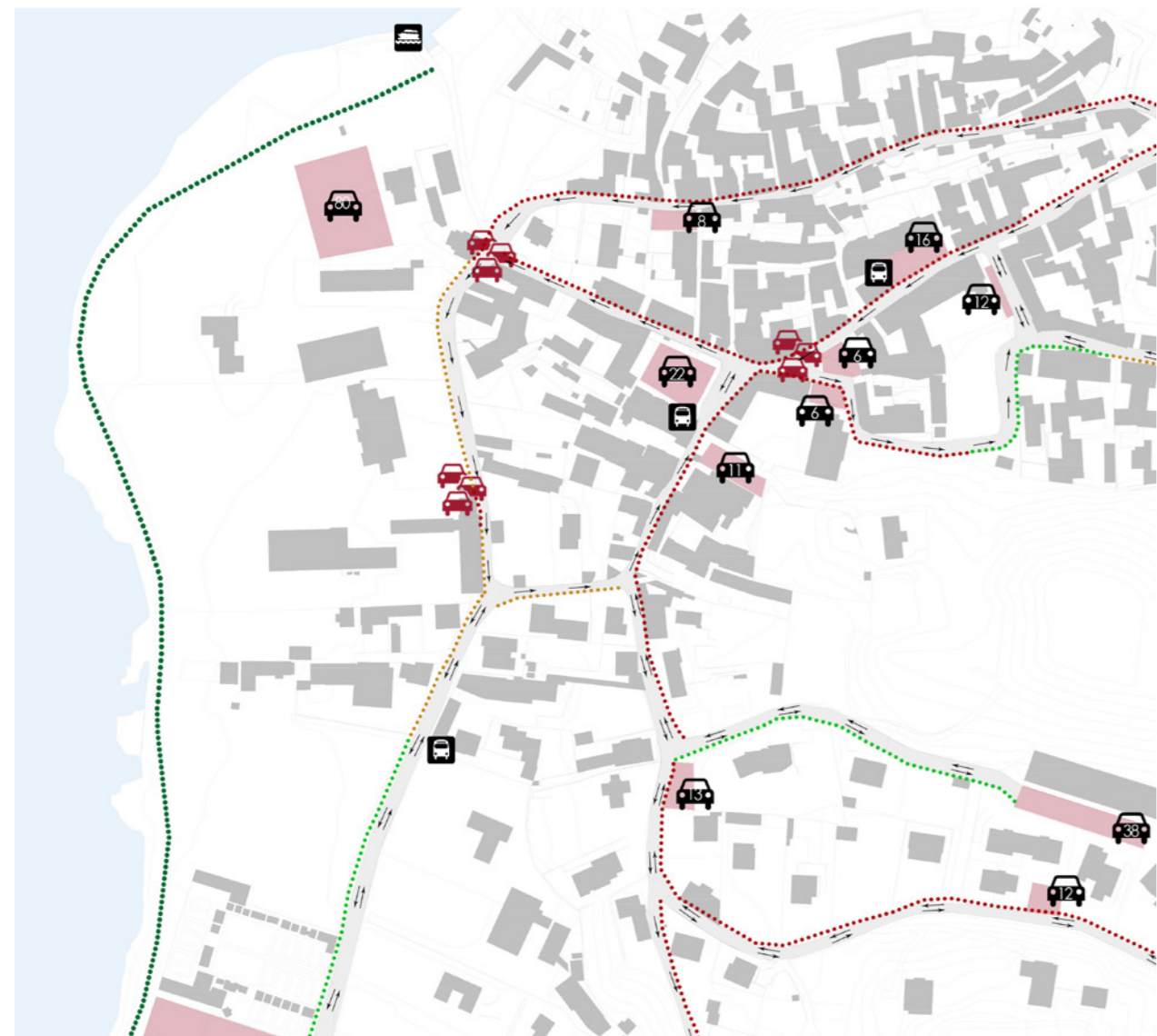
Analisi di Lynch



- Edifici di progetto
- Servizi collettività**
  - centro studi parini
  - biblioteca
  - parco giochi
  - area picnic
  - centro religioso
  - partenza battello
- Attività sportive**
  - centro canottaggio
  - birdwatching
  - zona pesca
- Attività culturali**
  - Casa museo Parini
  - Percorso "Ville aperte sulle orme del Parini":
- Luoghi di aggregazione
- Eventi bosio parini**
  - Eventi periodo estivo
  - Eventi periodo invernale

Analisi su servizi, attività sportive e culturali ed eventi





- sensi unici obbligati
- ↔ doppi sensi di marcia
- parcheggi
- 🚗 numero posti auto
- 🚌 fermate autobus
- ⋯ marciapiedi assenti
- ⋯ marciapiedi insufficienti
- ⋯ marciapiedi conformi
- ⋯ percorso ciclopedonale
- 🚢 partenza battello
- 🚗 punti di particolare congestione del traffico

Analisi sull mobilità interna nel paese

03

---

UN PROGETTO PER IL PRECAMPEL

*“L'opera architettonica non è soltanto l'oggetto, ma anche quello che lo circonda e i vuoti, gli spazi.”<sup>1</sup>*

Nel progettare un'architettura, è primariamente necessario intraprendere un lavoro sul contesto in cui essa si colloca e su come l'una si rapporta all'altro, in termini di relazioni spaziali e funzionali. In questo capitolo ci allontaneremo momentaneamente da ciò che è in sé l'oggetto architettonico del nostro progetto di recupero, bensì ci occuperemo indirettamente di quest'ultimo andando a elaborare in primo luogo le dinamiche di cui esso stesso prende parte e disegnando gli spazi che lo circondano e a cui si relaziona.

Ci occuperemo in definitiva, nelle pagine che seguono, del progetto di masterplan.

### 3.1 LE STRATEGIE DI PROGETTO

Ciò che ci proponiamo di fare è estrarre le potenzialità del luogo, implementarle e valorizzarle al fine di dare il via a un processo di riqualificazione di alcuni spazi pubblici che possa garantire, in primo luogo, la partecipazione e una migliore vivibilità per gli abitanti e, allo stesso tempo, trasformare Bosisio Parini in un polo di attrazione interurbano.

Il progetto si propone dunque l'intento di rafforzare le capacità ricreativa, naturalistica e attrattiva del luogo, valorizzando gli spazi esistenti e creando nuovi servizi a favore di un potenziamento dell'attività turistica e della stessa comunità locale.

Il disegno di masterplan si concentra principalmente sulla zona lacustre a est del centro urbano, nello specifico sul Parco Precampel, uno spazio con grandi potenzialità, vissuto però da tempo come entità indipendente, sconnessa dal nucleo storico del paese e dalle principali vie di comunicazione.

### 3.2 METAPROGETTAZIONE

Una rilettura critica delle analisi effettuate sul territorio ha permesso di evidenziare le maggiori problematiche presenti sull'area di intervento attraverso il procedimento FDOM (Forze, Debolezze, Opportunità e Minacce).

#### 3.2.1 LE ANALISI FDOM

Il centro urbano di Bosisio Parini, interamente soggetto a un vincolo di interesse pubblico, presenta un forte valore architettonico e culturale, ricercato in particolar modo nei percorsi Pariniani e delle ville storiche; d'altro canto risulta subito evidente la mancanza di una connessione adeguata tra il centro del paese e la zona del lago, che non interagiscono, bensì sono completamente sconnessi dal punto di vista funzionale, architettonico e viabilistico. Il nucleo storico, come abbiamo precedentemente osservato, è caratterizzato da un tessuto compatto disegnato da numerosi spazi a corte e tende a involvere e a racchiudersi in se stesso senza stabilire connessioni con gli ambienti di interesse naturalistico e di servizio per la comunità, quali la zona del lago e il polo scolastico.



**Figura 3.1** *L'involuzione del tessuto storico*

L'area Precampel, accostata ma non relazionata al polo scolastico, è raggiungibile unicamente attraverso un sistema viario di sensi unici stretti e non dotati di marciapiedi; conseguentemente la circolazione risulta difficoltosa per le automobili e pericolosa per i pedoni, specialmente in sede scolastica durante gli orari di entrata e di uscita degli studenti e nei frangenti di affluenza turistica. Questa situazione è causata anche dalla mancanza di una stazione ferroviaria nel comune, che incentiva l'utilizzo dell'automobile per raggiungere il lago.

<sup>1</sup> .....  
Da *Il mondo è ingiusto*, Oscar Niemeyer



**Figura 3.2** *Le problematiche legate alla mobilità*

Inoltre l'area attualmente adibita a parcheggio nella zona Precampel gode di un ottimo scorcio sul lago e su Pusiano, decisamente poco valorizzato dall'odierna destinazione.

Altra criticità riscontrata è la totale mancanza di servizi ricettivi nella zona del lago, come ad esempio info point, bar e ristoranti; la problematica è presumibilmente riconducibile al fatto che il grande spazio verde è quasi totalmente frammentato per la presenza di recinzioni che chiudono le aree di pertinenza degli elementi che questo ospita,



**Figura 3.3** *La frammentarietà dell'area*

funzionalmente scinti, e quindi privi di connessioni.

Questa problematica si contrappone alla vocazione ricreativa dell'area Precampel, la quale ospita spesso eventi e sagre durante la stagione estiva, pur non essendo attualmente servita da nessuna struttura di appoggio adeguata che possa agevolare l'organizzazione e la gestione degli stessi. All'estremità nord del parco risiede inoltre una delle principali attrazioni turistiche dell'area: l'attracco del battello che dà origine al percorso guidato attorno al lago di Pusiano e sull'Isola dei Cipressi.

Il parco presenta inoltre un grande potenziale che sportivo, principalmente derivante dal paesaggio naturale lacustre, ad ora espresso limitatamente ad attività come il canottaggio, la pesca e il birdwatching. In ultimo Bosisio Parini non esercita solamente un'attrazione di tipo ricettiva, ma si presenta anche come un polo ospedaliero di vasto bacino grazie alla presenza della struttura sanitaria "La nostra famiglia", che ospita pazienti di giovane età anche per diversi mesi; ne deriva dunque una necessità residenziale che possa servire i familiari dei pazienti, anche per periodi temporali relativamente brevi.



**Figura 3.5** *L'attività sportiva del canottaggio dal Parco Precampel*

**Figura 3.4** *A sinistra: aerofotogrammetrico dell'area e relative problematiche*

### 3.3.3 GLI EDIFICI DI PROGETTO E L'AREA DI INTERVENTO

Come è stato già possibile intuire dall'analisi FDOM, l'intervento è focalizzato sull'area del parco Precampel e nella diretta connessione fra questo e il centro storico urbano. Nello specifico si farà riferimento a dei determinati edifici di progetto, definiti dal bando concorsuale del comune di Bosisio Parini.

Nelle pagine che seguono si darà una breve introduzione di questi edifici all'interno dell'area di intervento considerata.

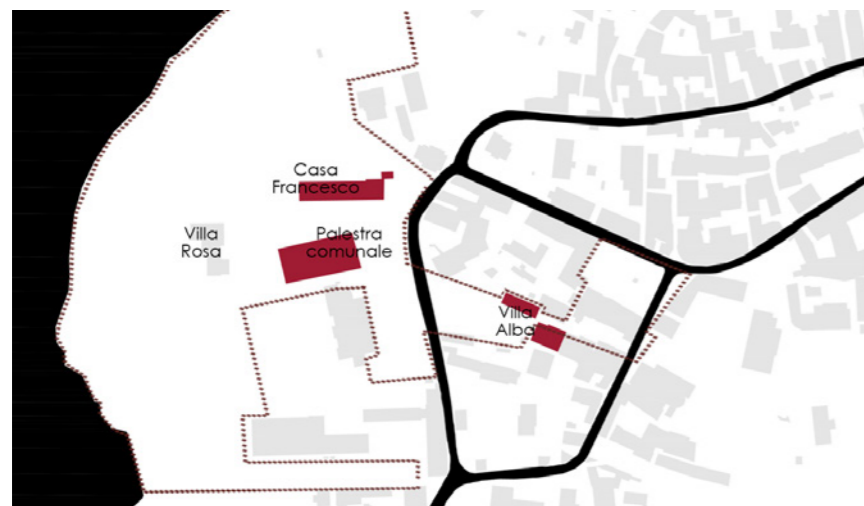


Figura 3.7 Area di intervento ed edifici di progetto

#### 3.3.3.1 Casa Francesco

Si tratta dell'edificio a più stretto contatto con l'ambiente lacustre, con l'opportunità di affaccio sulla vista privilegiata del Parco: quella su Pusiano. Purtroppo l'edificio è a diretto contatto con il parcheggio principale del parco, il quale nega a questo elemento una diretta connessione con l'ambiente naturale. E' inoltre l'edificio a cui fanno riferimento gli eventi organizzati dalla comunità di Bosisio.



Figura 3.6 Casa Francesco e il parcheggio antistante

#### 3.3.3.2 La palestra comunale

La palestra è l'edificio che si relaziona alla dinamica sociale del Precampel, essendo infatti a stretto contatto con il polo scolastico e sede di diverse attività sportive praticate nel comune. L'edificio è collocato in una posizione baricentrica all'interno del parco, ma la sua potenziale capacità connettiva tra i vari spazi è limitata dalle proprietà private che lo circondano. Questo edificio, che diventerà presto il punto focale del progetto di riqualificazione dell'area, verrà successivamente indagato più nel dettaglio.



Figura 3.8 Palestra comunale

#### 3.3.3.3 Villa Alba

Villa Alba è l'edificio collocato direttamente all'interno del tessuto storico, di cui subisce il disegno tipico degli edifici residenziali. E' molto vicina alla piazza centrale del Paese, piazza Parini, e si trova in una posizione strategica in vista di una connessione pedonale che possa fluire verso il lago da quest'ultima.



Figura 3.9 Villa Alba

### 3.3 IL PROGETTO DI MASTERPLAN

L'iter progettuale è focalizzato sulla risoluzione delle problematiche riscontrate e sulla valorizzazione dei punti di forza dell'area, sulla base di quanto emerso dall'analisi FDOM.

La linea di creazione del masterplan che si è scelto di seguire è quella di implementare dei servizi che possano attrarre un'utenza il più possibile vasta, al fine di motivare la valorizzazione degli spazi che li ospitano.

#### 3.3.1 UNA NUOVA CONNESSIONE FRA CENTRO URBANO E LAGO

La prima scelta è stata dunque quella di trovare la connessione più diretta possibile tra il centro urbano e il lago, creando un percorso pedonale che potesse favorire in primo luogo la popolazione locale. Nella definizione dell'asse principale si è scelto quindi di attraversare il polo scolastico, creando un percorso che potesse garantire alla comunità maggior sicurezza e autonomia negli spostamenti dal centro del paese a quest'ultimo e allo stesso tempo nobilitando la realtà del centro urbano a cui è stato conferito un nuovo dinamismo; il tessuto storico tende infatti ad essere

piuttosto statico, gravitando interamente attorno alla piazza centrale del paese, piazza Parini, la quale però, nonostante sia collegata alla linea di trasporti pubblici, non presenta connessioni con nessuna delle altre dimensioni del luogo, quali il lungolago e i grandi spazi verdi, che ad ora rivestono un ruolo indipendente nella dinamica comunale.

Con l'individuazione di questa nuova direttrice si è scelto anche di modificare la centralità del parco, abolendone la frammentarietà e la posizione di fruizione marginale.

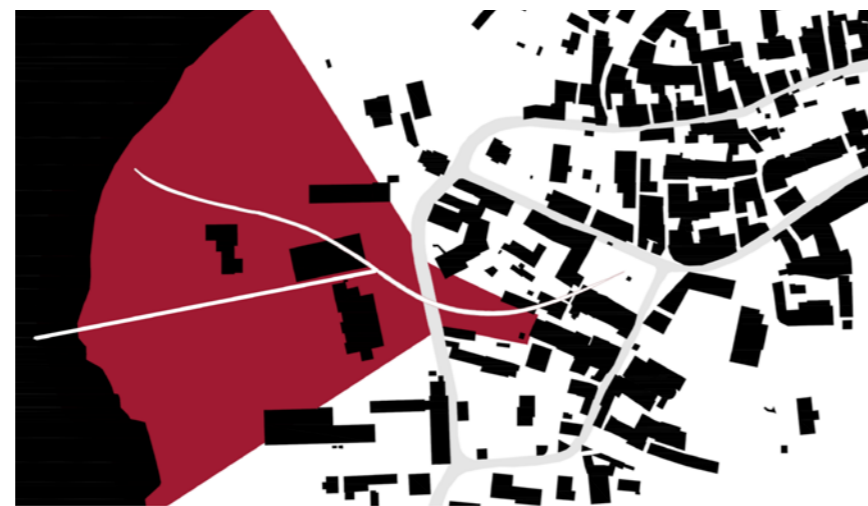


Figura 3.10 Definizione di un'area di intervento unitaria

Nel disegno di nuovi percorsi ci si è inoltre serviti dell'uso di piantumazioni come elemento di continuità tra il centro abitato e la zona lago, con l'ulteriore obiettivo di predisporre un disegno unitario degli spazi verdi cercando di minimizzare l'interruzione e la frammentazione delle entità ambientali esistenti.

Secondariamente, considerate le problematiche prima analizzate e la nuova estensione del sistema del parco, è stato poi necessario individuare una nuova distribuzione della circolazione automobilistica,

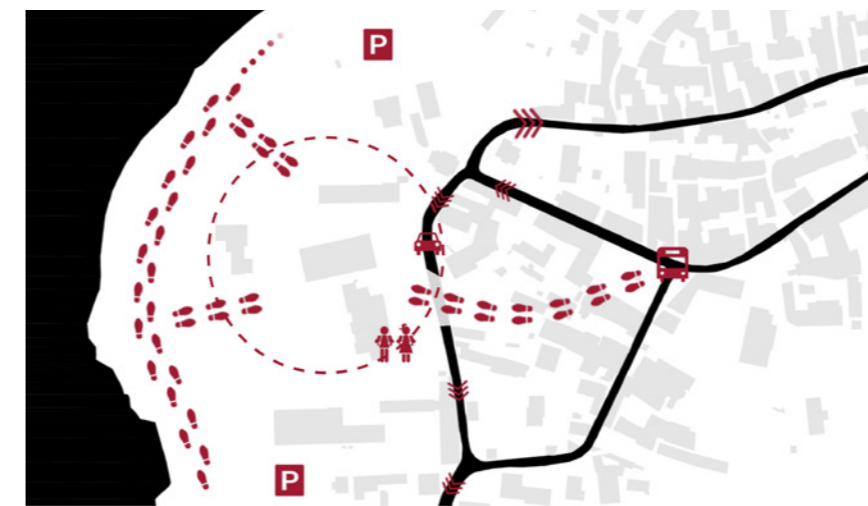


Figura 3.11 Soluzioni proposte per la mobilità

prendendo in considerazione anche l'importanza di una nuova affluenza turistica.

Dal punto di vista automobilistico è stato spostato il parcheggio del Precampel più vicino all'attracco del battello, dove attualmente vi sono le vasche e le pompe che gestiscono il sistema fognario di tutta Bosisio; queste vasche, soprattutto nel periodo estivo, producono esalazioni maleodoranti proprio dove i turisti si fermano. Con questa soluzione viene restituita al verde l'attuale zona dedicata a parcheggio, che gode di uno dei migliori scorci sul lago, e si destina a zona di sosta una parte meno attrattiva.

Lavorando su differenti quote inoltre, è stato possibile lasciare il parcheggio ad un'altezza leggermente superiore rispetto al parco del Precampel, facendo in modo che potesse rimanere nascosto alla vista dalla zona lago. Per agevolare la circolazione nei momenti di massima affluenza, è stato invertito il senso di marcia di via Giuseppe Parini così da evitare di percorrere il sistema di sensi unici che conduce al Precampel e da smistare il traffico in uscita dal parcheggio dividendolo su due vie alternative.

### 3.3.2 LA DESTINAZIONE SPORTIVA DELL'AREA PRECAMPEL

Ad un primo disegno dell'ambiente fisico è stata associata una attenta valutazione delle esigenze e delle opportunità sviluppabili sul territorio. La creazione di nuovi spazi infatti non può che essere direttamente relazionata ad una rifunzionalizzazione degli stessi.

La forte attrattiva sportiva esercitata da Bosisio Parini non trovava adeguate strutture di supporto e sviluppo delle attività svolte. Si è deciso per questo motivo di ingrandire l'edificio che ospita la palestra comunale che, congiuntamente alla necessità di recintare il polo scolastico, va ad abbracciare con il nuovo volume il cortile scolastico e definisce uno spazio intimo, sicuro e organizzato. Il nuovo volume della palestra, che interagisce direttamente con l'asse principale che dal paese porta al lago, ha quindi un'ambivalenza: la volontà di una chiusura spaziale del polo scolastico e l'intuizione di un inquadramento del percorso pedonale, al fine di conferirgli una connotazione spaziale forte e definita. Questa direttrice, abbracciata da un ambiente dal carattere fortemente sportivo, non arresta la sua corsa negli spazi verdi del Precampel,

ma va a sfociare nel lago stesso, trasportando con sé la vocazione di un potenziamento del polo sportivo, non solo sulla dimensione terrena, ma anche su quella lacustre. Ne deriva la scelta di disegnare un pontile che possa servire l'attività esistente dei canoisti e allo stesso tempo la proposta di una nuova attività, il wakeboard<sup>2</sup>. All'interno della palestra è stata predisposta una sala per tutte quelle attività integrative rispetto agli sport praticati sull'acqua (come ad esempio il vogatore per la canoa ed i trampolini elastici per il wakeboard), in modo da legare più fortemente la palestra al territorio e alle attività sportive tipiche del lago.



Figura 3.12 Il nuovo volume della palestra

<sup>2</sup> L'intervento è stato pensato nel rispetto della zone di pertinenza del canneto.

### 3.3.3.4 Il wakeboard: una novità attrattiva per il lago di Pusiano

L'introduzione di nuovi sport acquatici come il wakeboard permette agli utenti di vivere ancora di più il lago: il molo, disegnato sulla direttrice della palestra, è interamente rivolto allo sport; da lì si parte con le canoe e si pratica il wakeboard.

Il wakeboard è uno sport che nasce dalla fusione dello sci nautico e dello snowboard; di recente diffusione, è praticato principalmente nei laghi. L'atleta, utilizzando

Figura 3.13 Un atleta che pratica il wakeboard



un bilancino sul quale vengono poste le mani e una tavola simile a quella usata per lo snowboard, compie salti e acrobazie. Un impianto dedicato al wakeboard su laghi, consiste mediamente in 5-6 tralicci posizionati fuori o dentro l'acqua e collegati da una corda detta *clable*. I *riders*, ovvero gli atleti, vengono trainati attraverso la superficie del lago, ma in questo caso assolutamente senza onde, consentendo di percorrere un percorso prestabilito costituito da elementi che permettono l'esecuzione di salti o acrobazie.

Il lago di Pusiano presenta caratteristiche ottimali per la pratica di questo sport che richiede acque calme ed assenza di vento. La scelta di collocare un wakepark a Bosisio Parini è territorialmente strategica poiché gli impianti di questo tipo più vicini si trovano a distanza medio-lunga: Milano, Colico ed Ivrea. Si tratta oltremodo di uno sport ecosostenibile in quanto può essere praticato attraverso un impianto elettrico a trazione, che non inquina e non disturba dal punto di vista acustico. Nella palestra è inoltre prevista una sala di acrobatica, che offre la possibilità di integrare e sviluppare le abilità necessarie per la pratica del wakeboard.



### 3.3.4 UNA FITTA RETE DI FUNZIONI

Dalla definizione di nuovi spazi da destinare alle attività sportive, ne è derivata l'esigenza di creare attorno ad essi una rete di funzioni che potessero servire una possibile affluenza turistica e allo stesso tempo supportare una tematica che contraddistingue fortemente le attività del parco Precampel, ovvero l'organizzazione di eventi. Per rendere questo possibile è stato necessario prima di tutto definire un disegno degli spazi esterni; in accordo con gli allineamenti definiti dagli edifici e con le inclinazioni naturali del parco, è stata quindi disegnata una piazza, sulla quale si affacciano tutti gli edifici dell'area Precampel, al fine di metterli in diretta connessione gli uni con gli altri.

*“Ogni volta che si entra nella piazza ci si trova in mezzo ad un dialogo.”<sup>1</sup>*

La piazza può ospitare gli eventi che si svolgono nell'area, appoggiandosi all'edificio di Casa Francesco, destinato ai servizi di ristorazione e nel quale vengono ubicati tutti gli spazi di supporto agli eventi, quali il deposito, le cucine ed i bagni.

<sup>1</sup> Da *Le città invisibili*, Italo Calvino

Villa Rosa presenta una funzione correlata alle attività turistiche e di promozione locale legate alla presenza del parco pubblico, della pista ciclopedonale, del lago (con la vicina darsena da cui parte il battello) e dei luoghi storici di Bosisio (percorso pariniano e ville); subisce inoltre l'ascendente sportivo dettato dalla prossimità del molo, offrendo servizi di supporto agli sportivi che praticano attività all'esterno.

La palestra, in occasione delle feste dello sport organizzate dalla pro loco e da altre associazioni ivi

**Figura 3.14** Connessioni funzionali nell'area



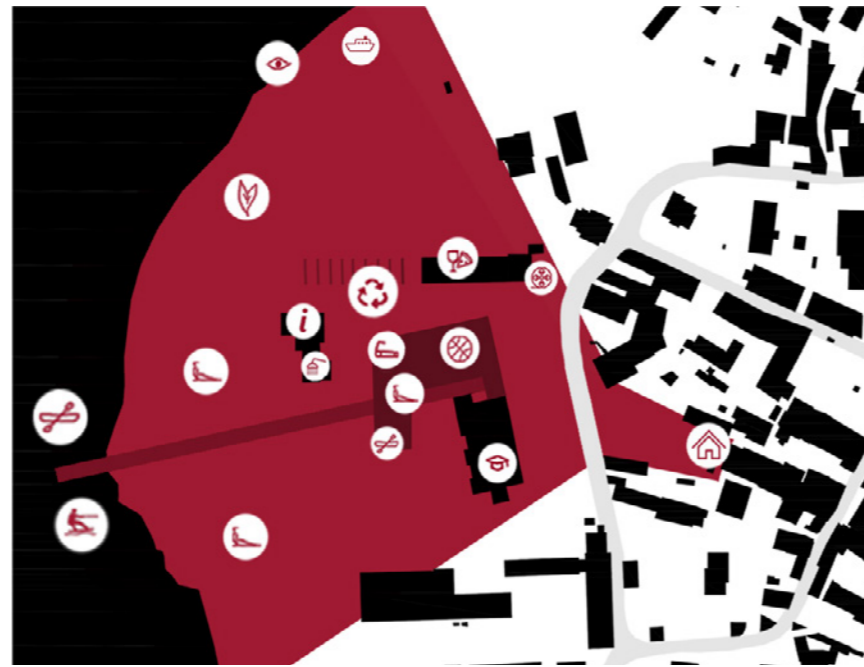


presenti, può espandere il suo spazio verso l'esterno con stand in piazza per coinvolgere la popolazione. La piazza dunque connette spazialmente e funzionalmente tutti gli edifici dell'area.

Le stesse aree verdi all'interno del parco comprendono oltremodo degli spazi disegnati che posso anch'essi essere sfruttati per l'organizzazione di eventi. Si creano così funzioni correlate che si supportano ed alimentano vicendevolmente, ricercando un'armonia tra la dimensione urbana e quella paesaggistica. Si è scelto infine di collocare nel nucleo del paese un'area residenziale, avente allo stesso tempo un'accezione sociale. La riqualificazione di Villa Alba è infatti riferita principalmente alle esigenze derivanti dalle famiglie che cercano ospitalità a Bosisio per via della struttura ospedaliera La nostra famiglia.

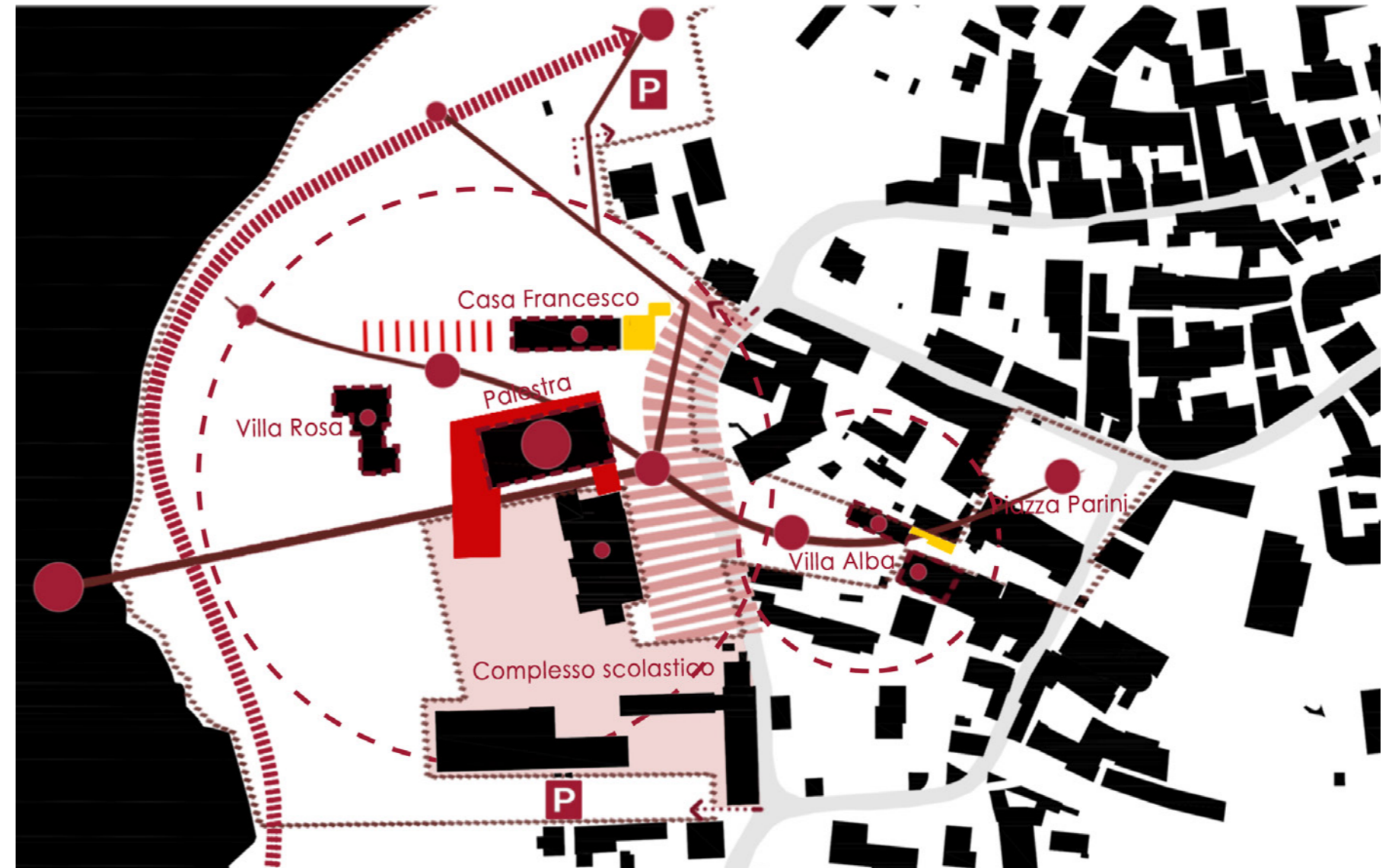
Complessivamente il progetto dimostra la volontà di riqualificare l'area di intervento attraverso l'introduzione di nuove funzioni, strettamente legate al territorio e fortemente attrattive.

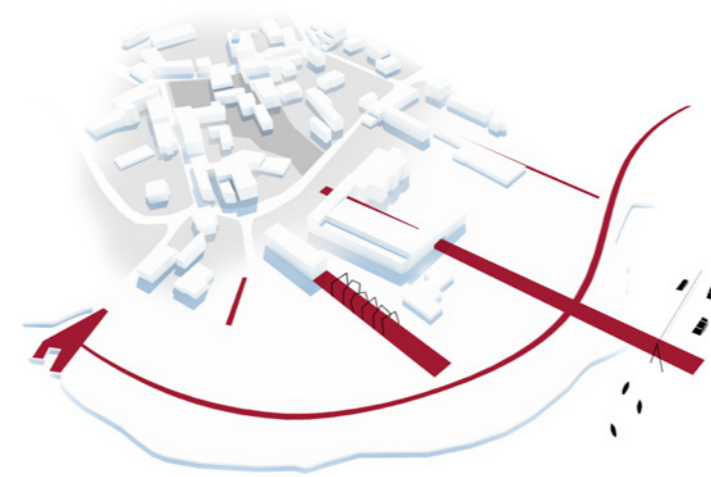
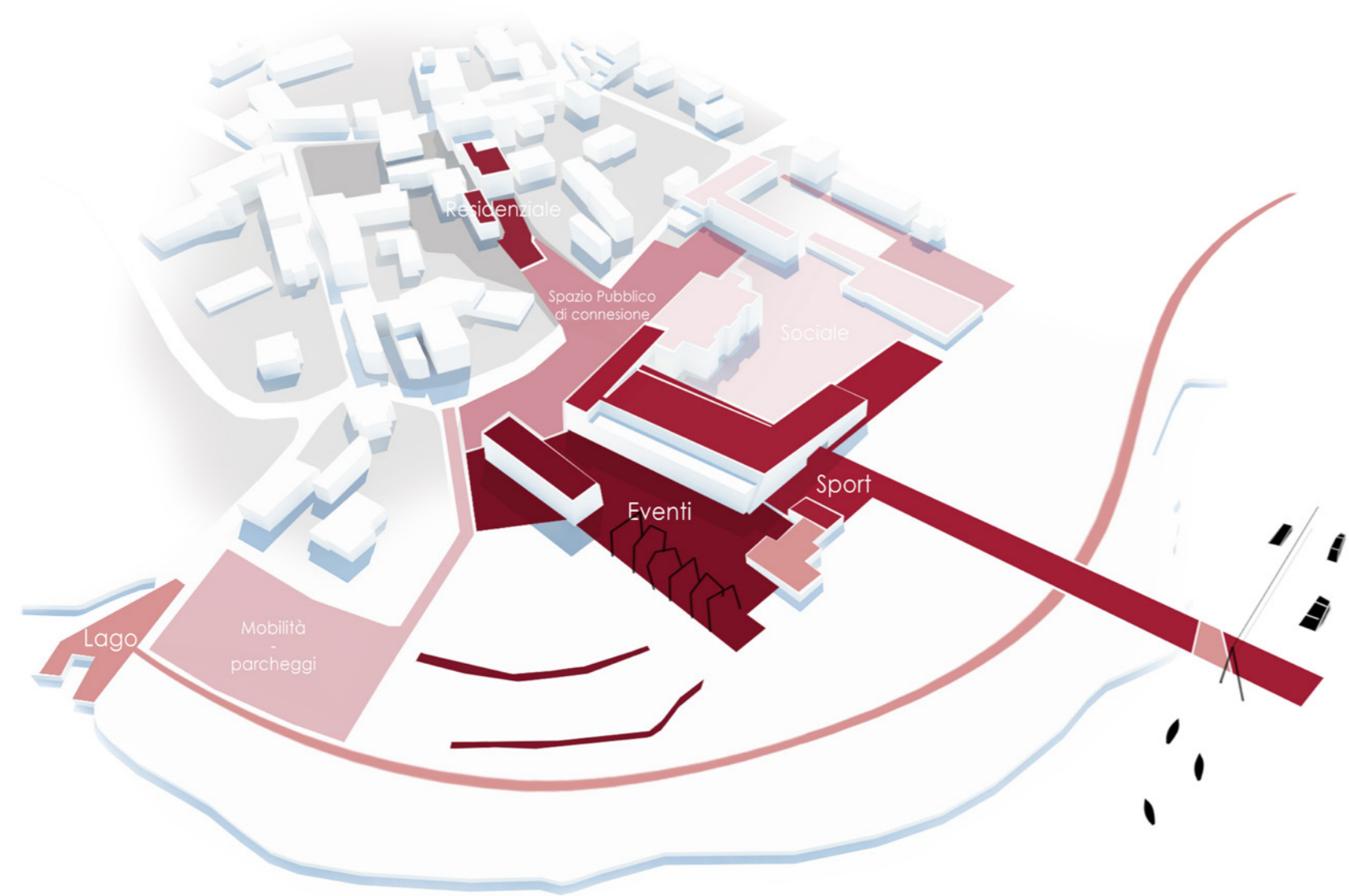
**Figura 4.16** A destra e nella pagina a fianco: legenda e indicazioni complessive dell'intervento



**Figura 3.15** Le funzioni e i servizi offerti dall'area

Area di intervento	-----	Percorsi preferenziali	—
Passaggi carrabili	←-----	Ciclopeditone	
Punti di interesse	●	Parcheggi	P
Aree di interesse	○	Edifici recupero	□
Demolizione	■	Polo scolastico	□
Nuova costruzione	■	Area destinata al pubblico	





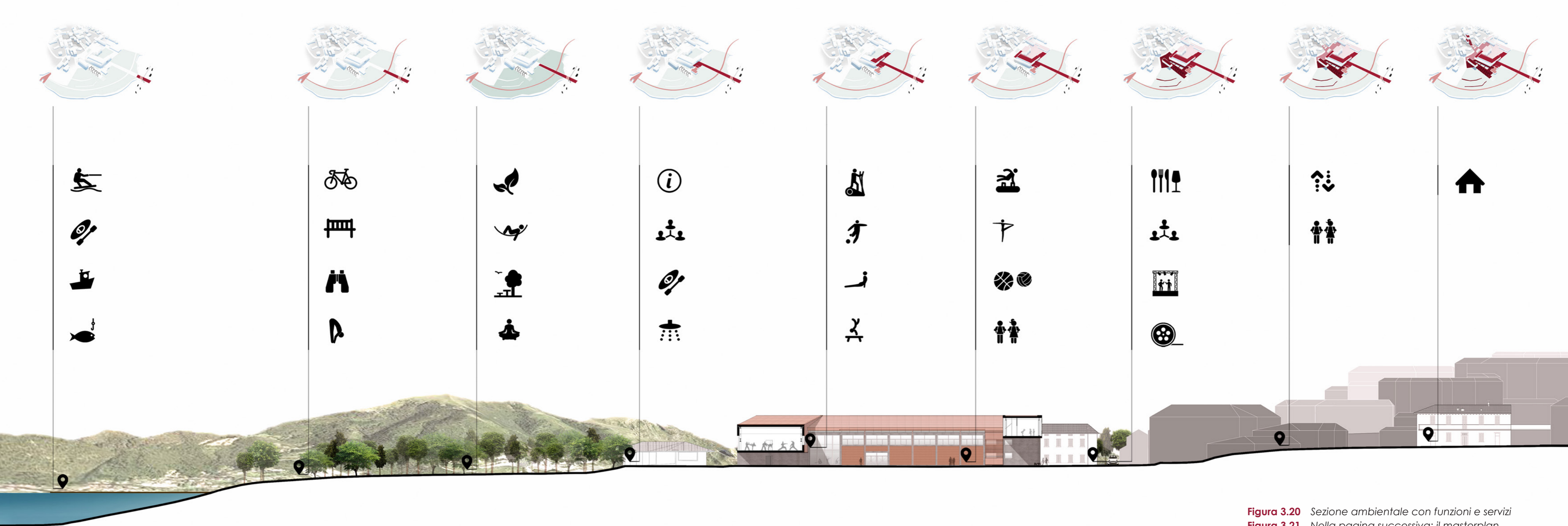
Il layout dell'area si mostra molto semplice; vi è infatti fondamentalmente un'alternanza tra le direttrici principali e gli spazi verdi. Le prime, oltre a identificarsi con i percorsi pedonali privilegiati, hanno anche una forte connotazione funzionale, nello specifico le tre più marcate si identificano con l'asse sportivo, il prolungamento dell'area eventi e il percorso naturale in continuità con la riva del lago.

La compenetrazione tra queste ultime e il verde, che segna l'impronta di un percorso che dal paese arriva fino al lago, conferisce all'intera area una dimensione unitaria in cui la natura e l'artificio si fondono in un'unica entità.

**Figura 3.17** Nella pagina che precede: le destinazioni funzionali prevalenti nelle diverse aree

**Figura 3.19** Sopra: i tratti distintivi del disegno di masterplan, con una marcata connotazione funzionale

**Figura 3.18** Sotto: il disegno degli spazi verdi e il loro flusso dal centro del paese fino alla grande apertura verso il lago



**Figura 3.20** Sezione ambientale con funzioni e servizi  
**Figura 3.21** Nella pagina successiva: il masterplan



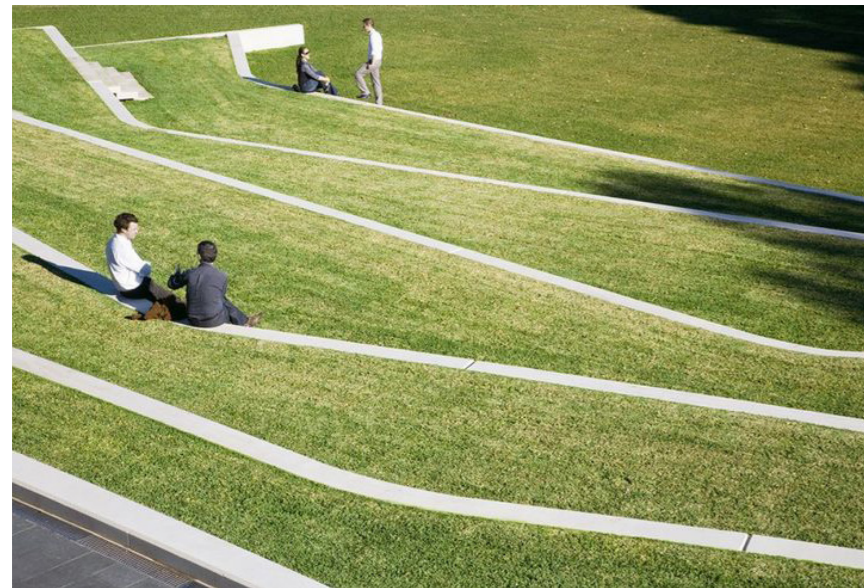
#### 3.3.4.1 L'arredo urbano

L'arredo urbano riflette la natura ricreativa e naturalistica del progetto. La pavimentazione, con colori caldi, prende parte ad uno scambio ritmato con il verde e le sedute, le quali giocano oltremodo un ruolo fondamentale nella continuità del disegno urbano. Le lunghe panchine lignee, che trovano origine direttamente dal livello della pavimentazione, partecipano sia all'atmosfera sportiva del luogo (servendo infatti come strumenti di appoggio per gli *skater* nel parco), che a quella ricreativa (risultando utili al fine dell'allestimento del cinema all'aperto), pur non dimenticando la loro primaria vocazione al relax.

Lo stesso fanno le sedute che disegnano il verde del parco, seguendo la sinuosità della riva e le pendenze naturali; anch'esse possono essere considerate infatti utili al servizio degli eventi, ma allo stesso tempo contribuiscono a creare una dimensione dello "stare", tipica di un parco, contrapposta a quella del passaggio, del movimento e delle attività sportive.

Un parco è infatti prima di tutto un luogo dove è possibile vivere la natura e riposarsi dimenticando la frenesia cittadina.



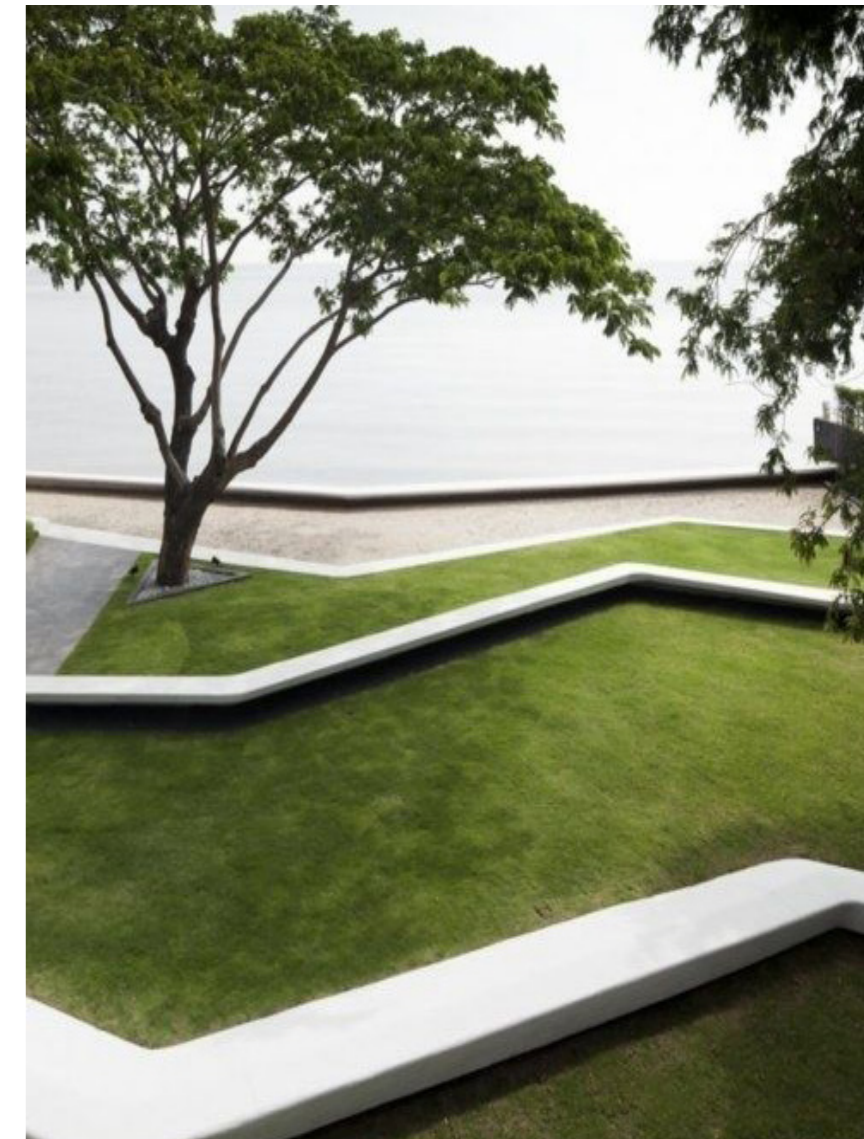
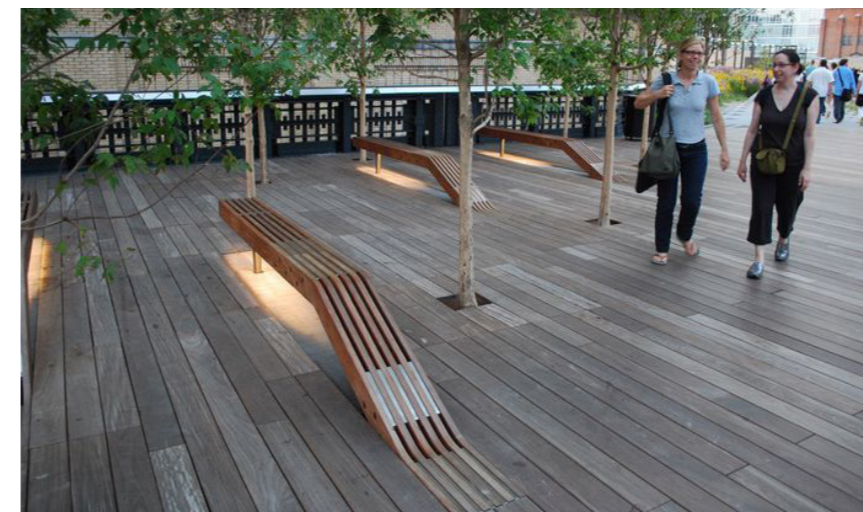
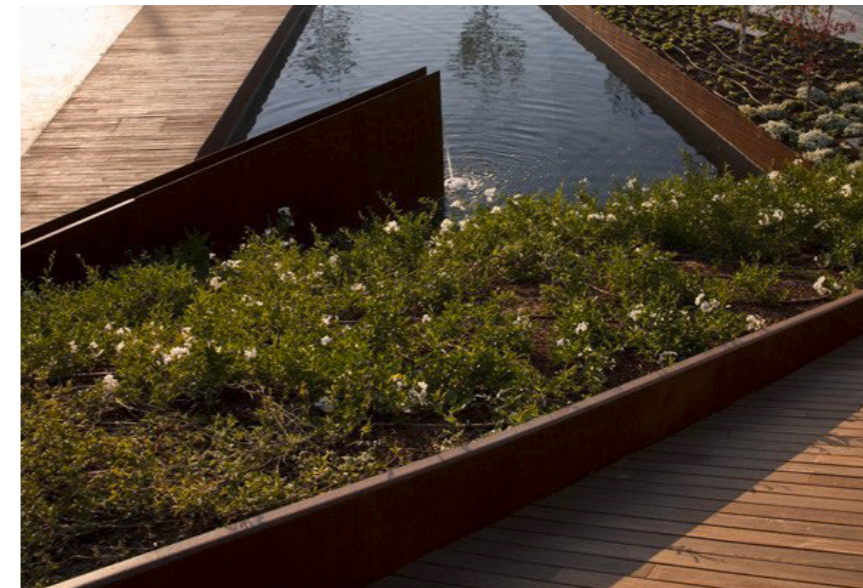
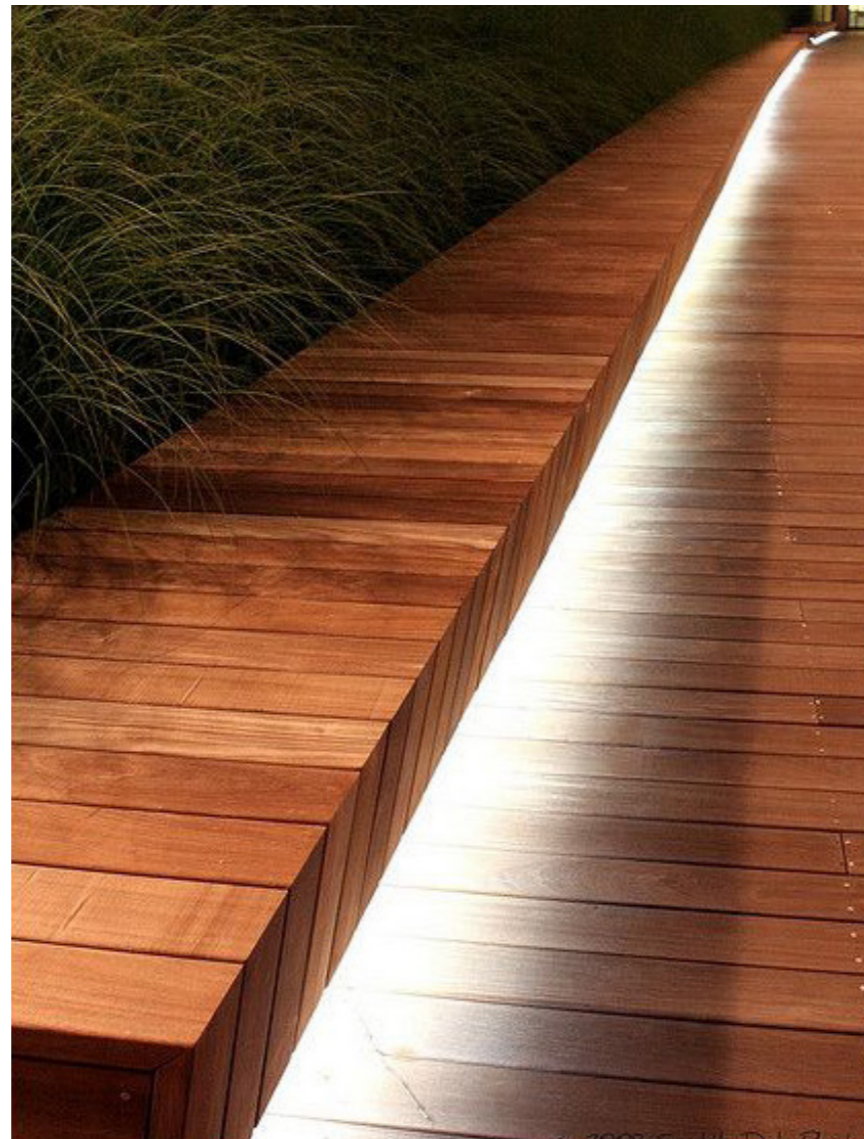


**Figura 3.22** Sopra: riferimento per il disegno del verde nel parco.

**Figura 3.23** Nella pagina che precede: riferimento progettuale per le panchine per gli skater; The High Line Park, New York.

**Figura 3.24** A destra: riferimento progettuale per le sedute; supporto all'illuminazione notturna

**Figure 3.25 - 3.26 - 3.27** Nelle pagine successive: altri riferimenti progettuali



### 3.3.5 IL PROGETTO PER CASA FRANCESCO

In accordo con le esigenze rilevate per il comune, si è scelto dunque di adibire un ampio spazio agli eventi; quest'area è strettamente relazionata alla funzione destinata a Casa Francesco, altro edificio da noi oggetto di riuso, la cui peculiarità consiste proprio nel prolungarsi longitudinalmente con una struttura esterna al servizio dello spazio ricettivo. Questa struttura infatti, progettata come una successione variabile di portali fissati a terra, può rivestire un semplice ruolo nel disegno dello spazio urbano, ma eventualmente anche essere coperta creando un ambiente di supporto alla funzione di ristorazione che caratterizza Casa Francesco nel corso degli eventi più significativi organizzati nel parco. Questa dinamica di interconnessione tra gli spazi esterni ed interni viene introiettata nell'edificio stesso, il quale viene "svuotato" al fine di creare un ambiente mediatore tra dentro e fuori, su ispirazione del recupero dell'ex zuccherificio Eridania, attualmente Auditorium, progettato da Renzo Piano a Parma.

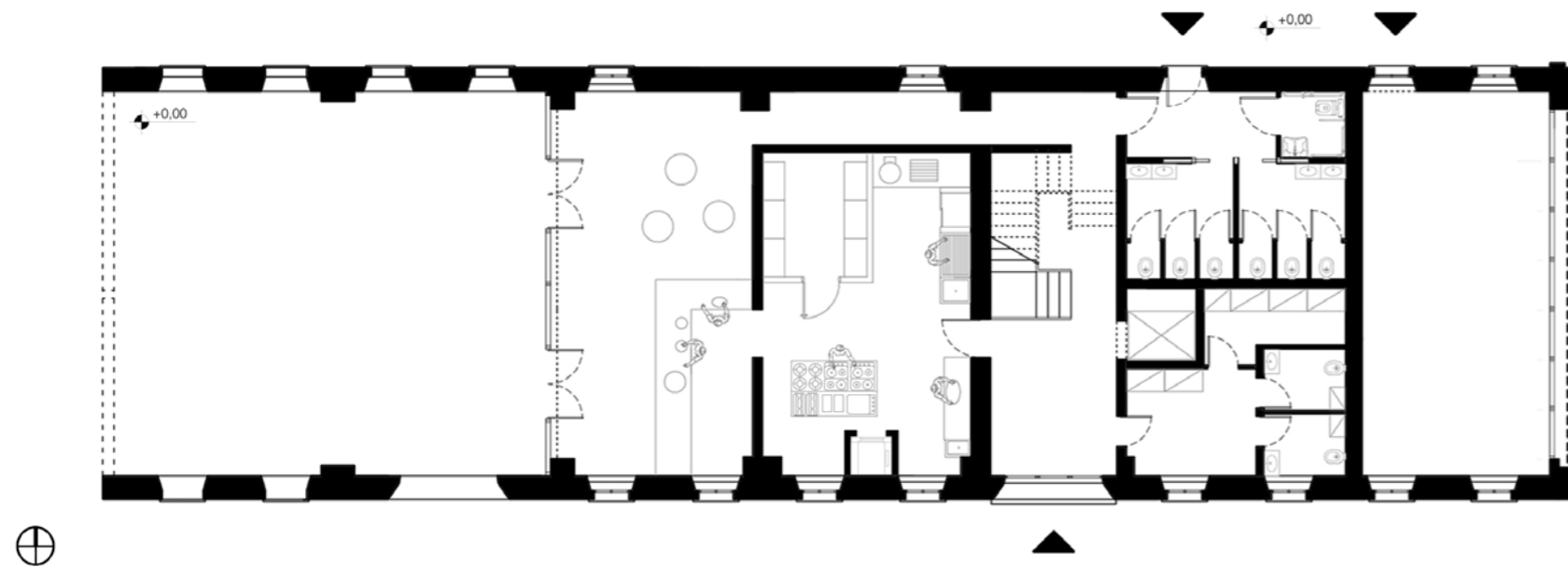
**Figura 3.28** Renzo Piano, Auditorium Pagaini, Parma

**Figura 3.29** High Trestle Trail Bridge, Central Iowa, USA



All'interno di Casa Francesco troviamo dunque uno spazio di ristoro organizzato su due livelli: le cucine e il bar al piano terreno e il ristorante al primo piano. Al piano terra, servizi igienici e un deposito all'estremità est del volume, fanno da supporto agli eventi dell'area Precampel, così come ad ovest la successione di portali, i quali hanno una diretta connessione con l'area ristoro e il bar che, trovandosi a quota zero, può sfruttare l'interazione tra gli spazi interni e quelli esterni.

**Figura 3.30** Pianta piano terra con indicazione di demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi)



PROSPETTO OVEST



PROSPETTO SUD

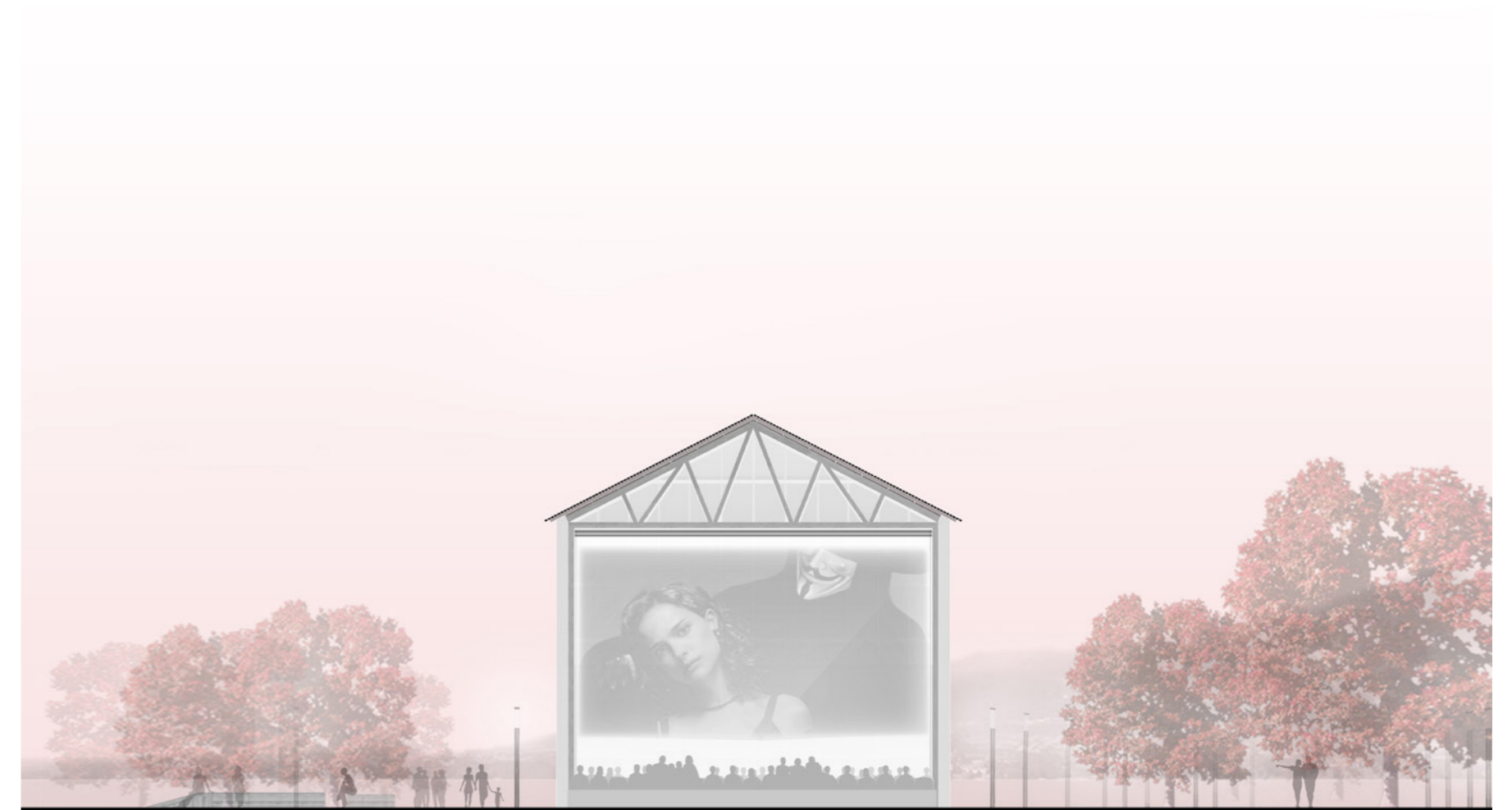
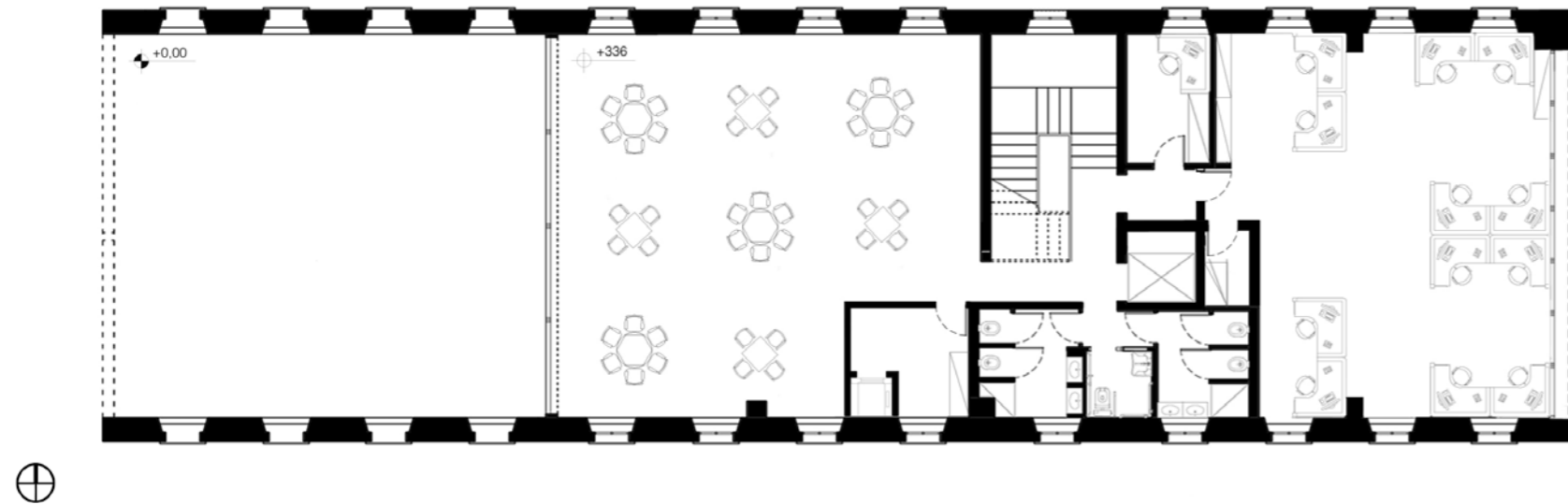


La facciata est, anch'essa vetrata, può essere schermata esternamente ed utilizzata per la proiezione di film all'aperto nella stagione estiva.

Al piano superiore invece, si affaccia sul paese un openspace destinato alle associazioni sociali e culturali, prima collocate all'interno della palestra.

La sala del ristorante è valorizzata da una vista panoramica sul lago, essendo infatti caratterizzata da una grande vetrata che disegna l'intera facciata ovest.

**Figura 3.31** Pianta piano terra con indicazione di demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi)



PROSPETTO EST



PROSPETTO NORD

04

---

STATO DI FATTO

L'oggetto principale del nostro intervento, nonché elemento focale nel progetto di masterplan, risulta dunque essere la palestra comunale.

Ciò che seguirà nel capitolo sarà dunque un'indagine approfondita di questo edificio dal punto di vista del rilievo geometrico, materico, delle patologie di degrado e della sua natura tecnologica.

Il rilievo è infatti un'operazione finalizzata alla completa conoscenza dell'opera e da cui è possibile ricavare precise informazioni, sia delle parti visibili che di quelle non visibili. Il rilevamento pone quindi come fondamentale oggetto d'indagine non solo le parti esterne, ossia quelle che forniscono l'immagine dell'opera, ma anche l'interno delle murature, come le parti strutturali, nascoste alla vista.

Obiettivo del lavoro di rilievo è dunque una conoscenza precisa dell'opera, che è stata esaminata secondo un numero definito di aspetti, pertinenti e criticamente approfonditi, in vista di operazioni e interventi appropriati.

## 4.1 LA PALESTRA COMUNALE

La palestra, utilizzata da numerose associazioni sportive e dal complesso scolastico, è un edificio degli anni ottanta, con una marcata struttura in calcestruzzo armato. Benché sia stata recentemente ristrutturata presenta ancora delle carenze nelle prestazioni termiche e degli evidenti problemi di degrado. La funzione, nella sua accezione più ampia, è una delle prerogative più consistenti di questo edificio.

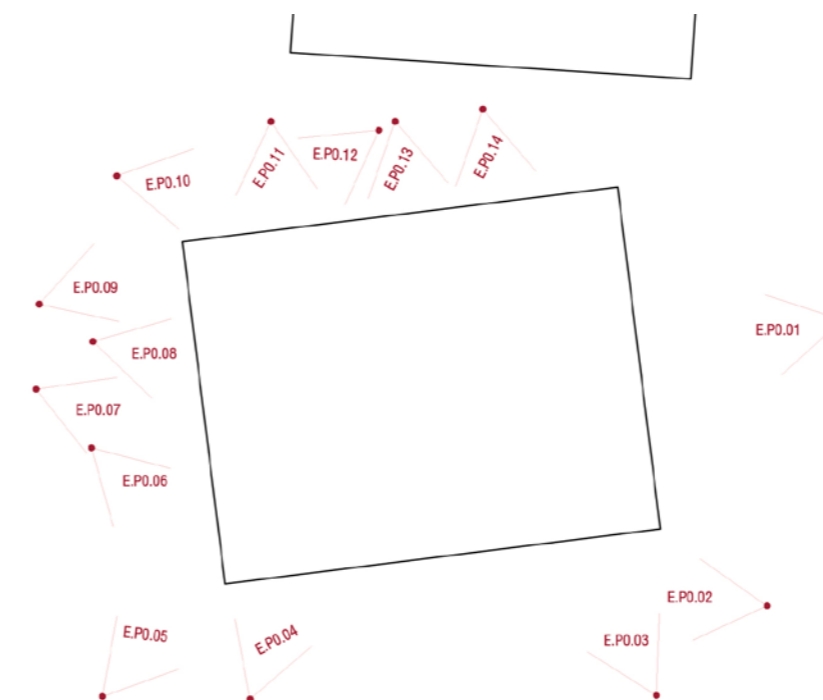
### 4.1.1 IL RILIEVO FOTOGRAFICO

L'ampio uso che è stato fatto del rilievo fotografico è dovuto al fatto che esso è risultato indispensabile, inizialmente per una prima indagine complessiva dell'oggetto, successivamente per un più accurato approccio al rilievo materico e del degrado.

Di seguito verranno riportati i principali risultati del suddetto rilievo, elencando le precise posizioni dei centri ottici delle camere da cui sono state scattate le fotografie nel corso del sopralluogo.

**Figura 4.1** Nella pagina successiva: legenda delle schede di rilievo e sezione orizzontale con posizione delle camere e direzione dei coni ottici

<b>Luogo</b>	Via A. Appiani, 10 Bosisio Parini, 23842 (LC)	 E.Pxy	Cono ottico esterni	 DE.Pxy	Cono ottico dettaglio
<b>Edificio</b>	Palestra comunale				
<b>Soggetto</b>	Rilievo esterni	 E.Px.yy	n° scatto	 DE.Px.yy	n° scatto
<b>Volume</b>	7622.88 mc	 Piano	Piano	 Piano	Piano
		 Presa esterna	Presenza esterna	 Dettaglio esterno	Dettaglio esterno



Codice E.P0.01



Codice E.P0.02



Codice E.P0.03



Codice E.P0.05



Codice E.P0.07



Codice E.P0.10



Codice E.P0.04



Codice E.P0.06



Codice E.P0.08



Codice E.P0.09



Codice E.P0.11



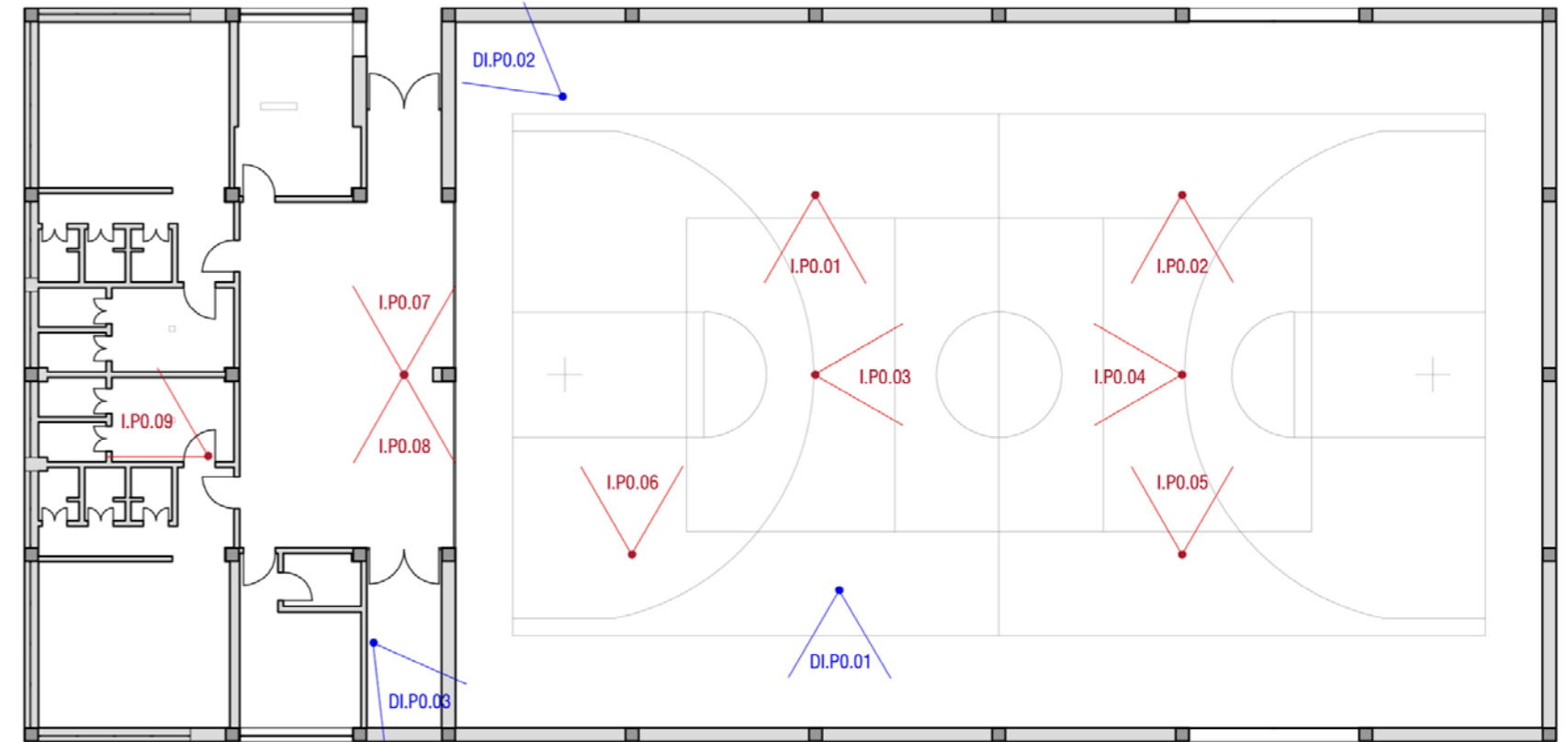
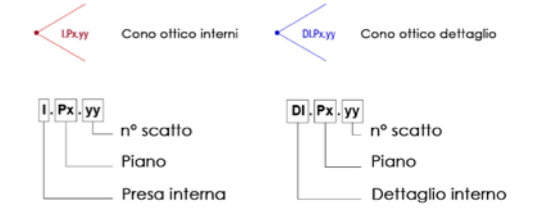
Codice E.P0.12



Codice E.P0.13



Luogo Via A. Appiani, 10  
Bosisio Parini, 23842 (LC)  
Edificio Palestra comunale  
Soggetto Rilievo interni  
Volume 7622,88 mc





Codice I.P0.01



Codice I.P0.03



Codice I.P0.05



Codice I.P0.07



Codice I.P0.02



Codice I.P0.04



Codice I.P0.06



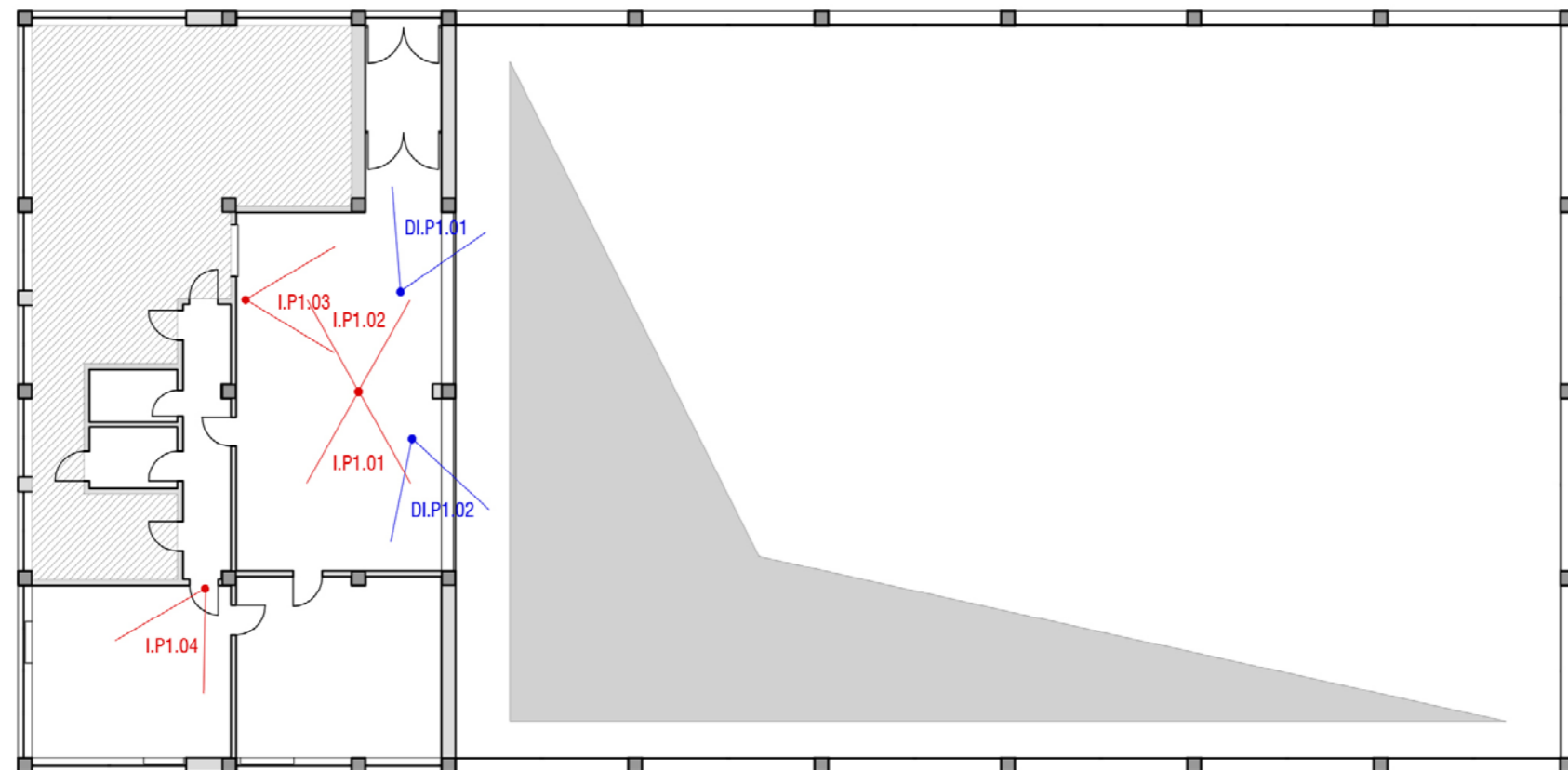
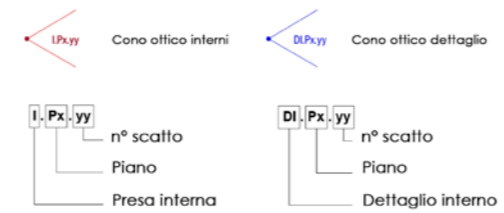
Codice I.P0.08

**Luogo** Via A. Appiani, 10  
Bosisio Parini, 23842 (LC)

**Edificio** Palestra comunale

**Soggetto** Rilievo interni

**Volume** 7622,88 mc



Codice I.P1.01



Codice I.P1.03



Codice I.P1.02



Codice I.P1.04





Codice DI.P1.01



Codice DI.P1.02

### 4.1.2 IL RILIEVO METRICO

Nel nostro caso il rilevamento geometrico è stato eseguito scegliendo il metodo diretto ovvero quello effettuato con l'ausilio di semplici strumenti di misura, quali il metro, le aste telescopiche, il filo a piombo, il distanziometro, le rotelle metriche, ecc.

Il metodo diretto consiste in due fasi distinte: una detta di campagna, l'altra invece da effettuare al tavolo da disegno. Nella prima fase si provvede all'osservazione e alla misurazione dell'opera, nella seconda a

rappresentare graficamente l'oggetto rilevato. Per poter appuntare tutte le informazioni dimensionali di un oggetto occorre munirsi di uno o più disegni, effettuati dal vero, sui quali poter disporre con ordine tutte le misure che via via si rileveranno.

#### TIPOLOGIE MURARIE

- Elemento strutturale
- Elemento non strutturale
- Non rilevabile

#### DETTAGLIO LOCALI

- Nominativo locale
- Codice destinazione d'uso
- RAI 00
- Rapporto aero-illuminante
- S = 00,00 m<sup>2</sup>
- Superficie calpestabile
- H = 0,00 m
- Altezza interna del locale

#### DESTINAZIONI D'USO

- |                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| 01 Atrio           | 10 Palestra               |
| 02 Bagno           | 11 Ripostiglio            |
| 03 Box             | 12 Sede associazioni      |
| 04 Camera          | 13 Soggiorno              |
| 05 Cantina         | 14 Sottotetto             |
| 06 Cucina          | 15 Spogliatoio            |
| 07 Deposito        | 16 Spogliatoio / Deposito |
| 08 Disimpegno      | 17 Stanza di servizio     |
| 09 Locale impianti |                           |

#### DESCRIZIONE MATERIALI

- Pavimento
- Finitura muraria
- Soffitto infisso

#### Pavimento:

- P01 Calcestruzzo
- P02 Cotto
- P03 Graniglia
- P04 Granito
- P05 Grès
- P06 Laterizio
- P07 Legno
- P08 Linoleum
- P09 Pietra
- P10 Porfido
- P11 Tappezzeria

#### Finitura muraria:

- F01 Carta da parati
- F02 Grès
- F03 Ferro
- F04 Intonaco a base di calce a grana fine
- F05 Intonaco a base di calce a grana grossa
- F06 Intonaco civile a grana fine + grès h 190 cm
- F07 Intonaco civile a grana fine + legno h 190 cm
- F08 Laterizio: mattoni forati
- F09 Laterizio: mattoni pieni
- F10 Legno
- F11 Malta cementizia
- F12 Pietra
- F13 Tappezzeria

#### Infisso:

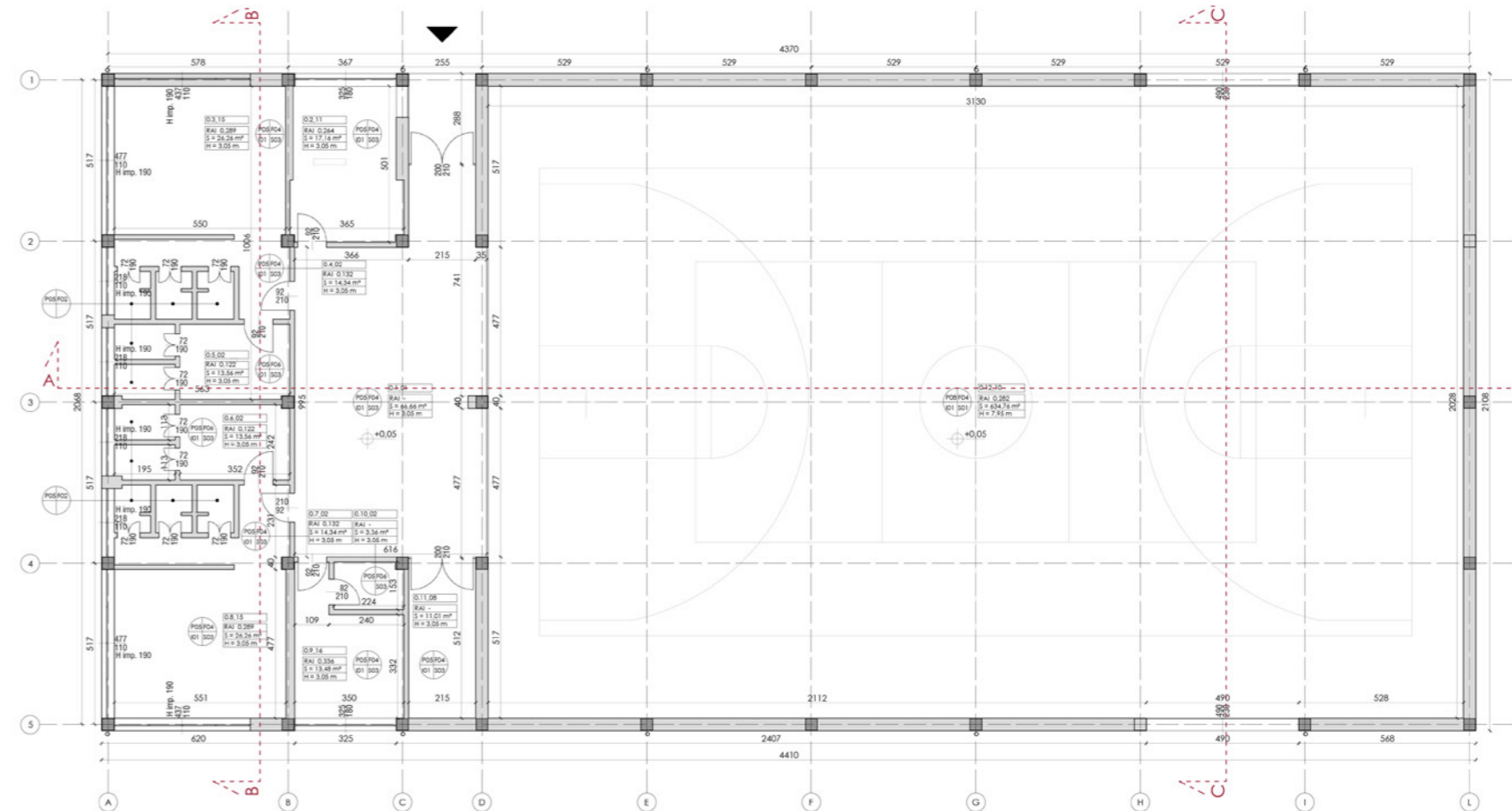
- I01 Acciaio
- I02 Ferrobattuto
- I03 Legno
- I04 Ottone
- I05 Vetro armato
- I06 Vetro liscio

#### Soffitto:

- S01 Calcestruzzo a vista
- S02 Ferro
- S03 Intonaco a base di calce a grana fine
- S04 Intonaco a base di calce a grana grossa
- S05 Laterizio
- S06 Legno
- S07 Malta cementizia

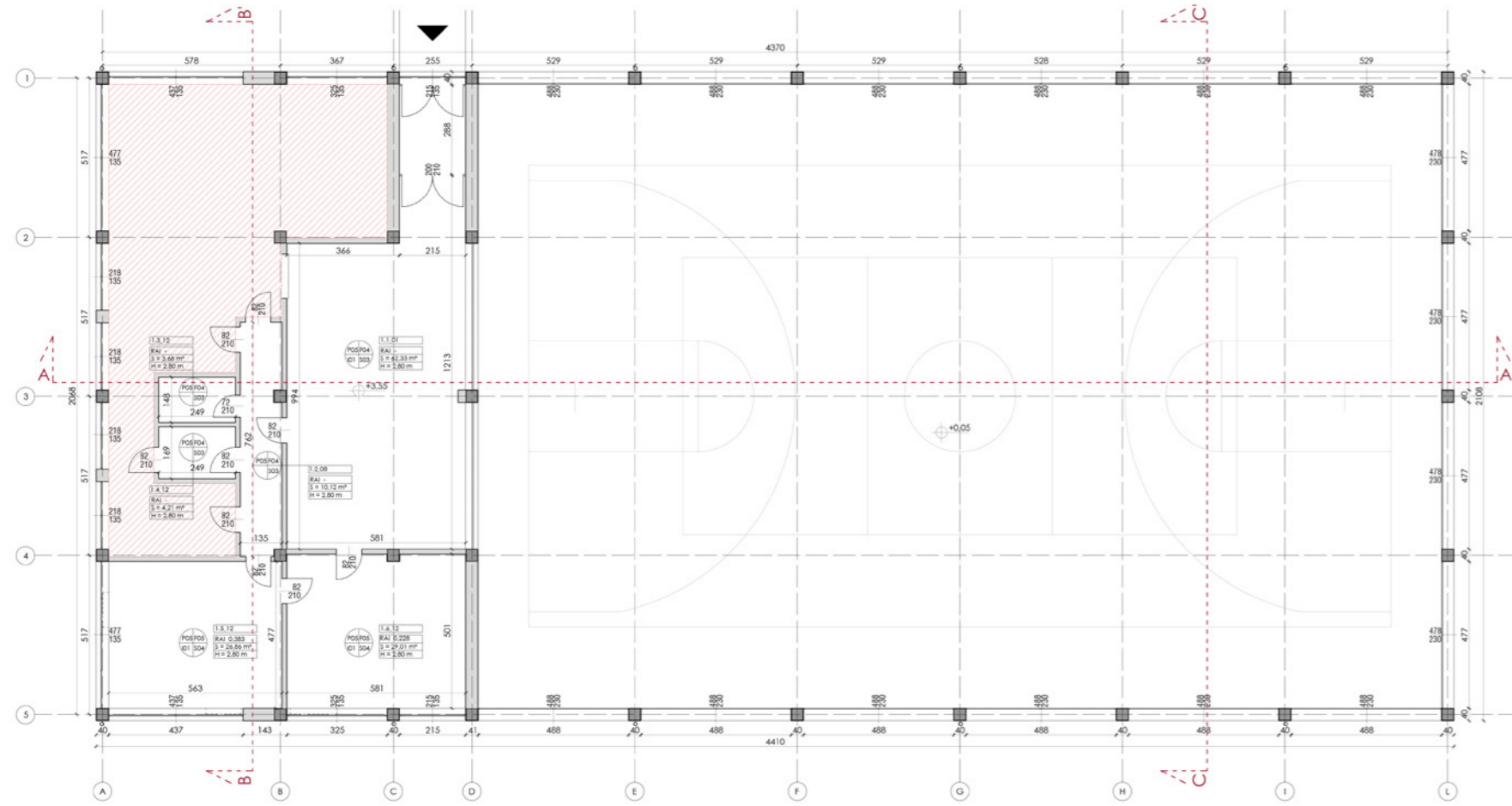
Pianta piano terra

**SUPERFICIE** 854,69 m<sup>2</sup>  
**VOLUME** 5717,13 m<sup>3</sup>



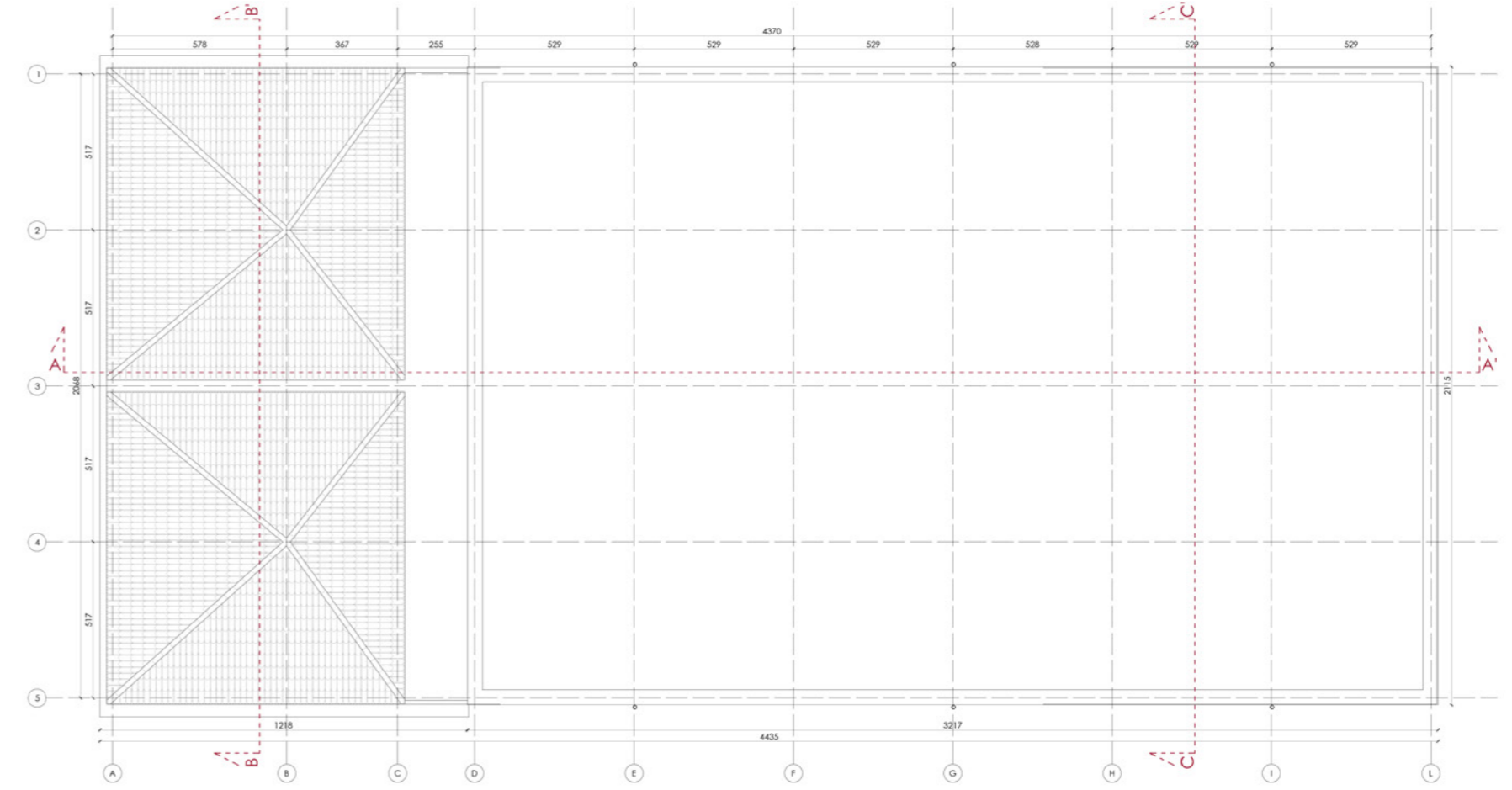
Pianta piano primo

SUPERFICIE 218,25 m<sup>2</sup>  
VOLUME 611,10 m<sup>3</sup>

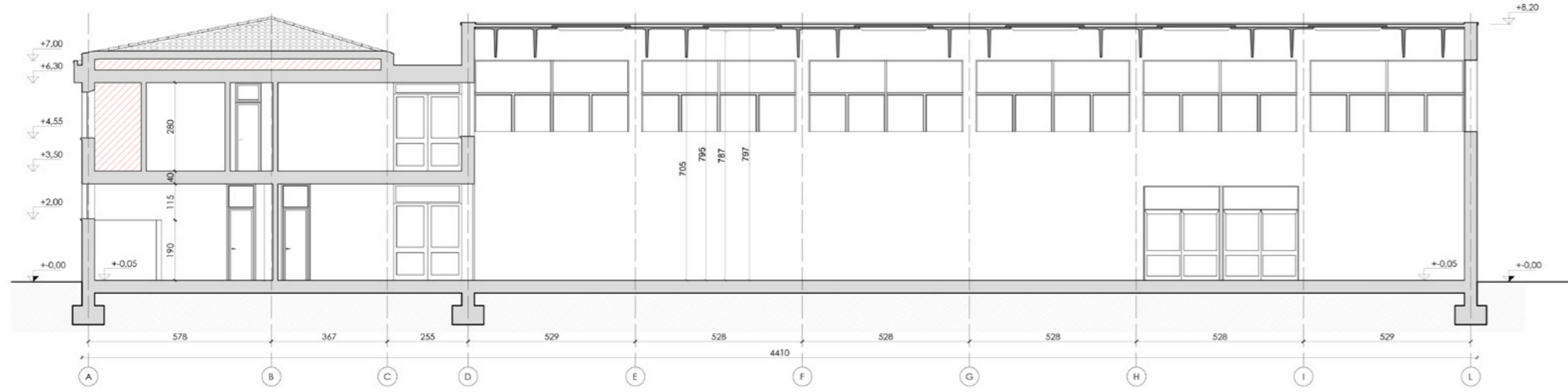


Pianta piano copertura

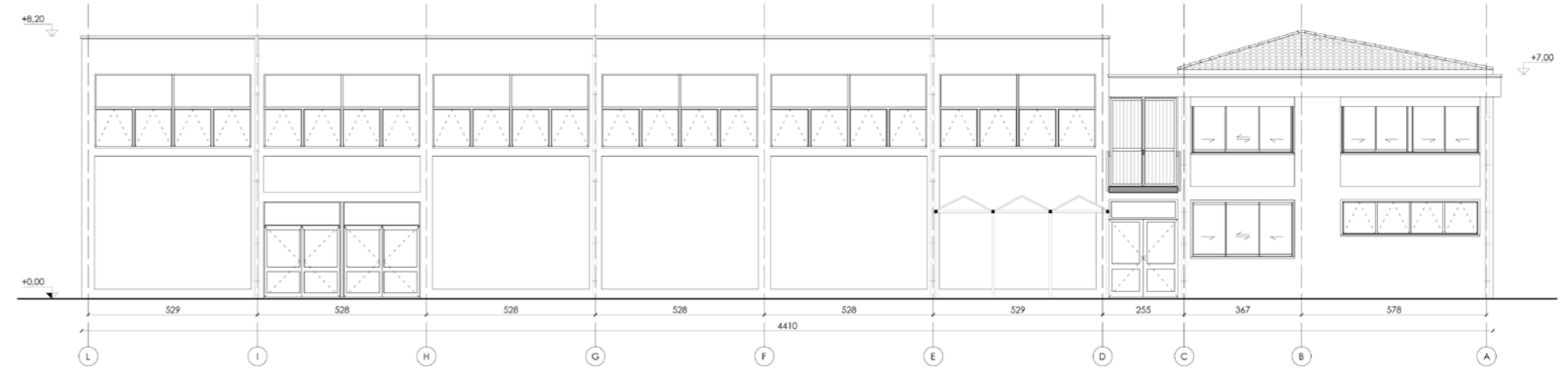
SUPERFICIE 942,40 m<sup>2</sup>  
VOLUME --- m<sup>3</sup>



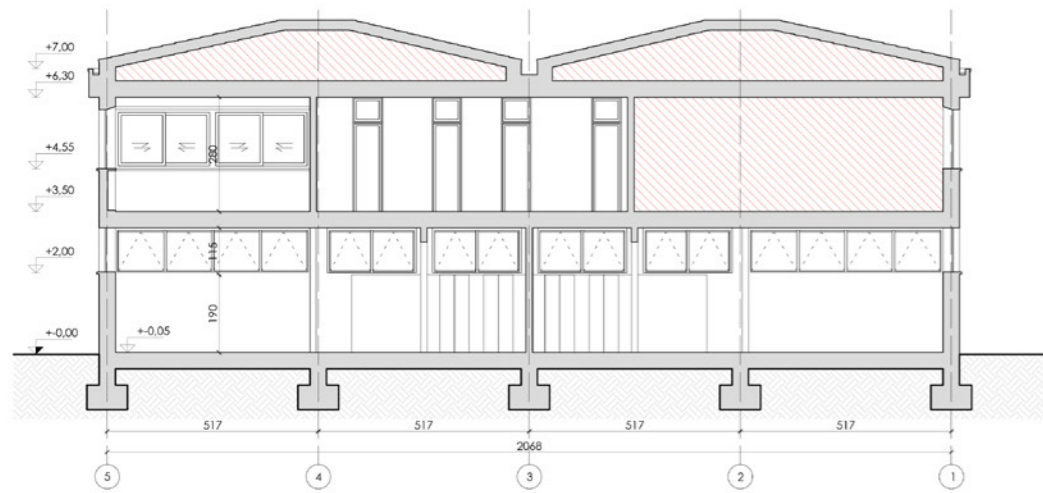
Sezione AA



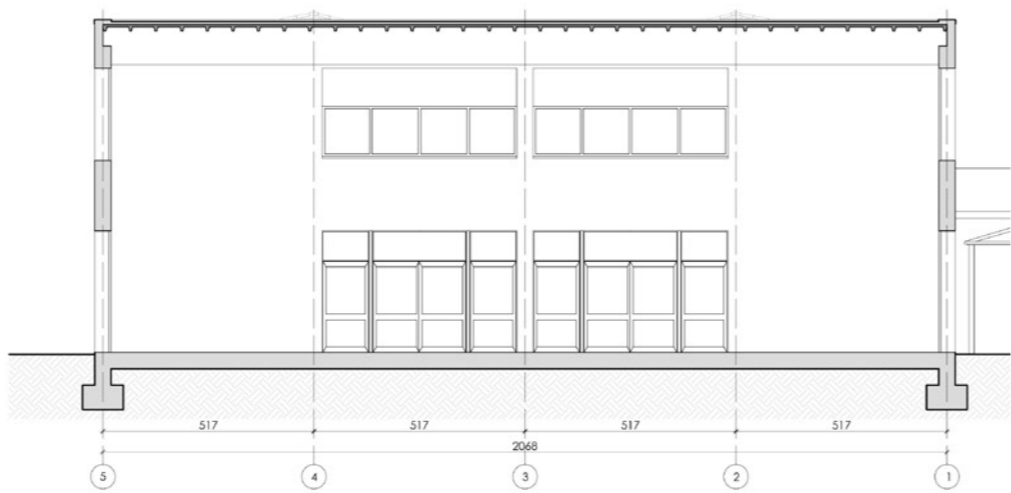
Prospetto Sud



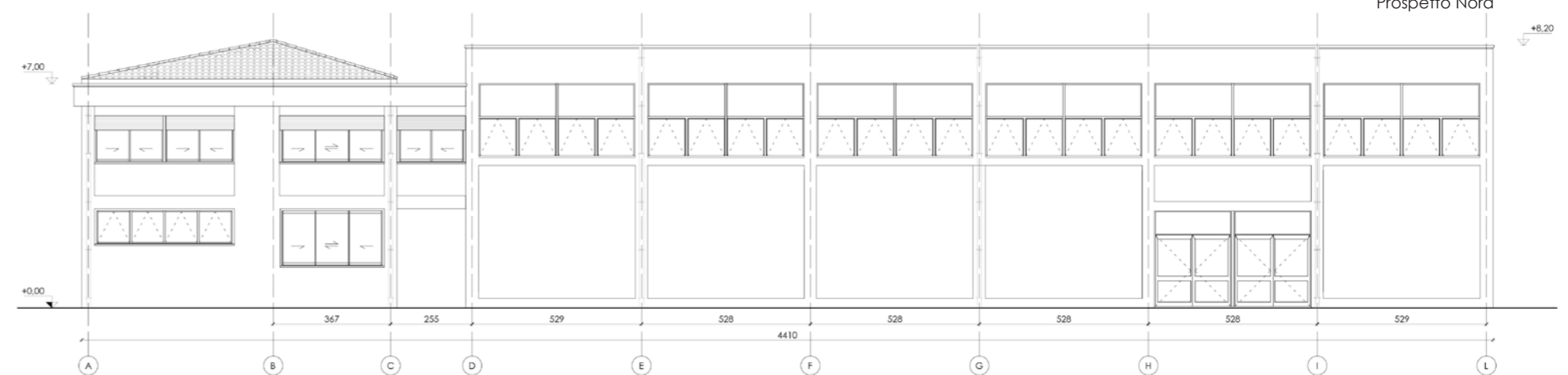
Sezione BB



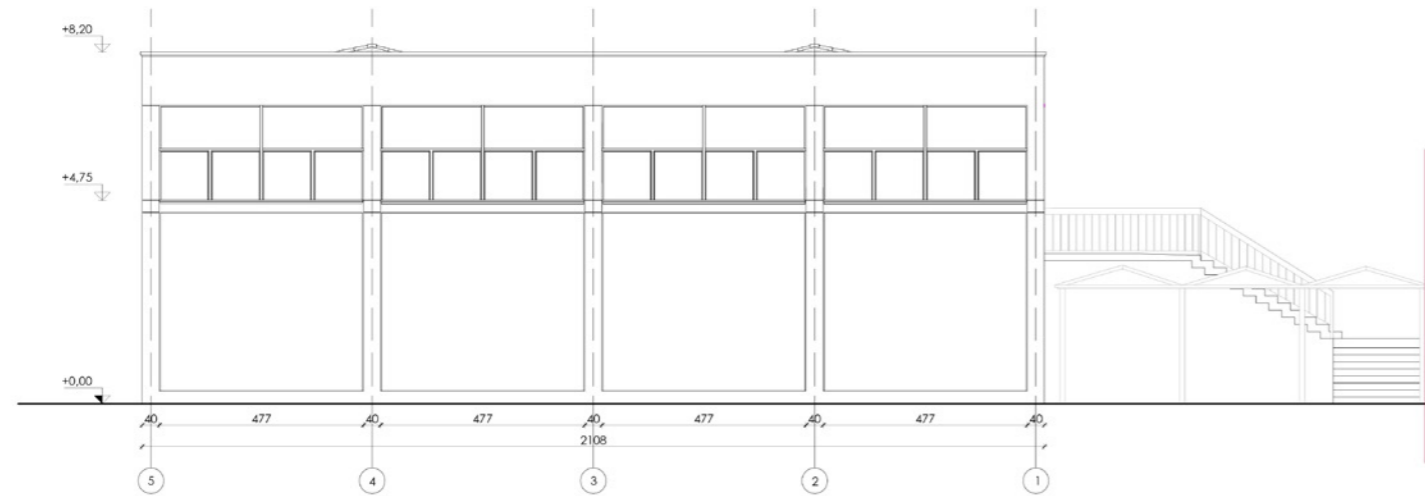
Sezione CC



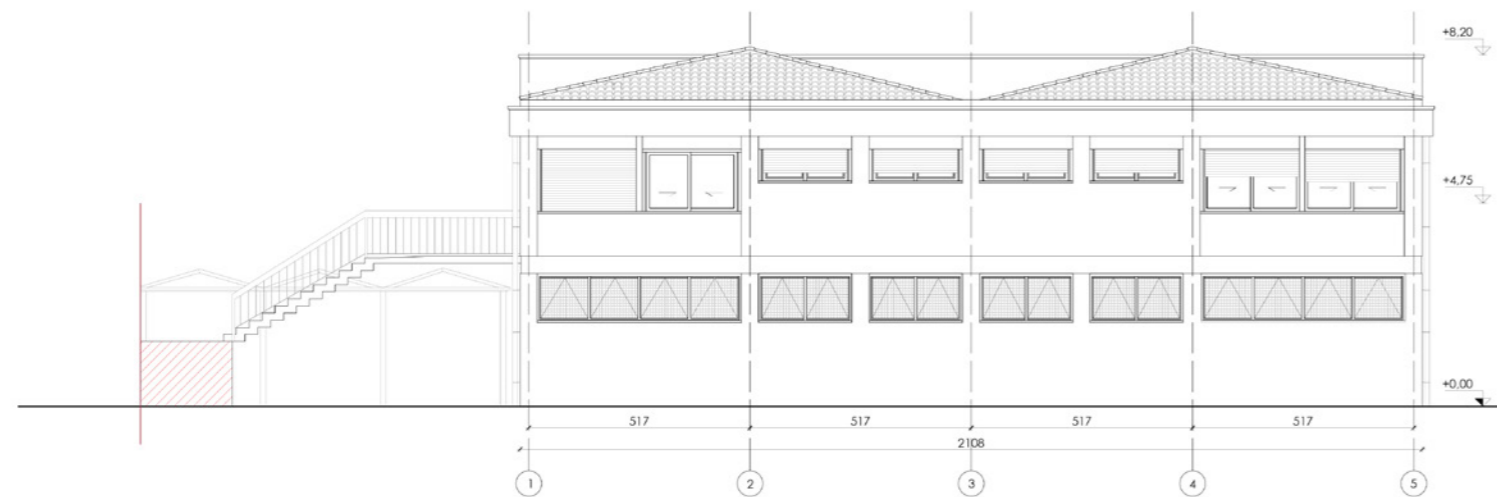
Prospetto Nord



Prospetto Ovest



Prospetto Est



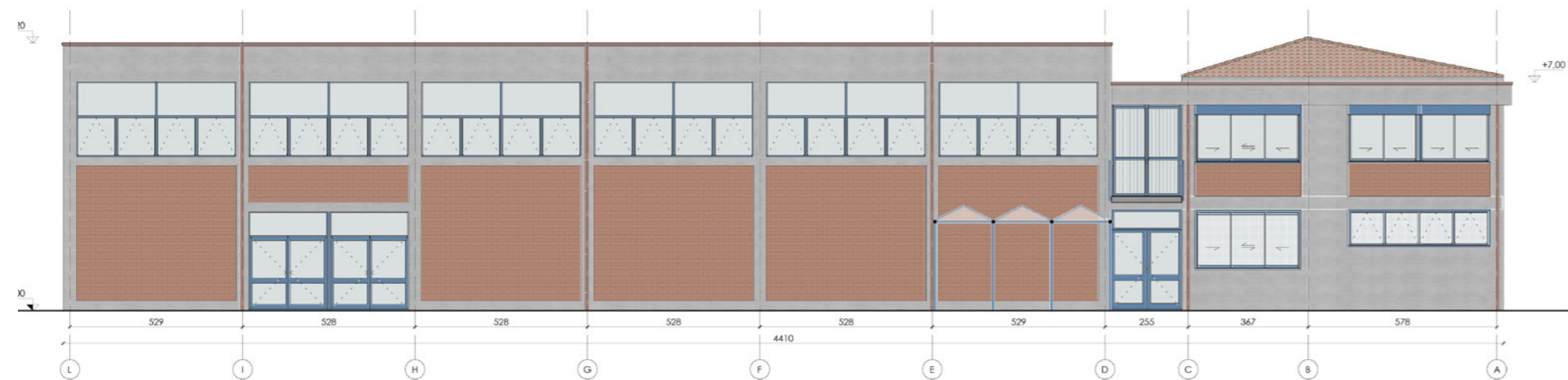
### 4.1.3 IL RILIEVO MATERICO

Il riconoscimento della complessità materica di un edificio richiede una lettura critica dell'oggetto, avvalendosi talora di verifica documentale delle conclusioni a cui si è pervenuti nel corso delle osservazioni in sito.

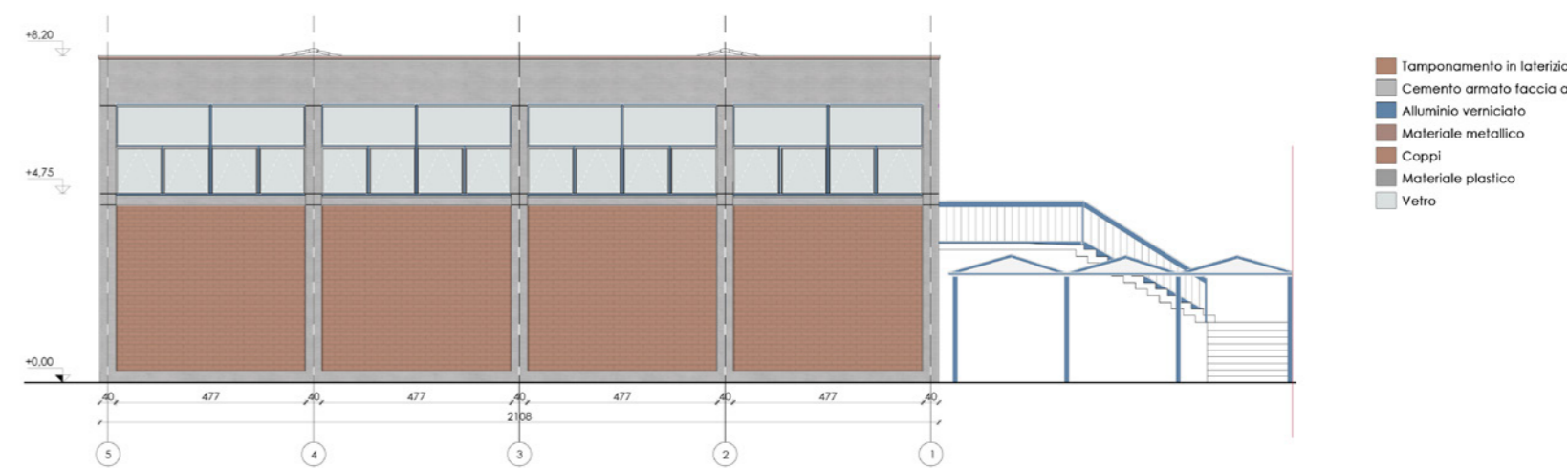
L'edificio oggetto di indagine presenta una lettura materica piuttosto immediata, trattandosi infatti di una muratura che vede l'alternanza del calcestruzzo a quella del mattone; la natura intrinseca di questi elementi verrà poi affrontata in seconda istanza nel corso del rilievo tecnologico.



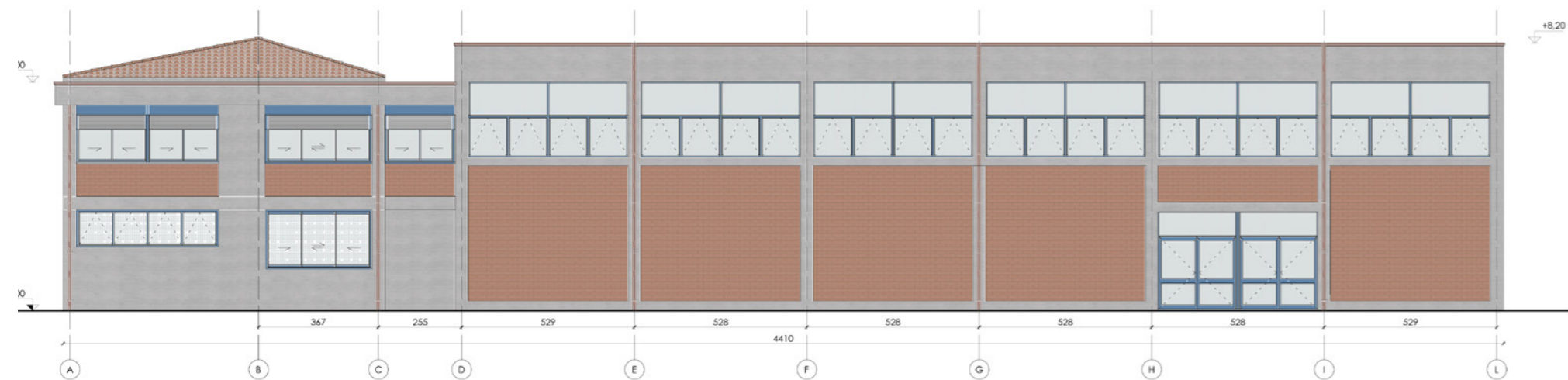
Prospetto Sud



Prospetto Ovest



Prospetto Nord



Prospetto Est



### 4.1.4 IL RILIEVO DEL DEGRADO

Per questo tipo di rilievo si fa riferimento alla normativa e ad una ricerca di tipo documentale, nello specifico si è fatto riferimento ad alcuni volumi sul rilievo architettonico, quali *Il nuovissimo Manuale dell'architetto*, a cura di Luca Zevi<sup>2</sup>.

Lo scopo di questa procedura è quello di completare il quadro conoscitivo dello stato di fatto dell'edificio per poi successivamente eseguire un piano di intervento appropriato per eliminare le cause del degrado e recuperare i materiali, laddove risulta essere necessario nel progetto di riqualificazione.

Questo tipo di rilevamento verrà articolato in due fasi complementari: si procederà innanzi tutto ad una stesura di tipo grafico degli elementi e delle varie tipologie di degrado su questi presente, per poi proseguire con una catalogazione delle diverse patologie rilevate.

La conoscenza minuziosa di queste patologie è indispensabile per l'intervento di risanamento.

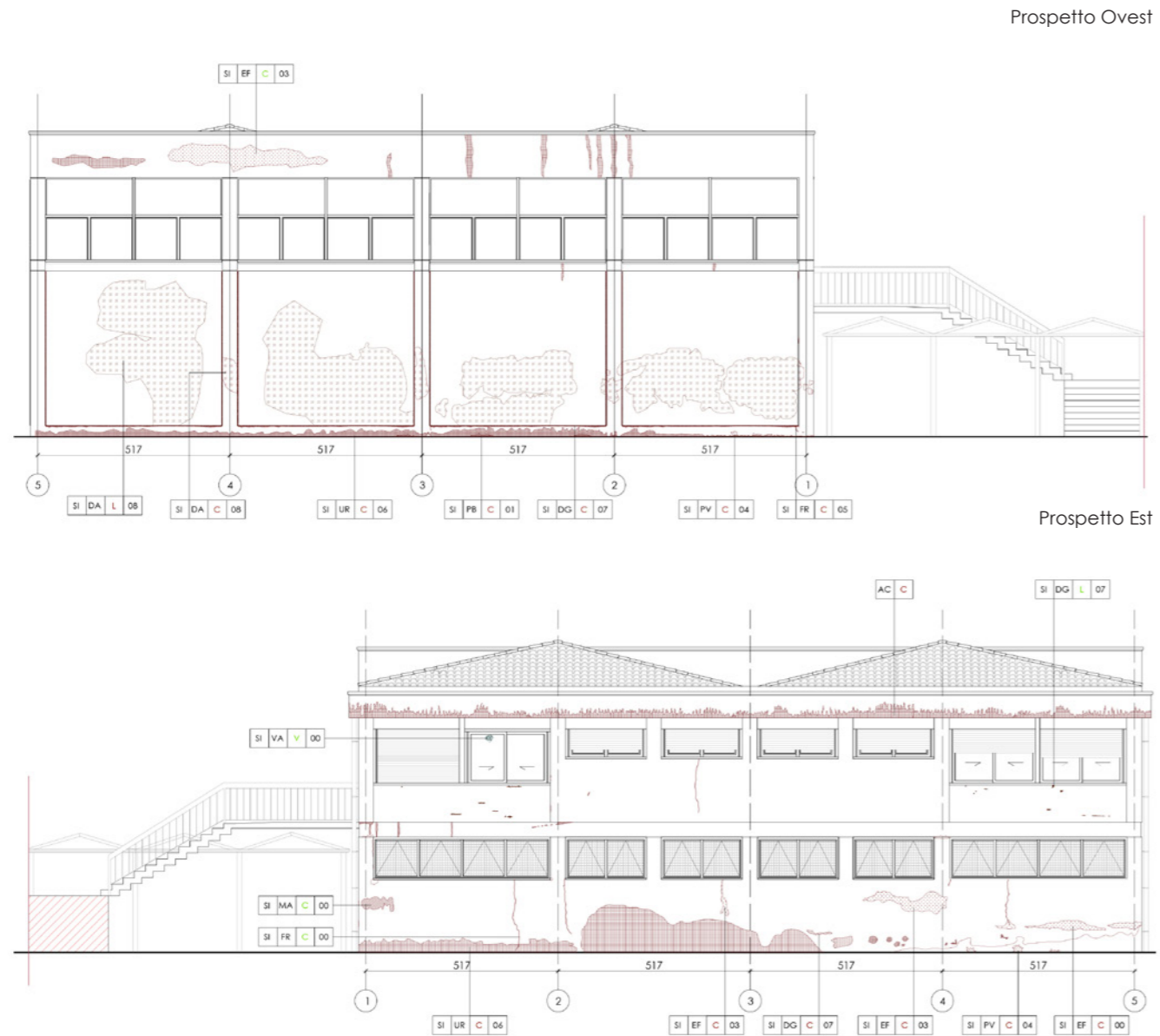
1 Uni Normal 11182-2006  
 2 Per maggiori informazioni, si faccia riferimento alla bibliografia

Materiali interessati		Tipologia di degrado	
V	Vetro	AV	Alveolizzazione
M	Metallo	CO	Concrezione
I	Intonaco	CR	Crosta
L	Laterizio	DD	Degradazione differenziale
Le	Legno	DA	Degrado antropico
PI	Pietra	DS	Deposito superficiale
C	Compositi	DL	Dilavamento
		DG	Disgregazione
		DT	Distacco
		EF	Efflorescenza
		ER	Erosione
		ES	Esfoliazione
		FR	Fratturazione o fessurazione
		IN	Incrostazione
		LA	Lacuna
		MA	Macchia
		MN	Mancanza
		OS	Ossidazione
		PA	Patina
		PB	Patina biologica
		PE	Pellicola
		PT	Pitting
		PO	Polverizzazione
		PV	Presenza di vegetazione
		RI	Rigonfiamento
		SC	Scagliatura
		UR	Umidità di risalita
		VA	Vandalismo

SI	AC	M	00
Scheda intervento			
Numero scheda			
Materiale			
Tipologia di degrado			





Prospetto Ovest

Prospetto Est


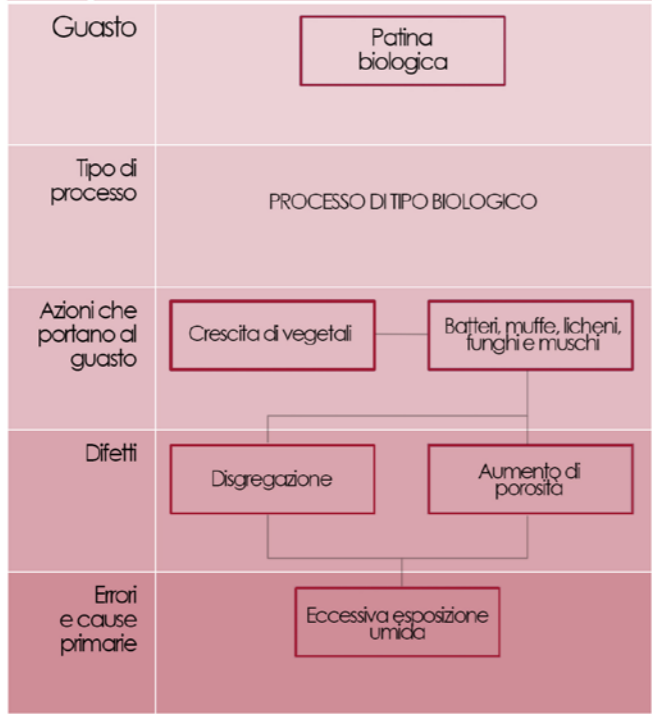
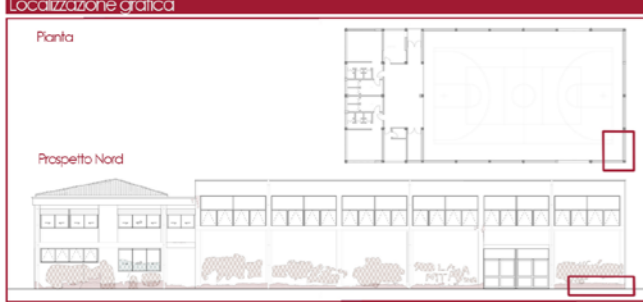
SCHEDA TECNICA di riferimento

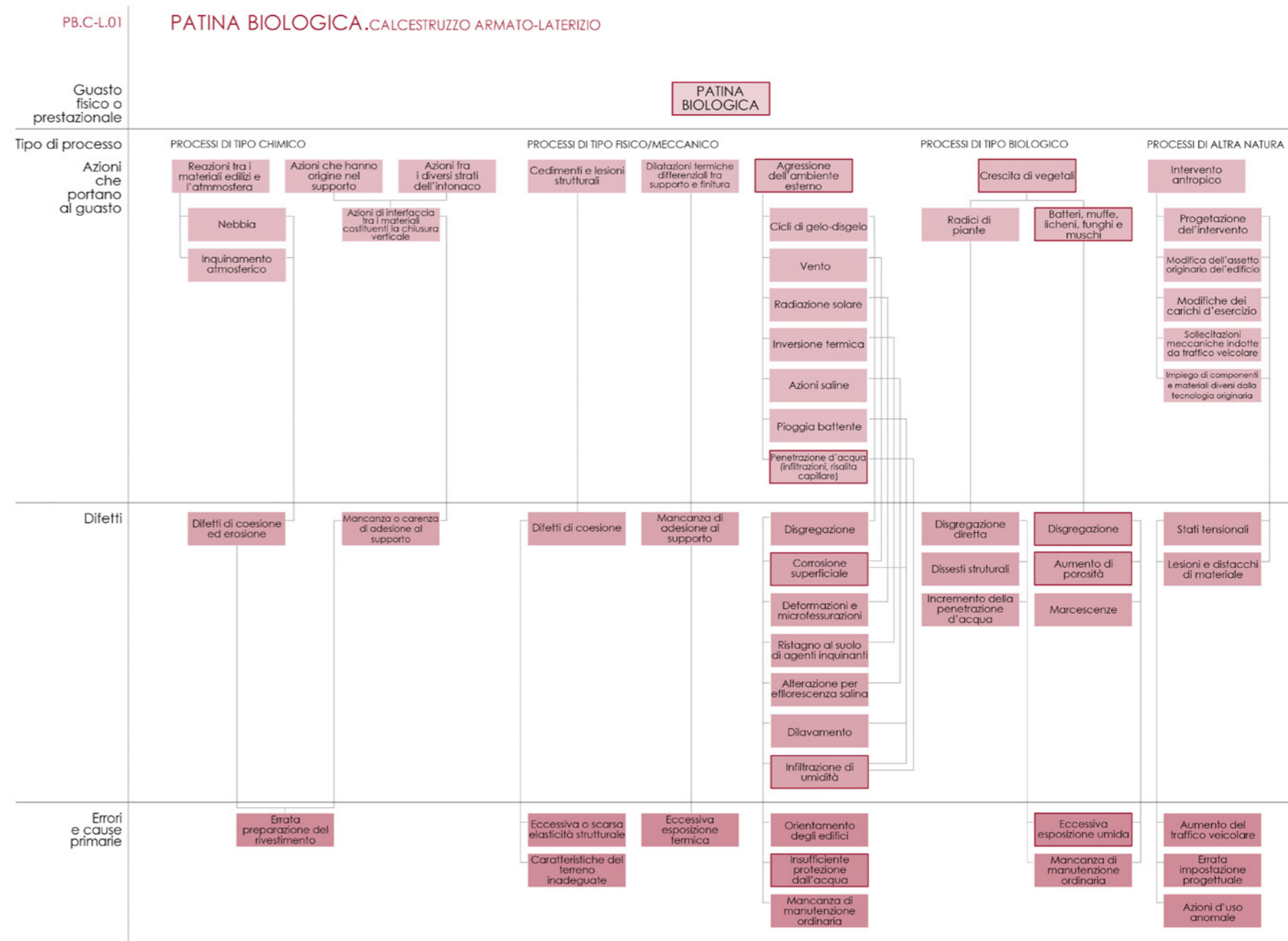
CODICE (Degrado.Materiale.00)

TIPOLOGIA DI DEGRADO		NOME DEGRADO	
Rilevo fotografico		Albero degli errori sintetico	
foto della patologia		Guasto	Forma di degrado
		Tipo di processo	Rappresentazione schematica del sistema di errori
		Azioni che portano al guasto	
		Difetti	
		Errori e cause primarie	
Localizzazione grafica			
Localizzazione in pianta del riferimento fotografico.		Localizzazione in alzato del riferimento fotografico.	
Definizione Uni Normale		Possibili cause	
Definizione secondo Uni Normale 11182-2006		Definizione delle possibili cause di scatenamento della patologia dedotte dall'albero degli errori e dall'osservazione in loco.	
Elemento tecnico		Errori progettuali o di esecuzione	
Stratigrafia interessata		Considerazioni sui possibili errori di progettazione e di esecuzione in seguito all'osservazione in loco.	
Materiale interessato			
Intonaco, laterizio, legno... ecc.			
Diffusione			
Precisione sull'estensione della patologia sull'elemento tecnico o sull'intero edificio			
Anomalie correlate			
Anomalie direttamente correlate o scaturite dalla degenerazione della stessa			
Stato di avanzamento			
Incipiente, in atto o esaurito.			
Effetti			
Effetti macroscopici percepibili dallo stato di fatto e deduzioni in relazione alla successiva analisi delle cause.			
Scheda di intervento correlata			
Scheda di intervento della patologia in questione.			
Riferimenti ad altre tavole			
Tavole che riportano un riferimento grafico alla patologia.			

SCHEDA TECNICA

PB.C-L.01

TIPOLOGIA DI DEGRADO		NOME DEGRADO	
<b>Rilievo fotografico</b>		<b>Albero degli errori sintetico</b>	
<b>Localizzazione grafica</b>		<b>Difusione</b>	La patologia è diffusa sulla fascia inferiore di ciascuno dei quattro prospetti, in corrispondenza dell' attacco a terra.
<b>Definizione UNI Norm</b>	Strato sottile, morbido e omogeneo, aderente alla superficie e di evidente natura biologica, di colore variabile, per lo più verde. La patina biologica è costituita prevalentemente da microrganismi cui possono aderire polvere, terriccio, ecc..	<b>Anomalie correlate</b>	Umidità di risalita e indebolimento dello strato più o meno superficiale del tessuto murario; alterazione cromatica.
<b>Elemento tecnico</b>	Chiusura verticale	<b>Stato di avanzamento</b>	In atto.
<b>Materiale interessato</b>	Compositi: calcestruzzo armato; Laterizio.	<b>Effetti</b>	Il degrado si presenta come un evidente alterazione cromatica del rivestimento, anche se la patologia ha una diffusione anche interna al tessuto murario.
		<b>Scheda di intervento correlata</b>	Tavola I01: Scheda di intervento.
		<b>Riferimenti ad altre tavole</b>	Tavola R09: Rilievo del degrado; Tavola T02: Albero degli errori; Tavola T09: Catalogazione del degrado.
		<b>Possibili cause</b>	La patologia è riconducibile al fenomeno dell'umidità di risalita (T09) che, per mancanza di manutenzione ristagna nel tessuto murario fino a sfociare in una diffusione biologica.
		<b>Errori progettuali o di esecuzione</b>	Non idonei o inesistenti sistemi di smaltimento delle acque reflue e piovose; capillarità dei materiali.



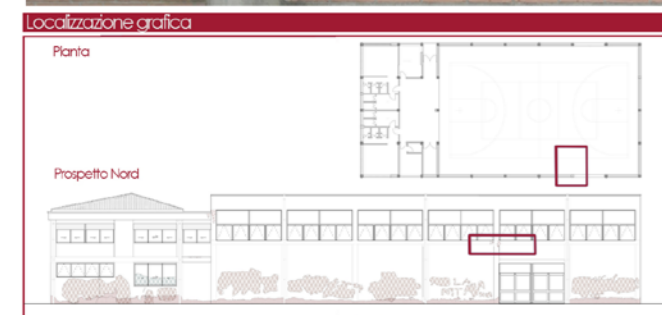


SCHEDA TECNICA

DL.C.02

TIPOLOGIA DI DEGRADO

DILAVAMENTO



**Definizione Uni Normal**

Patologia causata per effetto del ruscellamento delle acque meteoriche. Il dilavamento ha prevalentemente andamento verticale ma il cammino è sinuoso anche lungo superfici apparentemente lisce, a causa delle microasperità che deviano il percorso delle gocce.

**Possibili cause**

La patologia è riconducibile alle acque meteoriche.

**Elemento tecnico**

Chiusura verticale

**Errori progettuali o di esecuzione**

Manca di dispositivi idonei al deflusso delle acque meteoriche; laddove il fenomeno si presenta per fasce verticali lungo la facciata si rimanda a un cattivo posizionamento dei casseri, non perfettamente complanari.

**Materiale interessato**

Compositi: calcestruzzo armato.

**Diffusione**

La patologia non risulta particolarmente estesa e si verifica principalmente in corrispondenza di elementi di gronda, davanzali e pluviali su quasi tutti i prospetti dell'edificio.

**Anomale correlate**

Alterazione cromatica e infiltrazioni nel tessuto murario.

**Stato di avanzamento**

In atto.

**Effetti**

Il degrado si presenta come un'evidente alterazione cromatica del rivestimento, anche se la patologia ha una diffusione anche interna al tessuto murario.

**Scheda di intervento correlata**

Tavola 02: Scheda di intervento.

**Riferimenti ad altre tavole**

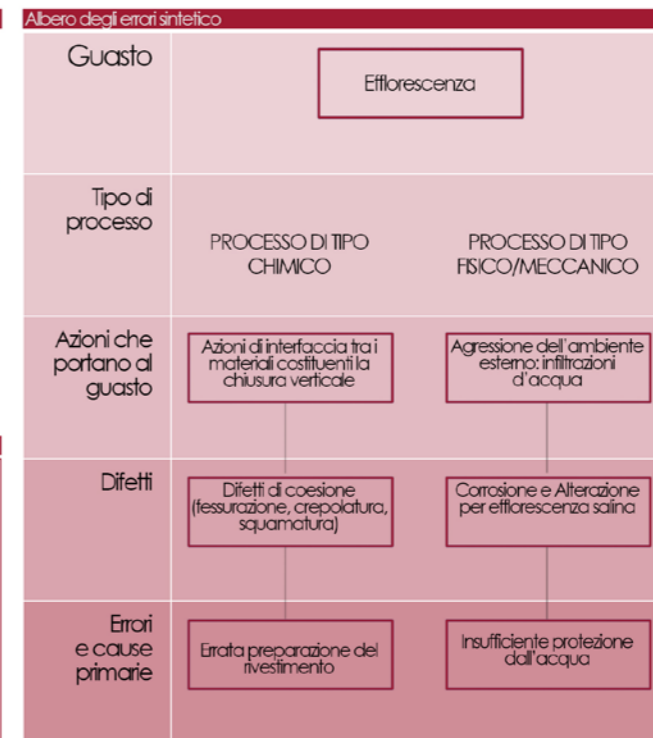
Tavola R09: Rilievo del degrado;  
Tavola T04: Albero degli errori.

SCHEDA TECNICA

EF.C.03

TIPOLOGIA DI DEGRADO

EFFLORESCENZA



**Definizione Uni Normal**

Formazione di sostanze, generalmente di colore biancastro e di aspetto cristallino, pulverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto. Nel caso di efflorescenze saline, la cristallizzazione può avvenire anche all'interno del materiale provocando spesso il distacco delle parti più superficiali.

**Possibili cause**

La patologia è riconducibile all'infiltrazione di acque meteoriche; queste ultime, che agiscono da solvente per i sali presenti nel sottosuolo, una volta nelle murature, rilasciano i sali che si cristallizzano.

**Elemento tecnico**

Chiusura verticale

**Errori progettuali o di esecuzione**

Non idonei o inesistenti sistemi di smaltimento delle acque reflue e piovose; capillarità dei materiali.

**Materiale interessato**

Compositi: calcestruzzo armato.

**Diffusione**

Diffusione limitata; la patologia è presente puntualmente sul prospetto est dell'edificio.

**Anomale correlate**

Distacco dello strato più superficiale e disgregazioni.

**Stato di avanzamento**

In atto.

**Effetti**

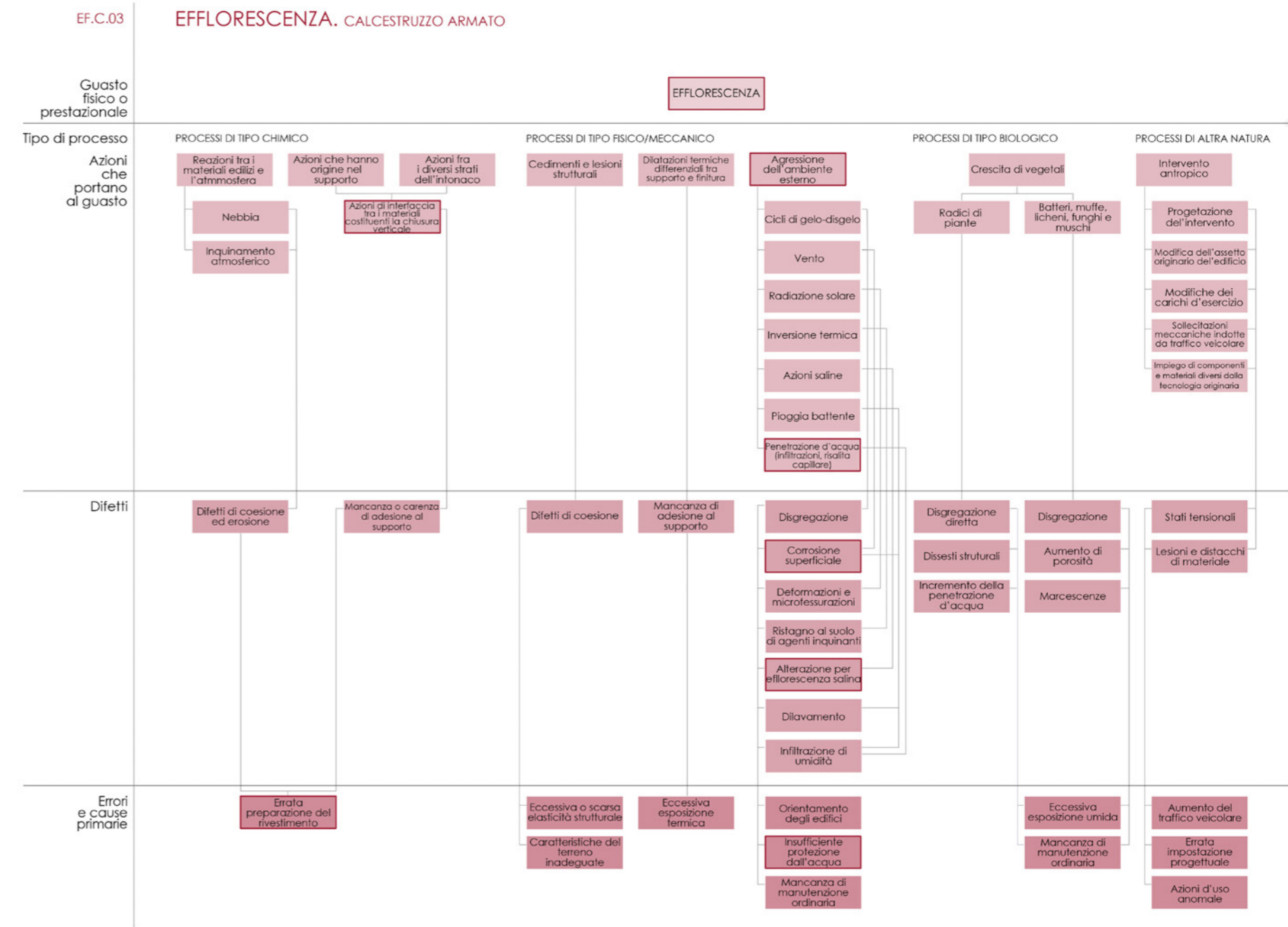
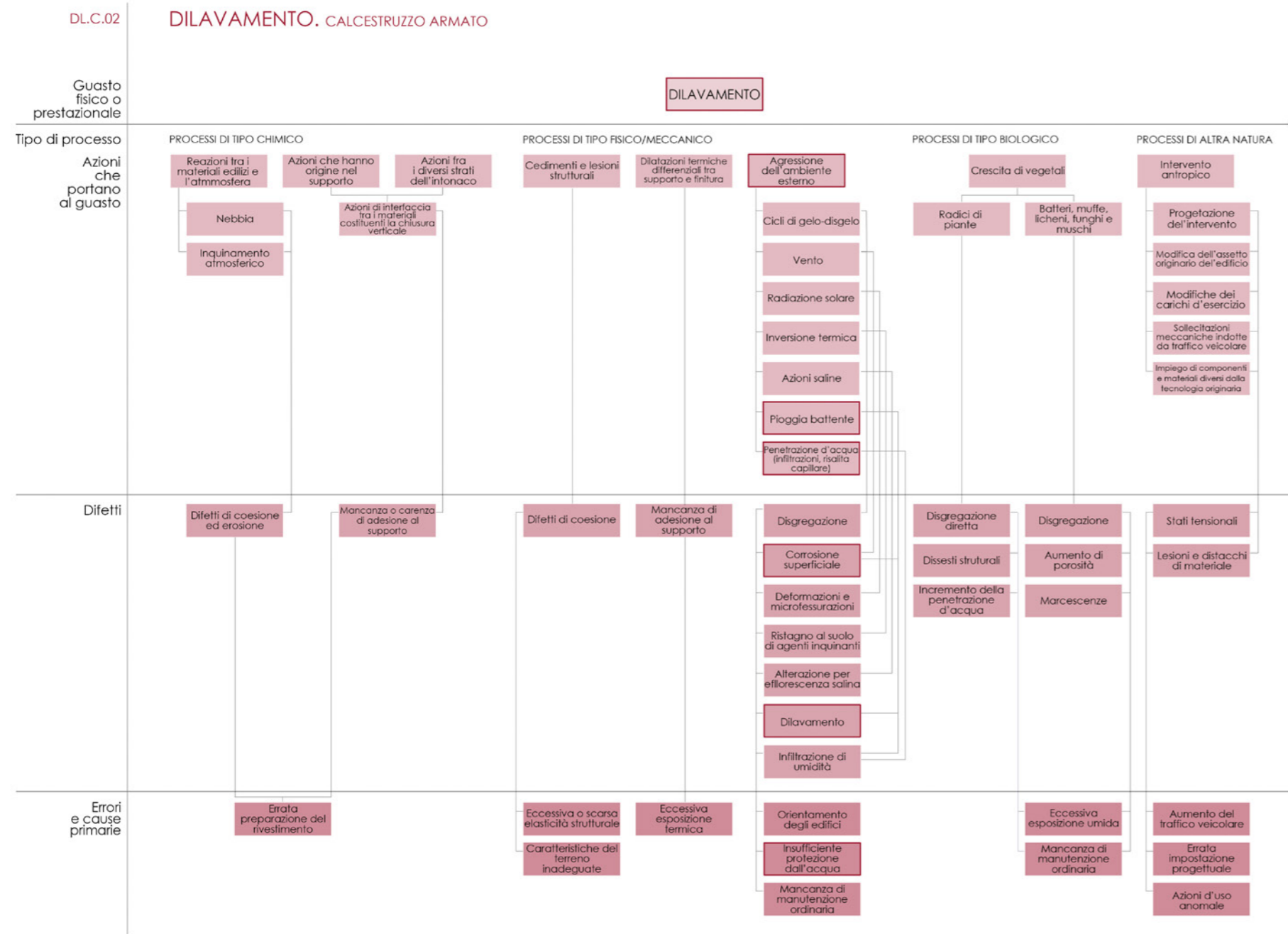
La patologia non si mostra evidente a livello macroscopico, ha però una diffusione anche interna al tessuto murario.

**Scheda di intervento correlata**

Tavola 02: Scheda di intervento.

**Riferimenti ad altre tavole**

Tavola R10: Rilievo del degrado.



SCHEDA TECNICA

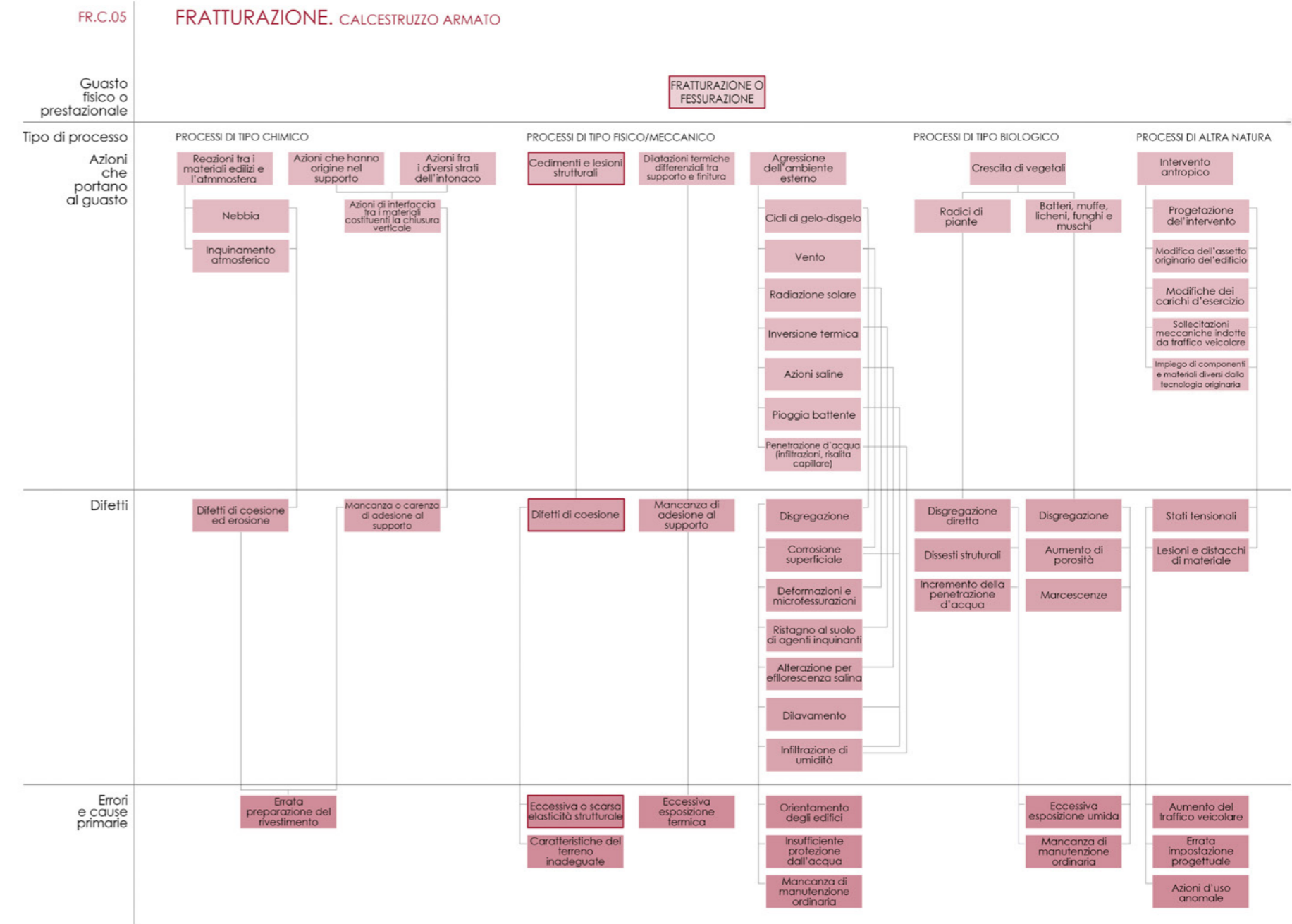
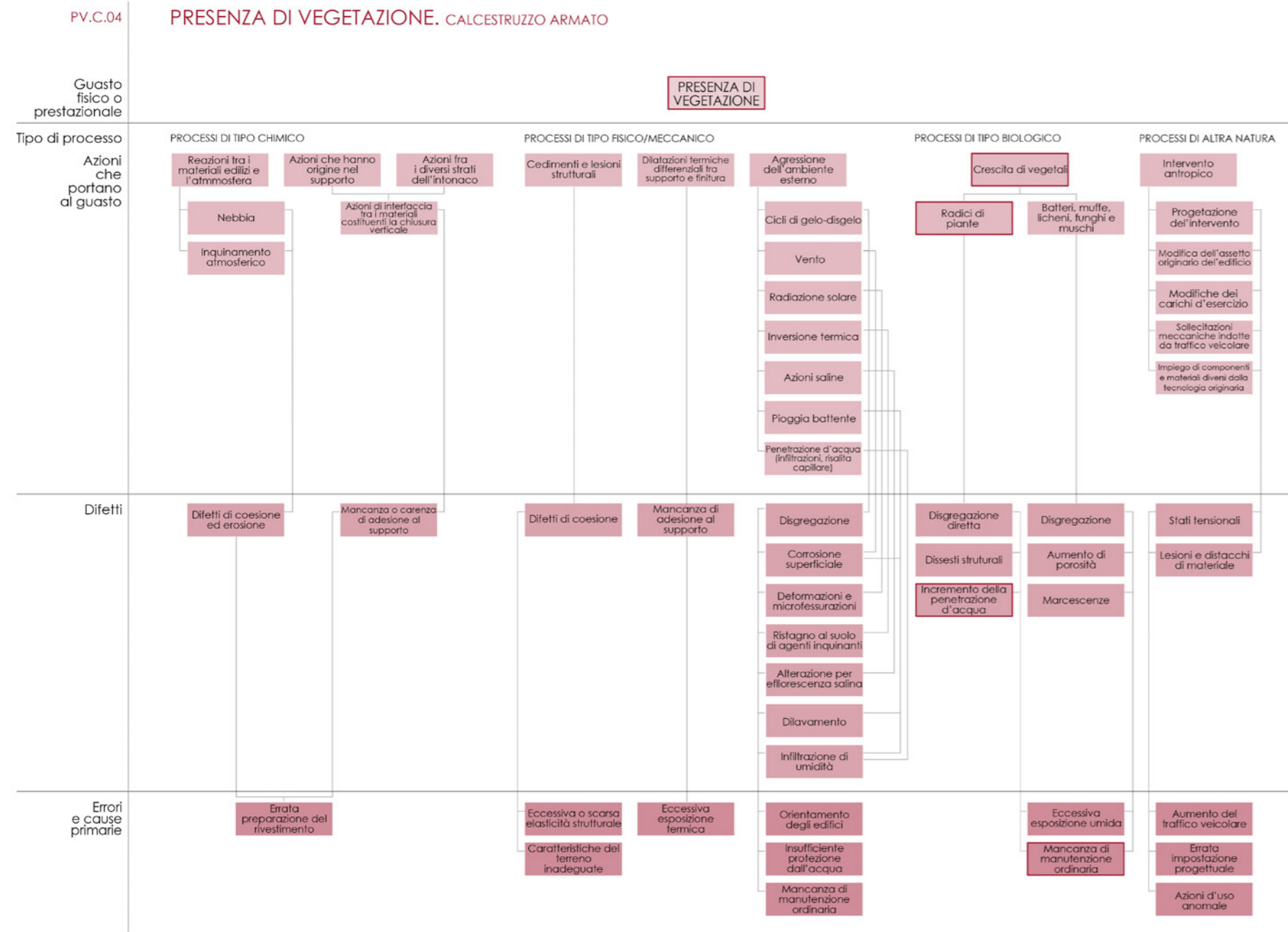
PV.C.04

TIPOLOGIA DI DEGRADO		PRESENZA DI VEGETAZIONE	
<b>Rilevo fotografico</b>		<b>Albero degli errori sintetico</b>	
<b>Localizzazione grafica</b>		<b>Diffusione</b>	La patologia non risulta particolarmente estesa e si verifica principalmente sul prospetto est, in corrispondenza dell'attacco a terra.
<b>Definizione Uni Normal</b>	Locuzione impiegata quando vi siano licheni, muschi o piante.	<b>Anomalie correlate</b>	Il tessuto murario, in corrispondenza della patologia può essere soggetto a fratturazioni più o meno superficiali.
<b>Elemento tecnico</b>	Chiusura verticale	<b>Stato di avanzamento</b>	In atto.
<b>Materiale interessato</b>	Compositi: calcestruzzo armato.	<b>Effetti</b>	Il degrado va a modificare a livello macroscopico l'assetto estetico della facciata ed causa di possibili fessurazioni a livello strutturale.
		<b>Possibili cause</b>	Possibile umidità nei tessuti e microfessurazioni nei materiali.
		<b>Scheda di intervento correlata</b>	Tavola 03: Scheda di intervento.
		<b>Errori progettuali o di esecuzione</b>	Mancanza di dispositivi idonei al deflusso delle acque meteoriche.
		<b>Riferimenti ad altre tavole</b>	Tavola R10: Rilevo del degrado.

SCHEDA TECNICA

FR.C.05

TIPOLOGIA DI DEGRADO		FRATTURAZIONE	
<b>Rilevo fotografico</b>		<b>Albero degli errori sintetico</b>	
<b>Localizzazione grafica</b>		<b>Diffusione</b>	La patologia presenta un'estensione limitata: è presente puntualmente sul prospetto est dell'edificio.
<b>Definizione Uni Normal</b>	Degradazione che si manifesta con la formazione di soluzioni di continuità nel materiale e che può implicare lo spostamento reciproco delle parti.	<b>Anomalie correlate</b>	La patologia può causare infiltrazioni e danneggiamenti dell'apparato murario.
<b>Elemento tecnico</b>	Chiusura verticale	<b>Stato di avanzamento</b>	In atto.
<b>Materiale interessato</b>	Compositi: calcestruzzo armato.	<b>Effetti</b>	La patologia non si mostra ancora evidente a livello macroscopico, corre però il rischio di svilupparsi più evidentemente e con ripercussioni dal punto di vista strutturale.
		<b>Possibili cause</b>	Questo genere di patologia spesso è riconducibile alla vicinanza di aperture di media o vasta grandezza.
		<b>Scheda di intervento correlata</b>	Tavola 03: Scheda di intervento.
		<b>Errori progettuali o di esecuzione</b>	E' necessario che gli architravi possano muoversi indipendentemente dalla struttura in muratura, questo non avviene se non vi è una corretta progettazione che prenda in considerazione l'elasticità strutturale.
		<b>Riferimenti ad altre tavole</b>	Tavola R10 Rilevo del degrado.



SCHEDA TECNICA

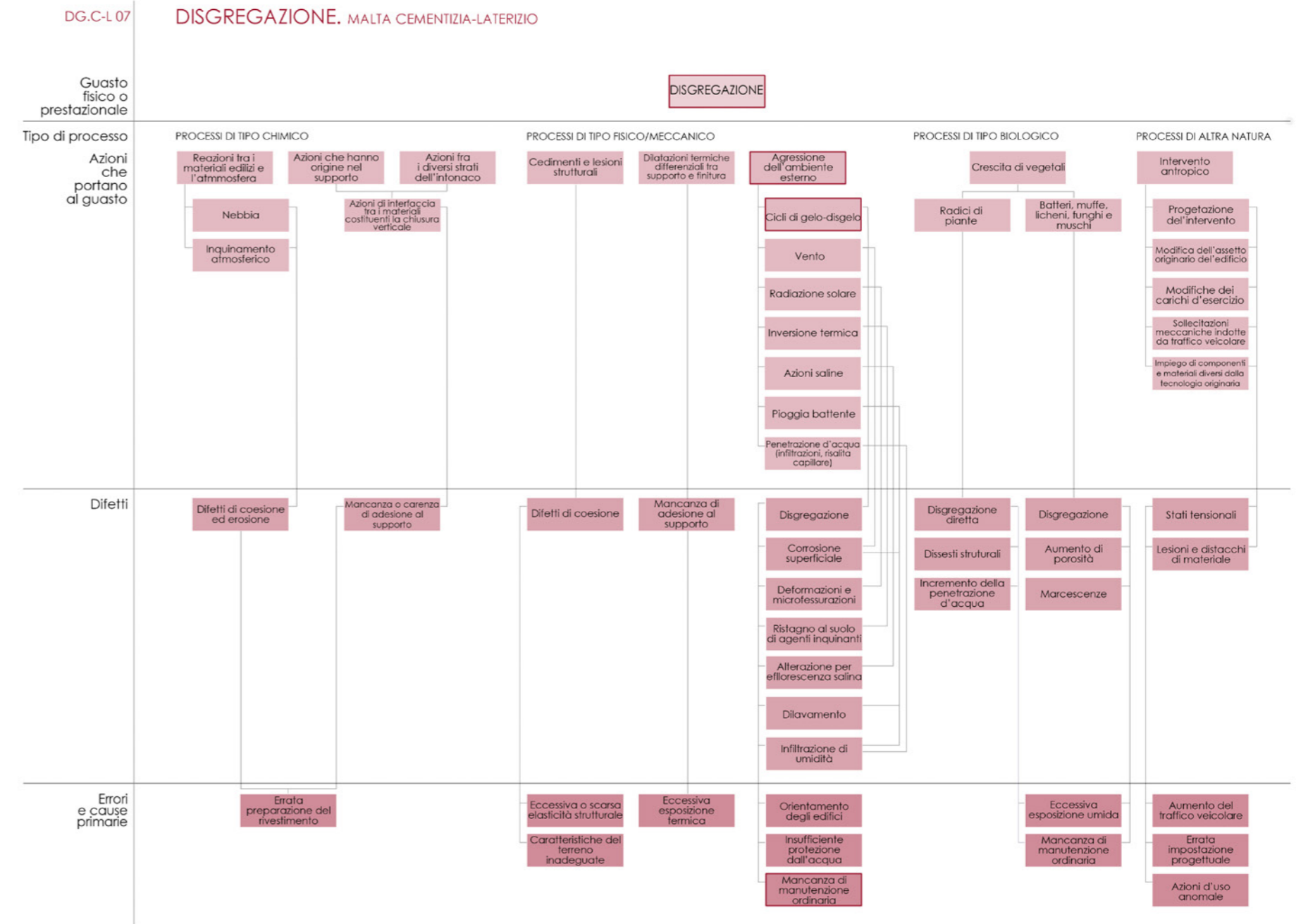
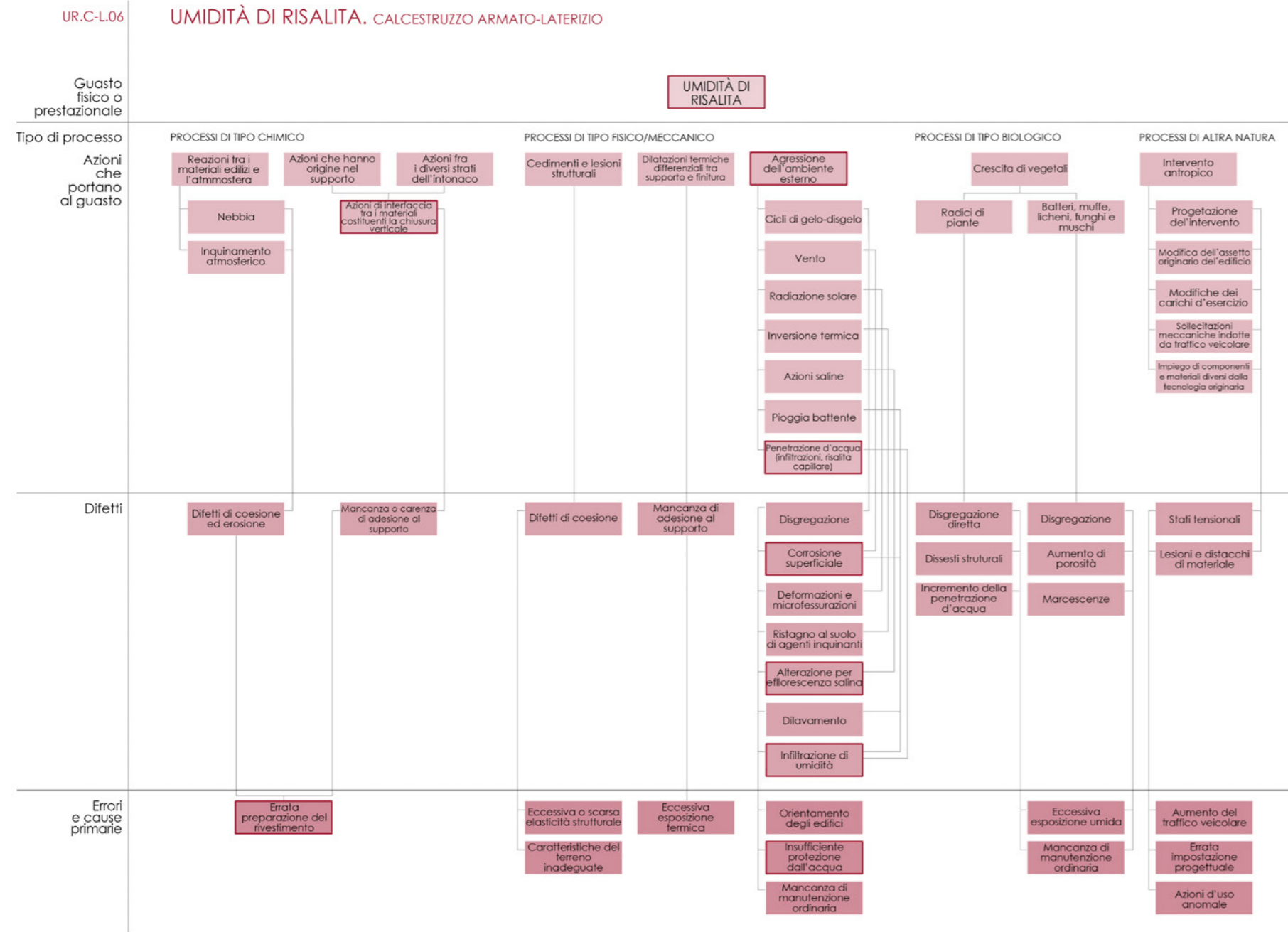
UR.C-L.06

TIPOLOGIA DI DEGRADO		UMIDITÀ DI RISALITA	
<b>Rilevo fotografico</b>		<b>Albero degli errori sintetico</b>	
<b>Localizzazione grafica</b>		<b>Diffusione</b>	La patologia è diffusa sulla fascia inferiore di ciascuno dei quattro prospetti, più o meno estesa su di essi, principalmente in corrispondenza dell'attacco a terra.
<b>Definizione Uni Normal</b>	A carico dei componenti del materiale, si manifesta attraverso la variazione di uno o più parametri che definiscono il colore (tinta, chiarezza, saturazione). Può manifestarsi con morfologie diverse a seconda delle condizioni e può riferirsi a zone ampie e localizzate, generalmente è estesa a tutto il materiale interessato.	<b>Anomalie correlate</b>	La patologia risulata essere spesso associata alla presenza di patina biologica (T01) ed efflorescenze saline (T03).
<b>Elemento tecnico</b>	Chiusura verticale	<b>Stato di avanzamento</b>	In atto.
<b>Materiale interessato</b>	Compositi: calcestruzzo armato e malta cementizia; Laterizio.	<b>Effetti</b>	Il degrado va a modificare a livello macroscopico l'assetto estetico della facciata a livello cromatico, la patologia può inoltre sfociare in una patina biologica ed essere causa di efflorescenze.
		<b>Scheda di intervento correlata</b>	Tavola 04: Scheda di intervento.
		<b>Riferimenti ad altre tavole</b>	Tavola R09: Rilevo del degrado; Tavole T01, T03: catalogazione del degrado.

SCHEDA TECNICA


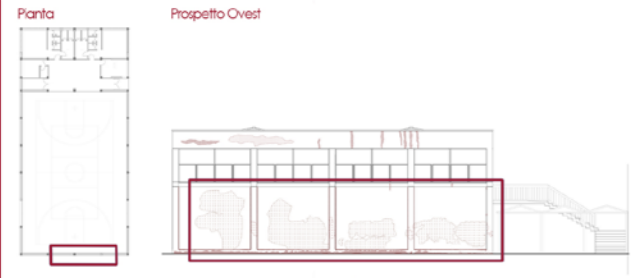
DG.C-L.07

TIPOLOGIA DI DEGRADO		DISGREGAZIONE	
<b>Rilevo fotografico</b>		<b>Albero degli errori sintetico</b>	
<b>Localizzazione grafica</b>		<b>Diffusione</b>	La patologia, presente a livello diffuso tra le fughe del laterizio di rivestimento, si estende in particolar modo in superficie in corrispondenza della variazione di materiale tra calcestruzzo e laterizio.
<b>Definizione Uni Normal</b>	Decoesione con caduta del materiale sotto forma di polvere o minutissimi frammenti. Talvolta viene utilizzato il termine polverizzazione.	<b>Anomalie correlate</b>	La patologia può causare mancanze se sviluppata ad un livello più profondo dello strato murario.
<b>Elemento tecnico</b>	Chiusura verticale	<b>Stato di avanzamento</b>	In atto.
<b>Materiale interessato</b>	Compositi: malta cementizia; Laterizio.	<b>Effetti</b>	La patologia non si mostra evidente a livello macroscopico.
		<b>Scheda di intervento correlata</b>	Tavola 04: Scheda di intervento.
		<b>Riferimenti ad altre tavole</b>	Tavola R10: Rilevo del degrado.





SCHEDA TECNICA

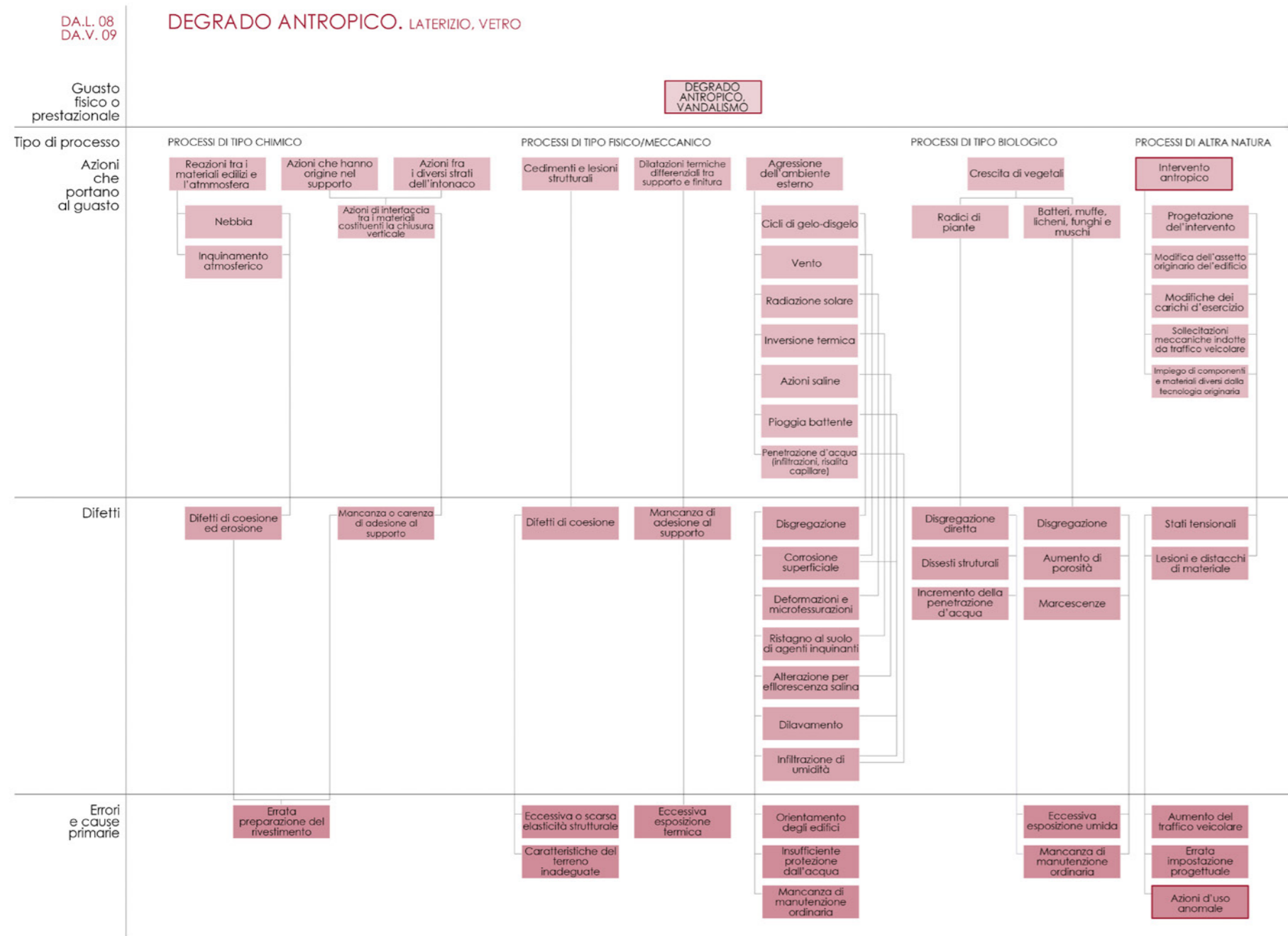
DA-VA.L08

TIPOLOGIA DI DEGRADO		DEGRADO ANTROPICO-VANDALISMO	
<b>Rilevo fotografico</b>		<b>Albero degli errori sintetico</b>	<b>Diffusione</b>
<b>Localizzazione grafica</b>			
<b>Definizione Uni Normal</b>			
<b>Elemento tecnico</b>			
<b>Materiale interessato</b>			
<b>Possibili cause</b>			
<b>Errori progettuali o di esecuzione</b>			
<b>Scheda di intervento correlata</b>			
<b>Riferimenti ad altre tavole</b>			

SCHEDA TECNICA

DA-VA.V09

TIPOLOGIA DI DEGRADO		DEGRADO ANTROPICO-VANDALISMO	
<b>Rilevo fotografico</b>		<b>Albero degli errori sintetico</b>	<b>Diffusione</b>
<b>Localizzazione grafica</b>			
<b>Definizione Uni Normal</b>			
<b>Elemento tecnico</b>			
<b>Materiale interessato</b>			
<b>Possibili cause</b>			
<b>Errori progettuali o di esecuzione</b>			
<b>Scheda di intervento correlata</b>			
<b>Riferimenti ad altre tavole</b>			



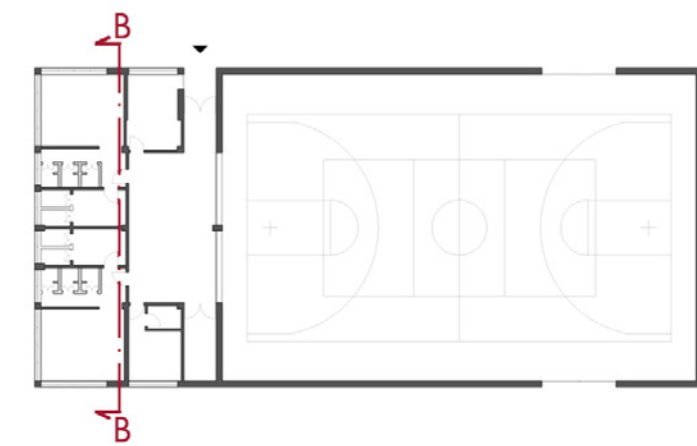
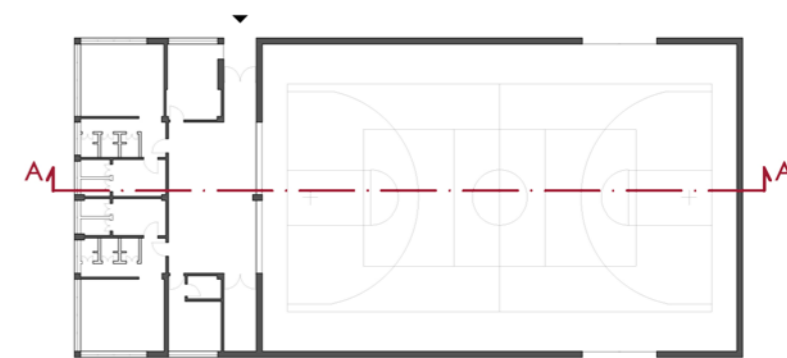
#### 4.1.5 IL RILIEVO TECNOLOGICO

Questo genere di rilievo è una perfetta combinazione tra metodo documentale ed empirico. Il processo è infatti primariamente deduttivo; il primo passo è pervenire a delle considerazioni sulla natura strutturale e tecnica, ovvero sulla natura generalmente invisibile dell'oggetto, ragionando sulla base di conoscenze sviluppate nel percorso di studi, secondariamente ci si appella alla consultazione di manuali che trattano le modalità costruttive di determinati periodi storici. Nello specifico nel nostro caso, si è fatto riferimento ad alcuni volumi, quali:

- Il nuovissimo manuale dell'architetto
- Manuale delle tecniche tradizionali del costruire<sup>1</sup>

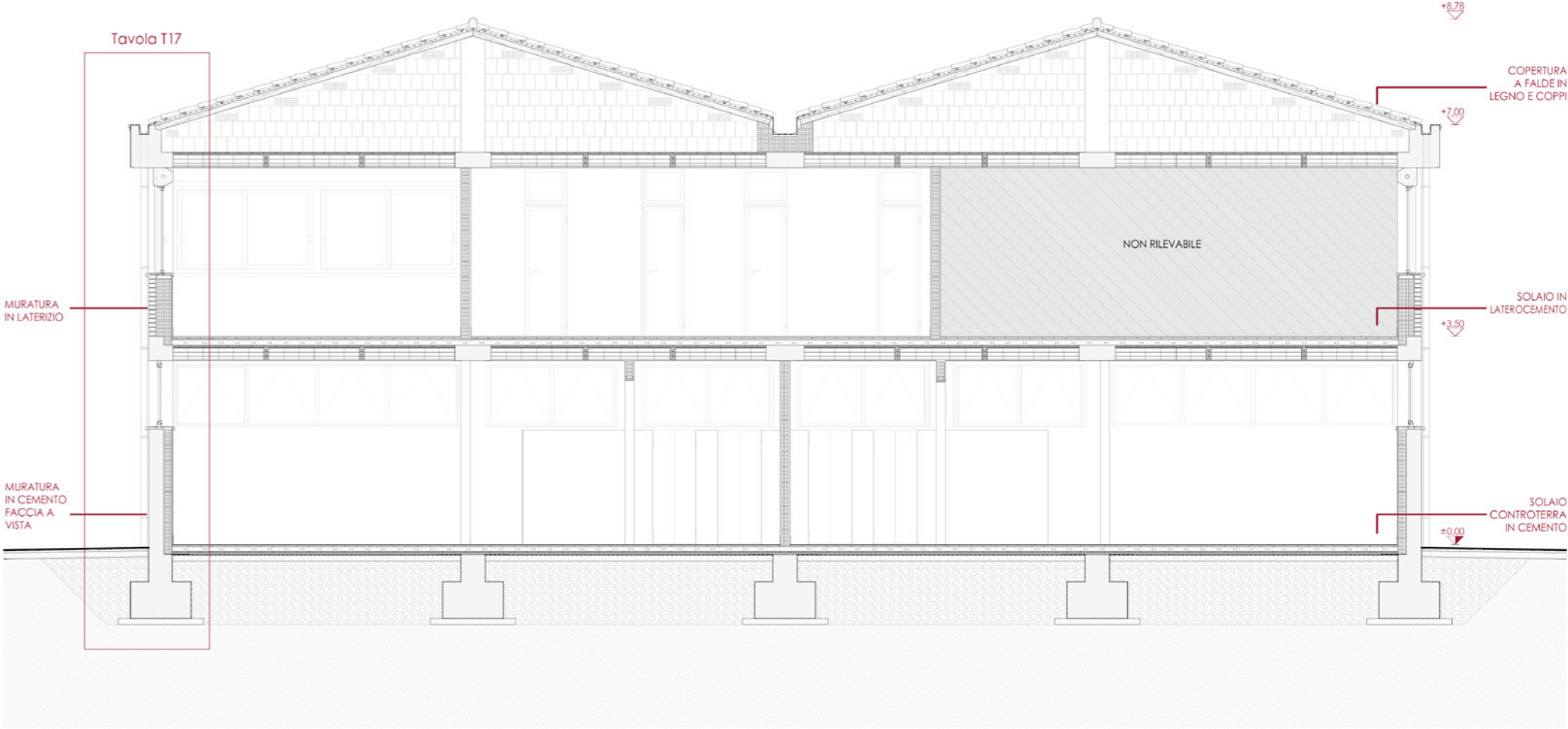
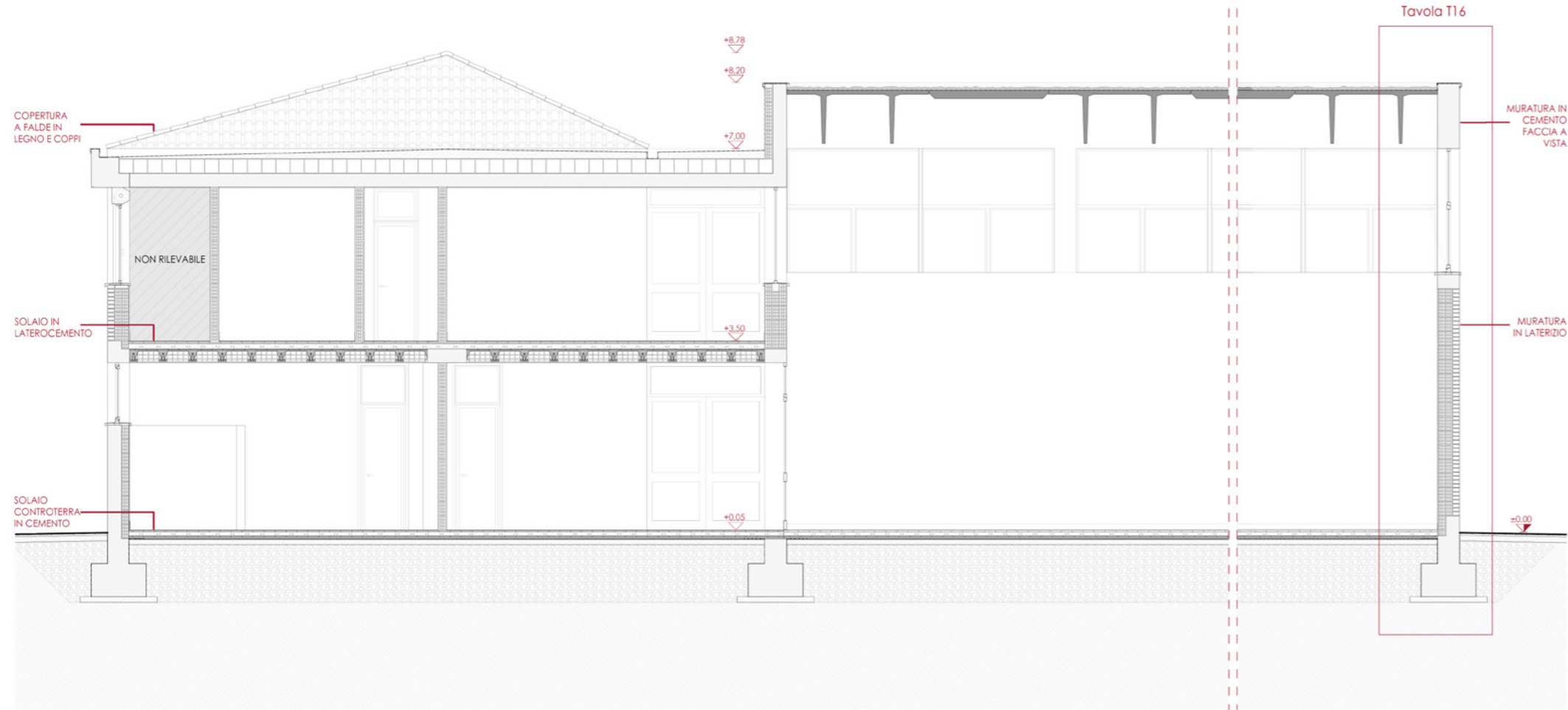
In questo genere di rilievo solitamente si procede anche per carotaggi e prelievi sull'oggetto; chiaramente per poter svolgere un'indagine del genere è necessario avere delle autorizzazioni. Per questo motivo ci si limiterà a delle speculazioni derivanti dallo studio dell'oggetto in loco e dei testi sopracitati. Di seguito si proporranno delle sezioni tecnologiche con relativi dettagli tecnologici e considerazioni fatte su di essi.

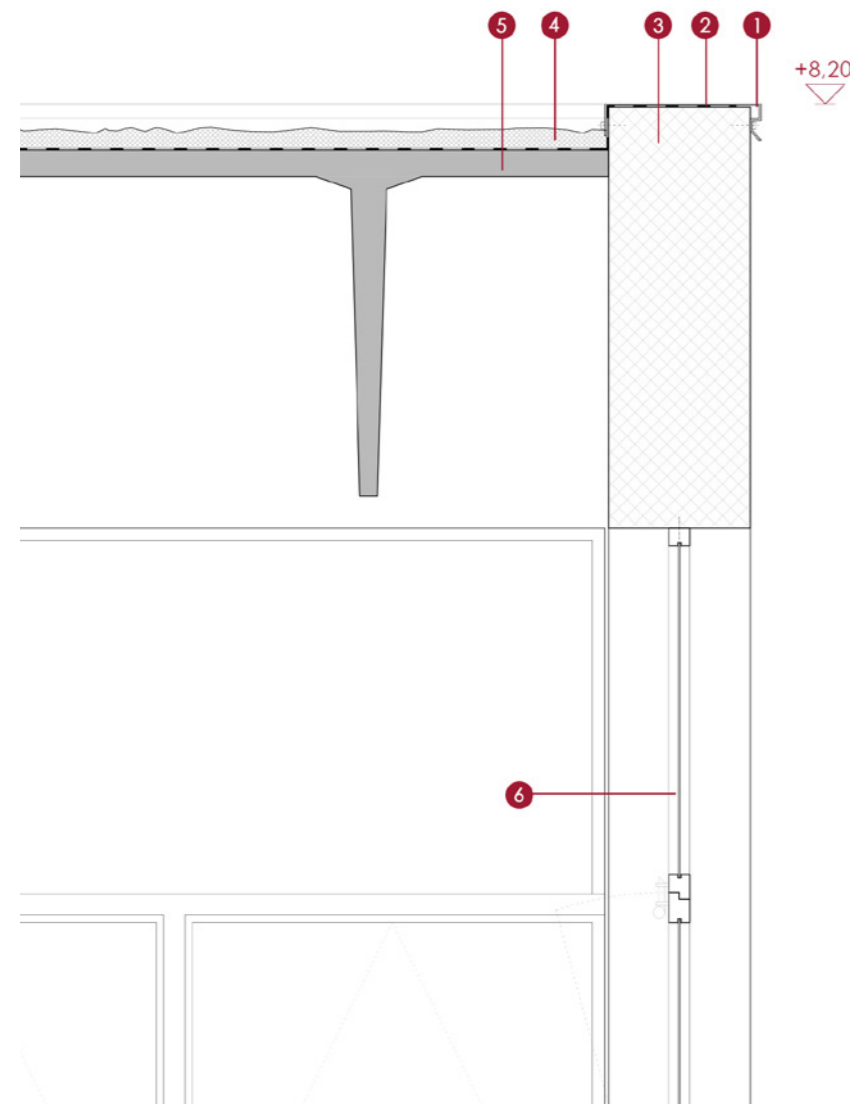
<sup>1</sup> Per maggiori informazioni, si faccia riferimento alla bibliografia



Navigatori delle sezioni tecnologiche che seguono

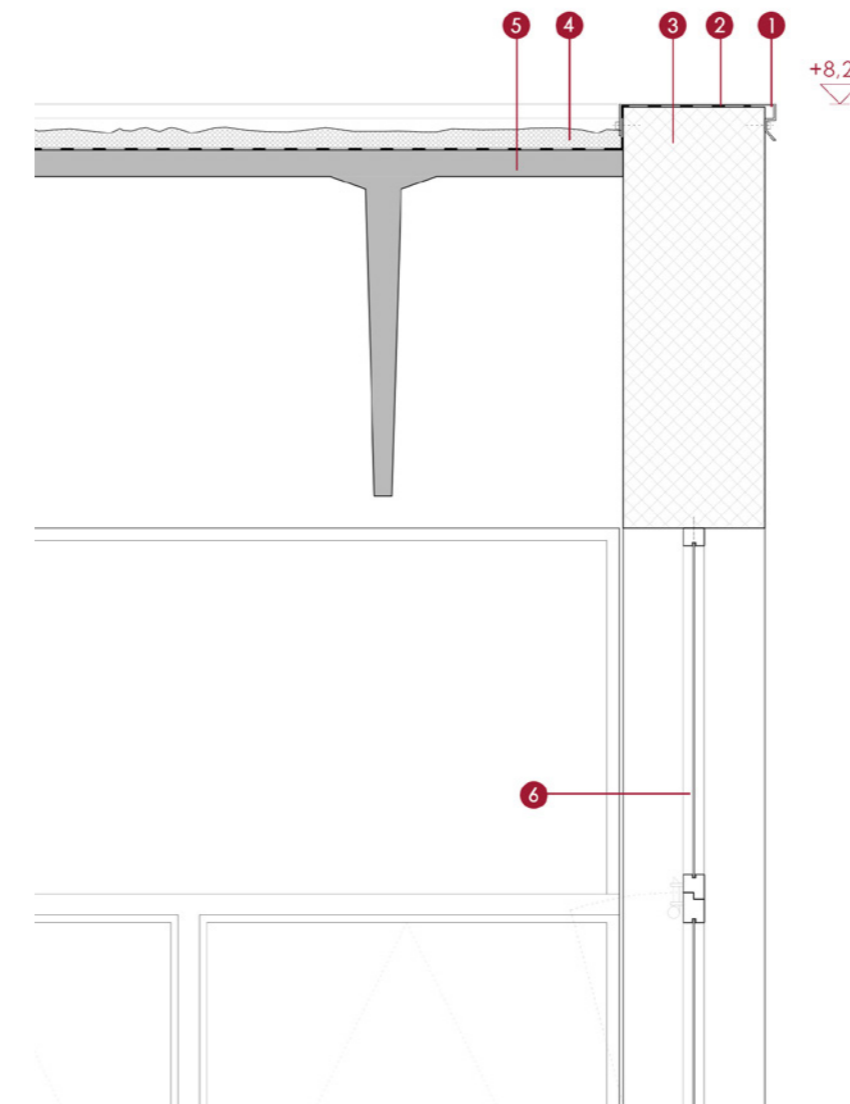
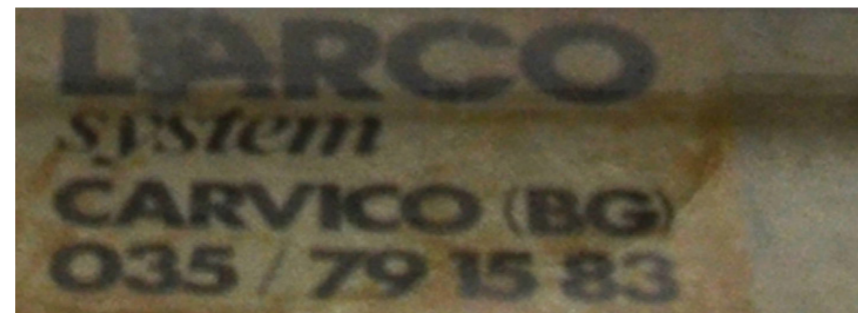






#### 4.1.5.1 La copertura

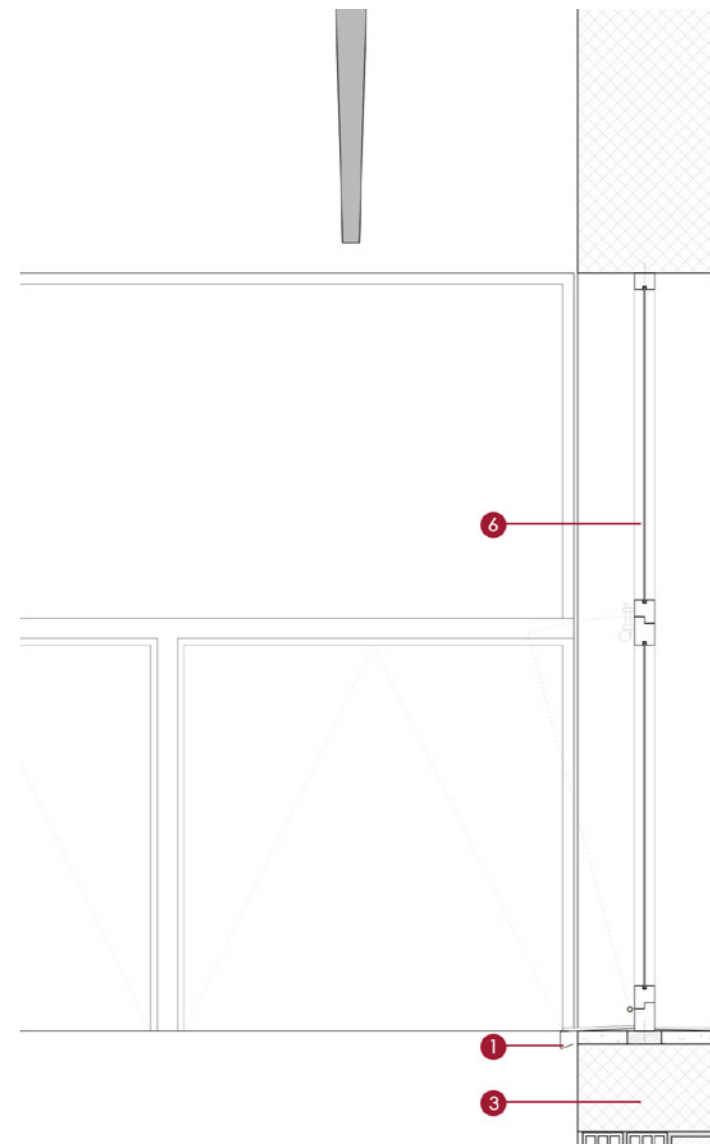
La parte portante del sistema di copertura è interamente prefabbricato: sulle travi è ancora indicato il nome del produttore: LARCO system. Questa azienda è un'unità aperta dall'azienda Magnetti nel 1972, interamente dedicata a manufatti prefabbricati per opere civili, industriali e commerciali.



#### 4.1.5.2 Il calcestruzzo armato

Elemento caratterizzante la palestra è l'uso del cemento armato faccia a vista, che costituisce lo scheletro portante dell'intero edificio e in alcuni casi funge da chiusura verticale. L'utilizzo del "béton brut" è coerente con la logica costruttiva dell'intero edificio, caratterizzato da materiali e tecnologie tradizionali di basso costo. Il calcestruzzo è stato cassetato con le tradizionali assi di legno da 10 cm (generalmente di pioppo o pino rosso) le cui nervature e giunture sono chiaramente visibili.

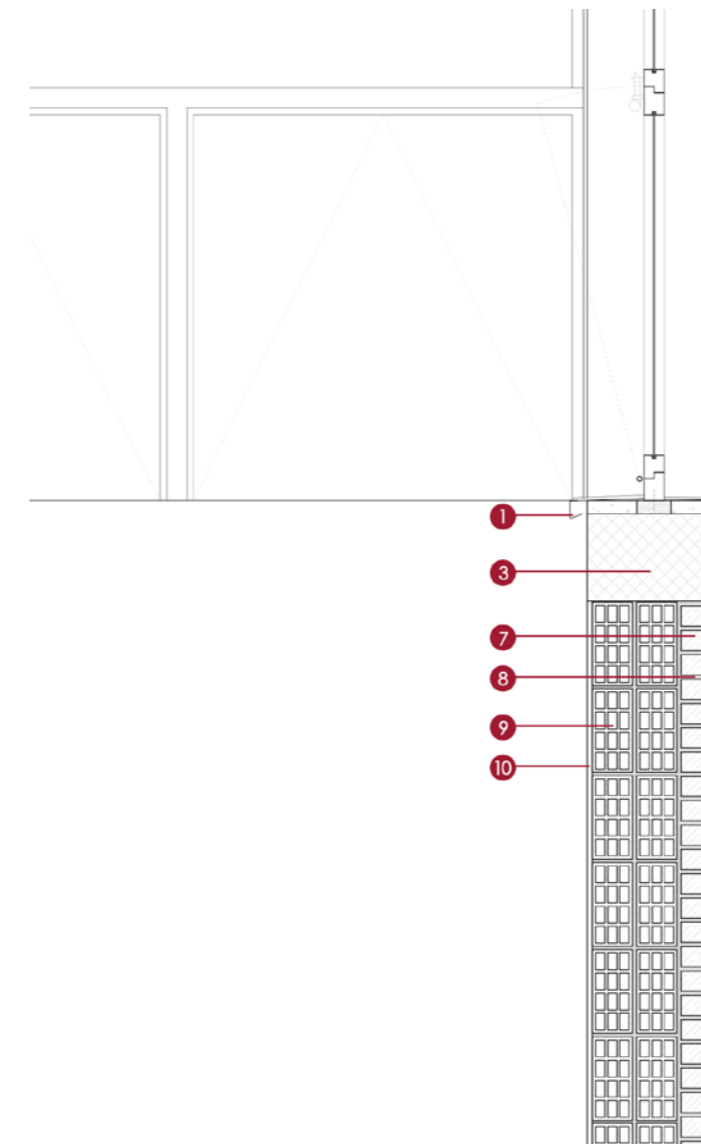
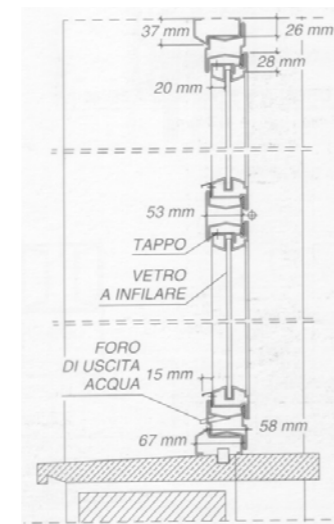




#### 4.1.5.3 Serramento composto: parte fissa e parte apribile

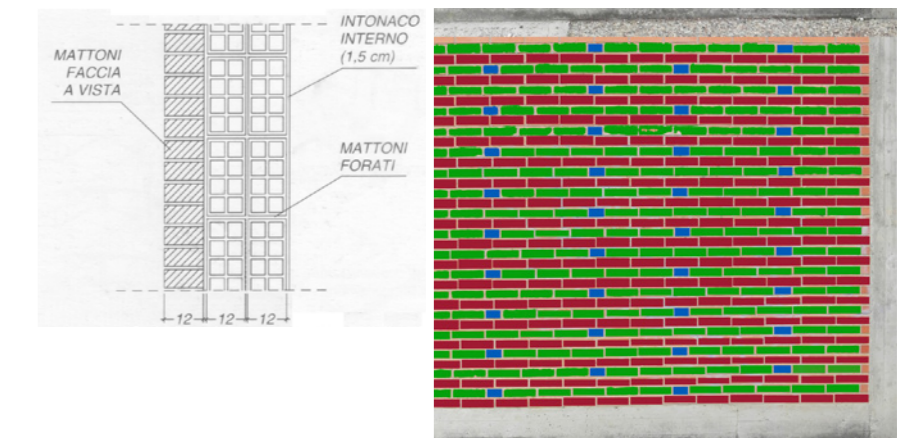
I serramenti posti in opera sono composti da una parte superiore fissa e una inferiore apribile a vasistas in maniera meccanicizzata.

Il serramento è composto da una struttura in alluminio verniciato entro la quale è alloggiato un vetro singolo. la posa in opera rispetta la logica costruttiva di grande economia dell'edificio, senza una progettazione accurata della connessione tra serramento e parete.



#### 4.1.5.4 La muratura

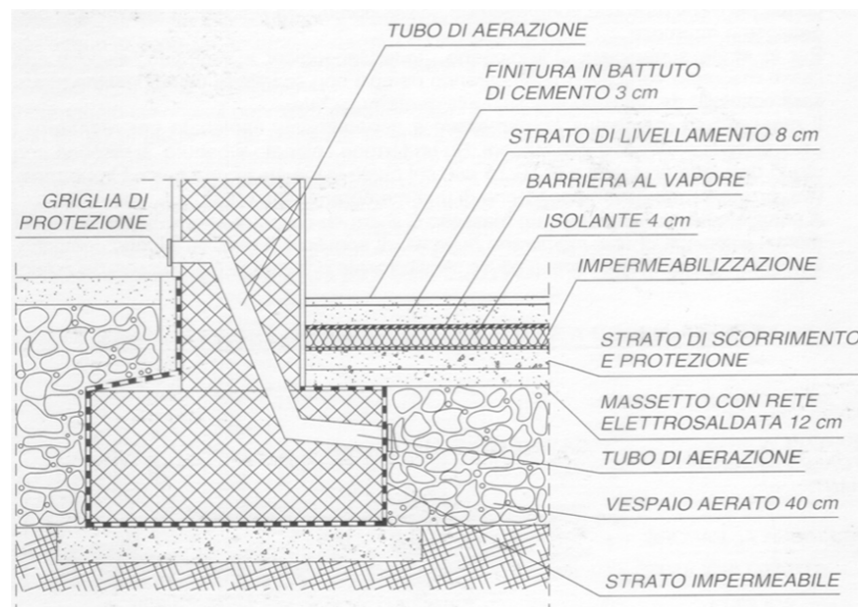
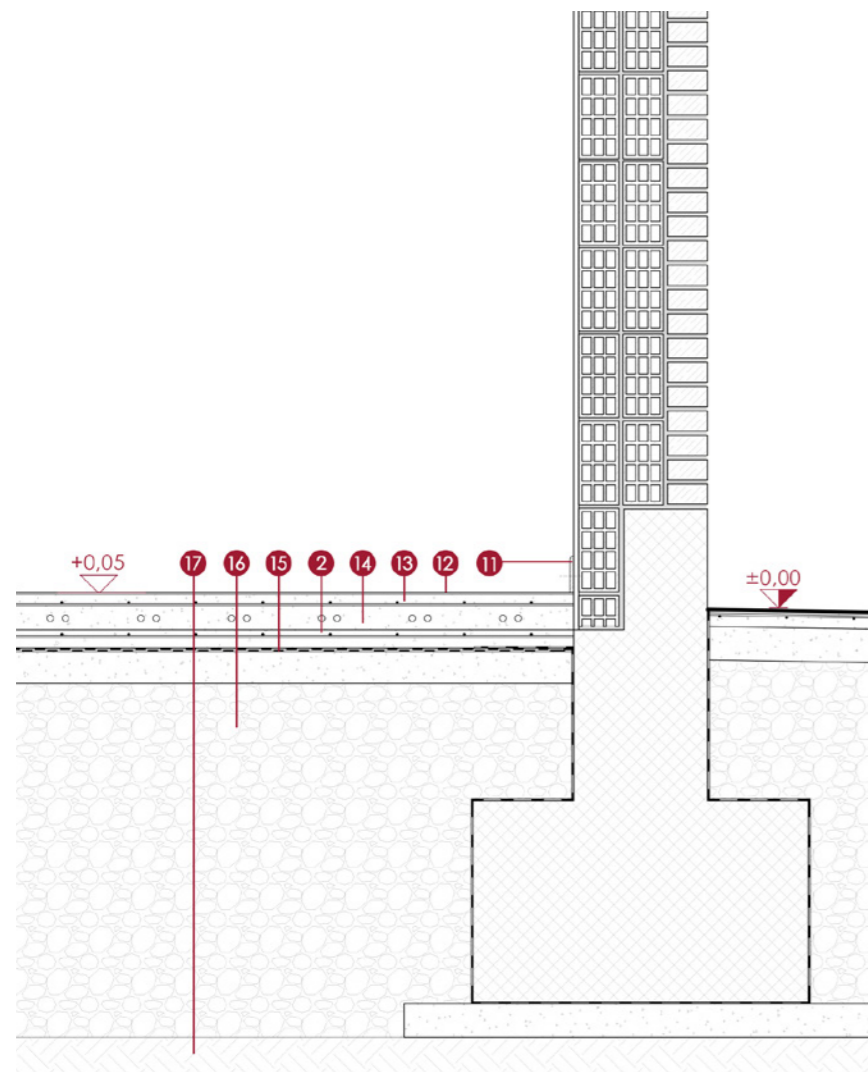
La struttura portante dell'edificio è in cemento armato, pertanto le murature in mattoni svolgono la funzione di tamponamento. I mattoni faccia a vista (dimensione UNI) rappresentano solo la testa più esterna della muratura, che negli strati più interni è costituita da laterizi forati 12x25x25 cm, più economici ed attraverso i quali sono realizzati anche gli incassi dei termosifoni. La disposizione dei mattoni faccia a vista vede un corso continuo ogni due, con una disposizione che prevede un mattone messo di testa ogni cinque di costa, con un ritmo disassato (foto).



#### 4.1.5.5 Le fondazioni

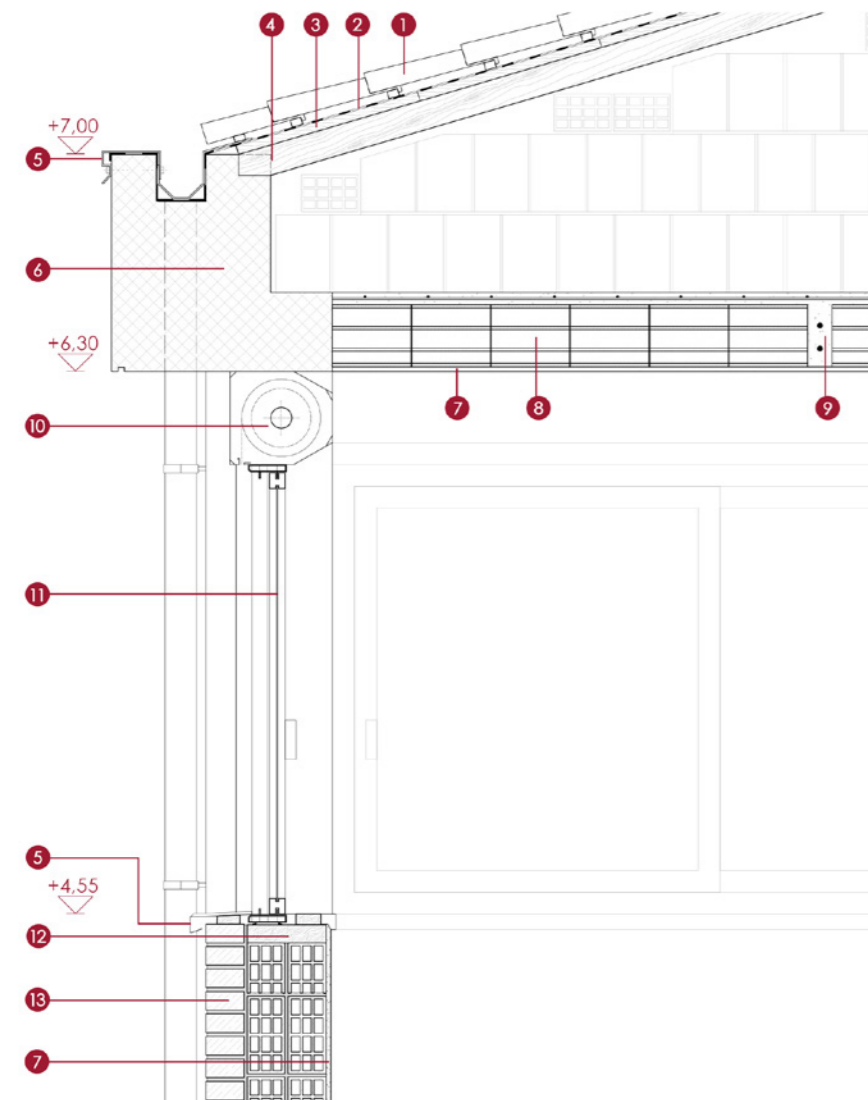
Il sistema di fondazione è analogo a quello riportato in figura, ma non dispone nè del vespaio areato nè presumibilmente dello strato di isolamento termico nella chiusura orizzontale.

L'assenza del vespaio areato è stata dedotta dalla mancanza sia di bocchette di aerazione all'attacco a terra dell'edificio che di pozzetti di sfogo lungo il perimetro della costruzione.



- 1 Elemento di protezione: scossalina in lamiera metallica
- 2 Membrana impermeabilizzante sp.0,5 cm
- 3 Elemento portante: trave in calcestruzzo gettato in opera utilizzando casseri da 10x2 cm
- 4 Strato di protezione della membrana impermeabile: ghiaietto
- 5 Elemento portante: sistema prefabbricato in cemento armato "Larco System"
- 6 Serramento con vetro singolo composto da parte superiore fissa e parte inferiore con apertura a vasistas
- 7 Strato di rivestimento: mattoni faccia a vista
- 8 Strato legante: malta cementizia sp. 1 cm
- 9 Strato di tamponamento: mattoni forati 12x25x25 cm
- 10 Strato di finitura: intonaco con finitura liscia a base di cemento, calce idrata e inerti calcarei sp. 1,5 cm
- 11 Elemento di protezione: zoccolino in legno
- 12 Strato di finitura: linoleum sp. 3,2 mm
- 13 Massetto di regolazione in cls alleggerito più rete elettrosaldata per la ripartizione dei carichi sp. cm
- 14 Massetto per integrazione impiantistica sp. 10 cm
- 15 Strato di livellamento: magrone realizzato in cls magro sp.10 cm
- 16 Strato drenante: materiale di riempimento ghiaioso
- 17 Strato di appoggio: terreno compattato

Legenda degli elementi precedenti

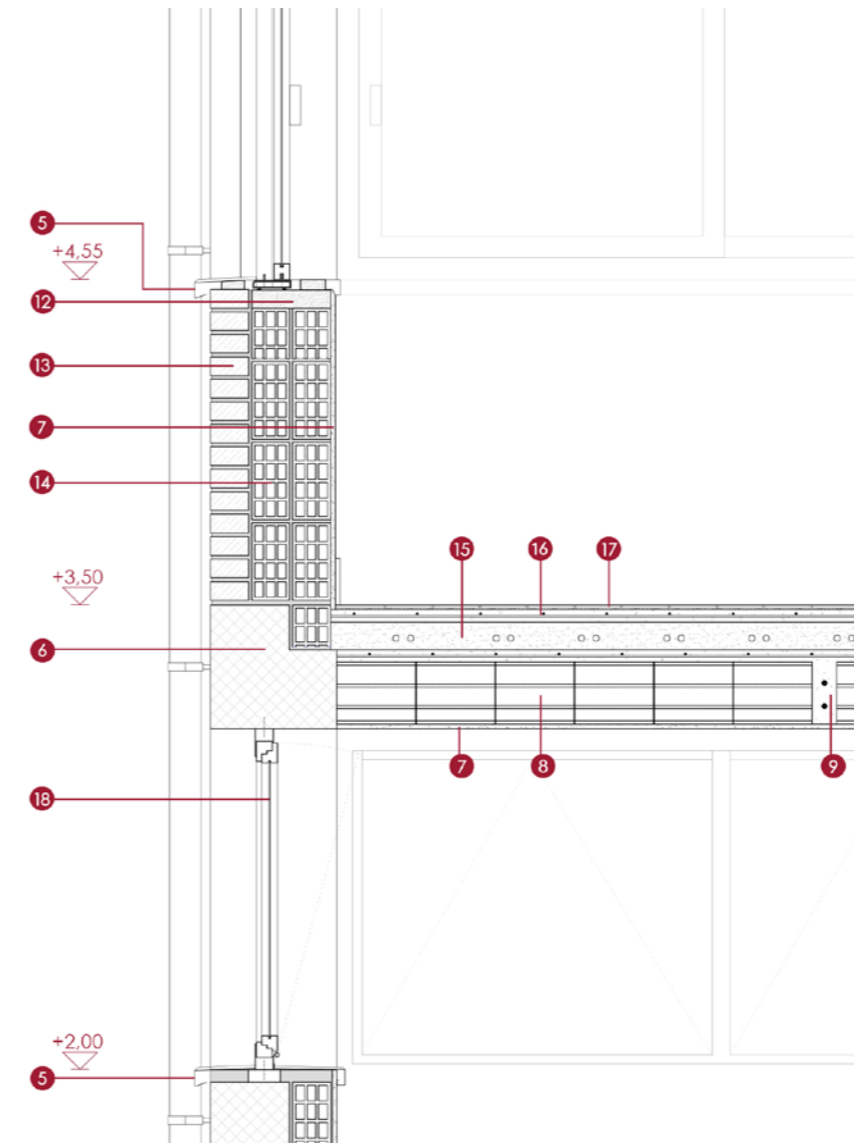


#### 4.1.5.6 Copertura

I travetti in legno che portano la copertura sono appoggiati a dei muri in laterizio disposti a X rispetto alla pianta della copertura.

Questo sistema permette di distribuire il carico della copertura più uniformemente sull'impalcato sottostante e di diminuire quindi le sollecitazioni.

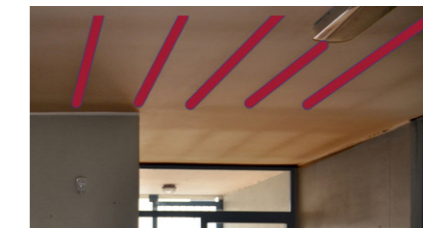
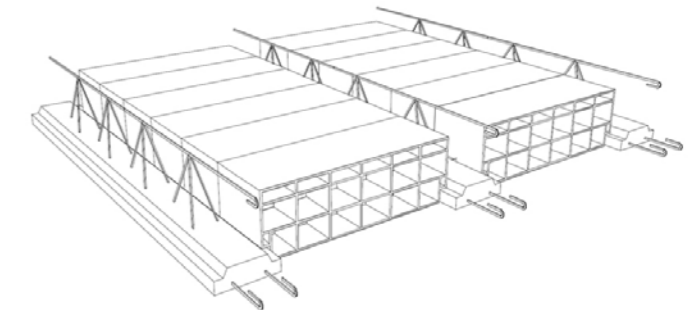
È inoltre un sistema tradizionale molto economico e dunque conforme alla metodologia costruttiva della palestra.

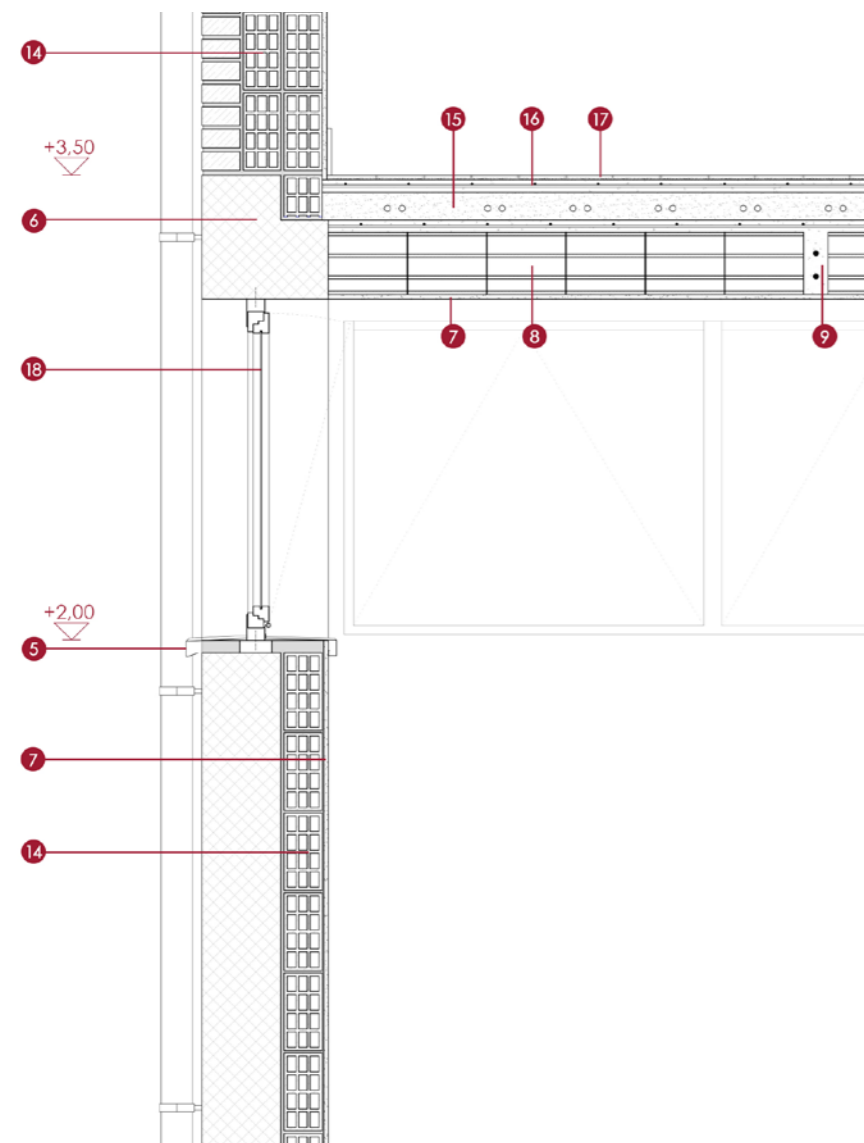


#### 4.1.5.7 Solaio

La presenza di un solaio tradizionale in travetti e pignatte è evidente dallo studio delle alterazioni cromatiche che interessano i soffitti. Si può infatti leggere chiaramente lo sviluppo dei travetti e delle pignatte; si nota inoltre la presenza di due travetti rompitratta nella luce del solaio.

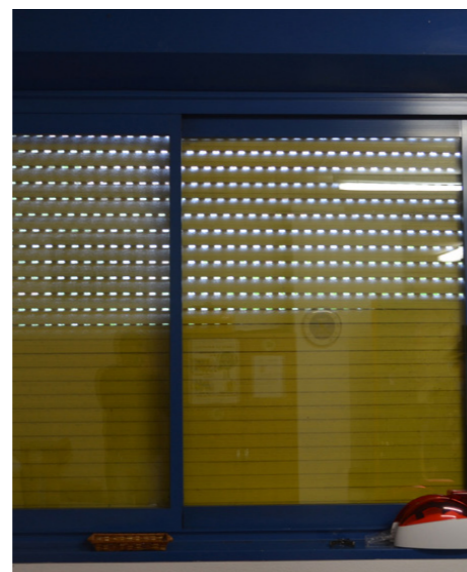
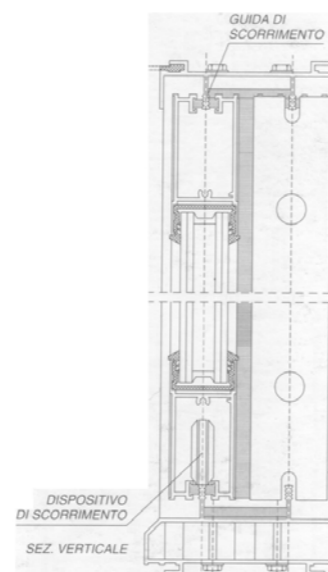
La presenza dell'impianto di illuminazione a soffitto è inoltre un'ulteriore riprova di questa tesi, poichè con questa tipologia di solaio è possibile realizzare agevolmente delle tracce.





#### 4.1.5.8 Finestra scorrevole con sistema di oscuramento

Il serramento in alluminio verniciato è abbinato ad un sistema di oscuramento avvolgibile meccanizzato, il cui cassettono, sempre in alluminio, non è provvisto di alcun tipo di isolamento termico.



- 1 Strato di rivestimento esterno in coppi e listelli in legno portategola 4x8 cm
- 2 Membrana impermeabilizzante sp.0,5 cm
- 3 Strato di supporto: assito in legno
- 4 Strato portante: travetti in legno 5x10 cm
- 5 Elemento di protezione: scossalina in lamiera metallica
- 6 Elemento portante: trave in calcestruzzo gettato in opera utilizzando casseri da 10x2 cm
- 7 Strato di finitura: intonaco con finitura liscia a base di cemento, calce idrata e inerti calcarei sp. 1,5 cm
- 8 Strato portante: getto in latero-cemento (5 cm) con travetti prefabbricati e pignatte (h 20 cm) con rete elettrosaldata per ripartizione dei carichi (griglia 10x10)
- 9 Elemento di irrigidimento: travetto rompitratta
- 10 Cassonetto in lamiera non coibentata
- 11 Serramento scorrevole con vetro singolo
- 12 Elemento in legno di giunzione tra muratura e serramento
- 13 Strato di rivestimento: mattoni faccia a vista
- 14 Strato di tamponamento: mattoni forati 12x25x25 cm
- 15 Massetto per integrazione impiantistica sp. 10 cm
- 16 Massetto di regolazione in cls alleggerito più rete elettrosaldata per la ripartizione dei carichi sp. cm
- 17 Strato di rivestimento interno: piastrelle in gres porcellanato 15x15 cm fissate tramite collante sp.0,5 cm
- 18 Serramento con vetro singolo con apertura a vasistas
- 19 Strato di livellamento: magrone realizzato in cls magro sp.10 cm

Legenda degli elementi precedenti

05

---

IL PROGETTO ARCHITETTONICO

*“Se è vero che progettare è dare una risposta sintetica a una serie di problemi e di vincoli legati a un luogo, la mancanza di specificità rischia di rendere “gratuito” e indifferente il progetto. [...] Sempre più edifici appaiono come oggetti indifferenti che potrebbero essere realizzati in qualunque luogo, la cui originalità sempre più spesso appare fine a se stessa [...]. Progettare su una preesistenza è invece un'occasione di grande ricchezza [...]; significa serbare traccia di ciò che c'era prima e darne conto alla luce delle esigenze dell'oggi; significa dare un nuovo senso, riattualizzare e reinterpretare le tracce consegnateci dalle vite che ci hanno preceduto[...].”*<sup>1</sup>

Come è stato possibile individuare nei capitoli precedenti, l'iter progettuale trova la sua ispirazione nella risoluzione delle problematiche legate al contesto e alla preesistenza, alle quali è indissolubilmente legato. Da qui si diparte la strategia di intervento, volta al rinnovamento e alla valorizzazione del sistema edificio-contesto, in termini di opportunità e limiti.

<sup>1</sup> Dal saggio *Progettare la modernità sulla preesistenza*, Ottavio Di Blasi

## 5.1 LA STRATEGIA DI INTERVENTO

La nuova immagine dell'edificio è frutto di un progetto di trasformazione scaturito dal dialogo tra le valutazioni critiche sullo stato di fatto e la nostra personale visione progettuale, che comprende, come abbiamo precedentemente illustrato, un più vasto intervento di rifunionalizzazione dell'intera area del Precampel e della sua relazione con il contesto urbano.

Il tutto è sotteso da un'accurata valutazione di ciò che si può conservare e quanto debba essere rinnovato, facendo convergere l'esistente e il nuovo verso un'entità rinnovata, dotata di un globale senso di unitarietà.

Gli elementi di nuova costruzione si contrappongono alla preesistenza nelle linee del disegno architettonico, pur mantenendo talora l'ispirazione materica dell'immagine esistente: un approccio alla progettazione che non impone di scegliere tra il contrasto e l'adeguamento, ma con il quale i due momenti vanno a coesistere.

## 5.2 IL CONCEPT

### 5.2.1 L'ANNESSIONE DEL NUOVO VOLUME

Come è possibile osservare dalla figura qui riportata le decisioni relative all'annessione di un nuovo volume per la palestra sono state prese in sede di masterplan, conformemente agli allineamenti definiti dalle preesistenze, al disegno dello spazio urbano circostante e alle esigenze da esso derivanti.



Lo stesso progetto sull'area, con un carattere fortemente ricreativo, è relazionato all'ingrandimento del nuovo polo sportivo, che possa svolgere un ruolo di riferimento e supporto per numerose attività; l'estensione del volume esistente è dunque necessario per incrementare la portata di questo centro.

### 5.2.2 I LIVELLI DELLA PROGETTAZIONE

L'ampliamento è stato approcciato annettendo all'esistente una sovrapposizione di livelli, allo scopo di generare nuove forme e nuovi spazi.

Questi elementi, fortemente distinti l'uno dall'altro, assumono rispettivamente delle specifiche peculiarità.

#### 5.2.2.1 La sottrazione come nuova apertura

Allo stato di fatto, l'edificio si mostra come una sorta di scatola chiusa; al fine di generare un'apertura che potesse relazionare gli spazi esistenti e quelli di nuova costruzione, è stato ritenuto necessario procedere in primo luogo con un intervento di sottrazione, nello specifico della parete nord e della copertura.

Solo posteriormente ad uno svuotamento è stato possibile estendere il corpo edilizio.



### 5.2.2.2 La trasparenza

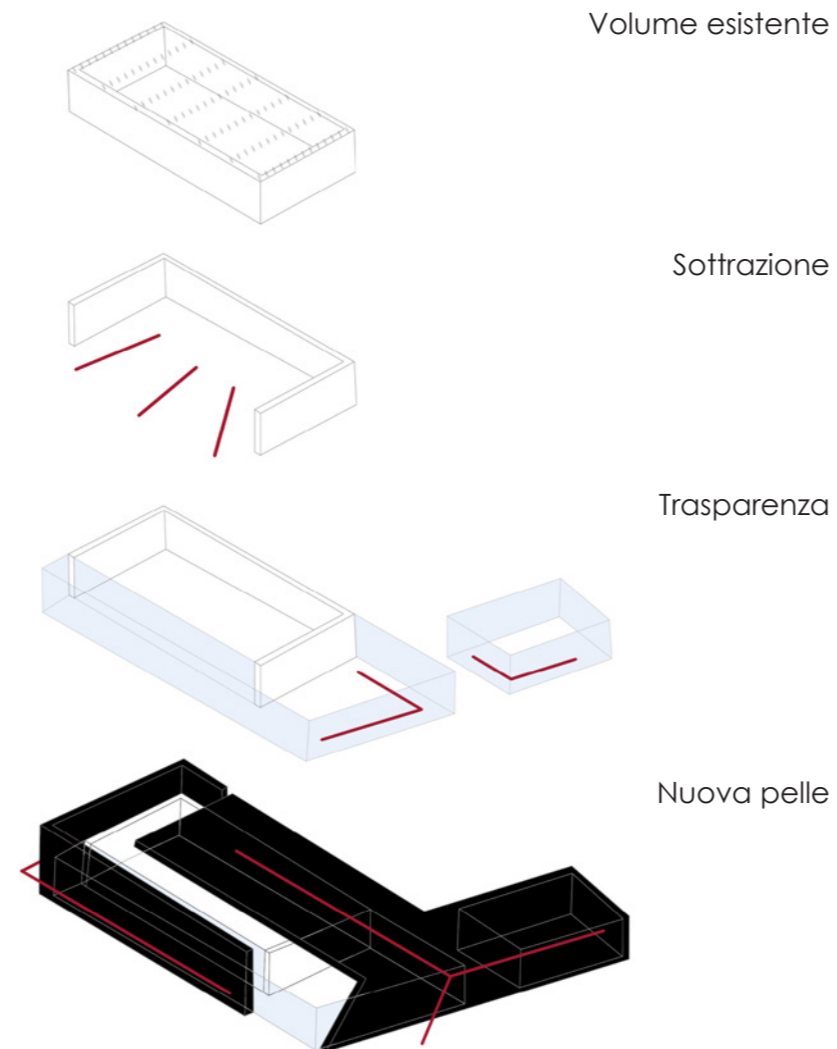
L'intervento non si allontana mai dall'intenzione di denunciare marcatamente la sua presenza, da qui la scelta di apporre un primo livello di trasparenza che possa svolgere un ruolo di interfaccia tra il solido esistente e una nuova pelle materica.

Le lunghe vetrate, oltre a rendere riconoscibile la separazione tra vecchio e nuovo, enfatizzano la continuità tra interno ed esterno.

L'elemento risulta quindi dominato da un duplice motivo: l'attitudine per la separazione contrapposta a quella per la continuità.

### 5.2.2.3 La nuova pelle

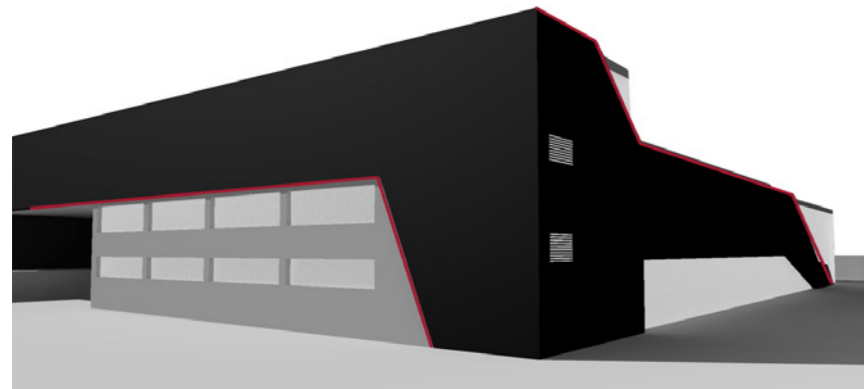
Il livello più superficiale risulta quasi un elemento disgiunto, accostato; quest'ultimo strato non cerca di mimetizzarsi o assimilarsi al volume esistente ma, al contrario, sembra volersi "appoggiare" alla preesistenza e insediarsi nel contesto generando nuovi ambienti, interni ed esterni. E' proprio sulla base di questa considerazione che si fonda la scelta dell'utilizzo di linee spezzate e tagli asimmetrici nel disegno di rivestimento e di copertura: una continua ricerca





**Figura 5.1** Nuova sede Probat Trockenbau & Ausbau, Ingolstadt, Germania

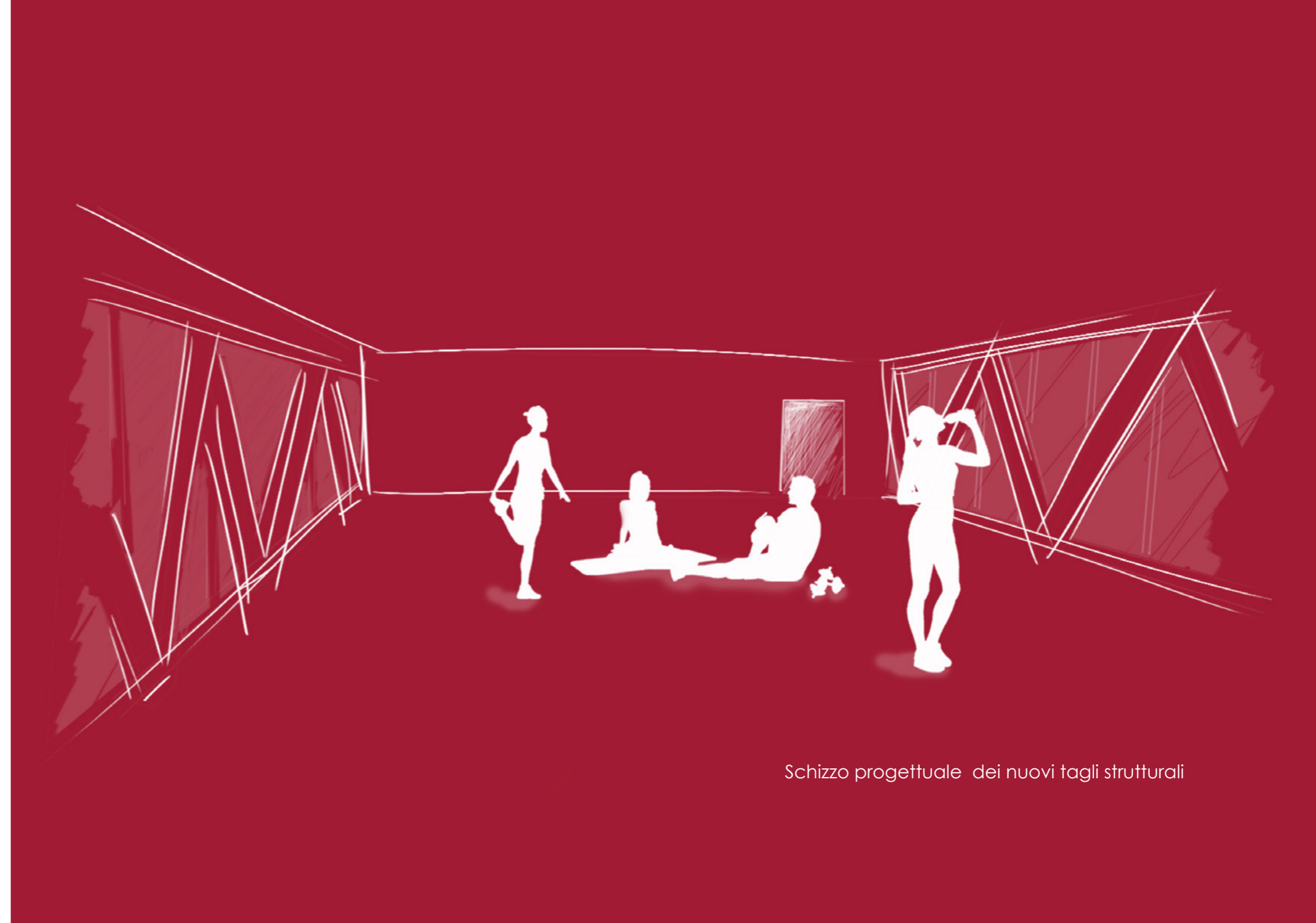
della riconoscibilità e allo stesso tempo la possibilità di rivelare lo strato sottostante, rendendo più di una volta manifesta l'immagine di facciata dell'edificio sul quale si è intervenuti.



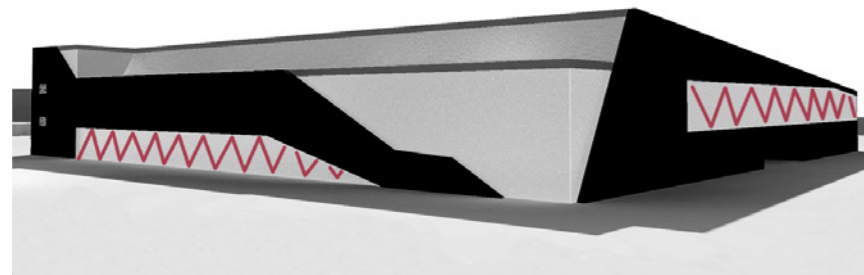
### 5.2.3 IL DISEGNO STRUTTURALE

Le spezzate della nuova pelle ritornano nel disegno strutturale della nuova tessitura in acciaio che, esibita attraverso le lunghe vetrate, manifesta il suo carattere ribelle contrapponendosi all'immagine rigida e regolare dell'esistente pilastratura in calcestruzzo armato, anch'essa mostrata lungo la facciata sud dell'edificio (facciata che dialoga con l'edificio scolastico, dalle linee molto simili).

**Figura 5.2** Milstein Hall in Ithaca, USA, Oma

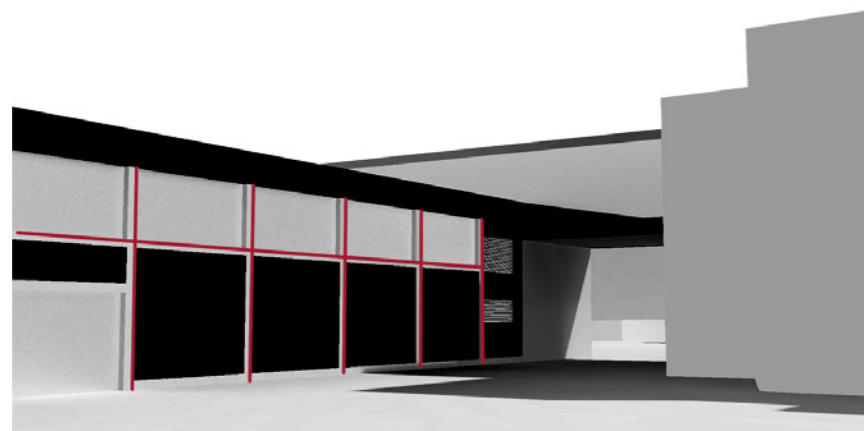


Schizzo progettuale dei nuovi tagli strutturali



**Figura 5.3** *Il disegno della nuova tessitura in acciaio*

Questo tipo di struttura renderà possibile dei disegni più liberi in pianta e la possibilità di gestire doppie altezze, adatte ad alcune dinamiche sportive che sono state collocate all'interno dell'edificio.



**Figura 5.4** *Il disegno della struttura esistente in CA*

#### 5.2.4 IL MATERIALE DI RIVESTIMENTO

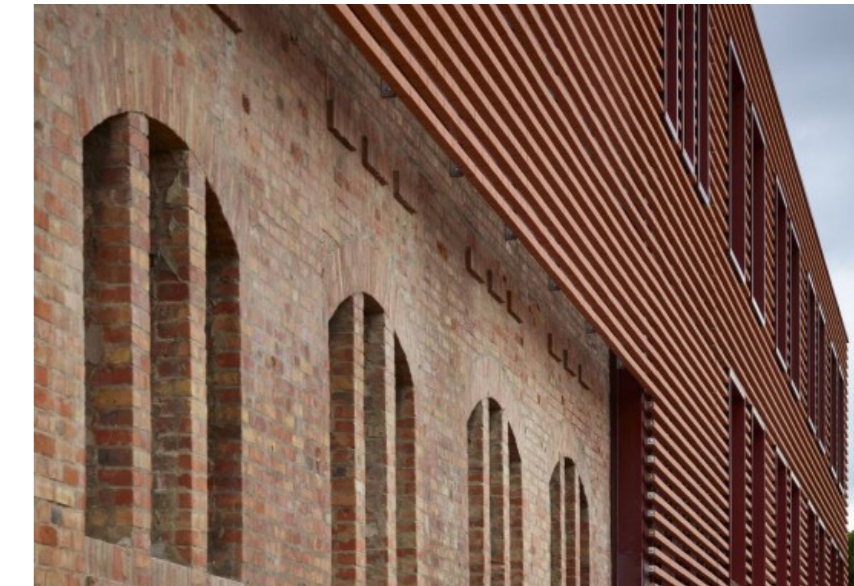
La scelta dei materiali di rivestimento ha un evidente rimando all'attuale rivestimento in cotto, il quale partecipa con il calcestruzzo alla composizione dello spessore murario.

Si è scelto quindi di adottare una tecnologia a secco pur rimandando all'utilizzo del laterizio; si tratterà infatti di una facciata ventilata con pannelli in terracotta. Le stesse lamelle utilizzate in qualità di rivestimento, svolgono anche in alcune sezioni dell'edificio funzione di frangisole, modificandosi in dimensioni ed inclinazione e andando quindi a relazionarsi con il livello trasparente senza sovrastarlo.

L'edificio nel complesso avrà tre principali differenti approcci alle chiusure e alle partizioni: uno solido, uno filtrante e uno trasparente.

Nelle pagine successive si mostreranno alcuni riferimenti progettuali: una serie di architetture che sviluppano la tematica del cotto da cui abbiamo tratto ispirazione.

**Figura 5.5** *Nella pagina successiva: recupero della ex-Fornace di Riccione, Pietro Carlo Pellegrini*

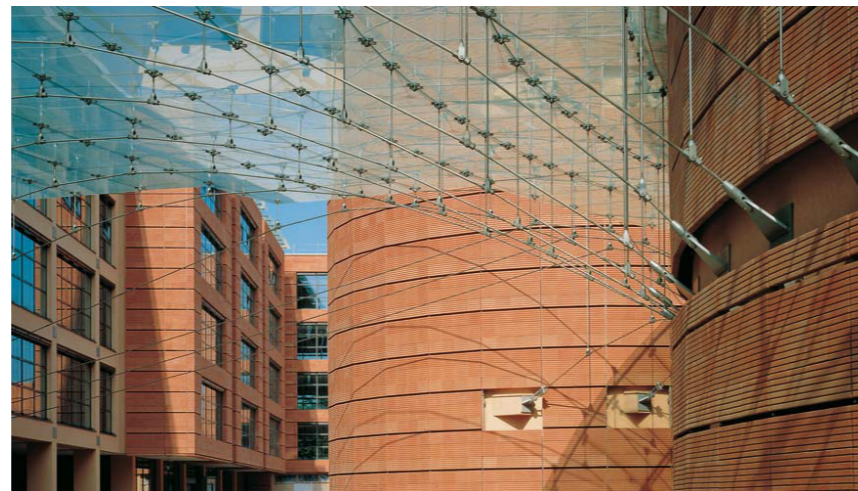


#### 5.2.4.1 Il laterizio nell'architettura contemporanea

Il cotto è per l'Italia un patrimonio di grande valore ed un elemento primario di identità culturale.

Dopo un periodo di relativa stabilità, negli ultimi anni questo prezioso materiale trova impiego in edilizia e in architettura, assumendo connotazioni inaspettate fino a qualche tempo fa. Il laterizio è oggi riscoperto nell'architettura contemporanea, materiale che in moltissime opere vede sostituire la propria funzione di elemento massivo portante con quella di involucro, passando da una stratificazione delle pareti dal basso verso l'alto ad una stratificazione interno-esterno. L'accostamento tra muratura in cotto combinata con un massiccio utilizzo del vetro conferisce al costruito quel contrasto tra antichità e modernizzazione che è oggi sempre più ricercato.

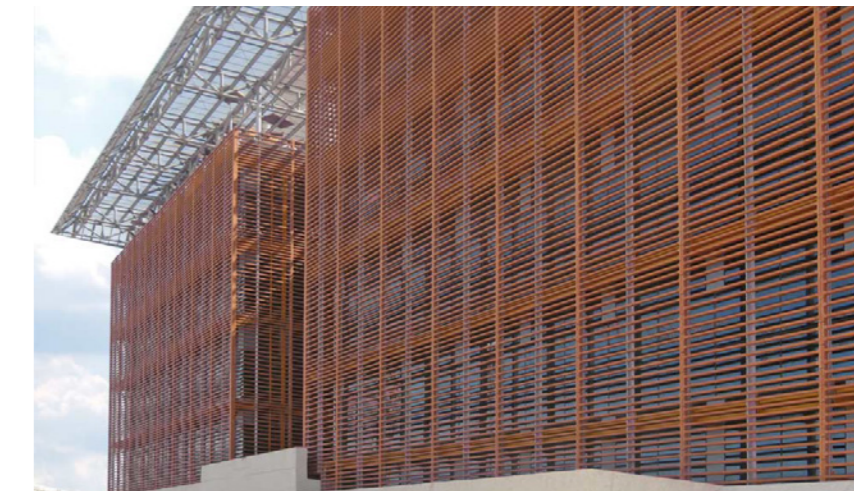
Il cotto è inoltre riconosciuto per i toni caldi, da cui la sensazione di "naturalità" che trasmette. Cotto e vetro sono spesso associati, in quanto materiali che rispecchiano pienamente i concetti e i dettami della bioarchitettura: due materiali assolutamente naturali ed ecosostenibili, in perfetta sintonia con l'ambiente naturale che li circonda.



**Figura 5.6 - 5.7** Banca Popolare di Lodi, Renzo Piano

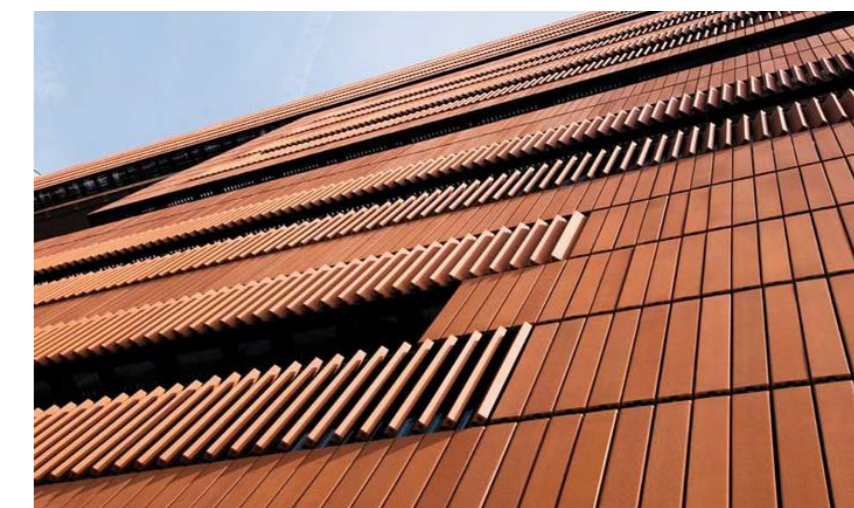


**Figura 5.8 - 5.9** Biblioteca di Greve in Chianti, MDU



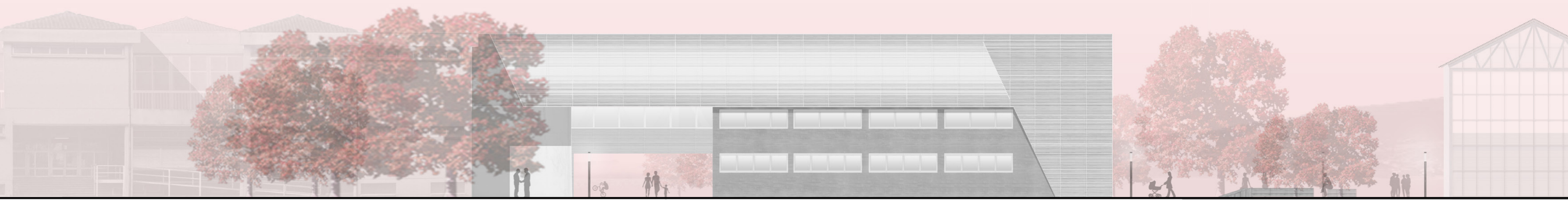
**Figura 5.10** Court House Complex, Abu Dhabi

**Figura 5.11** Headquarter Campari, Milano, Mario Botta

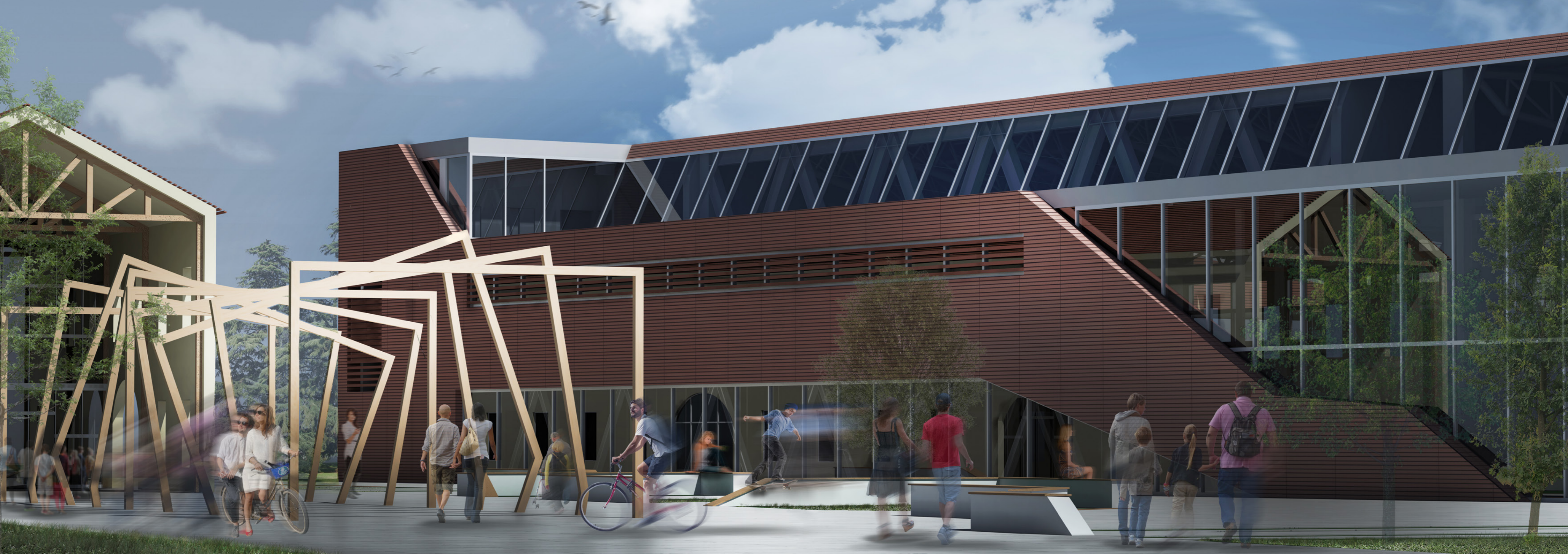




PROSPETTO NORD



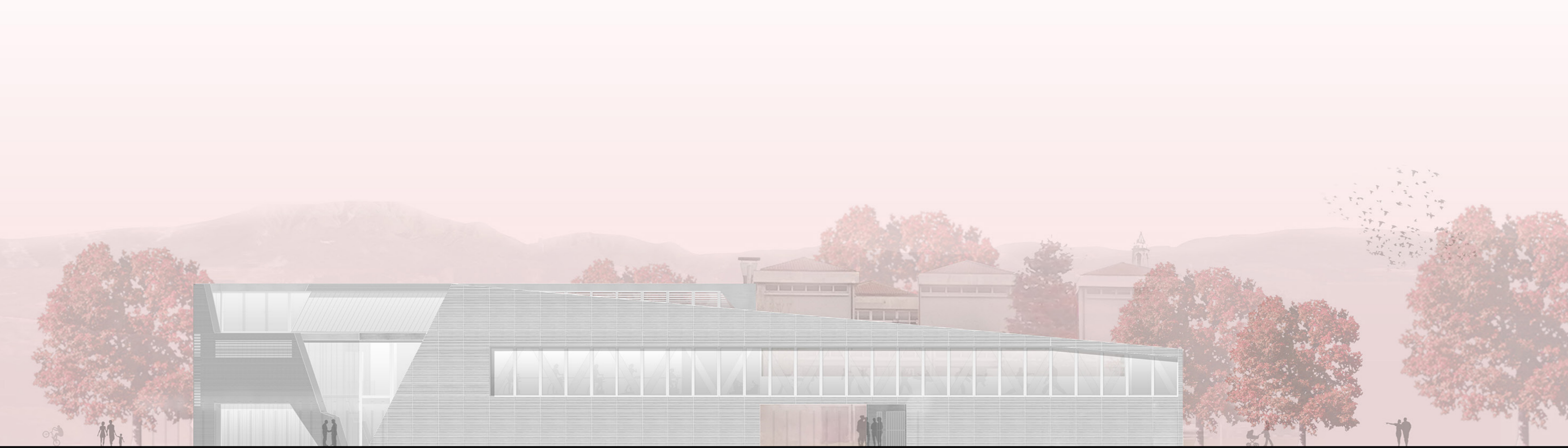
PROSPETTO EST





PROSPETTO SUD





PROSPETTO OVEST



### 5.3 LA DISTRIBUZIONE INTERNA

Il disegno degli spazi interni è focalizzato sulla risoluzione delle problematiche riscontrate nel momento del rilievo e sul potenziamento e l'ampliamento degli spazi esistenti, in funzione delle nuove necessità.

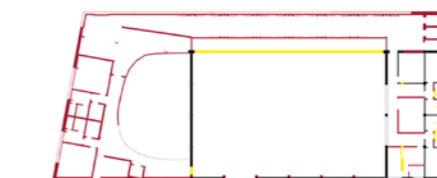
#### 5.3.1 LE PROBLEMATICHE ALLO STATO DI FATTO

Nello specifico, allo stato di fatto l'edificio mostrava numerose criticità:

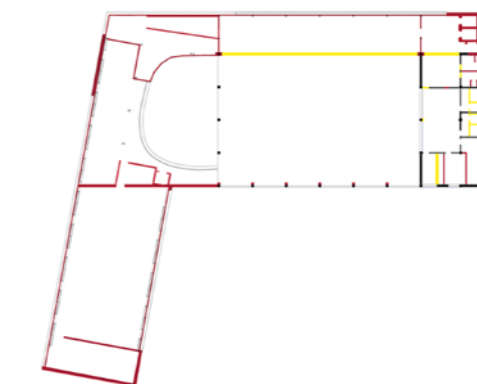
- la necessità di creare nuovi spazi per l'attività sportiva legata anche agli sport da lago;
- la mancanza di tribune a norma e di capienza adeguata;
- la mancanza di un collegamento sicuro con il polo scolastico annesso;
- la necessità di creare spazi adeguati per le associazioni sportive;
- un'altezza sottotrave all'interno del campo non rispettosa della normativa (inferiore a 7m).

Le scelte progettuali adottate hanno tenuto conto delle criticità sopra citate, nonché di alcuni principi quali flessibilità, compatibilità, riconoscibilità e funzionalità.

Si mostrano di seguito le scelte riguardanti le opere di demolizione e nuova costruzione.



**Figura 5.14** Pianta piano terra con indicazione demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi)



**Figura 5.13** Pianta piano primo con indicazione demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi)

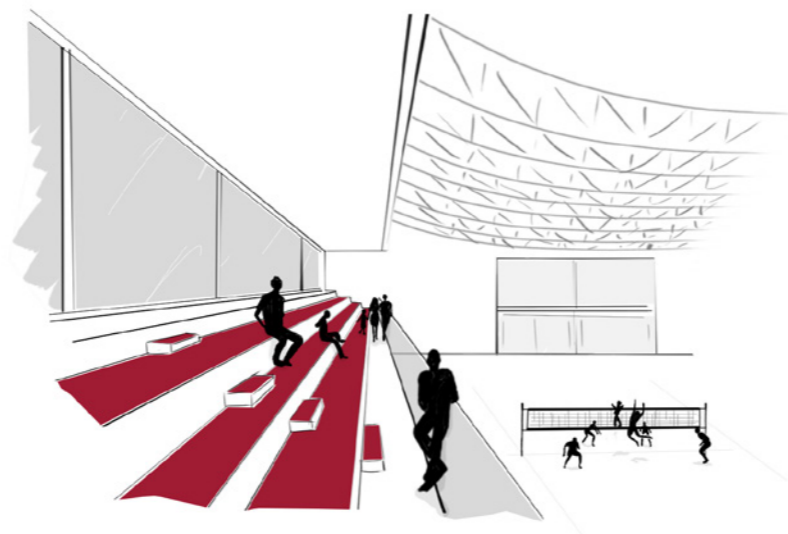
### 5.3.2 L'ARTICOLAZIONE DEGLI SPAZI INTERNI

In primo luogo si è deciso di mantenere la struttura muraria e portante della zona del campo da gioco e degli spogliatoi esistenti.

La zona delle tribune invece, che prima si trovava a ridosso del campo da gioco, è stata posta in corrispondenza del lato lungo del campo ma al primo piano, in modo da non creare interferenze tra il pubblico e i giocatori e conquistare spazio nell'ampliamento dell'edificio. Una grande vetrata sopra gli spalti permette l'entrata di luce diffusa, evitando quindi una situazione di abbagliamento, fondamentale in particolar modo per i giocatori.

L'area collocata al di sotto degli spalti, al piano terra, è stata adibita a zona relax e, oltre a connettere l'entrata principale agli spazi dedicati agli sportivi, svolge una funzione di filtro in quanto racchiusa tra due partizioni vetrate, che permettono sia a chi si trova in quest'area, sia a chi passeggia all'esterno dell'edificio, di scorgere il campo da gioco.

La forte connessione con l'ambiente lacustre si intensifica grazie al potenziamento delle attività che si svolgono sul lago anche all'interno della palestra.

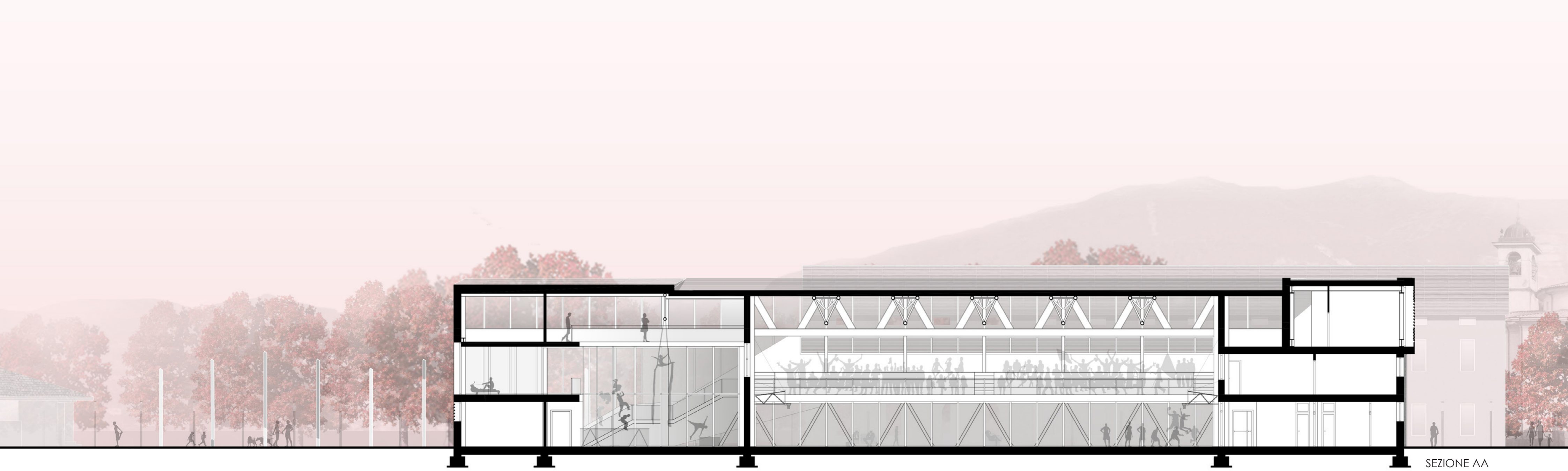


In primo luogo troviamo una sala di acrobatica munita di tappeti elastici, che permette all'atleta di allenarsi con salti e acrobazie che poi replicherà grazie all'impianto di wakeboard.

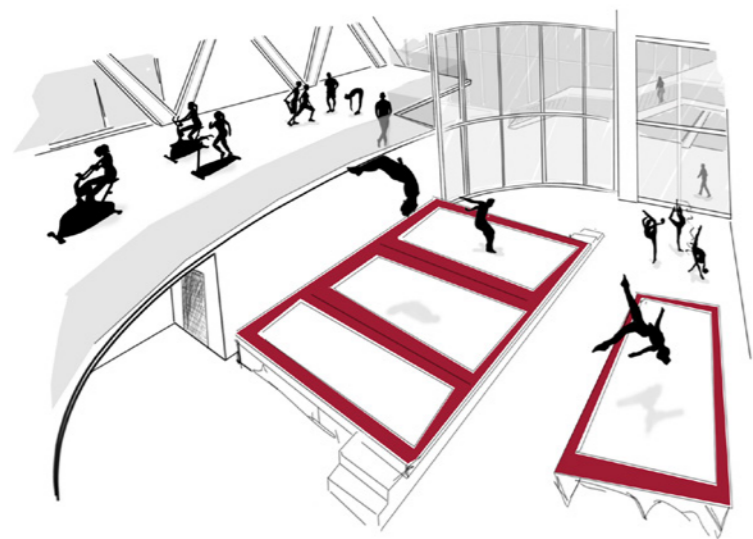
Questa particolare sala necessita di una doppia altezza ed è visibile dall'esterno grazie alle ampie vetrate poste sui lati nord e sud. Una zona attrezzi al primo e al secondo piano abbraccia la sala acrobatica e permette allo sportivo di allenarsi con vogatori, cyclette e tapis roulant, mentre gode di una bellissima vista lago.



PIANTA PIANO TERRA



SEZIONE AA

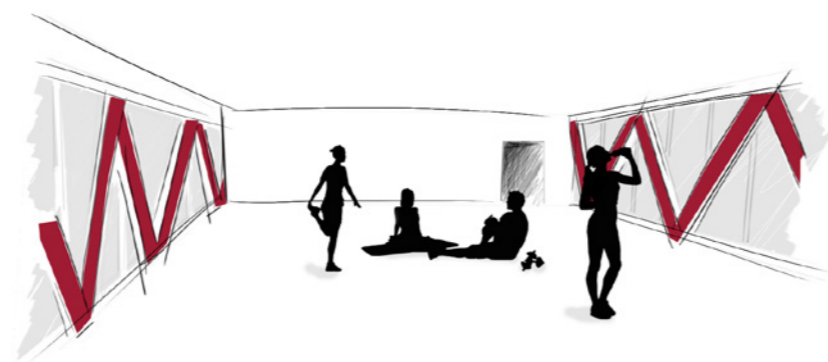


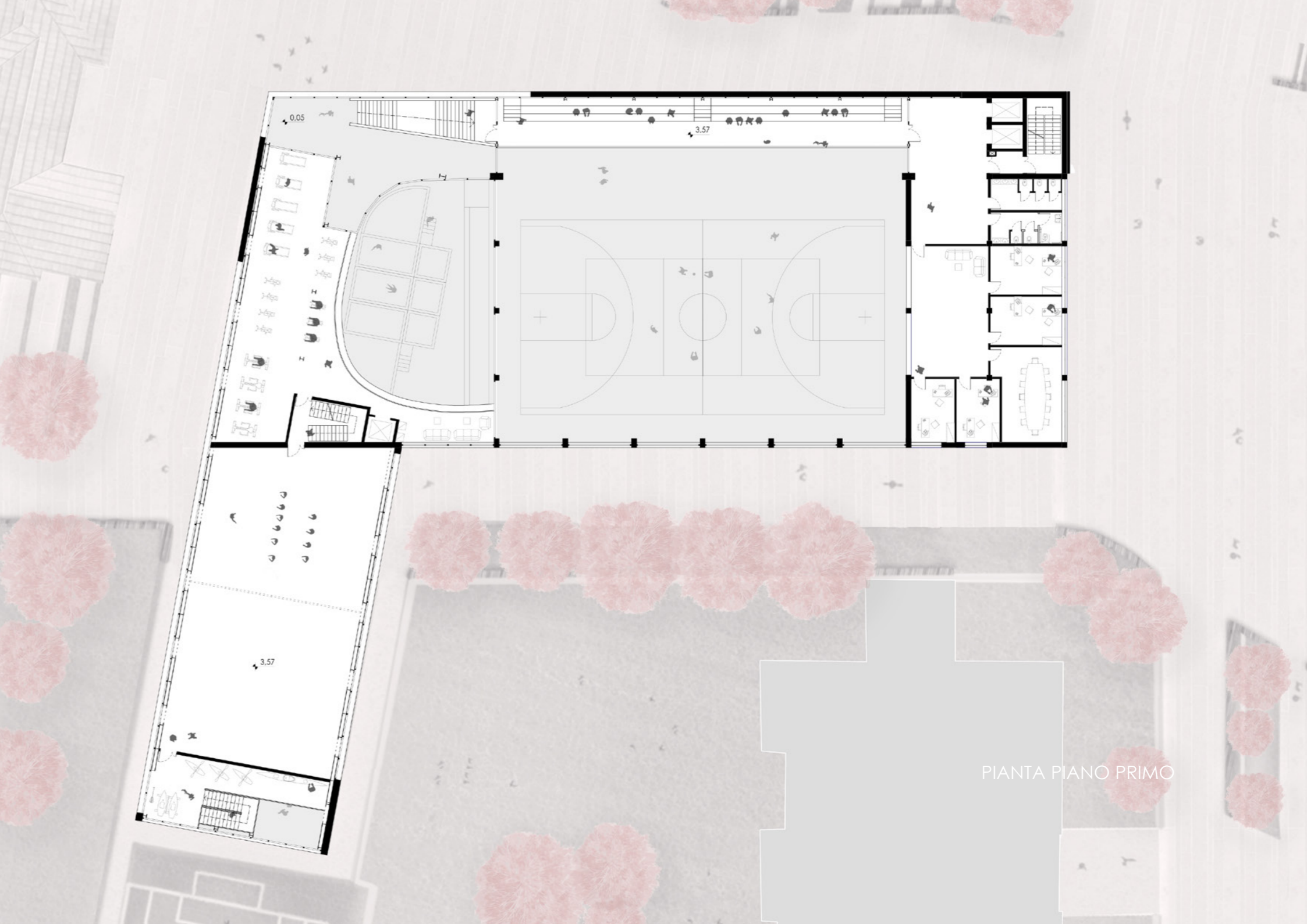
Altre attività sportive vengono praticate nella grande sala fitness al secondo piano, divisibile grazie alla presenza di pareti removibili; questo vasto openspace è caratterizzato da una forte marcatura del disegno strutturale a linee inclinate che lo circonda.

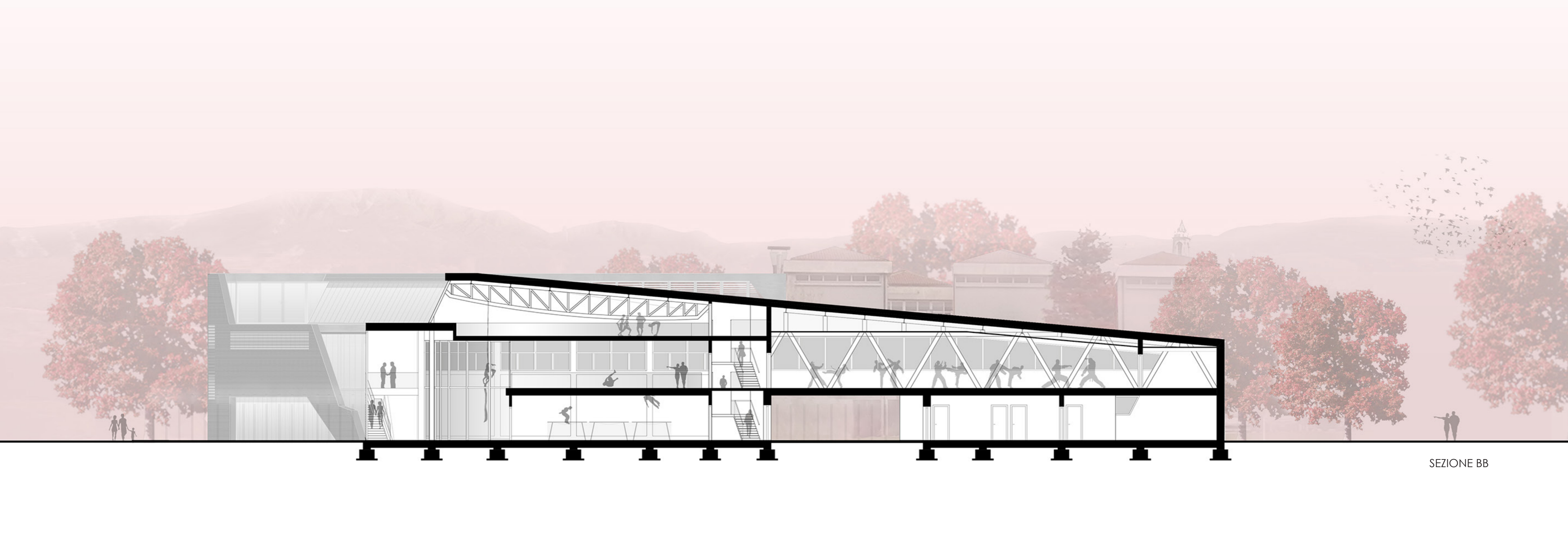
Gli sport praticati sul lago necessitano inoltre di un'attrezzatura adeguata, a volte ingombrante; per questo motivo all'estremità sudovest dell'edificio è stata predisposta un'area adibita a deposito e noleggio di canoe e tavole da wakeboard.

Un ultimo proposito è stato quello di connettere il polo

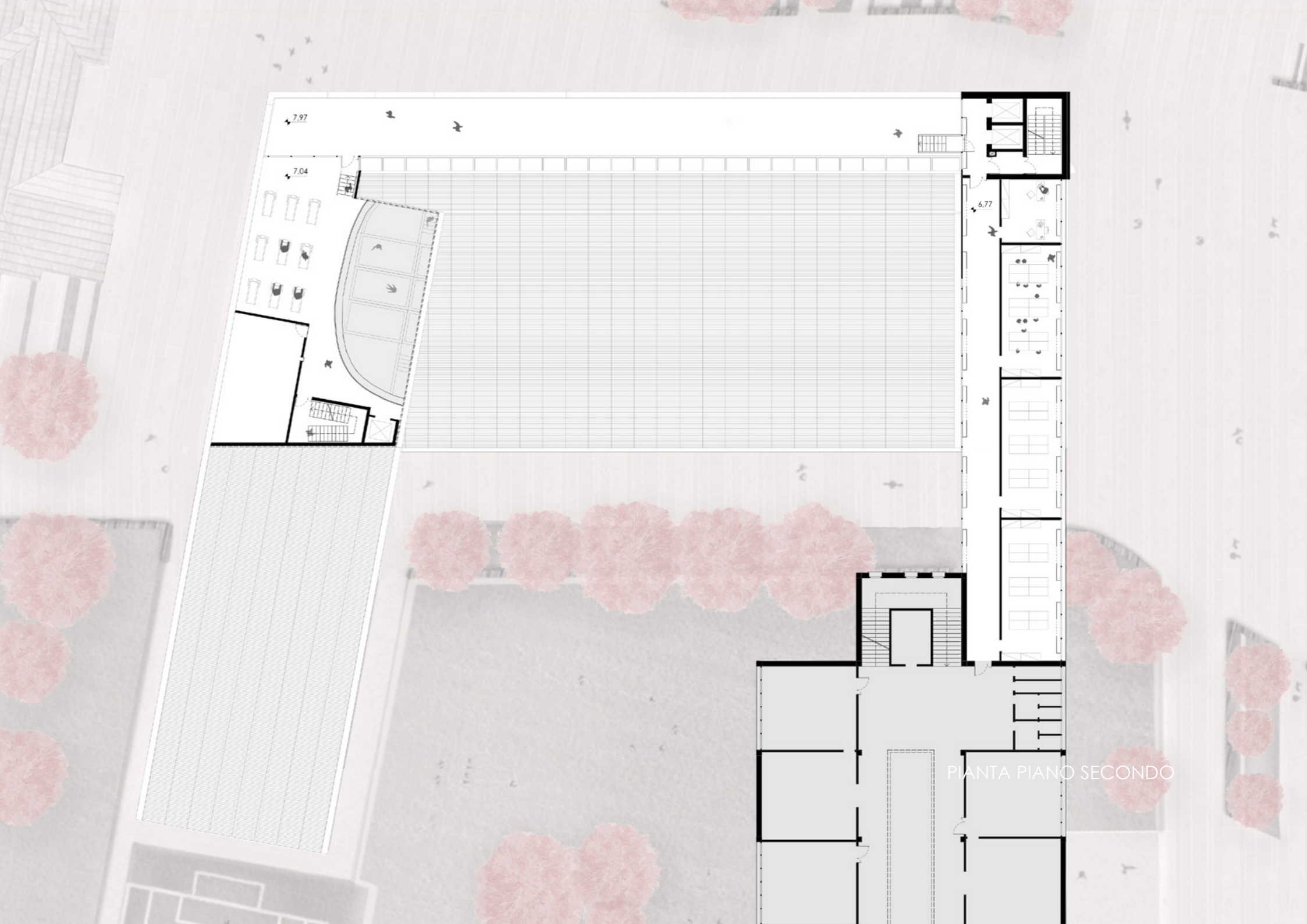
scolastico con la palestra attraverso un passaggio sicuro. Per questo motivo si è deciso di creare un "corridoio aereo" che collegasse il secondo piano dei due edifici. Lungo questo spazio, sono state anche ricavate delle aule didattiche, a disposizione della scuola, e un ufficio per l'insegnante di ginnastica, come richiesto da normativa. La necessità di alzare il tetto della palestra ha portato alla scelta di una copertura inclinata che taglia il secondo piano e permette l'entrata di luce da una vetrata inclinata da alcune Velux in direzione zenitale. Lo spazio esterno rimanente, accessibile dall'interno della palestra è adibito a zona relax/solarium e attrezzi e gode di una vista spettacolare verso il lago.



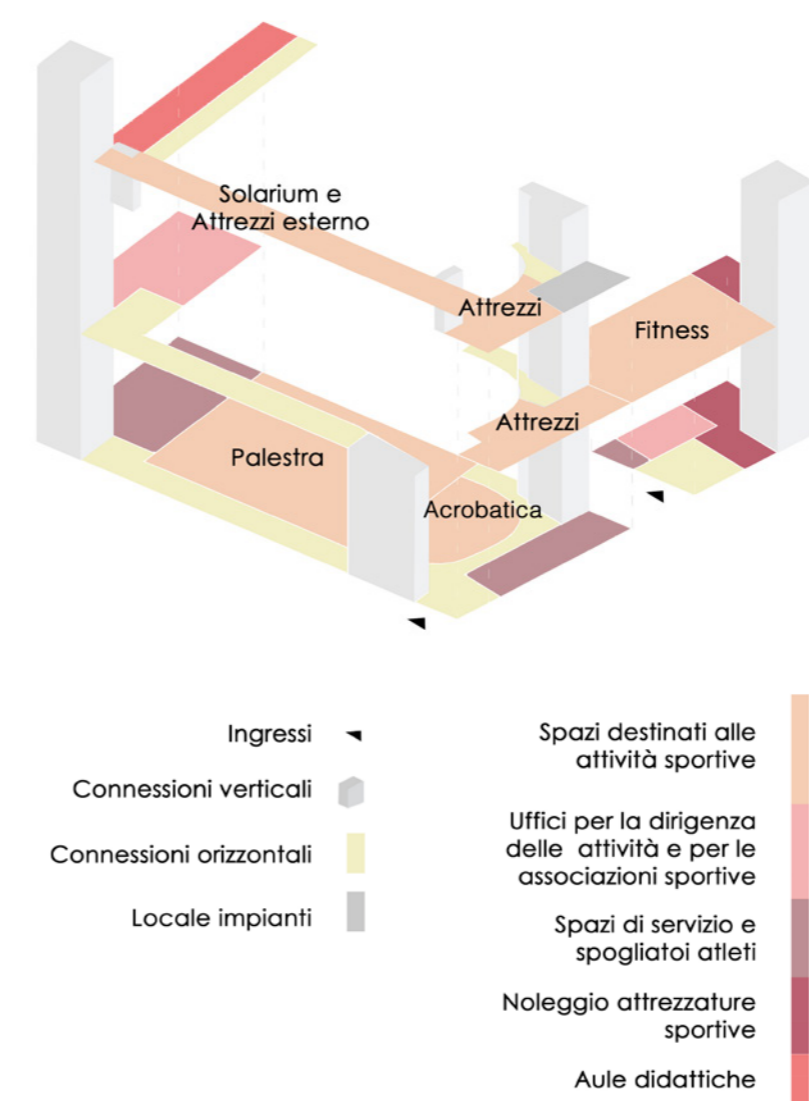
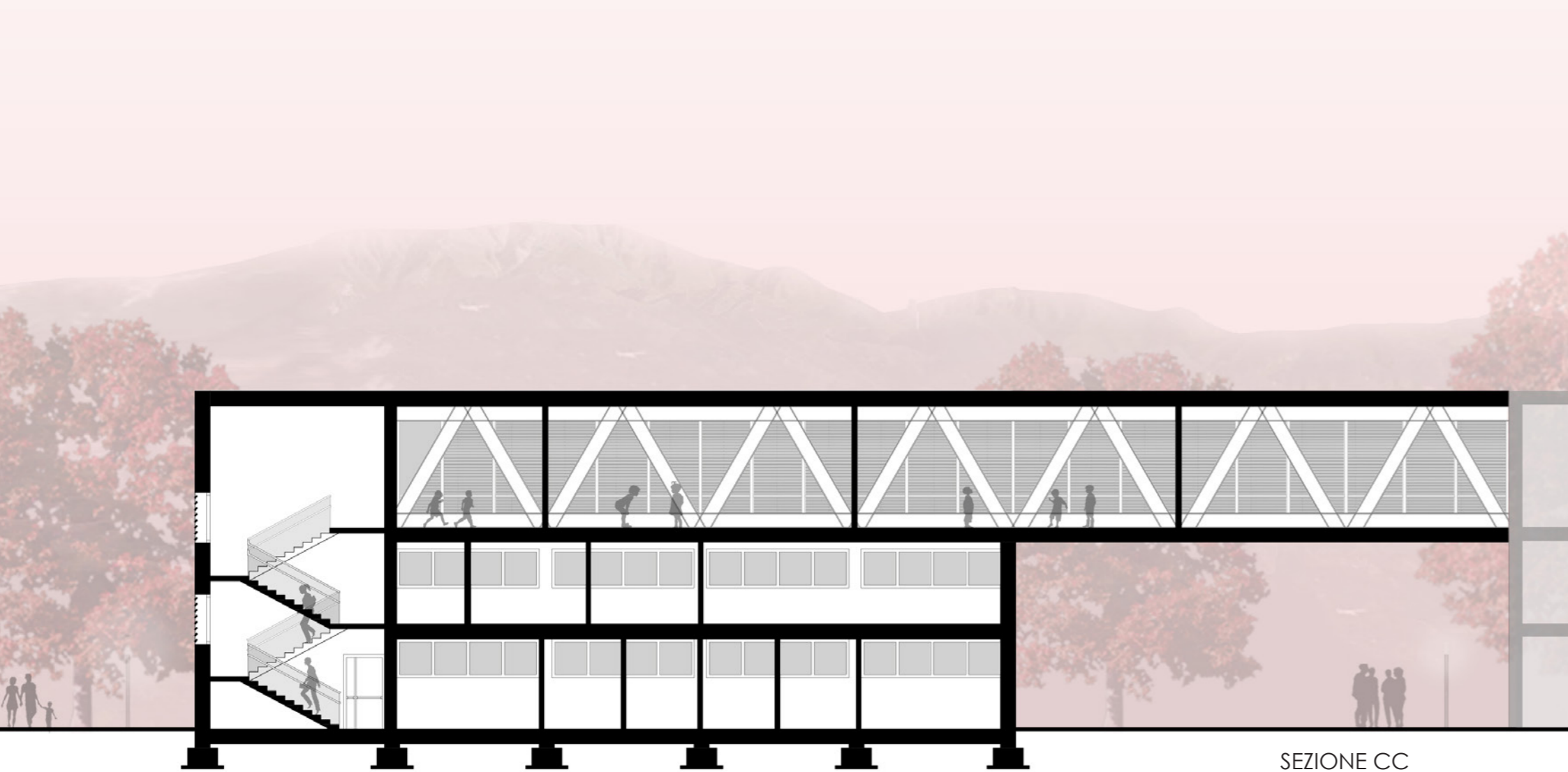




SEZIONE BB







Come è possibile leggere dal layout funzionale, l'edificio va ad alleggerirsi in direzione verticale, svuotandosi da un piano all'altro in particolar modo grazie agli ambienti a doppia altezza.

I lunghi spazi di connessione orizzontale sono invece dovuti all'esigenza del polo sportivo di differenziare le aree di percorrenza dedicate al pubblico dagli ambienti prettamente dedicati alle attività sportive. Talvolta per gli stessi sportivi vi sono percorsi differenziati, rimane però sempre fondamentale una via diretta agli spogliatoi prima di accedere agli ambienti esclusivamente dedicati allo sport.

**Figura 5.15** A destra: layout funzionale e relativa legenda

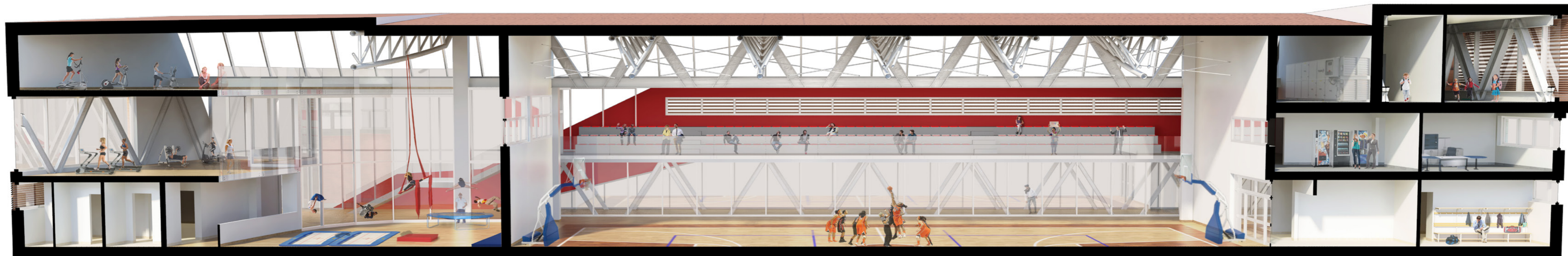


Figura 5.16 Sezione prospettica longitudinale

## 5.4 LE VERIFICHE NORMATIVE

### 5.4.1 LA NORMATIVA SPORTIVA

Alcuni approfondimenti e analisi normative sono state indispensabili per la creazione di un progetto che rispettasse tutti i requisiti che la sua destinazione d'uso richiede.

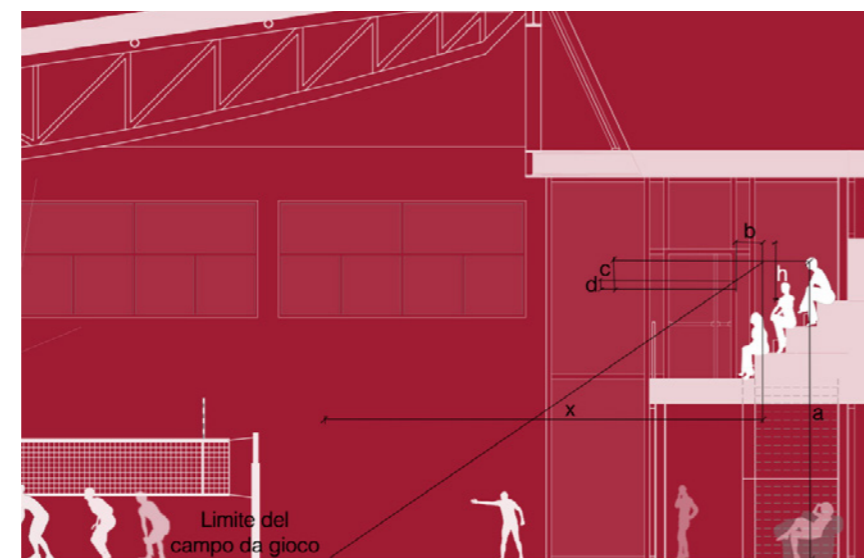
In primo luogo sono stati analizzati e dimensionati gli spalti, che da semplici panchine removibili dovevano essere trasformati in spazi di fruizione sicuri e a norma. Si è deciso di porre una nuova struttura adibita a spalti al piano primo per garantire una più confortevole visione dello spettacolo sportivo e poiché secondo la normativa CONI durante le manifestazioni gli spazi destinati all'attività sportiva, gli spogliatoi e i relativi collegamenti con l'esterno dell'impianto dovranno risultare inaccessibili agli spettatori.

Inoltre la norma prevede una formula matematica per la verifica della visibilità degli spettatori, come è riportato nella sezione in basso a destra.

Altre normative, come il Decreto Ministeriale 18 Marzo 1996, impongono limiti per il dimensionamento delle vie di uscita degli spettatori, che devono sempre essere

diverse da quelli degli utenti, inoltre anche i gradini di smistamento nelle tribune e il rapporto tra pedata e alzata dei gradini incide sul dimensionamento di questi spazi.

Gli spogliatoi sono stati dimensionati per poco più di 20 persone l'uno, considerati gli sport che si prevede verranno praticati all'interno della palestra; le chiusure trasparenti sono state poste in alto per occultare la vista all'interno di questi.



Un progetto per degli spalti a norma prevede il rispetto della distanza  $X=(a \times b)/(c-d)$



Figura 5.17 Sezione prospettica trasversale

### 5.4.2 VERIFICHE SULL'ACCESSIBILITÀ

Altro tema importante è l'accessibilità, i cui requisiti sono garantiti con le modalità previste dalle normative vigenti.

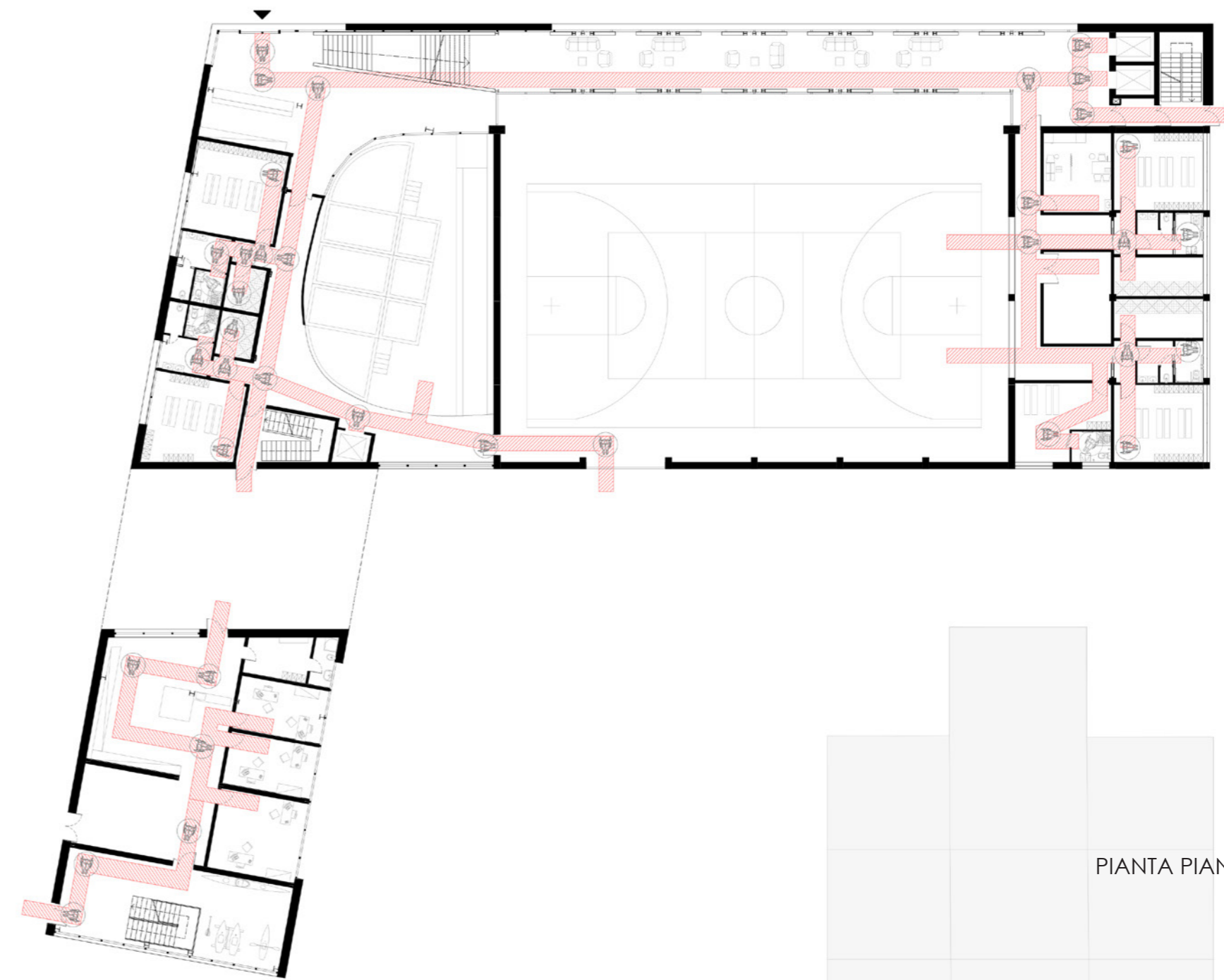
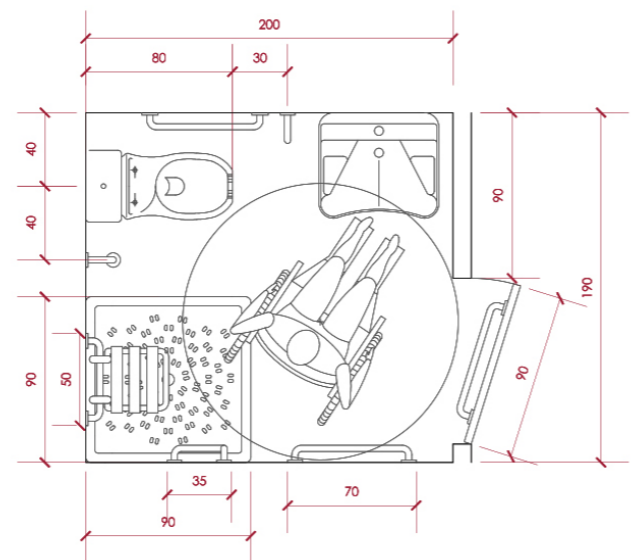
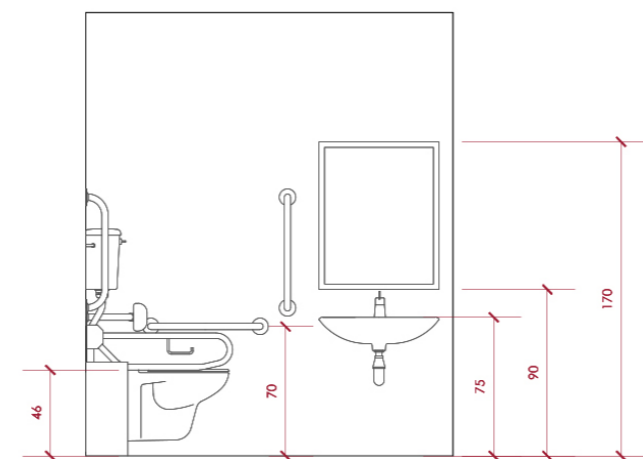
L'accessibilità è garantita per quanto riguarda gli spazi esterni e le parti comuni; esiste infatti almeno un percorso agevolmente fruibile anche da parte di persone con ridotte o impedito capacità motorie.

Tutti gli ascensori rispettano le caratteristiche richieste da normativa, ovvero:

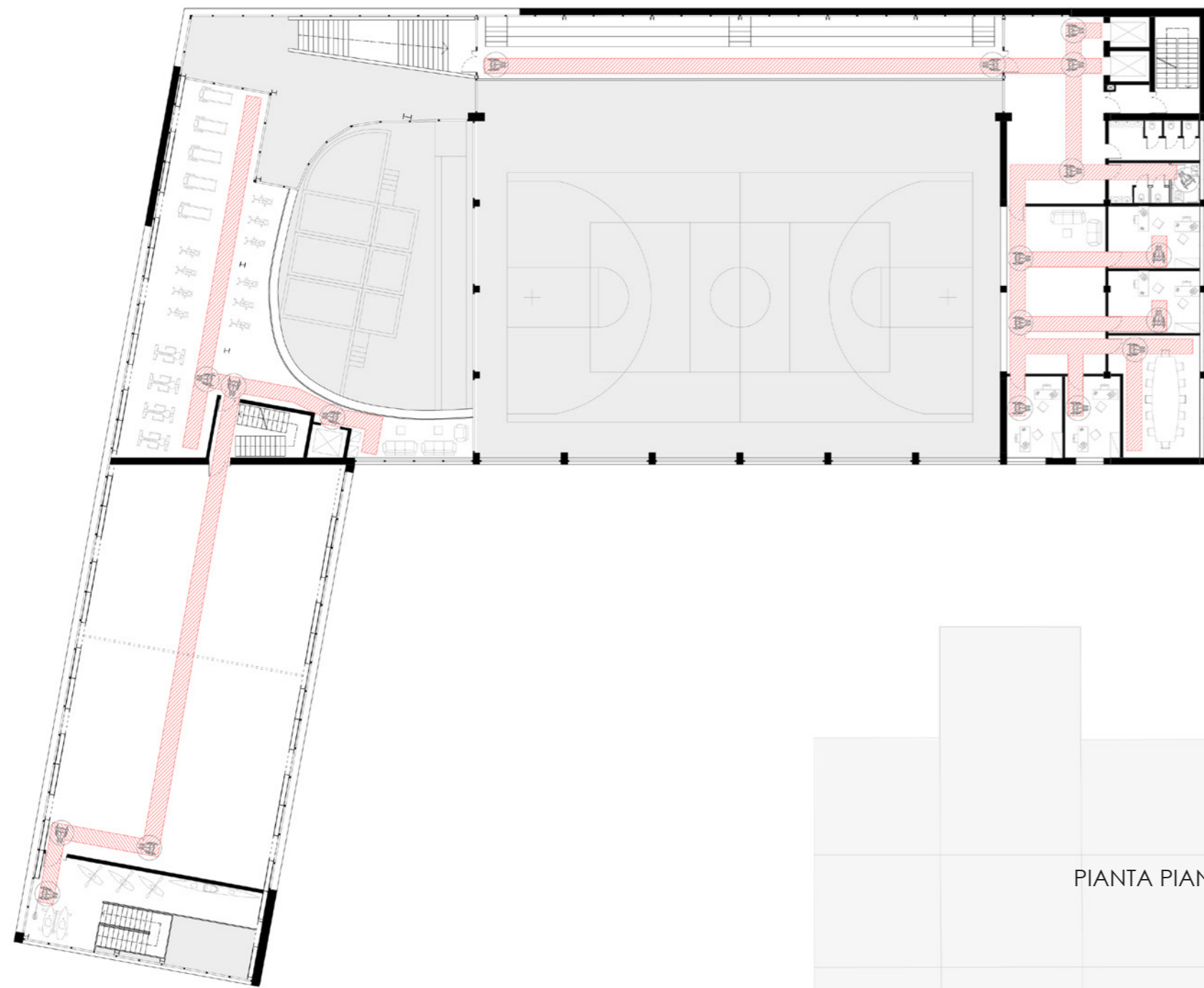
- cabina di dimensioni minime di 1,50x1,37 m
- porta con luce netta di 0,90 m posta sul lato corto
- piattaforma minima di distribuzione davanti alla porta della cabina di 1,5x1,5 m.

In tutto l'edificio, inoltre, le porte risultano di dimensioni superiori ai limiti da normativa, ovvero con una luce netta minima maggiore di 80 cm per le porte esterne, e maggiore di 75 cm per le porte interne.

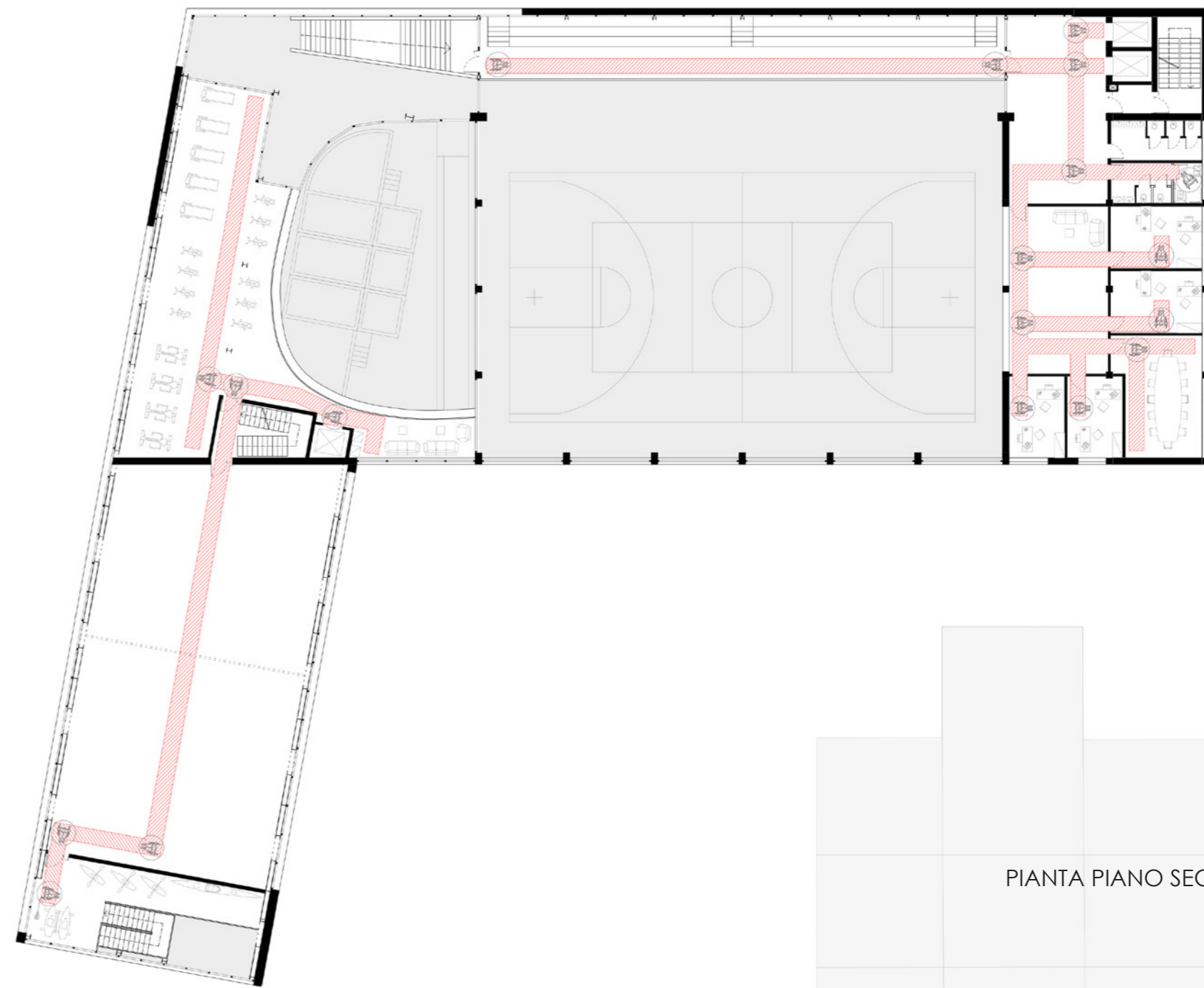
Anche i bagni per diversamente abili rispettano i limiti imposti da normativa, facendo riferimento alle seguenti leggi: legge 13/01/1989, dpr 384/78, dpr 236/89, dpr 503/96.



PIANTA PIANO TERRA



PIANTA PIANO PRIMO



PIANTA PIANO SECONDO



### 5.4.3 VERIFICHE ANTINCENDIO

Un ultimo tema, ma non per importanza, è certamente la verifica antincendio dell'edificio: uno dei calcoli iniziali da effettuare è quello relativo alla larghezza delle vie di fuga, calcolato come il rapporto tra il massimo affollamento e la capacità di deflusso.

Grazie a questo calcolo si ottiene un valore in moduli, ognuno dei quali rappresenta una uscita di larghezza 60cm.

L'altezza dell'edificio è molto importante per stabilire la tipologia di vie di fuga verticali da utilizzare: nel nostro caso la palestra presenta una altezza massima inferiore a 24m e perciò non sono necessarie scale a prova di fumo. Nonostante ciò si è deciso di inserire una scala di sicurezza dotata di filtro antifumo nella parte più alta dell'edificio.

Le altre scale di sicurezza sono di tipo protetto e sono dotate di porte di resistenza al fuoco REI dotate di autochiusura.

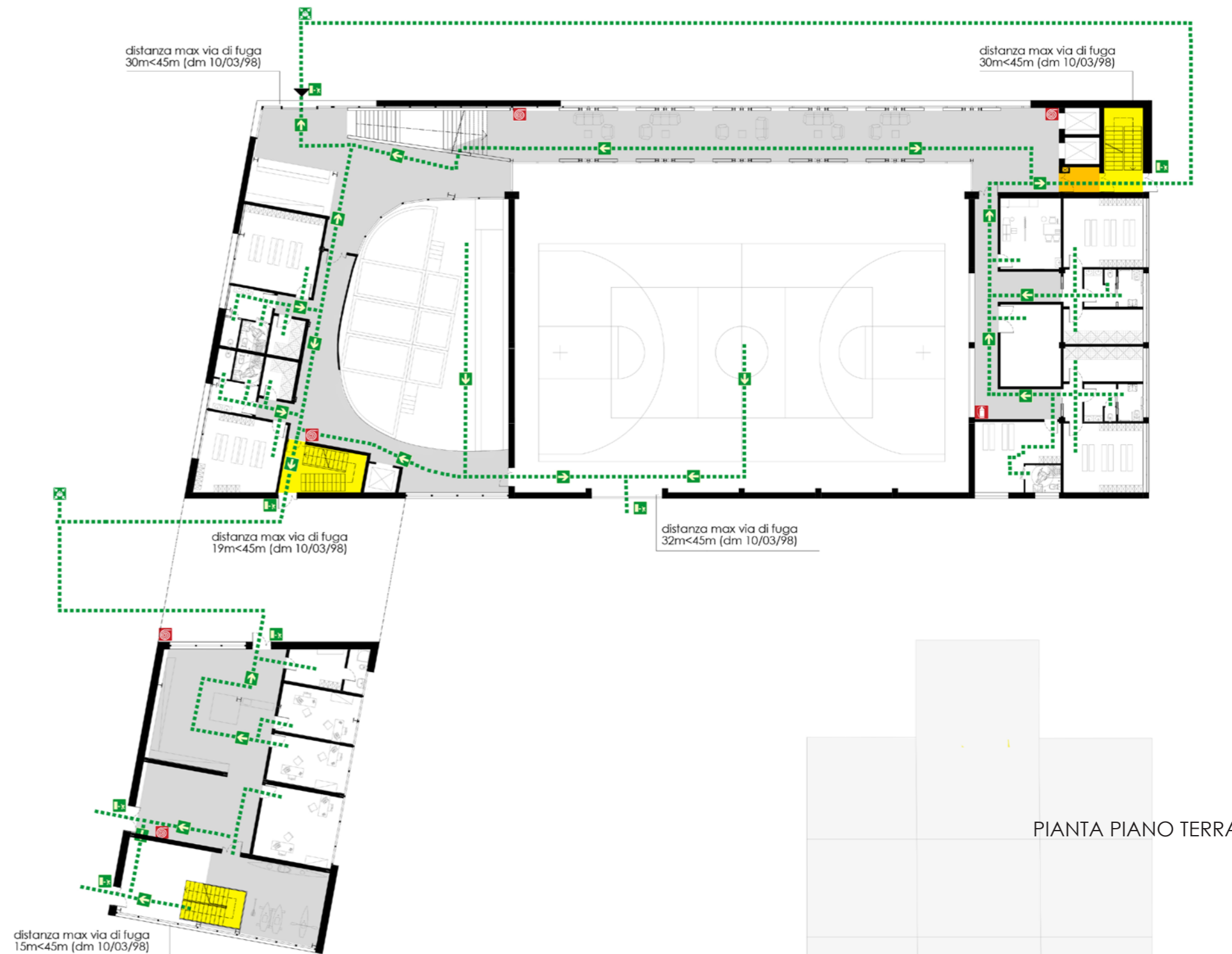
Un altro calcolo importante è quello relativo alle compartimentazioni: il setto in calcestruzzo che si trova tra la sala fitness e la sala attrezzi divide l'edificio verticalmente in due compartimenti; la scelta di creare

compartimenti verticali e non orizzontali è stata dettata dal fatto che la sala attrezzi è direttamente collegata e aperta sulla sottostante sala acrobatica<sup>1</sup>.

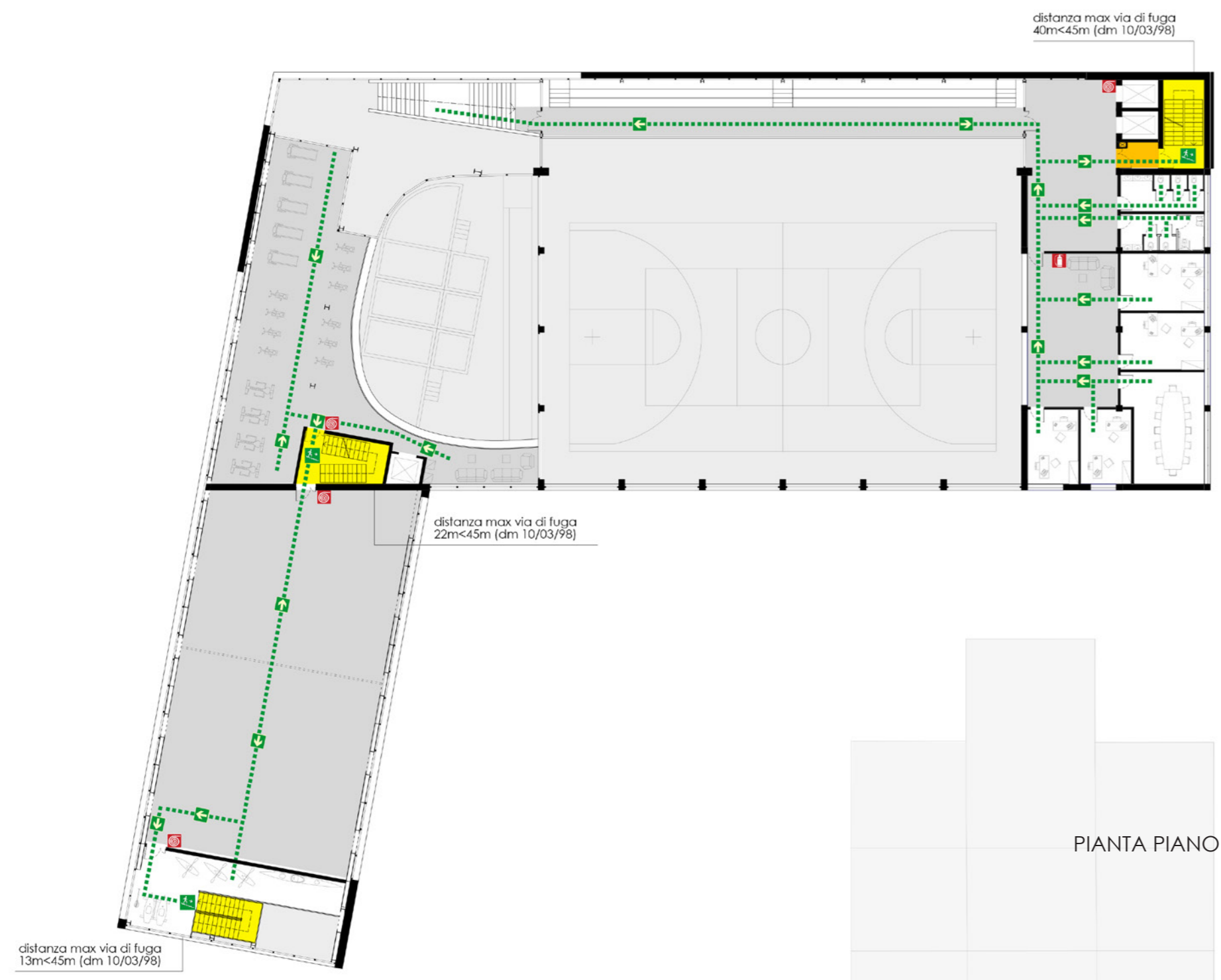
A seguire i percorsi rappresentati sulle piante dell'edificio.

-  percorso di esodo
-  direzione da seguire
-  punto di raccolta
-  scala di sicurezza
-  uscita di emergenza
-  vie di fuga verticali
-  vie di fuga orizzontali
-  vano antifumo
-  naspo
-  estintore

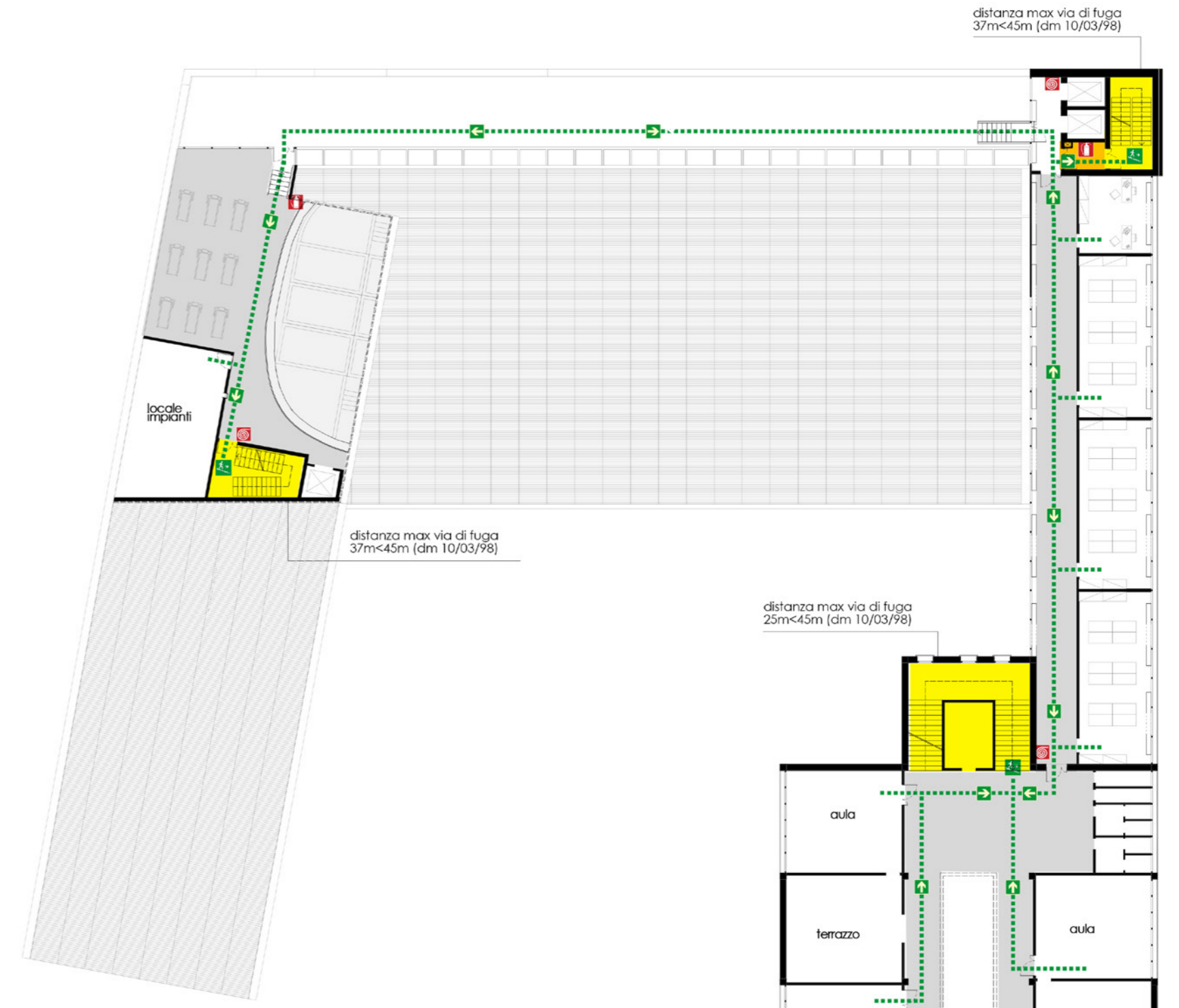
<sup>1</sup> I riferimenti normativi utilizzati per le verifiche antincendio sono stati: DM10/03/1998, norma UNI 107779, DM 18/03/1996, DM 06/06/2005, DM 26/08/1992, DM 22/02/2006 e DM 26/08/1992.



PIANTA PIANO TERRA



PIANTA PIANO PRIMO



06

---

IL PROGETTO TECNOLOGICO



L'intervento su un edificio esistente è composto da diverse fasi, difficili da gestire e articolare fra loro: infatti possono risultare necessari risanamenti di alcune parti degradate, ma anche ricostruzioni, oppure ancora ampliamenti dell'edificio.

La strategia di intervento, soprattutto per una costruzione esistente, deve quindi essere ben calibrata tra mantenimento e innovazione, tra conservazione della memoria architettonica e nuovo spunto progettuale.

L'intento, per quanto riguarda la palestra, è stato quello di mantenere intonso il prospetto principale, che è quindi stato trattato con tecniche di risanamento e di eliminazione del degrado, pur mantenendo la facciata esterna esistente.

In altre parti dell'edificio, invece, per motivi architettonici e di fruizione degli spazi, è stato necessario un intervento di ampliamento, che ha però sempre tenuto conto della memoria dell'edificio esistente. Infatti sono stati utilizzati gli stessi materiali, ma reinventandoli e scegliendo nuove forme che mostrassero la netta differenza tra il vecchio e il nuovo.

## 6.1 L'INTERVENTO SULLE PATOLOGIE DEL DEGRADO

Il primo passo verso un intervento edilizio, laddove ci si trova a relazionarsi ad una preesistenza, è quello di definire quali elementi di quest'ultima si è deciso di conservare e procedere su di essi con un intervento di risanamento.

L'intervento sulle patologie del degrado sarà infatti limitato a quella parte di edificio che si è deciso di mantenere intatta, ovvero le chiusure verticali sud, est e ovest.

Nella stesura delle fasi di intervento sull'oggetto edilizio, si è fatto riferimento ad una fonte di tipo documentale, nello specifico ad alcuni volumi sul recupero edilizio, quali:

- *Le guide PETER COX: risanamento delle murature.*
- *Capitolato speciale d'appalto per opere di conservazione e restauro .*
- *Tecnica e pratica del recupero edilizio.*
- *Atlante della riqualificazione degli edifici*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla bibliografia

### SCHEDA DI INTERVENTO guida

TIPOLOGIA DI DEGRADO

Riferimento fotografico

foto della patologia

Localizzazione grafica

Localizzazione in pianta del riferimento fotografico.

Localizzazione in alzato del riferimento fotografico.

Localizzazione

Specificazione di localizzazione della patologia sull'intero edificio.

Elemento tecnico

Stratigrafia interessata

CODICE (SI.Degrado.Materiale.00)

NOME DEGRADO

Eliminazione delle cause

Descrizione sommaria degli interventi atti a migliorare le prestazioni dell'edificio, riducendo le cause del degrado.

Fasi dell'intervento

Elenco delle fasi di intervento sulla patologia atte al recupero dell'elemento interessato.

Materiale interessato

Intonaco, laterizio, legno... ecc.

Schede di intervento correlate

Schede di interventi precedenti o successivi a quello considerato e relativa patologia.

Schede tecniche correlate

Schede tecniche di catalogazione del degrado e di definizione dell'albero degli errori correlate.

Riferimenti ad altre tavole

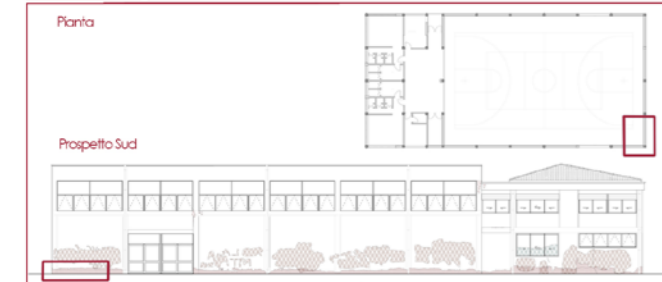
Tavole che riportano un riferimento grafico alla patologia.

SCHEDA DI INTERVENTO

TIPOLOGIA DI DEGRADO



Localizzazione grafica



Localizzazione

La patologia è diffusa sulla fascia inferiore di ciascuno dei quattro prospetti, in corrispondenza dell'attacco a terra.

Elemento tecnico

Chiusura verticale

SI.PB.C-L01

PATINA BIOLOGICA

Eliminazione delle cause

L'intervento sarà indirizzato al miglioramento del sistema di drenaggio e di isolamento dell'edificio; nello specifico si è scelto di inserire uno strato di isolante interno in corrispondenza della muratura esistente, andando così a non compromettere l'immagine del costruito. Ci si occuperà inoltre di isolare il solaio controterra e andare ad inserire uno strato impermeabilizzante.

Fasi dell'intervento

- Pulfura a secco con spatole di saggina;
- Eventuale ammorbidimento dei licheni tramite applicazione sulla superficie di soluzione (ad es. ammoniacca al 5%);
- Seconda asportazione manuale mediante l'ausilio di spazzole sintetiche rigide e spatole di legno ed eventuale applicazione di biocidi;
- Idrolavaggio della superficie a pressione moderata con acqua pulita così da rimuovere ogni traccia di biocida e dei rimanenti infestanti biologici;
- Trattamento finale preventivo mediante vaporizzazione a bassa concentrazione di biocida, contro la crescita di vegetazione superiore e contro la formazione di attacchi microrganismi autotrofi.

L'intervento verrà effettuato limitatamente ai prospetti sud, est ed ovest.

Materiale interessato

Compositi: calcestruzzo armato; Laterizio.

Schede di intervento correlate

Tavola 04: Umidità di risalita.

Schede tecniche correlate

Tavole T01, T02, T09, T10: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

Riferimenti ad altre tavole

Tavole R09: Rilevo del degrado.

SCHEDA DI INTERVENTO

TIPOLOGIA DI DEGRADO



Localizzazione grafica



Localizzazione

La patologia è diffusa principalmente in corrispondenza di elementi di gronda, davanzali e pluviali su quasi tutti i prospetti dell'edificio.

Elemento tecnico

Chiusura verticale

SI.DL.C-L02

DILAVAMENTO

Eliminazione delle cause

L'intervento prevederà un miglioramento del sistema di smaltimento delle acque reflue e meteoriche; nello specifico si utilizzeranno in corrispondenza di serramenti e altri spigoli precise lamiere e scossaline. Verrà inoltre migliorato il sistema di gronde e pluviali, in collaborazione con l'inserimento di specifiche membrane impermeabilizzanti.

Fasi dell'intervento

- Pulfura mediante apparecchi aeroabrasivi a bassa pressione;
  - Pulfura con spray di acqua deionizzata a bassa pressione;
  - Stesura di consolidamento-protettivo a pennello al fine di preservare la parte dall'azione delle acque meteoriche, previa prova del prodotto su porzioni limitate di superficie
- L'intervento verrà effettuato limitatamente ai prospetti sud, est e ovest; quest'ultimo non dovrà prevedere un sistema di smaltimento delle acque meteoriche in quanto avrà la funzione di partizione interna.

Materiale interessato

Compositi: calcestruzzo armato; Laterizio.

Schede di intervento correlate

-

Schede tecniche correlate

Tavole T03, T04: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

Riferimenti ad altre tavole

Tavola R09: Rilevo del degrado.

SCHEDA DI INTERVENTO

SI.EF.C.03

TIPOLOGIA DI DEGRADO

EFFLORESCENZA

Riferimento fotografico



Eliminazione delle cause

L'intervento sarà indirizzato al miglioramento del sistema di drenaggio e di isolamento dell'edificio; nello specifico si è scelto di inserire uno strato di isolante interno in corrispondenza della muratura esistente, andando così a non compromettere l'immagine del costruito.  
Ci si occuperà inoltre di isolare il solaio controterra e andare ad inserire uno strato impermeabilizzante, evitando quindi la problematica dell'umidità di risalita.

Materiale interessato

Compositi: calcestruzzo armato

Localizzazione grafica



Fasi dell'intervento

- Pulitura preliminare a secco dello strato superficiale mediante spazzole morbide (tipo Wishab) o flussi d'aria deboli;
- Estrazione dei sali mediante impacchi adsorbenti di cellulosa;
- Preparazione dell'impasto mediante acqua deionizzata e materiale adsorbente in quantità opportune a seconda del materiale scelto in modo da ottenere un fango fluido e pastoso;
- Applicazione dell'impasto mediante pennello o spatola;
- Applicazione di teli di garza che aiutino la permanenza dell'impasto;
- Rimozione dell'impasto quando la superficie risulta secca e incoerente, mediante lavaggio e pennelli di setola morbidi o spugne;
- Risciacquo della superficie con acqua deionizzata nebulizzata per agevolare la rimozione dei prodotti di dissoluzione delle efflorescenze saline.

Schede di intervento correlate

-

Schede tecniche correlate

Tavole T03, T05: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

Riferimenti ad altre tavole

Tavola R10: Rilievo del degrado.

Localizzazione

La patologia è localizzata puntualmente sul prospetto est dell'edificio.

Elemento tecnico

Chiusura verticale

SCHEDA DI INTERVENTO

SI.PV.C.04

TIPOLOGIA DI DEGRADO

PRESENZA DI VEGETAZIONE

Riferimento fotografico



Eliminazione delle cause

Creazione di uno spessore controterra che faccia da netta separazione ed isolamento con il suolo, evitando così l'insinuazione nel tessuto murario di vegetazioni ed altre infiltrazioni. Il solaio controterra sarà debitamente isolato, così come la chiusura verticale.

Materiale interessato

Compositi: calcestruzzo armato

Localizzazione grafica



Fasi dell'intervento

- Essiccazione della vegetazione infestante tramite l'utilizzo di diserbante totale;
- Asportazione meccanica mediante l'ausilio di spazzole sintetiche rigide e spatole di legno;
- Applicazione (previo campionatura al fine di valutare l'efficacia ed il livello di concentrazione della sostanza attiva) di biocidi specifici per la specie infestante;
- Pulitura a secco con spazzole di saggina;
- Eventuali risarcimenti con malte di caratteristiche materiche e granulometriche simili all'esistente;
- Trattamento finale preventivo mediante vaporizzazione a bassa concentrazione di biocida, contro la crescita di vegetazione superiore.

Schede di intervento correlate

-

Schede tecniche correlate

Tavole T06, T07: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

Riferimenti ad altre tavole

Tavola R10: Rilievo del degrado.

Localizzazione

La patologia è diffusa principalmente in corrispondenza dell'attacco a terra.

Elemento tecnico

Chiusura verticale

SCHEDA DI INTERVENTO

TIPOLOGIA DI DEGRADO



Localizzazione

La patologia è localizzata puntualmente sul prospetto est dell'edificio.

Elemento tecnico

Chiusura verticale

Eliminazione delle cause

Riconducendo la patologia non solo alla corrispondenza con i fori atti all'inserimento dei serramenti, ma anche ad un indebolimento del tessuto murario per via di infiltrazioni umide, si interverrà isolando le chiusure e migliorando il sistema di smaltimento delle acque reflue e meteoriche. L'isolante verrà però posizionato all'interno, in continuità con il solaio controterra, per non modificare l'interfaccia dell'esistente.

Fasi dell'intervento

- Pulitura manuale spazzole di saggina e spugne morbide (tipo Wishab);
- Eventuale consolidamento delle fessure, fratture, cavità grazie a ristabilimento dell'adesione tra supporto murario e intonaco mediante iniezione di adesivi riempitivi;
- Stuccatura delle crepe con colorazione simile all'esistente;
- Eventuale integrazione con malta di calce con sabbie di colorazione e granulometria simili all'esistente.

Materiale interessato

Compositi: calcestruzzo armato

Schede di intervento correlate

-

Schede tecniche correlate

Tavole T06, T08: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

Riferimenti ad altre tavole

Tavola R10: Rilievo del degrado.

SI.FR.C.05

FRATTURAZIONE

SCHEDA DI INTERVENTO

TIPOLOGIA DI DEGRADO



Localizzazione

La patologia è diffusa principalmente in corrispondenza dell'attacco a terra.

Elemento tecnico

Chiusura verticale

Eliminazione delle cause

L'intervento sarà indirizzato al miglioramento del sistema di drenaggio e di isolamento dell'edificio; nello specifico si è scelto di inserire uno strato di isolante interno in corrispondenza della muratura esistente, andando così a non compromettere l'immagine del costruito. Ci si occuperà inoltre di isolare il solaio controterra e andare ad inserire uno strato impermeabilizzante.

Fasi dell'intervento

- Foratura della struttura con interasse di 15cm a circa 20cm dal pavimento, sia interno che esterno (la trasfusione deve avvenire su entrambe le facciate);
- Inserimento dei diffusori nella muratura e relativa stuccatura per evitare dispersini di liquido. Si attende che lo stucco sia asciutto prima di passare alla trasfusione;
- Trasfusione della sostanza attiva diluita in acqua addolcita. A seconda dello spessore del muro viene calcolata la quantità di prodotto per ogni botiglia;
- Asportazione dell'intonaco della finitura interna dell'edificio. L'intonaco deve essere asportato fino a 50cm oltre il livello della fascia umida per favorire l'evaporazione spontanea;
- Ripristino degli intonaci interni, utilizzando intonaci macroporosi o di risanamento antisale, adatti alla realizzazione di superfici ad elevata porosità e permeabilità al vapore;
- Realizzazione dello strato impermeabilizzante della muratura controterra.

Materiale interessato

Compositi: calcestruzzo armato

Schede di intervento correlate

Tavola I01: Patina biologica; Tavola I03: Efflorescenza.

Schede tecniche correlate

Tavole T09, T10: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

Riferimenti ad altre tavole

Tavola R09: Rilievo del degrado.

SI.UR.C.06

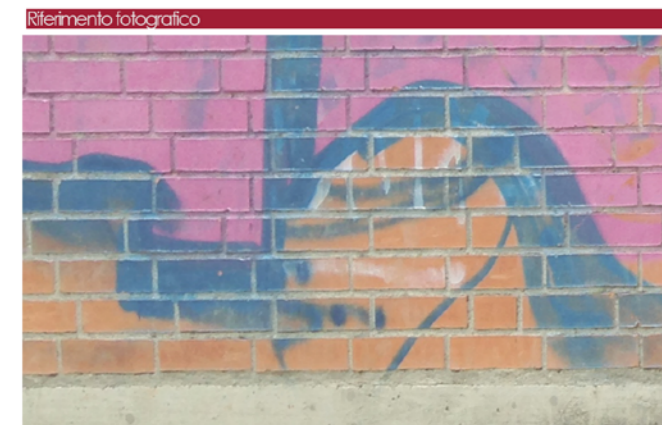
UMIDITÀ DI RISALITA

SCHEDA DI INTERVENTO

TIPOLOGIA DI DEGRADO

SI.DG.C-L.07

DISGREGAZIONE



**Eliminazione delle cause**

L'intervento sarà indirizzato al miglioramento del sistema di smaltimento delle acque reflue e meteoriche, evitando quindi che l'acqua fluisca lungo la facciata danneggiandone il rivestimento e gli spessori più esterni.

**Materiale interessato**

Compositi: calcestruzzo armato; Laterizio.



**Fasi dell'intervento**

- Pulitura meccanica di depositi e incrostazioni più o meno aderenti. E' consigliabile attuare una pulitura partendo dagli strumenti più semplici come spazzole di saggina o di nylon, bisturi, piccole spazzole metalliche, per le parti più delicate, sino ad utilizzare apparecchiature meccanizzate più complesse che, alimentate da motore elettrico o pneumatico, consentiranno la rotazione di utensili, quali microspazzoline in fibre vegetali o nylon (per esportare depositi più o meno aderenti), microfresse (atte all'asportazione di incrostazioni dure e di modeste dimensioni), vibroincisori, aparechi che montano punte a scalpelo o piatte con diametro di circa 2-3cm;
- Ricostruzione e ripristino dell'elemento degradato secondo il profilo ed il materiale originario;

**Schede di intervento correlate**

-

**Schede tecniche correlate**

Tavole T09, T11: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

**Riferimenti ad altre tavole**

Tavola R10: Rilievo del degrado.

**Localizzazione**

La patologia è localizzata puntualmente sul prospetto ovest dell'edificio.

**Elemento tecnico**

Chiusura verticale

SCHEDA DI INTERVENTO

TIPOLOGIA DI DEGRADO

SI.DA-VAL-C.08

DEGRADO ANTROPICO - VANDALISMO



**Eliminazione delle cause**

Ricostituzione del tessuto murario, limitatamente ai fianchi sud ed est dell'edificio.

**Materiale interessato**

Laterizio.



**Fasi dell'intervento**

- Rimozione di depositi superficiali mediante pulitura manuale con spazzola di saggina e acqua deionizzata;
- Applicazione di prodotti protettivi caratterizzate da un'elevata idrorepellenza; stesura tramite pennelli o impregnazione a tampone o airless.

**Schede di intervento correlate**

-

**Schede tecniche correlate**

Tavole T15, T16: Catalogazione del degrado e Albero degli errori.

**Riferimenti ad altre tavole**

Tavola R10: Rilievo del degrado.

**Localizzazione**

La patologia è diffusa su gran parte dell'edificio.

**Elemento tecnico**

Chiusura verticale

## 6.2 L'INTERVENTO SULL'APPARATO TECNOLOGICO

Gli interventi su un edificio esistente sono sempre piuttosto delicati, soprattutto quando si aggiungono o ampliano delle parti della costruzione, poichè devono sempre essere mantenute leggibili le caratteristiche originali dell'edificio. Per questo motivo deve essere posta particolare attenzione alla scelta dei materiali, delle finiture e dei colori che devono comunque rispettare le preesistenze. Con questo progetto tuttavia non ci si vuole fermare alla ricostruzione della palestra nelle sue forme e materiali originari, ma l'intento è quello di proporre una metodologia di intervento

rispettosa della memoria architettonica dell'edificio e che vi possa affiancare interventi di nuova costruzione. I nuovi interventi, realizzati con tecnologia stratificata a secco, devono essere denunciati ed immediatamente identificabili: si vuole infatti evitare il falso storico.

La scelta dei nuovi materiali è stata dettata da diverse esigenze di:

- compatibilità estetica con i materiali esistenti;
- flessibilità nei materiali;
- leggerezza visiva;

Tra l'ampia gamma di materiali e soluzioni presenti attualmente sul mercato, si sono voluti riproporre materiali storici, già presenti nella palestra, ma con un trattamento assolutamente differente.



L'esempio principale è dato dalla copertura e dal rivestimento esterno: l'esistente presentava una parte della copertura in coppi e una muratura tradizionale in mattoni paramano.

Si è scelto quindi di adottare una tecnologia a secco pur rimandando all'utilizzo del laterizio; si tratta infatti di una facciata ventilata di lamelle in cotto tipo PALAGIO sostenuta da una sottostruttura in montanti e profili a L in alluminio, associata ad un isolamento termico esterno.

Le stesse lamelle utilizzate in qualità di rivestimento, svolgono anche in alcune sezioni dell'edificio funzione di frangisole, mentre in copertura diventano il vero e proprio rivestimento.

In questo modo la palestra rimane coerente agli altri edifici attigui per colore e materiale.

L'utilizzo dei listelli in cotto garantisce ombreggiamento, controllo solare e leggerezza visiva. Dal prospetto sottostante si percepisce una copertura piena, ma in realtà la falda si compone di moduli trasparenti e moduli opachi.

Infatti è stato previsto l'inserimento di serramenti in copertura al fine di garantire il giusto livello di illuminazione: tali aperture non sono percepibili se non dall'interno della palestra.

Nelle figure sottostanti si nota come il cotto esistente, del prospetto di sinistra, sia stato reinventato in una nuova forma nel nuovo progetto (prospetto di destra).



Si deve inoltre ricordare che le lamelle in laterizio, laddove sovrapposte alla muratura esistente, ne migliorano le prestazioni energetiche evitando eccessivi accumuli di calore nello spessore materico dello stato di fatto; questo sistema di rivestimento inoltre, per la sua facilità nel montaggio e smontaggio, rende più agevoli eventuali interventi di manutenzione sull'edificio.

Come si nota dagli schemi di Figura 6.1 questa tecnologia garantisce un notevole risparmio energetico, grazie alla intercapedine d'aria che viene a formarsi tra isolante e lamelle; inoltre permette di controllare l'umidità e il comfort acustico. La continuità dell'isolante, sul lato esterno, permette di eliminare eventuali ponti termici all'imposta del solaio. L'utilizzo delle lamelle come frangisole è invece perfetto per non permettere l'entrata dell'energia termica solare attraverso i serramenti; grazie alla presenza dei frangisole la luce viene filtrata, garantendo l'entrata nell'ambiente di luce diffusa in estate, mentre in inverno, quando il sole è più basso, i frangisole permettono l'entrata all'interno dell'edificio dell'energia solare, riscaldando l'ambiente.

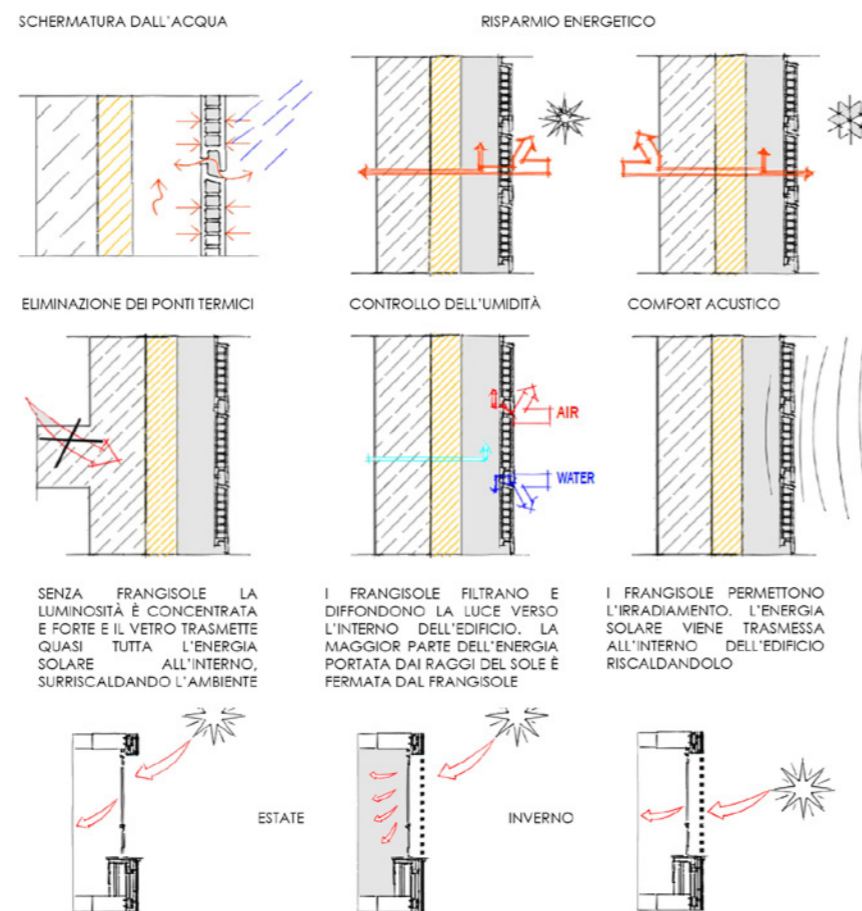
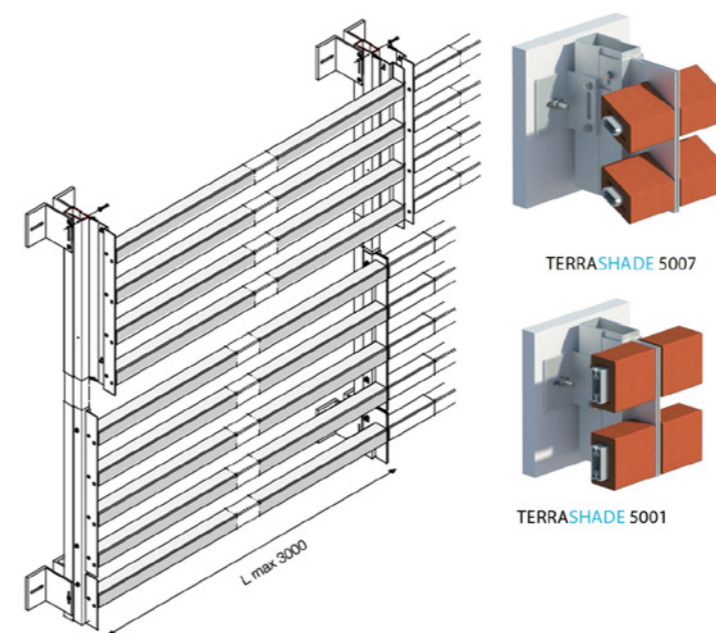


Figura 6.1 Schema funzionamento delle lamelle in cotto



SOLUZIONI PER FACCIATE FAÇADE SOLUTIONS	DIMENSIONI DIMENSIONS	PESO WEIGHT	COLORI COLORS	SUPERFICIE SURFACE	DESTINAZIONI D'USO INTENDED USE
TERRASHADE 5001	50 x 80 x 400 - 3300 mm	5,7 kg/m	Terre di Ironuzeta Terre bruciate Terre ocra Terre colorate	naturale / natural smaltata / glazed	esterni / outdoors interni / indoors ambienti aggressivi aggressive environment
TERRASHADE 5007	60 x 36 x 400 - 2000 mm	3,7 kg/m	Terre di Ironuzeta Terre bruciate Terre ocra Terre colorate	naturale / natural smaltata / glazed	esterni / outdoors interni / indoors ambienti aggressivi aggressive environment

Nello specifico si alternano le tipologie di lamelle: TerraShade5001 come rivestimento e TerraShade5007 come frangisole, con inclinazioni e forme diverse. Oltre ad un importante apporto energetico, questi frangisole permettono di plasmare un'immagine materica della nuova pelle, senza però rinunciare alle grandi aperture e all'entrata di luce naturale. Un esempio di edificio con l'applicazione di queste lamelle è la Biblioteca di Greve in Chianti, MDU Architetti, rappresentata in Figura 6.2.

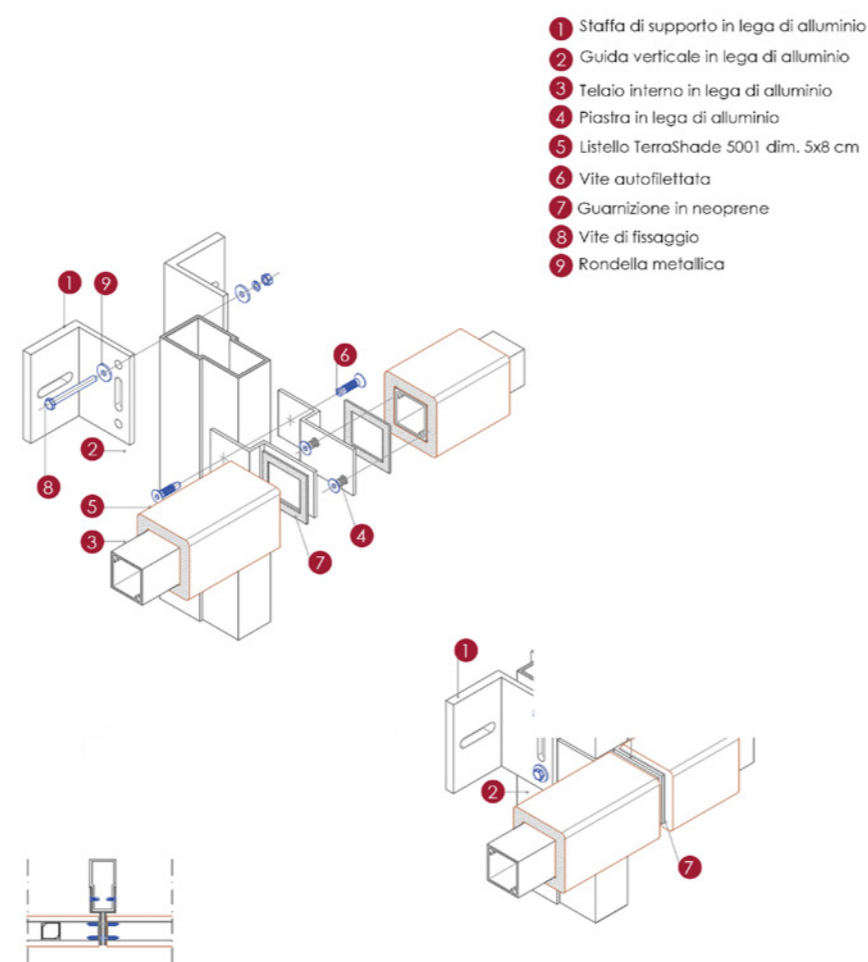


Figura 6.2 Biblioteca di Greve in Chianti, MDU Architetti

In Figura 6.3 si può vedere un esploso assonometrico della tecnologia appena descritta, e sotto si nota un esempio applicativo di questo sistema, ovvero la Banca Popolare di Lodi, di Renzo Piano.

A questo punto viene analizzato il tema dell'involucro edilizio in modo più generale, comprendendo anche gli elementi strutturali, isolanti e tutte le varie parti che vanno a comporre questa interfaccia.

L'involucro è infatti una vera e propria interfaccia energetica tra le condizioni dell'ambiente esterno e i bisogni climatici dell'utente. Queste esigenze possono portare a diversi conflitti, ad esempio tra la necessità di sfruttare la luce solare, garantire una vista panoramica e proteggere dall'irradiazione solare. La progettazione di un involucro comprende quindi una serie di condizioni complesse che devono essere calibrate e ottimizzate per ottenere come risultato finale un edificio energeticamente efficiente, tecnologicamente interessante e architettonicamente affascinante. A seconda della destinazione d'uso l'involucro è chiamato a garantire condizioni interne sicure, salubri, confortevoli.



**Figura 6.3** Esploso assonometrico delle parti che compongono le lamelle

Le caratteristiche tecniche dei materiali svolgono una funzione chiave in questo ambito, in base anche ad una attenta analisi dei fattori climatici.

La conformazione dell'involucro può essere influenzata dal tipo di struttura e i due aspetti si condizionano reciprocamente durante la progettazione.

La progettazione è sempre più soggetta alle prescrizioni normative, che stabiliscono le caratteristiche energetiche che un involucro deve avere.

Una particolare accezione di involucro è rappresentato dalla copertura.

Per quanto riguarda un centro sportivo, uno dei temi più importanti, è la scelta e la progettazione del sistema di copertura, poichè costituisce un elemento caratterizzante l'identità architettonica e tecnologica di tutto l'edificio.

Le parti caratterizzanti del sistema di copertura sono le strutture portanti e il manto stesso. Il tema delle strutture portanti è già stato trattato in "il progetto strutturale" a pagina 319 e la sua progettazione ha preso in esame varie esigenze correlate con la sistemazione degli spalti, l'ampiezza del campo da gioco, i criteri di visibilità e sicurezza, i servizi e i percorsi per il pubblico...

Le normative regolamentano la configurazione planimetrica e soprattutto lo sviluppo in altezza della copertura, e questo influenza moltissimo la scelta del sistema strutturale da adottare e dei materiali. Altri aspetti di cui tenere conto sono:

- il comfort ambientale, da assicurare ad atleti e spettatori, considerando in particolare la qualità dell'aria e l'acustica;
- il risparmio energetico, per contenere al massimo i consumi, nonostante i grandi ambienti che costituiscono una palestra;
- le esigenze di manutenzione e di durabilità della copertura;
- 

Una copertura di una palestra, infatti, non ha solamente il compito di garantire riparo dagli agenti atmosferici, ma anche quello di raccogliere le acque meteoriche e svolgere funzioni particolari come ospitare impianti di illuminazione, impianti per il trattamento dell'aria, eventuali altoparlanti...



Le pareti esterne, invece, costituiscono la più ampia superficie dell'involucro e quindi la qualità termica di tali pareti ha una fortissima influenza sulle perdite di calore per conduzione. L'isolante gioca un ruolo fondamentale per ridurre la conduttività termica e la scelta del materiale isolante è fondamentale a seconda del settore di intervento e delle caratteristiche che la parete deve avere, come la resistenza a pressione, a umidità, o al fuoco. Per assicurare una sequenza ideale degli strati dal punto di vista fisico-costruttivo, il materiale di isolamento dovrebbe essere posto sulla superficie esterna delle chiusure massive, come quelle in muratura o in calcestruzzo, in modo che la struttura della parete si trovi dalla parte calda e possa esercitare un favorevole influsso sul clima interno grazie alla sua massa.

In alcuni casi, però, si è deciso di intervenire isolando dall'interno, a causa di scelte architettoniche definite in fase progettuale. In questo modo la massa di accumulo della parete viene termicamente separata dall'ambiente interno ed è necessario inserire una barriera al vapore per evitare fenomeni di condensa. All'aumento dell'isolamento interno corrisponde infatti

una diminuzione della temperatura sulla superficie interna delle pareti. Per evitare la formazione di condensa, quindi, è opportuno assicurarsi che la temperatura non scenda al di sotto del punto di rugiada, in particolar modo in corrispondenza della superficie isolante. La barriera al vapore va applicata sullo strato interno dell'isolante, per impedire il passaggio dell'umidità dall'interno verso lo strato isolante. Inoltre è opportuno verificare che l'umidità venga dispersa attraverso i ricambi d'aria. La superficie del tetto favorisce le perdite di calore per conduzione, soprattutto negli edifici più bassi, dunque è un punto abbastanza critico da considerare.

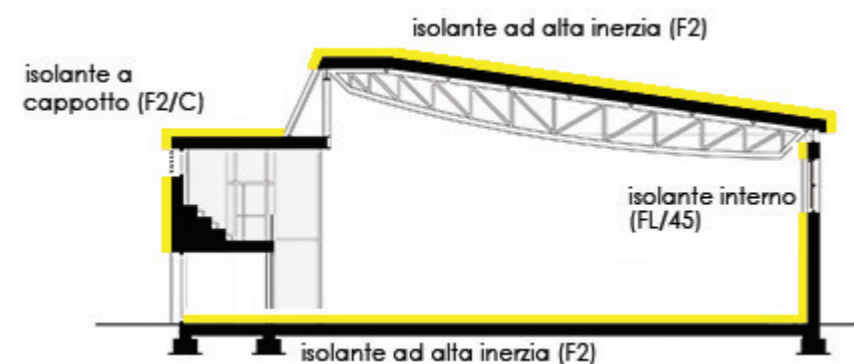


Figura 6.4 Schema posizionamento dell'isolante

Avendo inoltre deciso di realizzare tutti gli elementi di nuova costruzione a secco, ecco che la copertura perde le caratteristiche di inerzia termica, che nell'edificio esistente erano garantite dai materiali come il calcestruzzo. Le travi sostengono infatti una lamiera grecata, sulla quale si appoggia tutto il sistema di copertura. Per questo motivo è necessario scegliere un isolante che dia alla copertura una certa inerzia termica. In Figura 6.5 si possono vedere tutti gli elementi che compongono la stratigrafia di copertura.

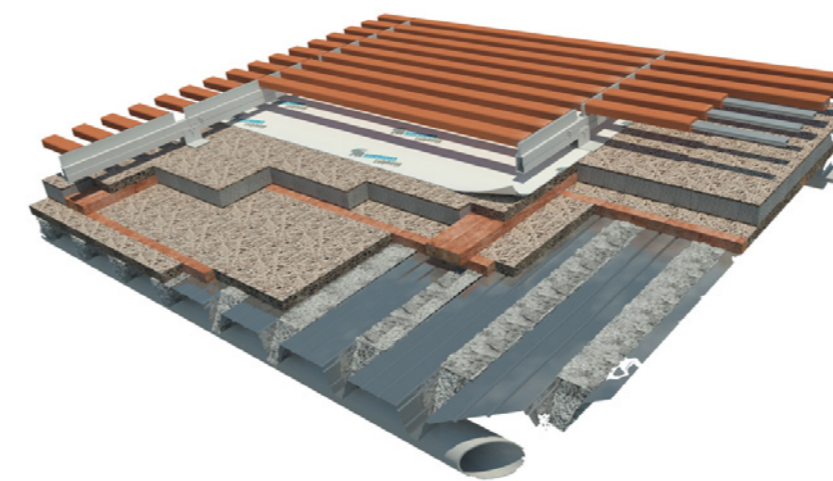


Figura 6.5 Rappresentazione della stratigrafia di copertura

La stratigrafia in mattoni, invece, è stata isolata dall'interno, poichè è stato deciso di mantenere il prospetto esistente. In Figura 6.6 è rappresentata la stratigrafia esistente, sulla destra, e quella di progetto, sulla sinistra. L'isolamento interno viene addossato alla parete esistente, viene posta una barriera al vapore e infine il tutto viene chiuso con una controparete con un diverso isolante, in modo che la differenza di densità di questi materiali ostacoli il passaggio di calore tra interno e esterno della chiusura.

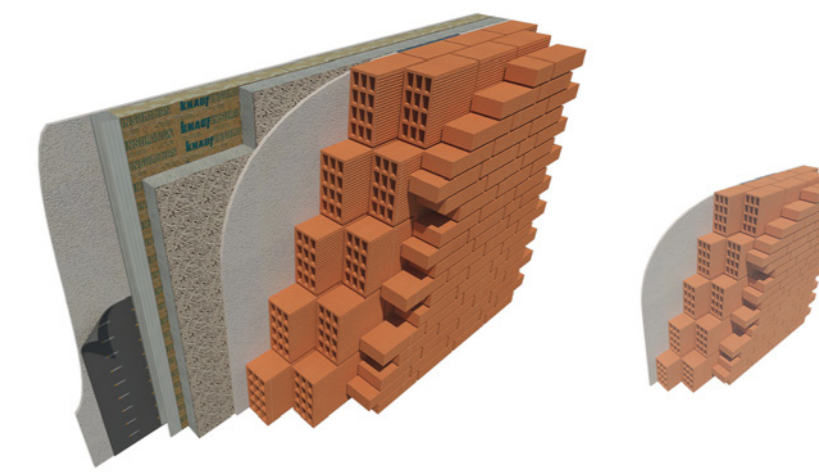
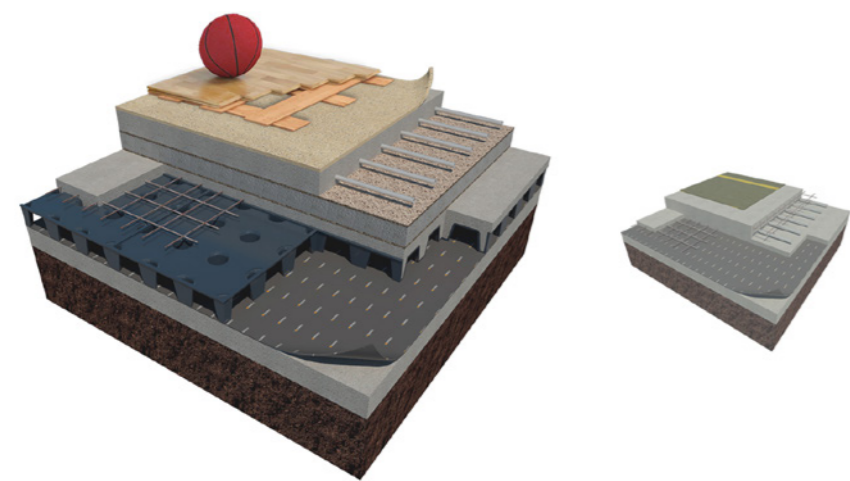


Figura 6.6 Rappresentazione della stratigrafia in mattoni

Per quanto riguarda la stratigrafia controterra, che non era isolata nello stato di fatto, come si vede nella parte destra di Figura 6.7, si è deciso di inserire un isolante rigido, eliminando quindi le dispersioni di calore attraverso questa così ampia superficie. Inoltre è stato posto un vespaio areato e una membrana impermeabilizzante, per evitare problemi di umidità di risalita. Si è però deciso di scavare il meno possibile e per questo motivo il vespaio è alto solo 10 cm, ma garantisce comunque la microventilazione necessaria.



**Figura 6.7** Rappresentazione della stratigrafia controterra

Un tema da trattare separatamente, poichè molto importante, è quello della pavimentazione. Le pavimentazioni sportive, infatti, sono in grado di condizionare la performance degli atleti in modo significativo e di costituire una delle possibili cause di patologie dell'apparato muscolo-scheletrico e delle articolazioni. Per questo motivo in fase progettuale si deve individuare la superficie ottimale, performante e meno dannosa.

Il parquet costituisce il compromesso migliore tra queste specifiche; infatti è dotato di sufficiente rigidità per la fase di spinta e, contemporaneamente, di una notevole capacità di assorbimento. Inoltre non va trascurato il fatto che dà un effetto di eleganza e pregio all'interno della palestra.

Il rivestimento superficiale deve inoltre essere durevole, di facile manutenzione e pulibilità, non abrasivo nè eccessivamente scivoloso e, in caso di incendio, non deve produrre fumi tossici.

Il pavimento scelto è costituito da doppia orditura in legno multistrato, appoggiato su un materassino elastico in poliuretano e con un piano di calpestio costituito da elementi di legno.

Un altro elemento fondamentale per la corretta progettazione della pavimentazione è la sottostruttura, il cui compito è quello di ripartire sul terreno i carichi dovuti alla presenza di persone e attrezzi per l'attività sportiva; tale sottofondo deve risultare perfettamente piano, rigido e indeformabile. Il vespaio areato e la membrana impermeabilizzante, come spiegato prima, evitano la risalita di umidità. Una delle principali accortezze, nella posa dell'impermeabilizzante, è quella di far proseguire la membrana anche sulle pareti, per una altezza di almeno 5 cm.

Un ultimo aspetto da considerare, ma non meno importante degli altri, è quello economico: la pavimentazione ha infatti una grande incidenza nel costo totale dell'impianto, soprattutto se esso ha delle parti all'aperto. Su tale costo incide il manto stesso della pavimentazione, il sottofondo, le opere accessorie (canalizzazioni di impianti sotto pavimento, sottostruttura elastica, appoggi e ancoraggi per gli attrezzi, irrigazione...) e eventuali sistemazioni del terreno, come gli scavi. Per questo motivo è importante scegliere la migliore pavimentazione, a seconda delle caratteristiche dell'impianto sportivo.

L'isolante scelto fornisce ottime prestazioni invernali, estive e acustiche, con prodotti che rispettano la salute umana e l'ambiente, cioè con isolanti naturali. Un isolante, per potersi definire naturale, ecobiocompatibile e sostenibile, deve soddisfare condizioni e certificazioni che riguardano le materie prime e la distanza dalle loro fonti, il processo produttivo dal punto di vista energetico, delle emissioni e della salubrità e l'eventuale riciclo e smaltimento dei residui delle lavorazioni.

L'isolante Celenit è unicamente costituito da materiali naturali: il legno, il cemento Portland, la polvere di marmo e l'acqua, come è rappresentato in Figura 6.8.



**Figura 6.8** Composizione degli isolanti Celenit

Questo isolante può essere definito sostenibile, in quanto utilizza legno di abete rosso proveniente da foreste gestite in maniera sostenibile, i prodotti non sono nocivi per la salute umana, né pericolosi per l'ambiente e il processo produttivo dà luogo a ridotte emissioni in atmosfera e a minori consumi di energia.

Infine vengono impiegate materie prime la cui fonte è prossima allo stabilimento di produzione.

È costituito da fibre di abete rosso e leganti minerali, come il cemento Portland e la polvere di marmo. Ogni elemento porta caratteristiche migliorative al composto finale:

- le fibre vengono sottoposte ad un trattamento mineralizzante che mantiene inalterate le proprietà meccaniche, annulla i processi di deterioramento biologico, rende le fibre inerti e ne aumenta la resistenza al fuoco;
- la struttura cellulare del legno conferisce al pannello l'isolamento, la leggerezza, l'elasticità;
- gli interstizi fra le fibre garantiscono assorbimento acustico e aggrappaggio a tutte le malte;

- l'agglomerato legno-cemento Portland, unito sotto pressione, determina la compattezza e la robustezza;
- la presenza di cemento Portland garantisce un'elevata resistenza all'acqua ed al gelo, superiori proprietà meccaniche quali la resistenza a flessione e a compressione.

Per questi motivi si è deciso di utilizzare gli isolanti Celenit, scegliendo accuratamente la tipologia a seconda delle stratigrafie considerate.

Quando la chiusura viene isolata dall'interno, si è deciso di utilizzare il pannello CELENIT FL/45, un pannello isolante flessibile in fibre di legno pressate monostrato, con una densità di 50 kg/m<sup>3</sup>. Il pannello ha funzioni sia termiche che acustiche ed è usato prevalentemente per cappotti interni a struttura a secco perchè ha bassa densità e grande capacità di adattamento e flessibilità.

Ad esso viene associato un pannello di CELENIT N, che ha una funzione di irrigidimento del pacchetto ed è molto resistente contro i colpi da pallonata, ad esempio. Svolge una funzione termica, acustica

e resiste molto bene al fuoco; è costituito da lana di legno di abete rosso mineralizzata e legata con cemento Portland grigio.

Per le stratigrafie in cui l'isolante è esterno, quindi dove vi è la parete ventilata, è stato scelto l'isolante CELENIT F2/C, che è un pannello isolante termico ed acustico composito, specifico per l'applicazione a cappotto, costituito da uno strato in lana di legno di abete rosso mineralizzata e legata con cemento Portland grigio, di spessore 25 mm, accoppiato ad uno strato di fibra di legno, con spessore variabile, a seconda del pannello scelto.

Un ultimo caso è rappresentato dall'isolante di copertura, che deve dare una grande inerzia termica a tutto il pacchetto; l'isolante scelto è il pannello CELENIT F2, molto simile a quello appena descritto, ma con uno spessore di 50 mm di lana di legno. Questo pannello è accoppiato a uno della tipologia Celenit N, per dare rigidità e maggior inerzia. In Figura 6.9 sono mostrati gli isolanti utilizzati.

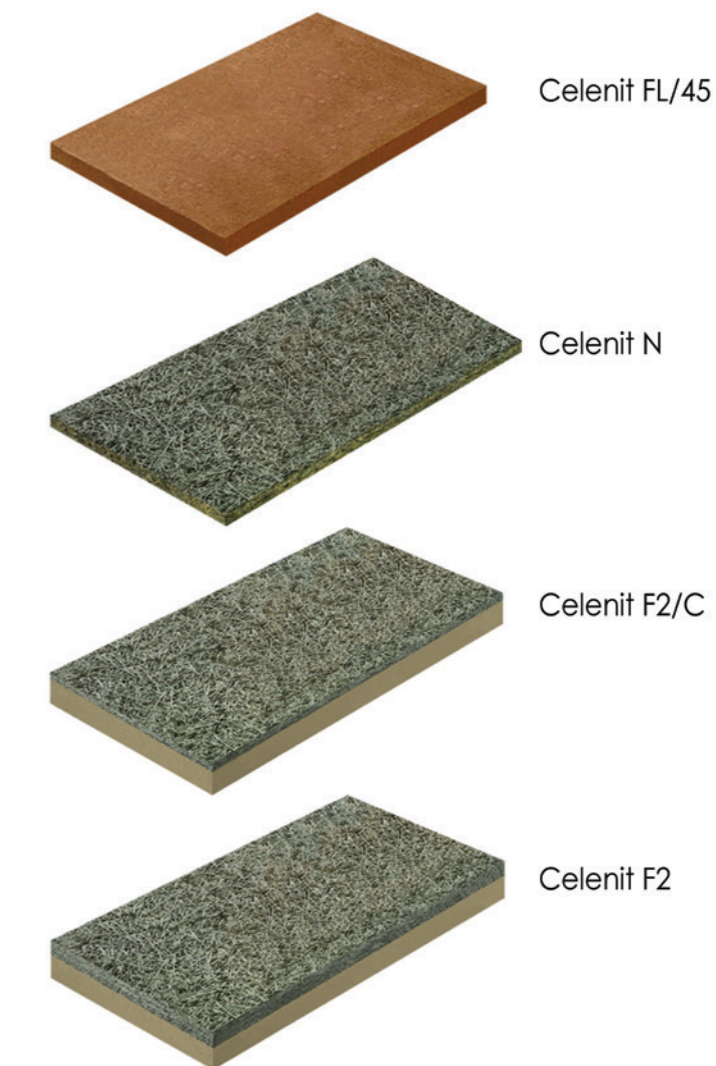


Figura 6.9 Isolanti utilizzati



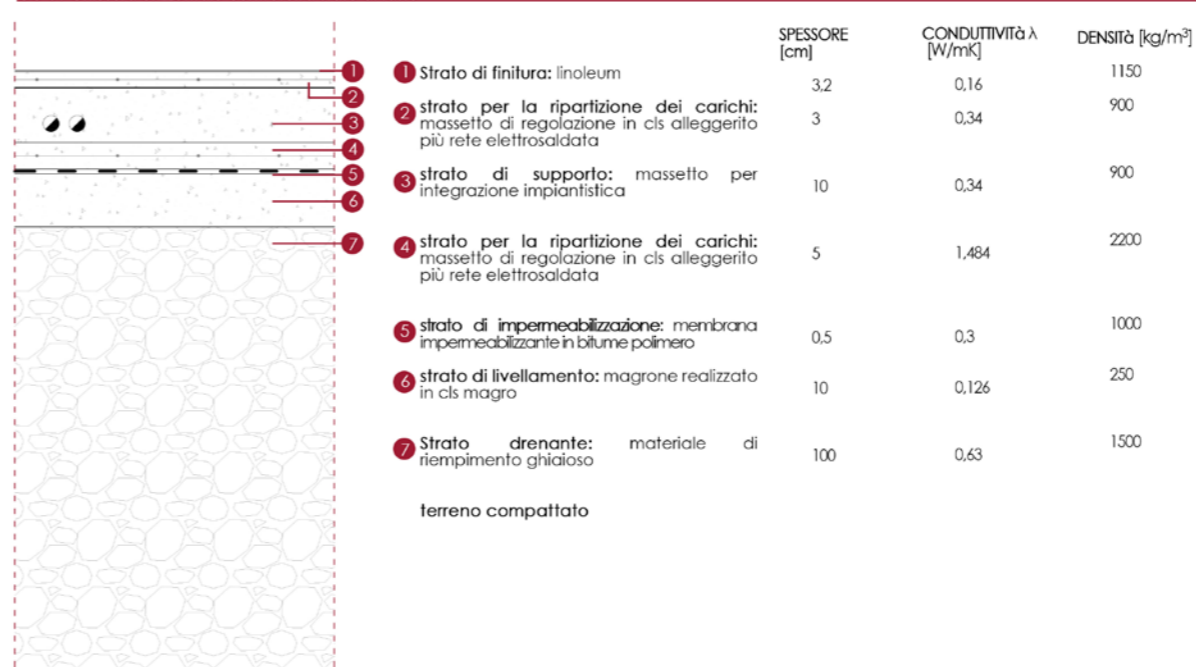
## DISEGNI TECNICI

Nelle seguenti pagine sono rappresentati gli elaborati grafici fuori scala, mentre nel book in formato A3 questi stessi elaborati possono essere visionati in scala.

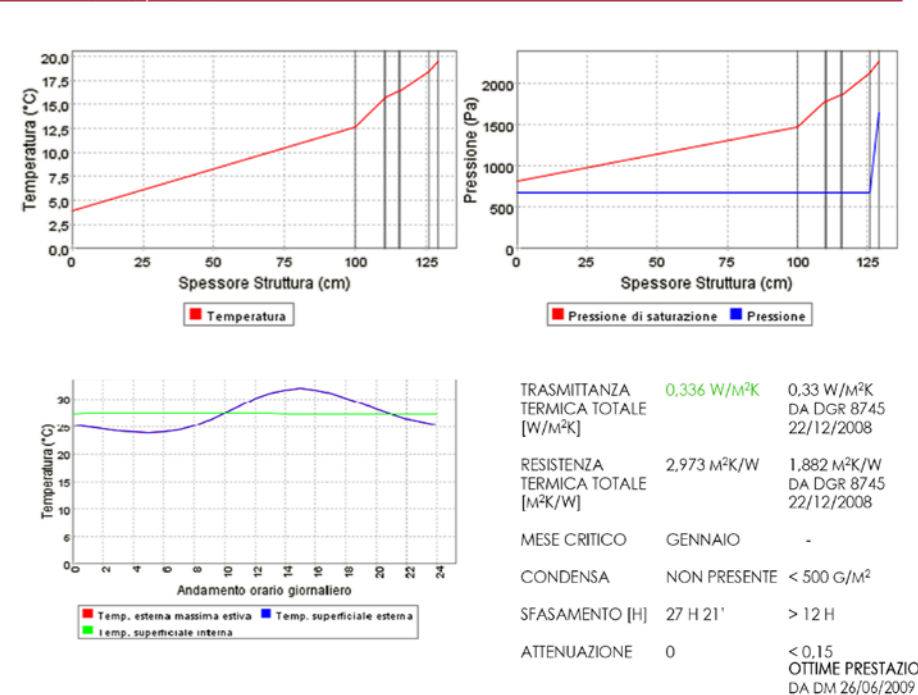
Gli abachi rappresentano le principali stratigrafie utilizzate nel progetto; in tabella sono riportati i dati più importanti che caratterizzano ogni materiale: spessore, conduttività e densità del materiale. Inoltre sono rappresentate le analisi effettuate con i programmi JTempest e J vap, che permettono di verificare valori di trasmittanza termica totale della stratigrafia, resistenza termica, sfasamento e attenuazione, presenza di condensa e mese più critico dell'anno nel quale viene eseguita l'analisi. Nelle seguenti pagine vengono mostrate le stratigrafie ottimizzate e nel capitolo successivo viene spiegato il processo di ottimizzazione che ha portato alla scelta del migliore isolante per ogni stratigrafia. A seguire sono presentati:

- abachi, comprensivi di verifiche di condensa, trasmittanza, sfasamento e attenuazione;
- sezione esistente e di nuova costruzione;
- blow up, comprensivi di pianta, sezione, prospetto e nodi dettagliati dei punti più critici;

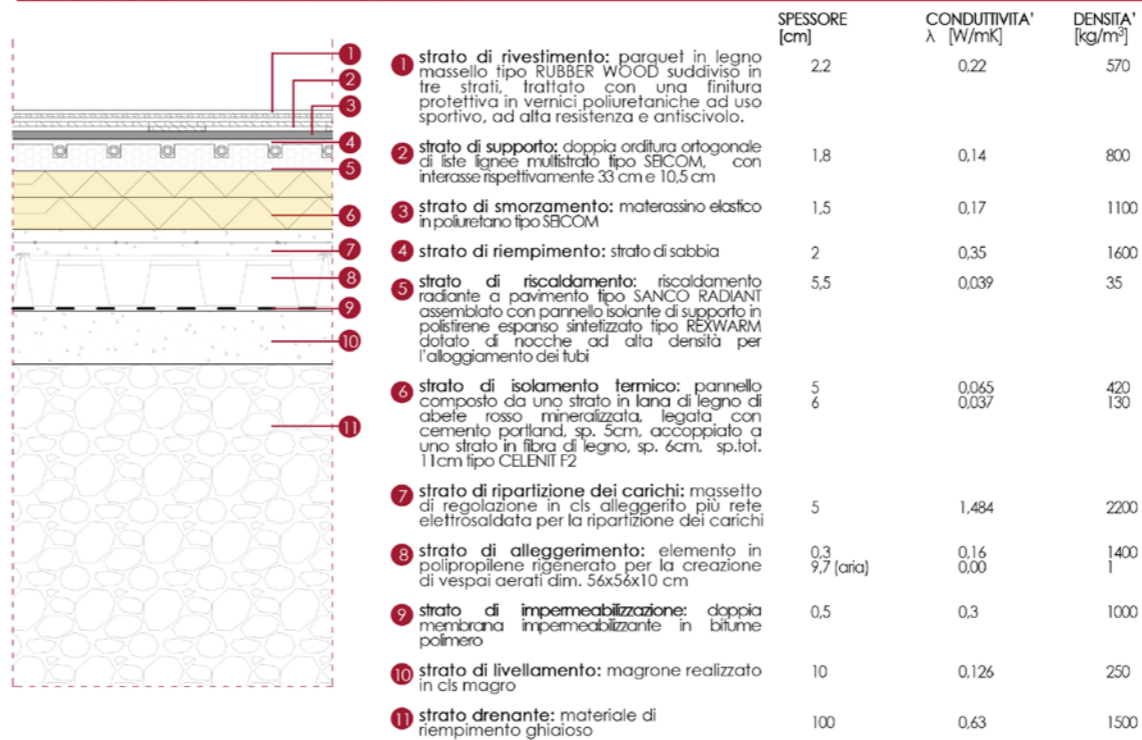
CO 01 Chiusura orizzontale controterra stato di fatto



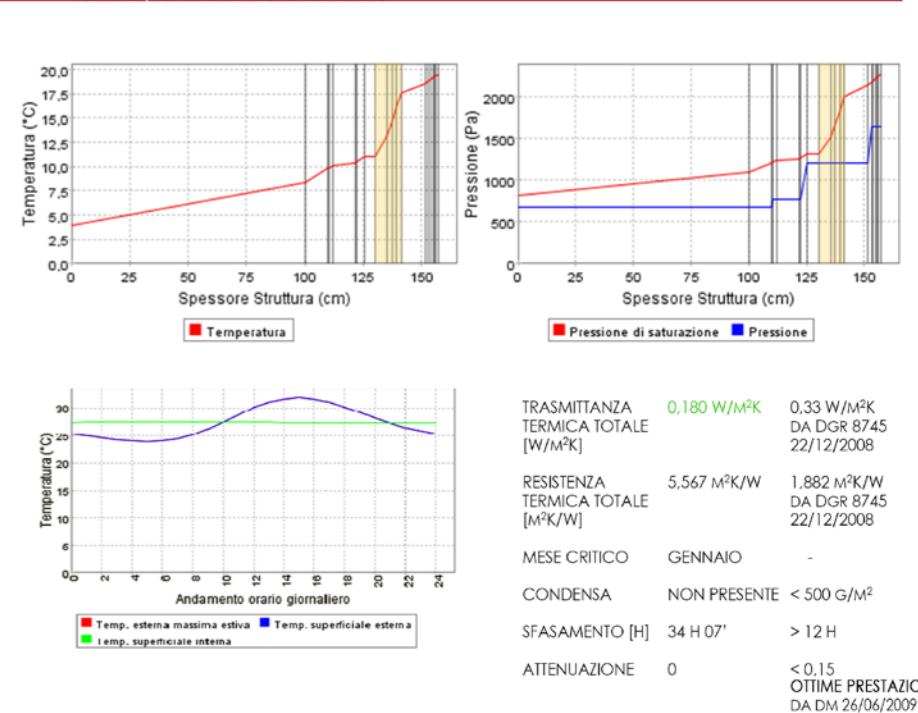
Verifiche prestazionali stato di fatto



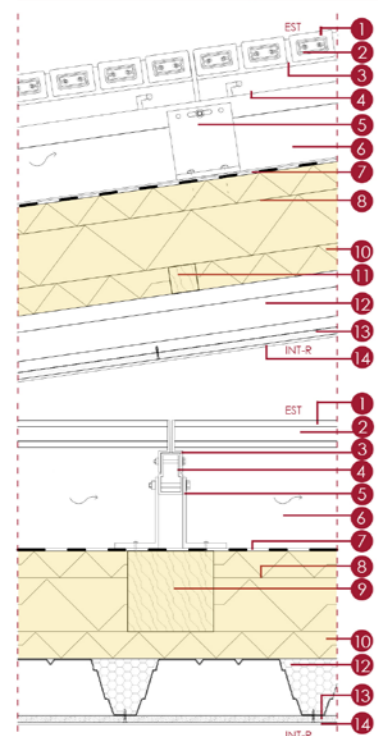
CO 01 Chiusura orizzontale controterra nuova costruzione



Verifiche prestazionali nuova costruzione

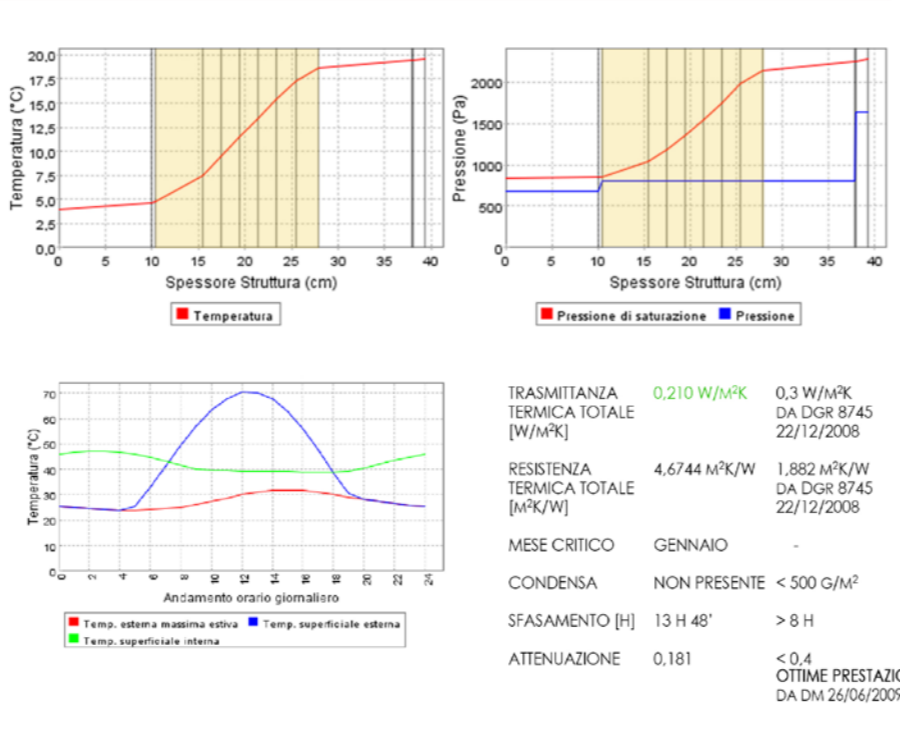


CO 02 Chiusura orizzontale copertura nuova costruzione

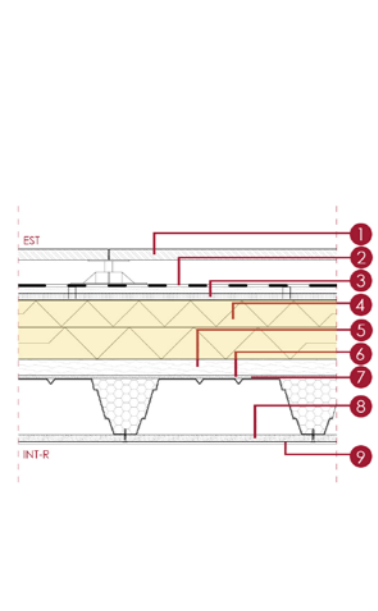


SPESORE [cm]	CONDUTTIVITA' λ [W/mK]	DENSITA' [kg/m³]
5	0,8	1800
10	0,00	1
0,5	0,30	1000
5	0,065	420
10	0,037	130
15		
5	0,065	360
5		
0,15	52	78000
1,25	0,21	900
0,15	0,7	1400

Verifiche prestazionali nuova costruzione

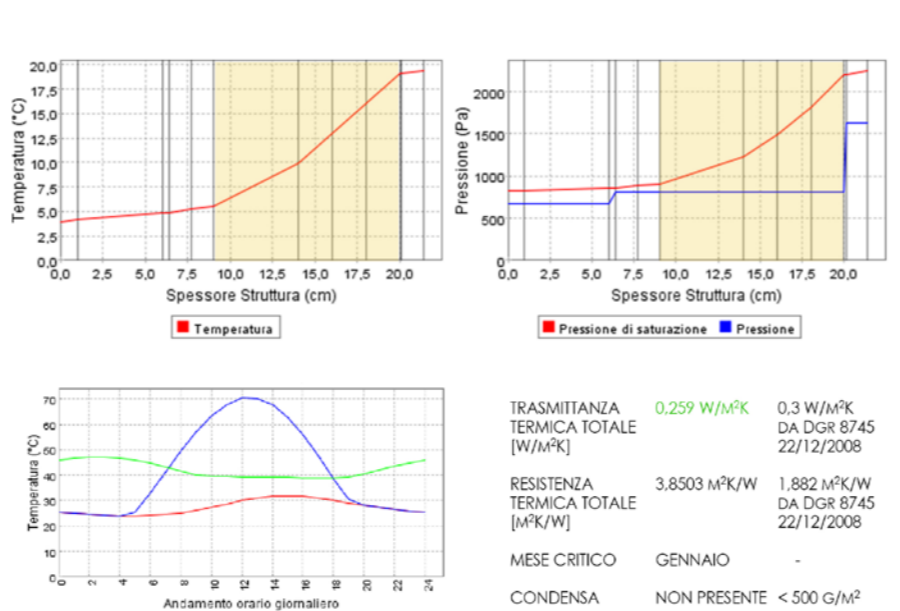


CO 03 Chiusura orizzontale copertura praticabile nuova costruzione

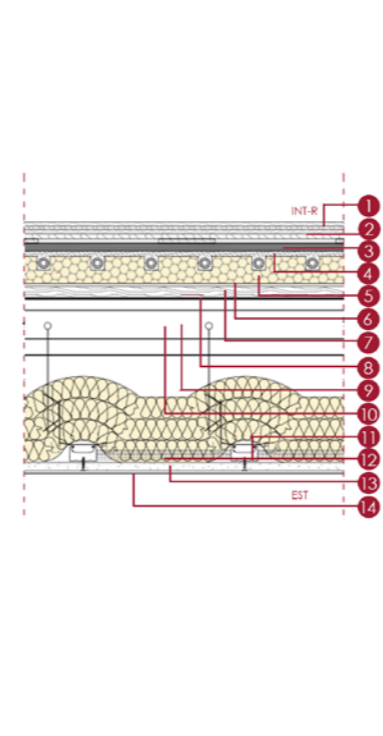


SPESORE [cm]	CONDUTTIVITA' λ [W/mK]	DENSITA' [kg/m³]
2	1	2300
0,5	0,3	1000
1,25+1,25	0,21	900
6+6	0,65	360
3	0,15	1000
0,5	0,045	250
0,15	52	78000
5	0,21	900
0,15	0,7	1400

Verifiche prestazionali nuova costruzione

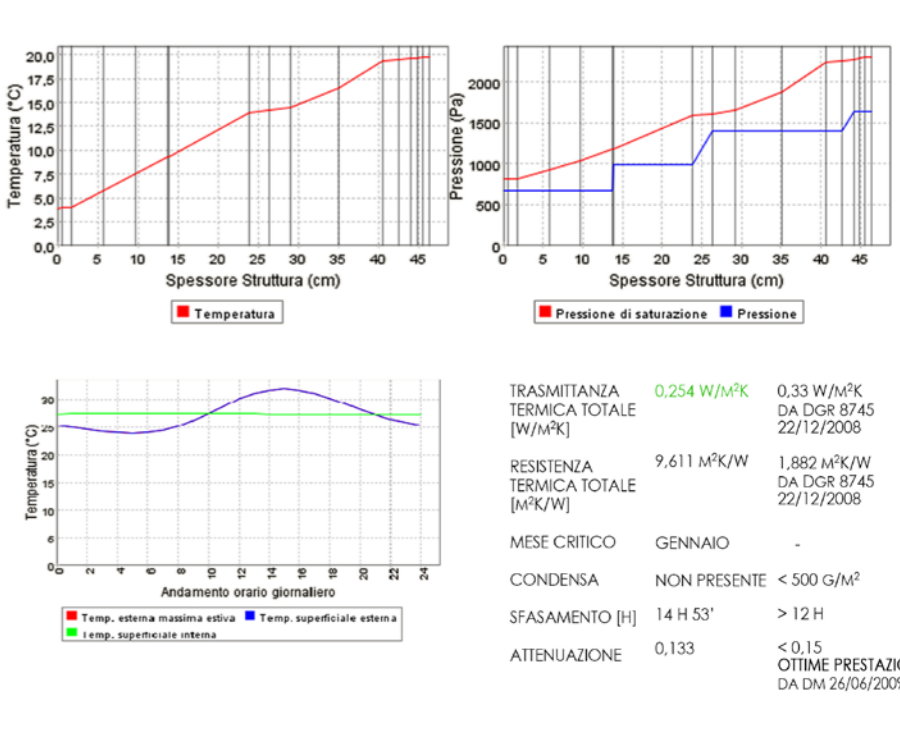


CO 04 Chiusura orizzontale solaio su spazi aperti nuova costruzione

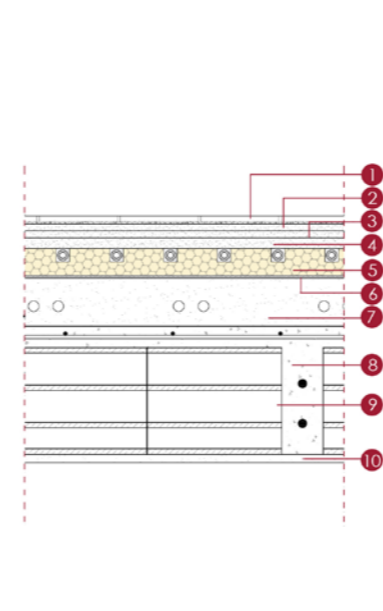


SPESORE [cm]	CONDUCIBILITA' λ [W/mK]	DENSITA' [kg/m³]
2,2	0,2	450
1,8	0,14	800
1,5	0,17	1000
2	0,35	1600
5,5	0,039	35
0,5	0,045	250
2,8	0,12	600
0,25	0,033	1100
10	0,039	30
0,15	52	7800
4+4+4	0,037	30
1,25	0,42	1100
0,5	0,9	1800

Verifiche prestazionali nuova costruzione

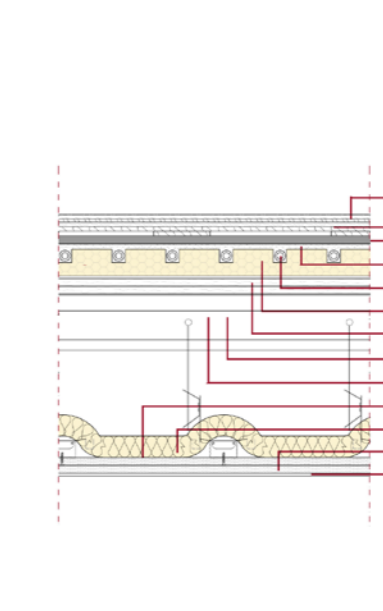


PO 01 Partizione orizzontale in laterocemento



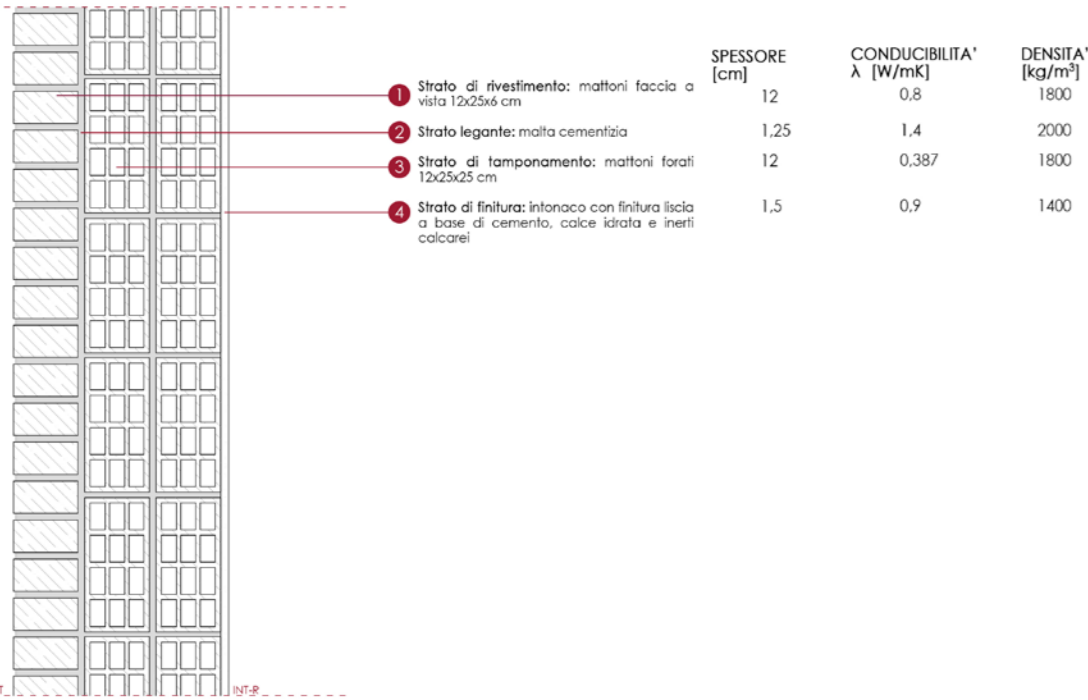
SPESORE [cm]
1
1,25+1,25
0,3
2
5,5
2
0,5
10
25
1,5

PO 02 Partizione orizzontale a secco

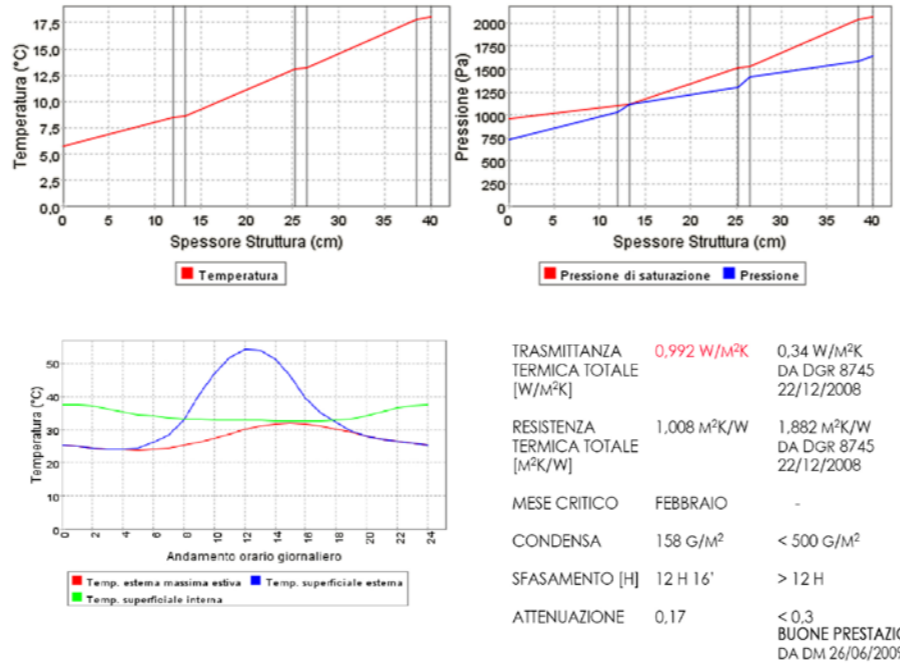


SPESORE [cm]
2,2
1,8
1,5
2
5,5
0,5
2,8
10
0,15
4
1,25+1,25
0,5

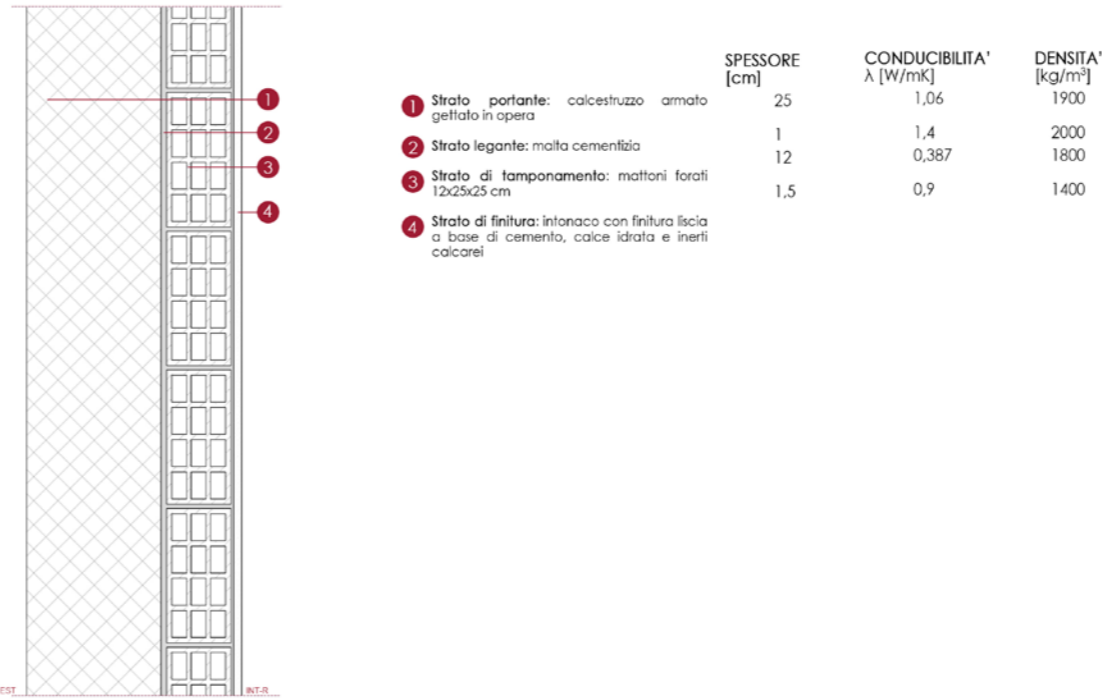
CV 01 Chiusura verticale in mattoni stato di fatto



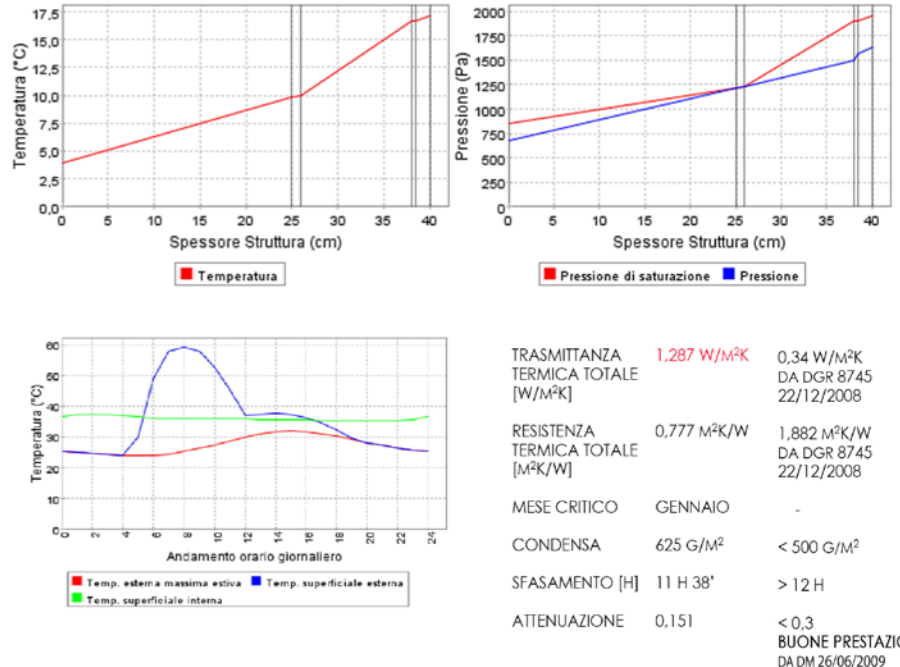
Verifiche prestazionali stato di fatto



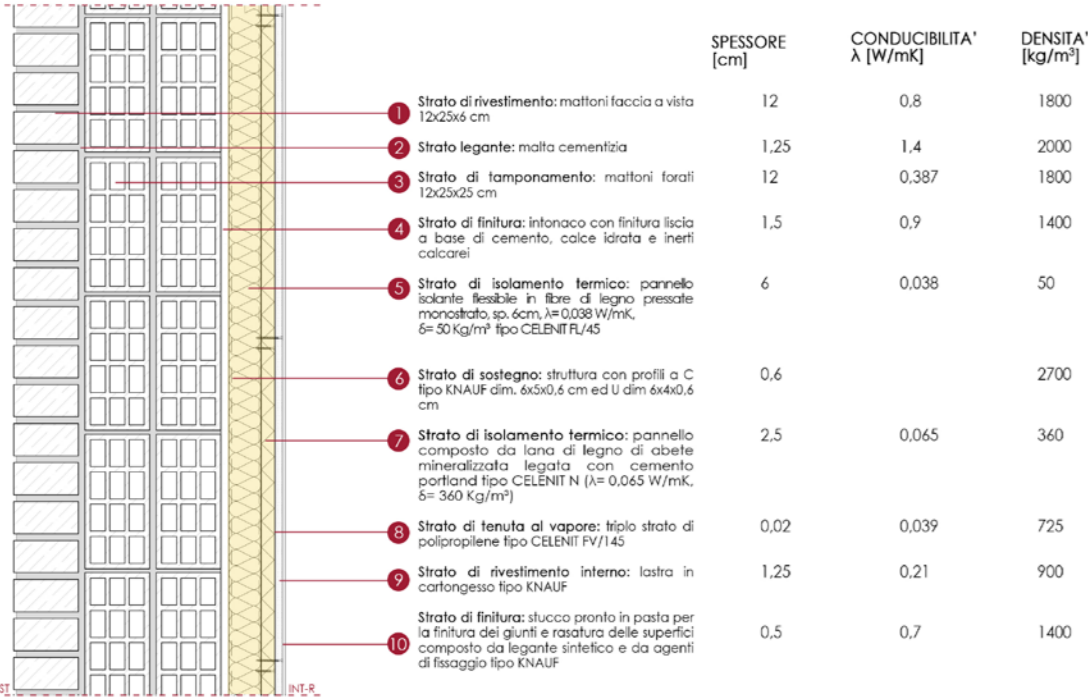
CV 03 Chiusura verticale in calcestruzzo stato di fatto



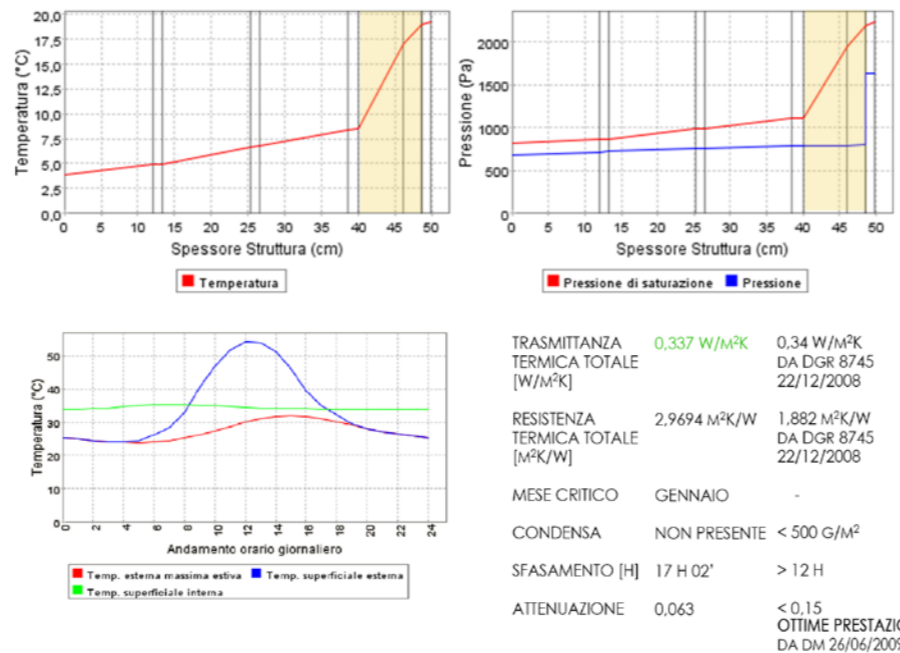
Verifiche prestazionali stato di fatto



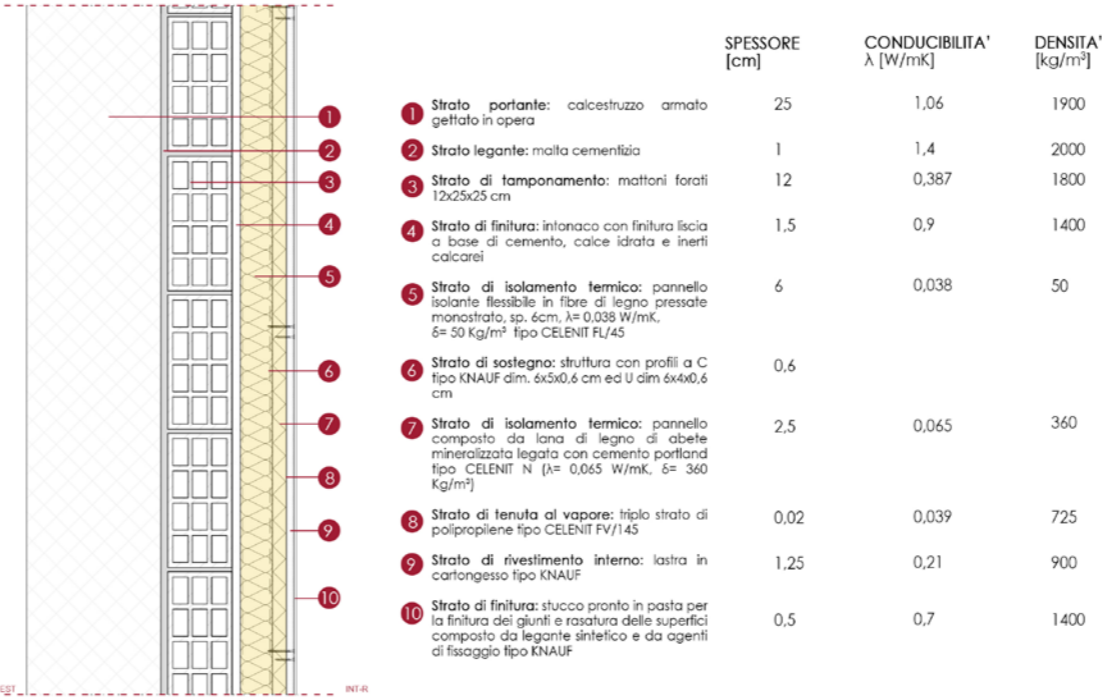
CV 02 Chiusura verticale in mattoni nuova costruzione



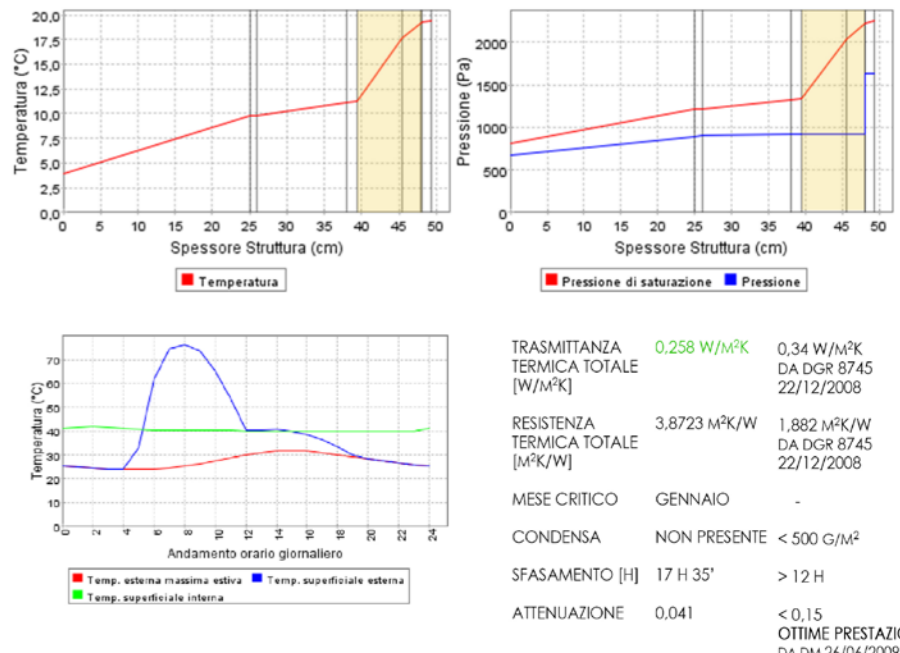
Verifiche prestazionali nuova costruzione



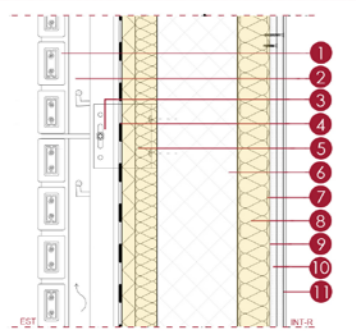
CV 03 Chiusura verticale in calcestruzzo nuova costruzione



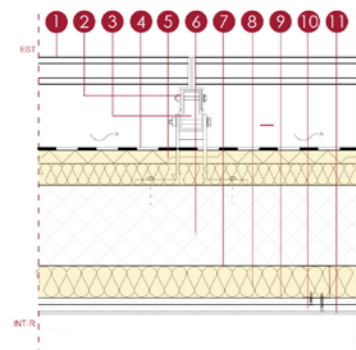
Verifiche prestazionali nuova costruzione



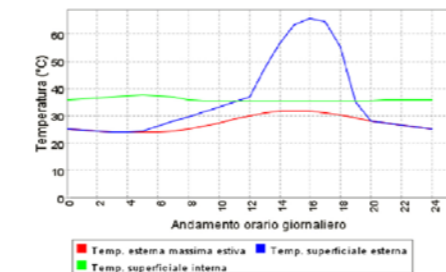
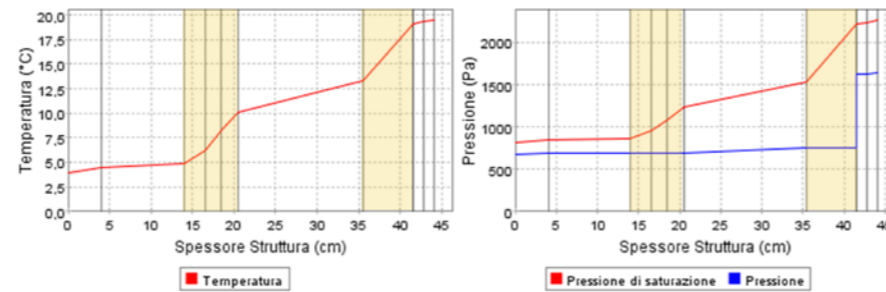
CV 04 Chiusura verticale in colto nuova costruzione



Numero	Descrizione	Spessore [cm]	Conduttività λ [W/mK]	Densità [kg/m³]
1	Elemento di rivestimento: listelli laterizi dim. 8x5 cm tipo Palagio TerraShade 5001 o dim. 6x3,6 cm tipo Palagio TerraShade 5007 con elemento di supporto composto da anima interna in alluminio	5	0,8	1800
2	Elemento di supporto: montante verticale in alluminio con profilo tubolare anodizzato piegato a freddo			
3	Elemento di fissaggio: profilo ad L in alluminio dim. 12x10 cm, sp. 1 cm			
4	Strato di impermeabilizzazione: membrana impermeabilizzante in bitume polimero	0,5	0,3	1000
5	Strato di isolamento termico: pannello composto da uno strato in lana di legno di abete rosso mineralizzata, legata con cemento portland, sp. 2,5cm, accoppiato a uno strato in fibra di legno, sp. 4cm, sp.tot. 6,5cm tipo CELENIT F2/C	5 6	0,065 0,037	480 110
6	Strato portante: calcestruzzo prefabbricato alleggerito di supporto al rivestimento	15	0,42	1100
7	Strato di sostegno: struttura con profili a C tipo KNAUF dim. 7,5x5x0,6 cm ed U dim 5x4x0,6 cm			
8	Strato di isolamento termico: pannello in fibre di cellulosa λ=0,037 W/mK, δ= 30 Kg/m³ tipo CELENIT VITAL	6	0,037	30
9	Strato di tenuta al vapore: triplo strato di polipropilene tipo CELENIT FV/145	0,02	0,0039	725
10	Strato di rivestimento interno: doppia lastra in cartongesso tipo KNAUF	1,25+1,25	0,42	1100
11	Strato di finitura: stucco pronto in pasta per la finitura dei giunti e rasatura delle superfici composto da legante sintetico e da agenti di fissaggio tipo KNAUF	0,5	1,00	2300

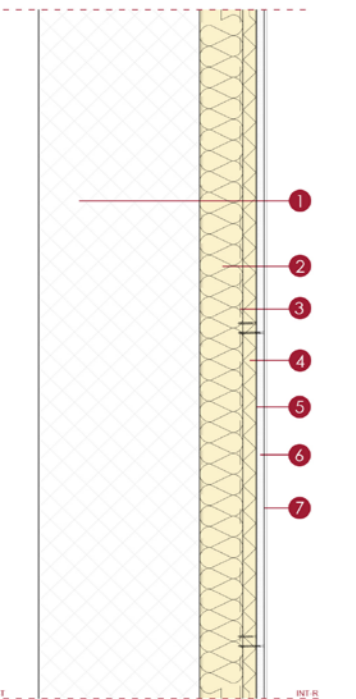


Verifiche prestazionali nuova costruzione

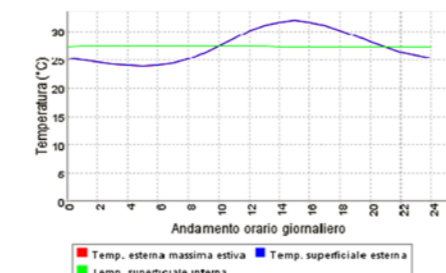
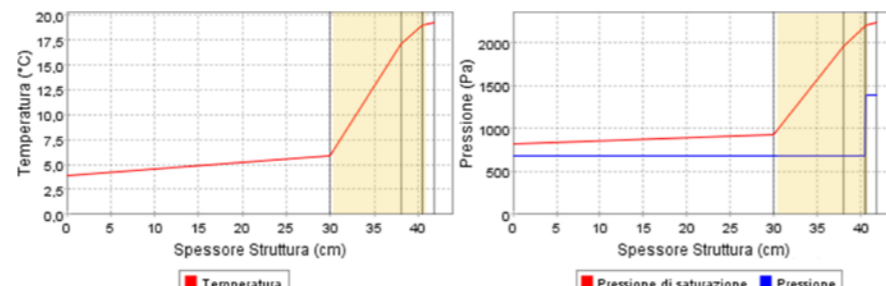


TRASMITTANZA TERMICA TOTALE [W/M²K]	0,224 W/M²K	0,34 W/M²K	DA DGR 8745 22/12/2008
RESISTENZA TERMICA TOTALE [M²K/W]	4,4625 M²K/W	1,882 M²K/W	DA DGR 8745 22/12/2008
MESE CRITICO	GENNAIO	-	
CONDENSA	NON PRESENTE	< 500 G/M²	
SFASAMENTO [H]	12 H 12'	> 12 H	
ATTENUAZIONE	0,172	< 0,15	OTTIME PRESTAZIONI DA DM 26/06/2009

CV 05 Chiusura verticale in calcestruzzo nuova costruzione

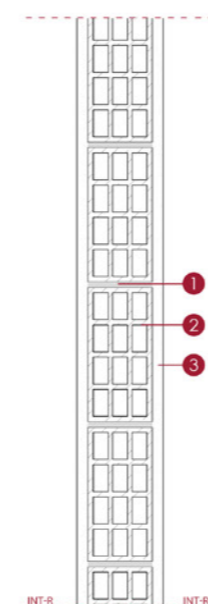


Numero	Descrizione	Spessore [cm]	Conduttività λ [W/mK]	Densità [kg/m³]
1	Strato portante: calcestruzzo armato gettato in opera	25	1,06	1900
2	Strato di isolamento termico: pannello isolante flessibile in fibre di legno pressate monostrato, sp. 6cm, λ= 0,038 W/mK, δ= 50 Kg/m³ tipo CELENIT FL/45	6	0,038	50
3	Strato di sostegno: struttura con profili a C tipo KNAUF dim. 6x5x0,6 cm ed U dim 6x4x0,6 cm	0,6		
4	Strato di isolamento termico: pannello composto da lana di legno di abete mineralizzata legata con cemento portland tipo CELENIT N (λ= 0,065 W/mK, δ= 360 Kg/m³)	2,5	0,065	360
5	Strato di tenuta al vapore: triplo strato di polipropilene tipo CELENIT FV/145	0,02	0,039	725
6	Strato di rivestimento interno: lastra in cartongesso tipo KNAUF	1,25	0,21	900
7	Strato di finitura: stucco pronto in pasta per la finitura dei giunti e rasatura delle superfici composto da legante sintetico e da agenti di fissaggio tipo KNAUF	0,5	0,7	1400



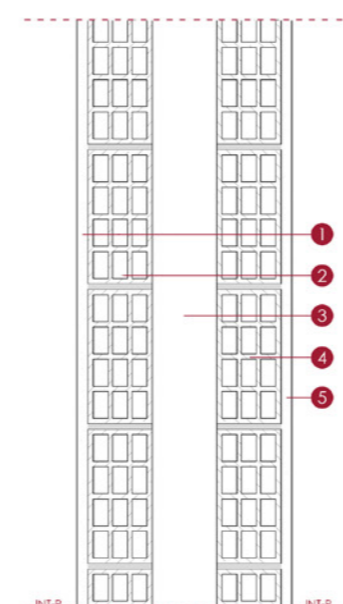
TRASMITTANZA TERMICA TOTALE [W/M²K]	0,329 W/M²K	0,34 W/M²K	DA DGR 8745 22/12/2008
RESISTENZA TERMICA TOTALE [M²K/W]	3,0398 M²K/W	1,882 M²K/W	DA DGR 8745 22/12/2008
MESE CRITICO	GENNAIO	-	
CONDENSA	NON PRESENTE	< 500 G/M²	
SFASAMENTO [H]	15 H 28'	> 12 H	
ATTENUAZIONE	0,066	< 0,15	OTTIME PRESTAZIONI DA DM 26/06/2009

PV 01 Partizione verticale divisoria non portante stato di fatto



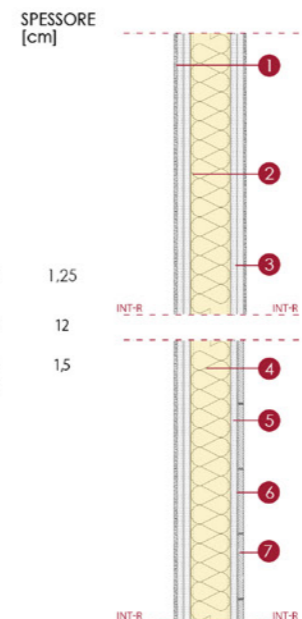
- Strato legante: malta cementizia sp. 1,25 cm
- Strato di tamponamento: mattoni forati 12x25x25 cm
- Strato di finitura: intonaco con finitura liscia a base di cemento, calce idrata e inerti calcarei sp. 1,5 cm

PV 02 Partizione verticale divisoria attrezzabile stato di fatto



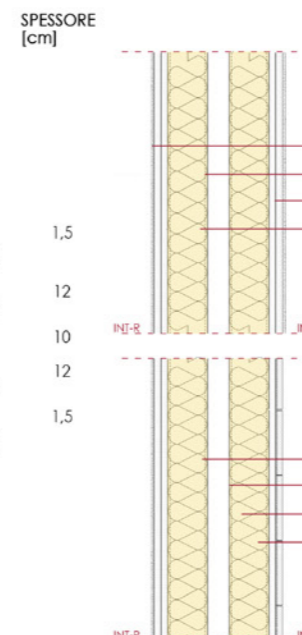
- Strato di finitura: intonaco con finitura liscia a base di cemento, calce idrata e inerti calcarei sp. 1,5 cm
- Strato di tamponamento: mattoni forati 12x25x25 cm
- Intercapedine d'aria: passaggio impianti
- Strato di tamponamento: mattoni forati 12x25x25 cm
- Strato di finitura: intonaco con finitura liscia a base di cemento, calce idrata e inerti calcarei sp. 1,5 cm

PV 03 Partizione verticale divisoria non portante nuova costruzione

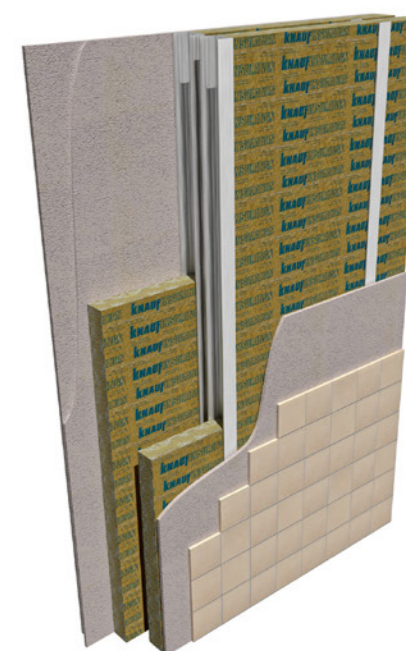


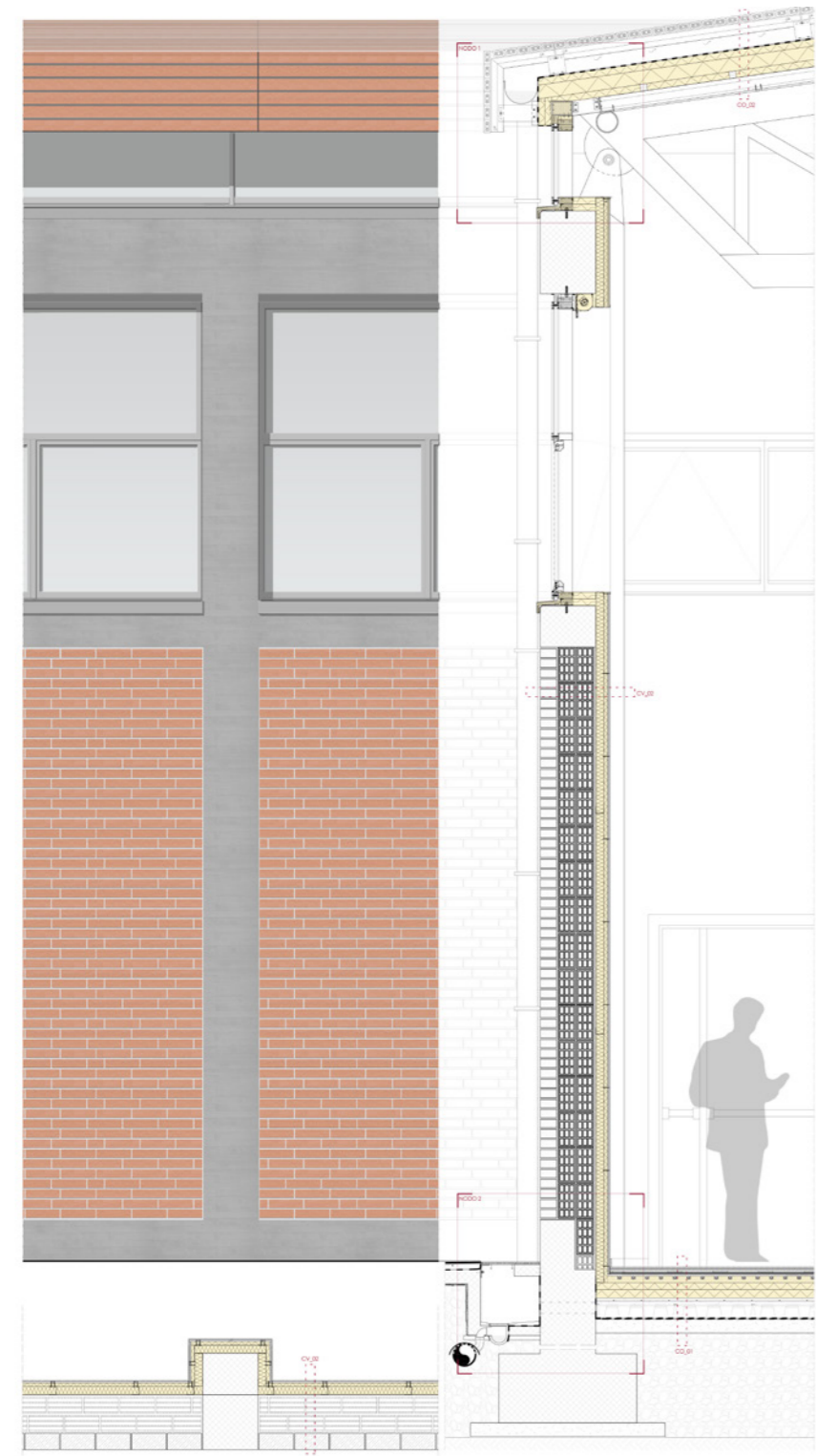
- Strato di finitura: stucco pronto in pasta per la finitura dei giunti e rasatura delle superfici composto da legante sintetico e da agenti di fissaggio tipo KNAUF sp. 0,5 cm
- Strato di sostegno: struttura con profili a C tipo KNAUF dim. 7,5x5x0,6 cm ed U dim 5x4x0,6 cm
- Strato di rivestimento interno: doppia lastra in cartongesso tipo KNAUF sp. 2,5 cm
- Strato di isolamento termico: lana di roccia tipo YSOROCK (λ= 0,038 W/mK, δ= 150 Kg/m³) sp. 7,5 cm
- Strato di supporto: cemento rinforzato tipo AQUAPANEL INDOOR sp. 1,25 cm
- Strato di incollaggio: collante per piastrelle sp. 0,2 cm
- Strato di rivestimento interno: piastrelle in gres porcellanato dim. 12x12x1 cm

PV 04 Partizione verticale divisoria attrezzabile nuova costruzione



- Strato di finitura: stucco pronto in pasta per la finitura dei giunti e rasatura delle superfici composto da legante sintetico e da agenti di fissaggio tipo KNAUF sp. 0,5 cm
- Strato di sostegno: struttura con profili a C tipo KNAUF dim. 7,5x5x0,6 cm ed U dim 5x4x0,6 cm
- Strato di rivestimento interno: doppia lastra in cartongesso tipo KNAUF sp. 2,5 cm
- Strato di isolamento termico: lana di roccia tipo YSOROCK (λ= 0,038 W/mK, δ= 150 Kg/m³) sp. 7,5 cm
- Strato di separazione: intercapedine d'aria sp. 4 cm
- Strato di supporto: cemento rinforzato tipo AQUAPANEL INDOOR sp. 1,25 cm
- Strato di incollaggio: collante per piastrelle sp. 0,2 cm
- Strato di rivestimento interno: piastrelle in gres porcellanato dim. 12x12x1 cm

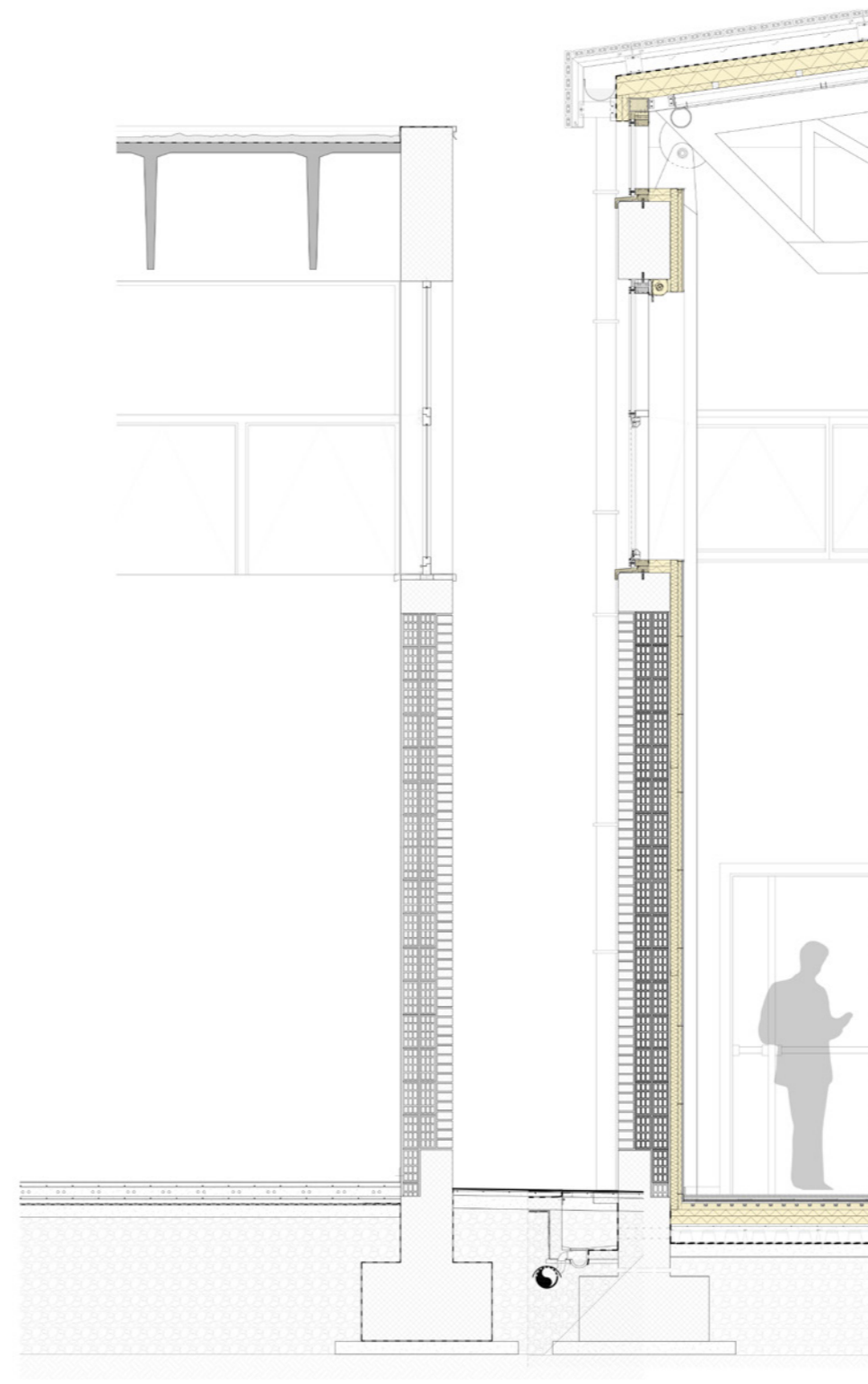




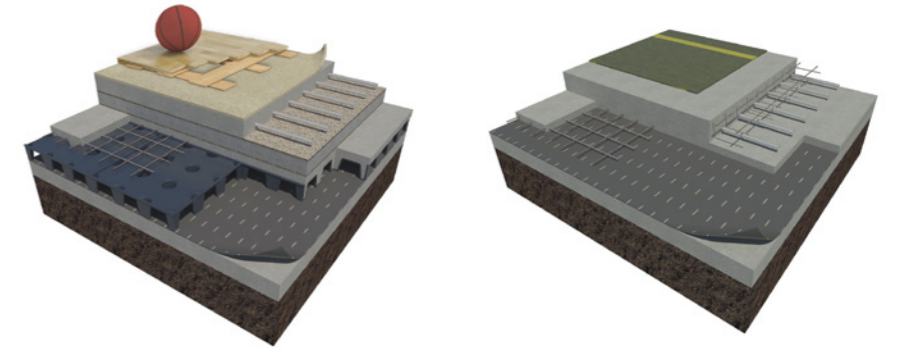
PROSPETTO SUD



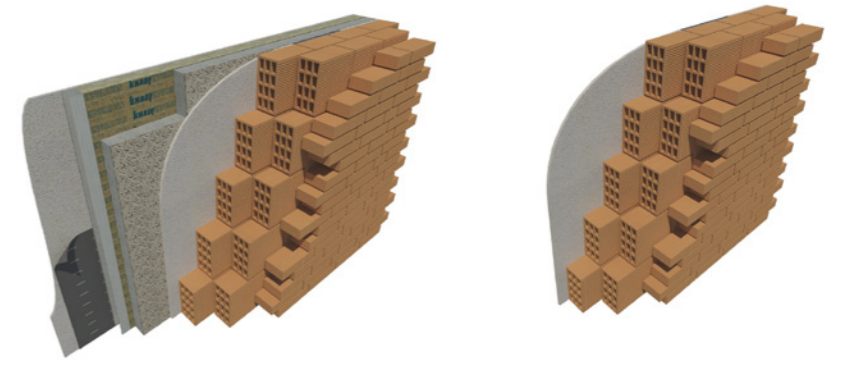
PIANTA PIANO TERRA



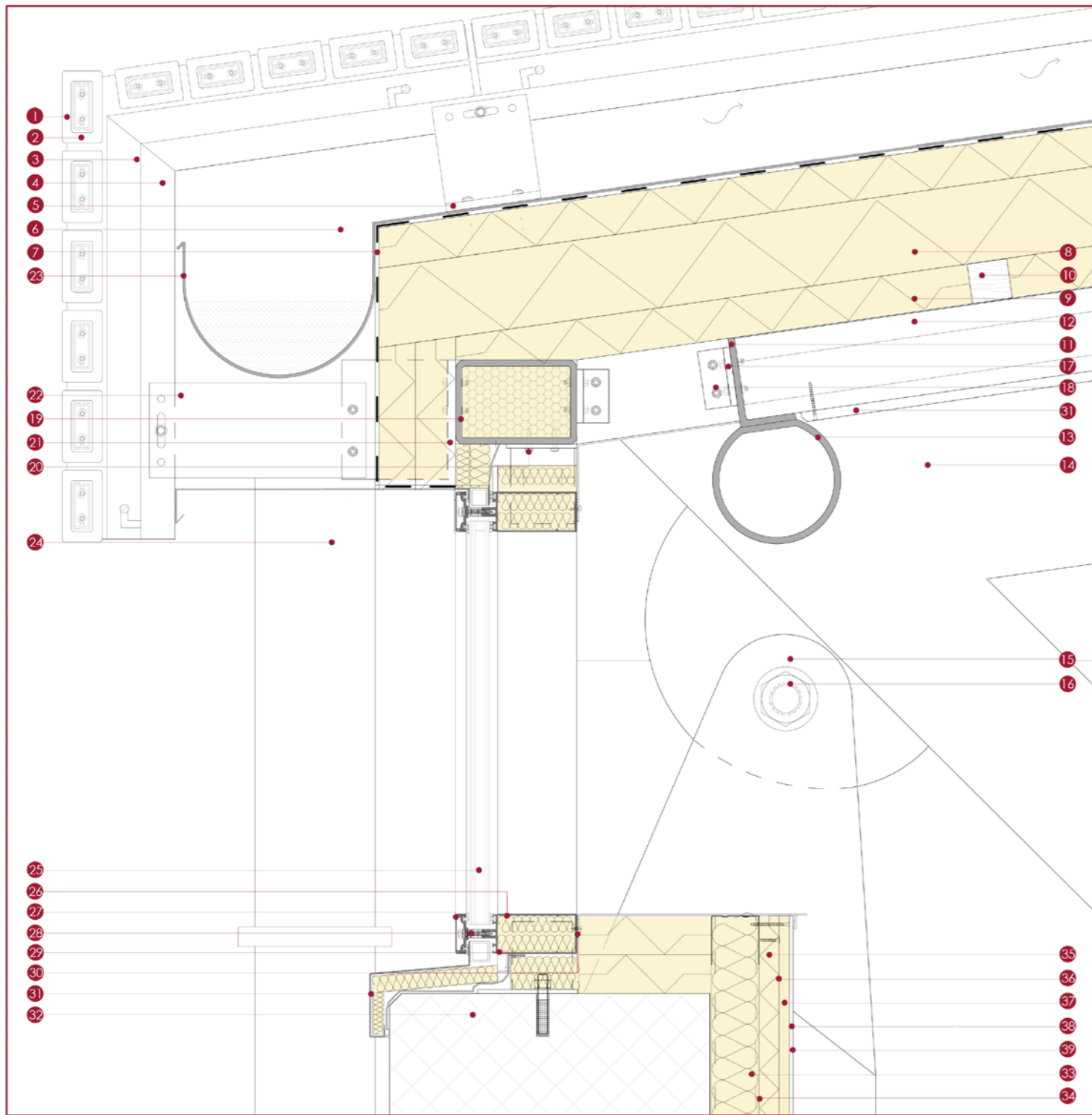
SOLAIO CONTROTERRA PROGETTUALE E ESISTENTE



CHIUSURA VERTICALE PROGETTUALE E ESISTENTE

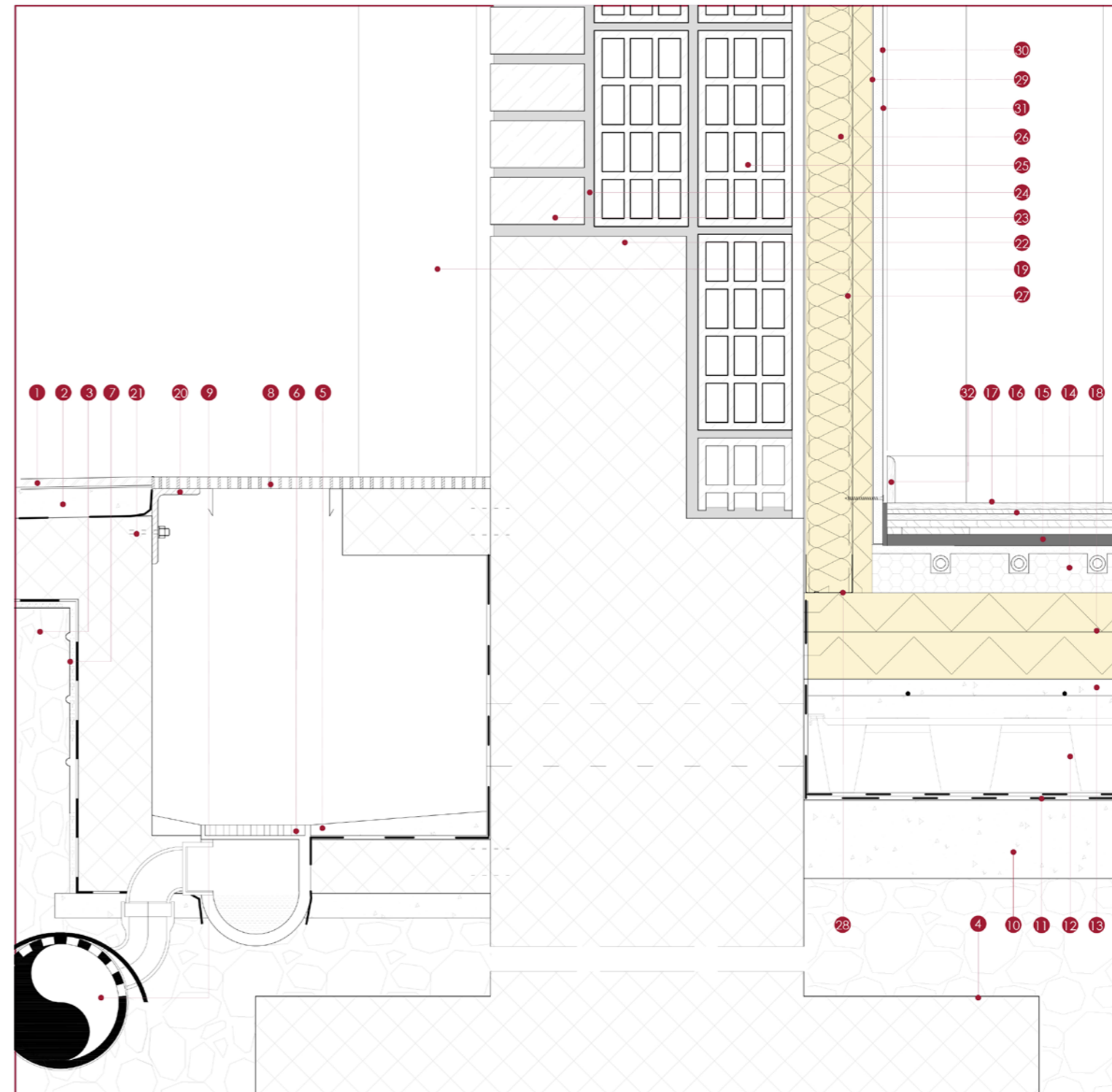






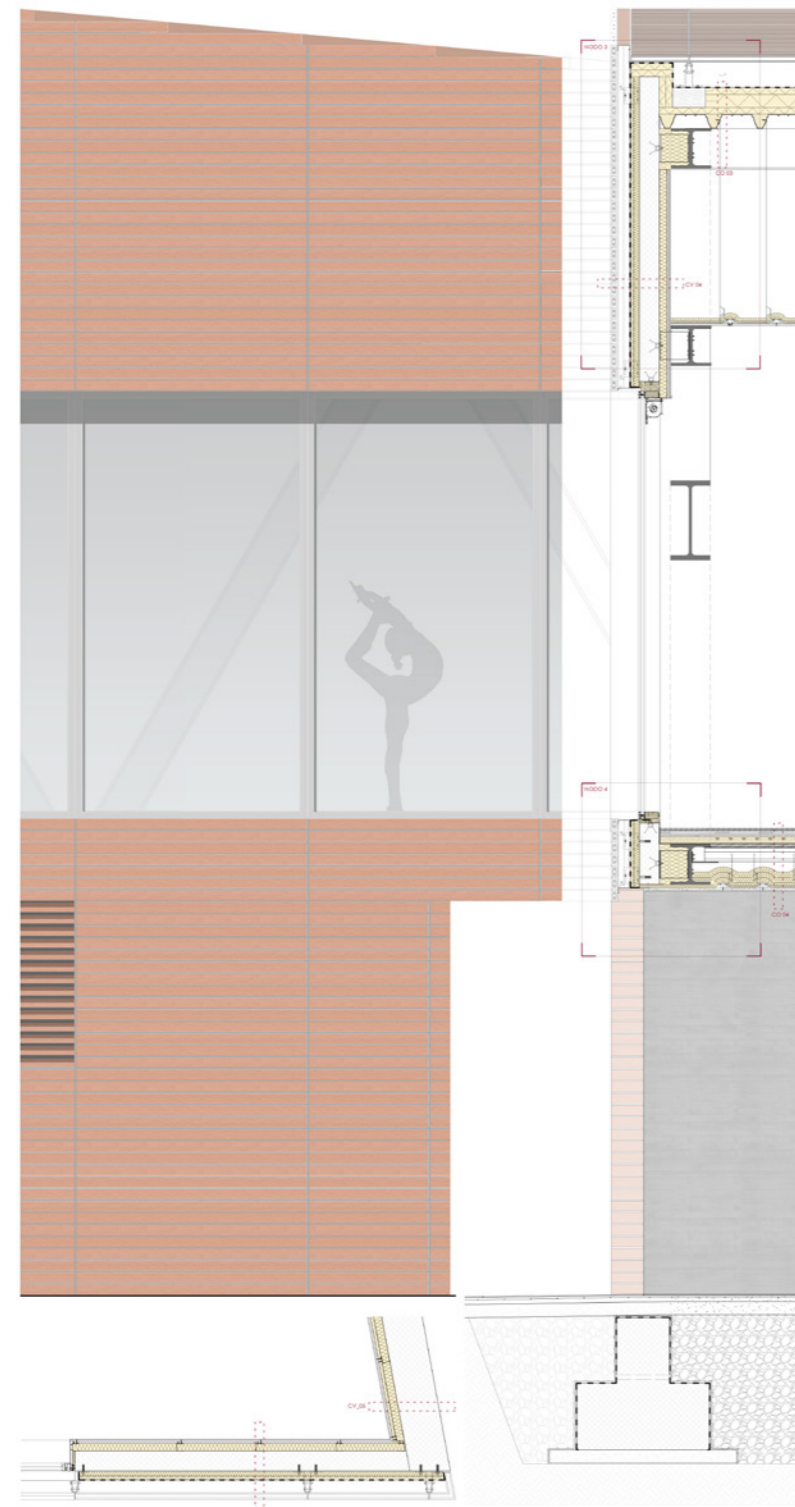
## NODO 1

- 1 Strato di rivestimento: listelli in laterizio dim. 8x5 cm tipo Palagio TerraShade 5001
- 2 Elemento di supporto: anima interna in alluminio anodizzato
- 3 Elemento di supporto: piastra in alluminio anodizzato piegata a freddo
- 4 Elemento di supporto: montante verticale in alluminio con profilo tubolare anodizzato piegato a freddo
- 5 Elemento di fissaggio: profilo ad L in alluminio dim. 12x10 cm, sp. 1 cm
- 6 Strato di separazione: intercapedine d'aria sp. 10 cm
- 7 Strato di impermeabilizzazione: membrana impermeabilizzante in bitume polimero sp. 0,5 cm
- 8 Strato di isolamento termico: pannello composto da uno strato in lana di legno di abete rosso mineralizzata, legata con cemento portland, sp. 2,5cm,  $\lambda=0,065$  W/mK,  $\delta=480$  Kg/m<sup>3</sup>, accoppiato a uno strato in fibra di legno, sp. 4cm,  $\lambda=0,037$  W/mK,  $\delta=110$  Kg/m<sup>3</sup> sp. tot. 6,5cm tipo CELENIT F2/C
- 9 Strato di isolamento termico: pannello composto da lana di legno di abete mineralizzata legata con cemento portland tipo CELENIT N sp. 5 cm ( $\lambda=0,065$  W/mK,  $\delta=360$  Kg/m<sup>3</sup>)
- 10 Strato di supporto: travetti in legno dim. 5x5 cm, con interasse 60 cm
- 11 Elemento di giunzione: profilo ad L in alluminio dim. 8x4 cm, sp. 0,8 cm
- 12 Strato portante: lamiera grecata tipo TECNODEC 105 (h. 10,5 cm e sp. 0,15 cm) con isolante in cellulosa
- 13 Elemento portante: profilo tubolare verniciato con pittura intumescente di diametro 8 cm, sp. 0,8 cm
- 14 Elemento portante: trave reticolare in acciaio verniciata con pittura intumescente
- 15 Elementi di supporto: piastre imbullonate tra loro e saldate alla trave reticolare
- 16 Elemento di giunzione: bullone in acciaio f 8 cm
- 17 Elemento di supporto: profilo ad L in acciaio, sp. 0,5 cm
- 18 Elemento di giunzione: bullone in acciaio f 1,2 cm
- 19 Elemento portante: tubolare in acciaio con schiumatura interna dim. 15x10 cm
- 20 Elemento di giunzione: vite autofilettante in acciaio f 0,5 cm
- 21 Elemento di supporto: profilo ad L in acciaio, sp. 1 cm
- 22 Elemento di sostegno: piastra in alluminio dim. 28x12 cm
- 23 Elemento di smaltimento delle acque meteoriche: gronda in rame f 25
- 24 Elemento di smaltimento delle acque meteoriche: pluviale in rame f 15
- 25 Infisso in alluminio: vetrocamera tipo METRA
- 26 Infisso in alluminio: traverso con coibentazione interna tipo METRA dim. 9,8x5 cm
- 27 Infisso in alluminio: cartellina in alluminio tipo METRA
- 28 Infisso in alluminio: pressore con vite di fissaggio
- 29 Infisso in alluminio: giunto in gomma tipo METRA
- 30 Infisso in alluminio: cloruro di polivinile espanso a cellule semichiuso
- 31 Strato di rivestimento interno: lastra in cartongesso tipo KNAUF sp. 1,125 cm
- 32 Strato portante: calcestruzzo armato faccia a vista, sp. 40 cm
- 33 Strato di isolamento termico: pannello isolante flessibile in fibre di legno pressate monostrato, sp. 6cm,  $\lambda=0,038$  W/mK,  $\delta=50$  Kg/m<sup>3</sup> tipo CELENIT FL/45
- 34 Strato di sostegno: struttura con profili a C tipo KNAUF dim. 7,5x5x0,6 cm ed U
- 35 Strato di isolamento termico: pannello composto da lana di legno di abete mineralizzata legata con cemento portland tipo CELENIT N ( $\lambda=0,065$  W/mK,  $\delta=360$  Kg/m<sup>3</sup>)
- 36 Strato di tenuta al vapore: triplo strato di polipropilene tipo CELENIT FV/145 sp. 0,02 cm
- 37 Strato di rivestimento esterno: lastra in cartongesso tipo KNAUF sp. 1,25
- 38 Strato di finitura: stucco pronto in pasta per la finitura dei giunti e rasatura delle superfici composto da legante sintetico e da agenti di fissaggio tipo KNAUF sp. 0,5 cm

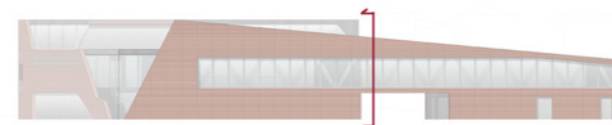


## NODO 2

- 1 Strato di rivestimento: gres porcellanato effetto pietra per esterni tipo COEM CERAMICHE - Pietra Valmalenco color Antracite, dim. 60x120 cm, sp. 2 cm
- 2 Strato di livellamento: massetto di livellamento della pendenza sp. 5 cm
- 3 Strato drenante: materiale di riempimento ghiaioso
- 4 Elemento portante: fondazione in calcestruzzo armato
- 5 Strato di livellamento: massetto con pendenza 2% per coinvolgere le acque meteoriche
- 6 Elemento di drenaggio: collettore di acque meteoriche
- 7 Strato di drenaggio: membrana bagnata di protezione e drenaggio a due strati con TNT filtrante termosaldato tipo DELTA-NP DRAIN, sp. 0,8 cm
- 8 Elemento di drenaggio: grata in alluminio, sp. 2,5 cm
- 9 Elemento di drenaggio: tubo drenante in materiale termoplastico tipo CETAP SINORGAN
- 10 Strato di livellamento: magrone realizzato in cls magro, sp.10 cm
- 11 Strato di impermeabilizzazione: membrana impermeabilizzante in bitume polimero sp. 0,5 cm
- 12 Strato di alleggerimento: elemento in polipropilene rigenerato per la creazione di vespai aerei dim. 56x56x10 cm
- 13 Strato di ripartizione dei carichi: massetto di regolazione in cls alleggerito più rete elettrosaldata per la ripartizione dei carichi sp. cm massetto di regolazione in cls alleggerito più rete elettrosaldata per la ripartizione dei carichi sp. cm 5 cm
- 14 Strato di riscaldamento: riscaldamento radiante a pavimento tipo SANCO RADIANT assemblato con pannello isolante di supporto in polistirene espanso sinterizzato tipo REXWARM dotato di nocche ad alta densità per l'alloggiamento dei tubi sp. 5,5 cm
- 15 Strato di smorzamento: materassino elastico in poliuretano tipo SEICOM, sp.1,5 cm
- 16 Strato di supporto: doppia orditura ortogonale di liste lignee multistrato tipo SEICOM, con interasse rispettivamente 33 cm e 10,5 cm, sp. 0,9 cm
- 17 Strato di rivestimento: parquet in legno massello tipo RUBBER WOOD suddiviso in tre strati, sp. 2,2 cm (8,6 e 8 cm), trattato con una finitura protettiva in vernici poliuretaniche ad uso sportivo, ad alta resistenza e antiscivolo.
- 18 Strato di isolamento termico: pannello composto da uno strato in lana di legno di abete rosso mineralizzata, legata con cemento portland, sp. 5cm,  $\lambda=0,065$  W/mK,  $\delta=420$  Kg/m<sup>3</sup> accoppiato a uno strato in fibra di legno, sp. 6cm,  $\lambda=0,037$  W/mK,  $\delta=130$  Kg/m<sup>3</sup>, sp. tot. 11 cm tipo CELENIT F2
- 19 Elemento di smaltimento delle acque meteoriche: pluviale in rame f 15
- 20 Elemento di supporto: profilo ad L in acciaio, sp. 1 cm
- 21 Elemento di sostegno: tassello per calcestruzzo in acciaio
- 22 Strato portante: calcestruzzo armato faccia a vista, sp. 40 cm
- 23 Strato di rivestimento: mattoni faccia a vista 12x25x25 cm
- 24 Strato legante: malta cementizia sp. 1,25 cm
- 25 Strato di tamponamento: mattoni forati 12x25x25 cm
- 26 Strato di isolamento termico: pannello isolante flessibile in fibre di legno pressate monostrato, sp.6 cm,  $\lambda=0,038$  W/mK,  $\delta=50$  Kg/m<sup>3</sup> tipo CELENIT FL/45
- 27 Strato di sostegno: struttura con profili a C tipo KNAUF dim. 7,5x5x0,6 cm
- 28 Strato di sostegno: struttura con profili ad U tipo KNAUF dim. 7,5x5x0,6 cm
- 29 Strato di tenuta al vapore: triplo strato di polipropilene tipo CELENIT FV/145 sp. 0,02 cm
- 30 Strato di rivestimento esterno: lastra in cartongesso tipo KNAUF sp. 1,25 cm
- 31 Strato di finitura: stucco pronto in pasta per la finitura dei giunti e rasatura delle superfici composto da legante sintetico e da agenti di fissaggio tipo KNAUF sp. 0,5 cm
- 32 Elemento di finitura: battiscopa in legno



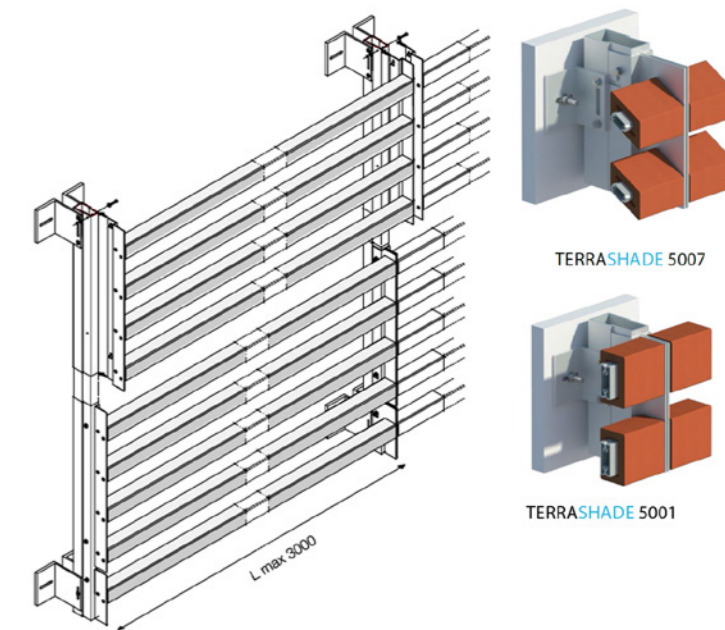
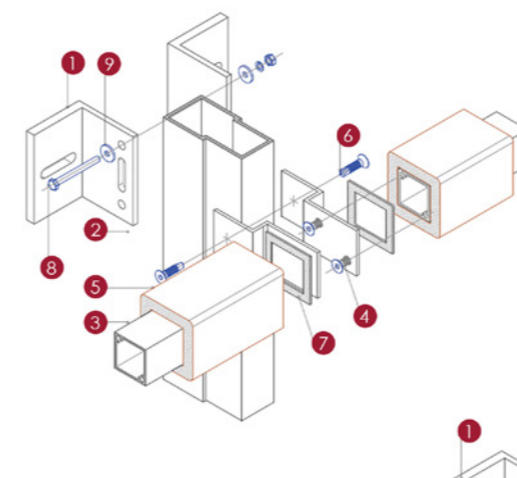
PROSPETTO SUD



PIANTA PIANO TERRA

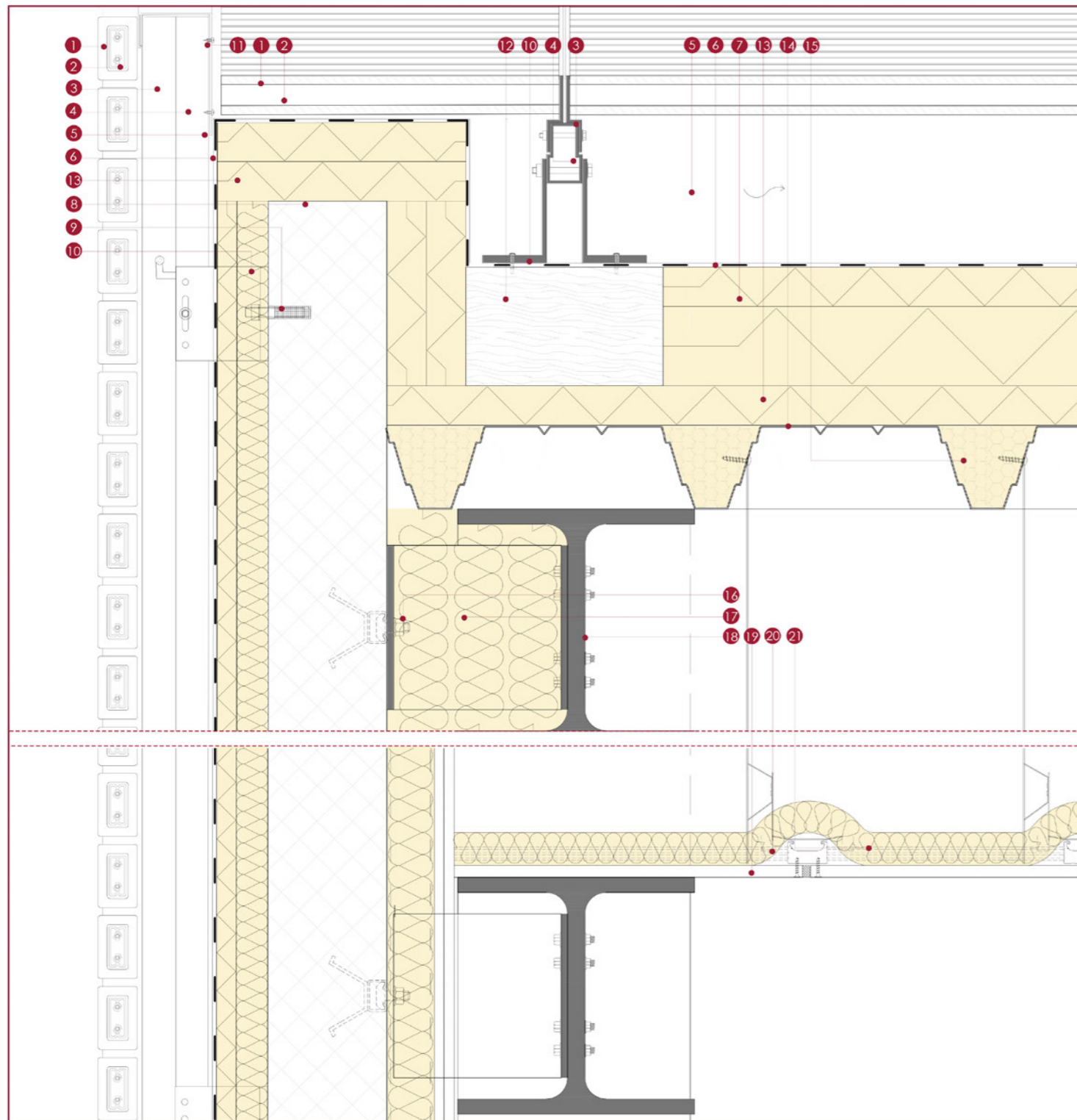


- 1 Staffa di supporto in lega di alluminio
- 2 Guida verticale in lega di alluminio
- 3 Telaio interno in lega di alluminio
- 4 Piastra in lega di alluminio
- 5 Listello TerraShade 5001 dim. 5x8 cm
- 6 Vite autofilettata
- 7 Guarnizione in neoprene
- 8 Vite di fissaggio
- 9 Rondella metallica



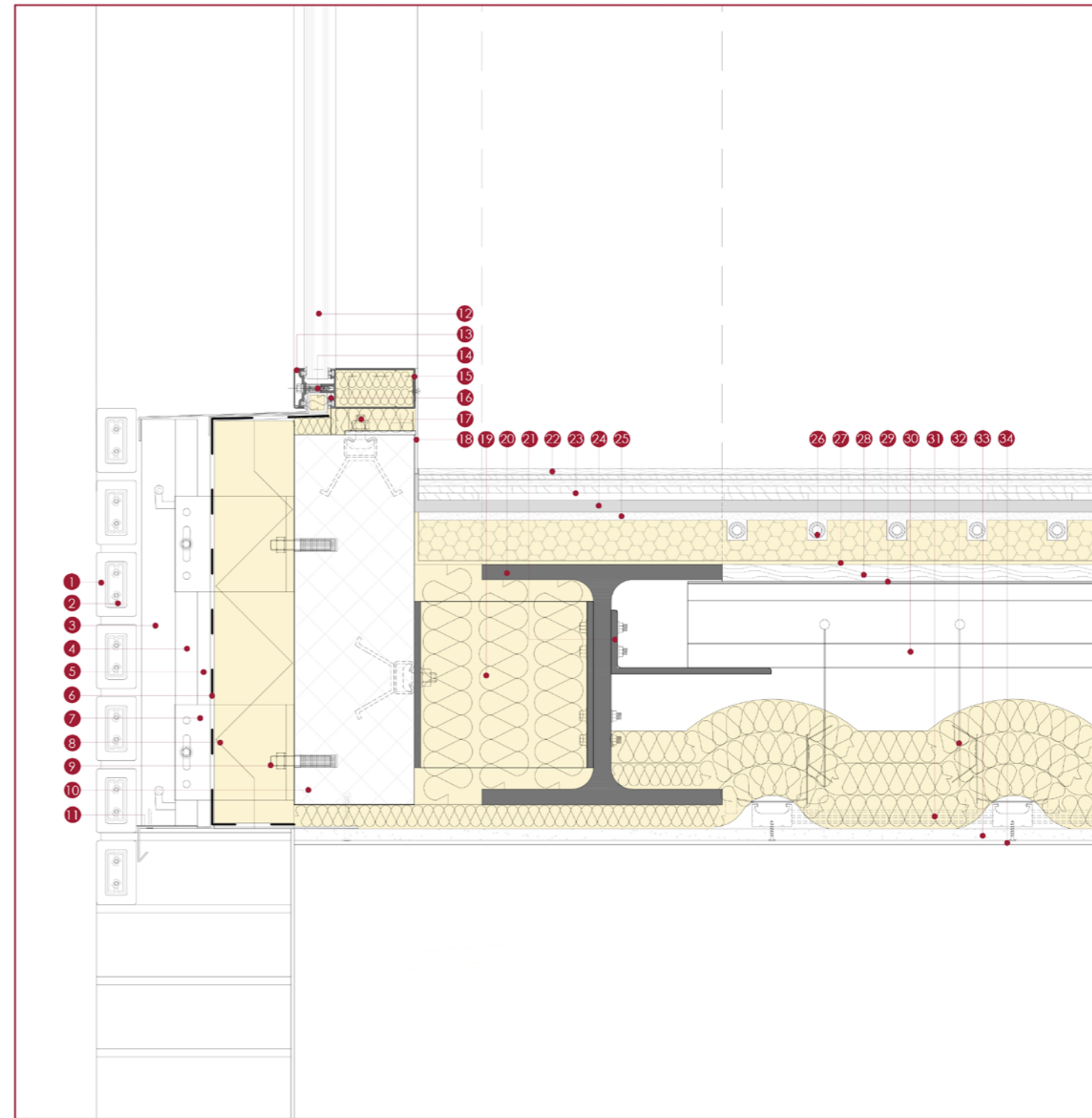
SOLUZIONI PER FACCIATE FAÇADE SOLUTIONS	DIMENSIONI DIMENSIONS	PESO WEIGHT	COLORI COLORS	SUPERFICIE SURFACE	DESTINAZIONI D'USO INTENDED USE
 TERRASHADE 5001	50 x 80 x 400 - 3300 mm	5,7 kg/m	Terre di Impugnata Terre bruciate Terre ocra Terre colorate	naturale / natural smaltata / glazed	esterni / outdoors interni / indoors ambienti aggressivi aggressive environment
 TERRASHADE 5007	60 x 36 x 400 - 2000 mm	3,7 kg/m	Terre di Impugnata Terre bruciate Terre ocra Terre colorate	naturale / natural smaltata / glazed	esterni / outdoors interni / indoors ambienti aggressivi aggressive environment

### NODO 3



- 1 Strato di rivestimento: listelli in laterizio dim. 8x5 cm tipo Palagio TerraShade 5001
- 2 Elemento di supporto: anima interna in alluminio anodizzato
- 3 Elemento di supporto: piastra in alluminio anodizzato piegata a freddo
- 4 Elemento di supporto: montante verticale in alluminio con profilo tubolare anodizzato piegato a freddo
- 5 Strato di separazione: intercapedine d'aria sp. 10 cm
- 6 Strato di impermeabilizzazione: membrana impermeabilizzante in bitume polimero sp. 0,5 cm
- 7 Strato di isolamento termico: pannello composto da uno strato in lana di legno di abete rosso mineralizzata, legata con cemento portland, sp. 2,5cm,  $\lambda=0,065$  W/mK,  $\delta=480$  Kg/m<sup>3</sup>, accoppiato a uno strato in fibra di legno, sp. 4cm,  $\lambda=0,037$  W/mK,  $\delta=110$  Kg/m<sup>3</sup> sp tot. 6,5cm tipo CELENIT F2/C
- 8 Strato portante: cls prefabbricato alleggerito di supporto al rivestimento sp. 15 cm
- 9 Elemento di sostegno: tassello per calcestruzzo in acciaio
- 10 Elemento di fissaggio: profilo a L in alluminio dim. 12x10 cm, sp. 1 cm
- 11 Elemento di guarnizione: lamiera in alluminio pressopiegata
- 12 Strato di supporto: travetti in legno dim.15x15 cm, con interasse 240 cm
- 13 Strato di isolamento termico: pannello composto da lana di abete mineralizzata legata con cemento portland tipo CELENIT N sp. 5 cm ( $\lambda=0,065$  W/mK,  $\delta=360$  Kg/m<sup>3</sup>)
- 14 Strato portante: lamiera grecata tipo TECNODEC 105 sp. 0,15 cm H=10,5 cm verniciato con pittura intumescente
- 15 Strato isolante: riempimento della lamiera grecata con isolante in cellulosa tipo FERMACELL
- 16 Elemento di sostegno: zanca per calcestruzzo
- 17 Elemento di giunzione: profilo a C in acciaio dim. 22x22 sp. 0,8 cm
- 18 Elemento portante: profilo IPE 300 in acciaio S275 verniciato con pittura intumescente
- 19 Strato di rivestimento: lastra in cemento rinforzato con rete di armatura su due lati tipo AQUAPANEL INDOOR sp. 1,25 cm
- 20 Strato di isolamento termico: pannello in fibre di cellulosa tipo CELENIT VITAL sp. 4 cm ( $\lambda=0,037$  W/mK,  $\delta=30$  Kg/m<sup>3</sup>)
- 21 Telaio sostegno: orditura metallica doppia con profilo a scatto per controsoffitti tipo KNAUF

### NODO 4



- 1 Strato di rivestimento: listelli in laterizio dim. 8x5 cm tipo Palagio TerraShade 5001V
- 2 Elemento di supporto: anima interna in alluminio anodizzato
- 3 Elemento di supporto: piastra in alluminio anodizzato piegata a freddo
- 4 Elemento di supporto: montante verticale in alluminio con profilo tubolare anodizzato piegato a freddo
- 5 Strato di separazione: intercapedine d'aria sp. 10 cm
- 6 Strato di impermeabilizzazione: membrana impermeabilizzante in bitume polimero sp. 0,5 cm
- 7 Elemento di fissaggio: profilo ad L in alluminio dim. 12x10 cm, sp. 1 cm
- 8 Strato di isolamento termico: pannello composto da due strati in lana di legno mineralizzata legata con cemento portland e uno strato interno in polistirene espanso tipo CELENIT G3 sp. 10 cm ( $\lambda=0,037$  W/mK,  $\delta=30$  Kg/m<sup>3</sup>); i pannelli si alternano con dei travetti in legno di dim. 15x10 cm
- 9 Elemento di sostegno: tassello per calcestruzzo in acciaio
- 10 Strato portante: cls prefabbricato alleggerito di supporto al rivestimento sp. 15 cm
- 11 Elemento di guarnizione: lamiera in alluminio pressopiegata
- 12 Infisso in alluminio: vetrocamera tipo METRA
- 13 Infisso in alluminio: cartellina in alluminio tipo METRA
- 14 Infisso in alluminio: pressore con vite di fissaggio
- 15 Infisso in alluminio: traverso con colbentazione interna tipo METRA dim. 9,8x5 cm
- 16 Infisso in alluminio: giunto in gomma tipo METRA
- 17 Elemento di sostegno: zanca per calcestruzzo
- 18 Elemento di finitura: battiscopa in alluminio
- 19 Elemento di giunzione: profilo a C in acciaio dim. 22x22 sp. 0,8 cm
- 20 Elemento portante: fondazione in cemento armato
- 21 Elemento di sostegno: profilo a L in acciaio dim. 20x8 cm
- 22 Strato di rivestimento: parquet in legno massello tipo RUBBER WOOD suddiviso in tre strati, sp. 2,2 cm (8,6 e 8 cm), trattato con una finitura protettiva in vernici poliuretaniche ad uso sportivo, ad alta resistenza e antiscivolo
- 23 Strato di supporto: doppia orditura ortogonale di liste lignee multistrato tipo SEICOM, con interasse rispettivamente 33 cm e 10,5 cm, sp. 0,9 cm
- 24 Strato di smorzamento: materassino elastico in poliuretano tipo SEICOM, sp.1,5
- 25 Strato di riempimento: strato di sabbia sp. 2 cm
- 26 Strato di riscaldamento: riscaldamento radiante a pavimento tipo SANCO RADIANT assemblato con pannello isolante di supporto in polistirene espanso sintetizzato tipo REXWARM dotato di nocche ad alta densità per l'alloggiamento dei tubi sp. 5,5 cm
- 27 Strato di isolamento: isolante acustico in sughero sp. 0,5 cm
- 28 Strato di irrigidimento: pannello in osb dim. 250x70x2,8 cm tipo OSB/2 DATHOLZ
- 29 Strato di separazione: foglio in polietilene sp. 0,25 cm
- 30 Strato portante: lamiera grecata tipo TECNODEC 105 sp. 0,15 cm H=10,5 cm verniciato con pittura intumescente
- 31 Telaio sostegno: orditura metallica doppia con profilo a scatto per controsoffitti tipo KNAUF
- 32 Strato di isolamento termico: pannello in fibre di cellulosa tipo CELENIT VITAL sp. 4 cm ( $\lambda=0,037$  W/mK,  $\delta=30$  Kg/m<sup>3</sup>)
- 33 Strato di rivestimento: lastra in cemento rinforzato con rete di armatura su due lati tipo AQUAPANEL OUTDOOR sp. 1,25 cm
- 34 Strato di finitura: intonaco per esterni multistrato riscaldato con rete di armatura e finitura superficiale tipo AQUAPANEL OUTDOOR sp. 0,5 cm

07

---

IL PROGETTO ENERGETICO

## 7.1 INTRODUZIONE

L'efficienza energetica è ormai un tema di centrale importanza non solo per la progettazione di nuovi edifici, ma anche e soprattutto negli interventi di riqualificazione su edifici esistenti, poichè un abbassamento dei consumi potrebbe contribuire sensibilmente al risparmio delle risorse e alla salvaguardia del clima.

Il miglioramento energetico, soprattutto dell'involucro, di edifici esistenti rientra tra i presupposti principali per uno sviluppo sostenibile: data la superiorità numerica degli edifici esistenti rispetto a quelli di nuova costruzione, il recupero di tali edifici diventa un settore che può garantire le maggiori potenzialità di risparmio energetico a breve termine e che sarà destinato a determinare il fabbisogno energetico dei prossimi decenni. Il rapporto tra il fabbisogno di energia per il riscaldamento di un vecchio edificio e lo standard di una casa passiva è di 10 a 1. Il caso studio è però una palestra, ben diversa da una abitazione unifamiliare, con un funzionamento continuativo di 15 ore al giorno, grandi ambienti e moltissimi carichi interni.

E' chiaro che non ci si aspetta di raggiungere un

bilancio pari a 0 tra dispersioni e carichi interni dell'edificio, ma sarebbe sufficiente osservare la diminuzione del fabbisogno di energia, che, se ingente, porta senza dubbio a grandi risparmi dal punto di vista economico.

Un grande miglioramento dell'efficienza energetica nell'edificio esistente presuppone un risanamento totale dell'involucro, per il quale si rende necessario un approccio integrato alla progettazione.

L'involucro di un edificio traccia la separazione tra spazi interni e spazi esterni, conferisce un volto all'aspetto esteriore della costruzione e comunica con l'ambiente circostante. La funzione primaria dell'involucro consiste nella protezione della costruzione da vento, pioggia e irradiazione solare.

Negli ultimi anni, con la crescente attenzione dedicata alla questione del consumo energetico degli edifici, la componente involucro è stata posta sempre più al centro delle riflessioni di ordine tecnico, artistico e creativo, essendo un elemento in grado di influenzare fortemente il comportamento energetico dell'edificio. Uno schema del procedimento usato per ottimizzare l'involucro è visibile in Figura 7.1.



Figura 7.1 Schema procedimento di ottimizzazione dell'involucro

Inoltre la scelta dei materiali per l'involucro definisce in larga misura sia la quantità di energia necessaria per la costruzione dell'edificio, sia i costi futuri per il suo funzionamento, pulizia e manutenzione.

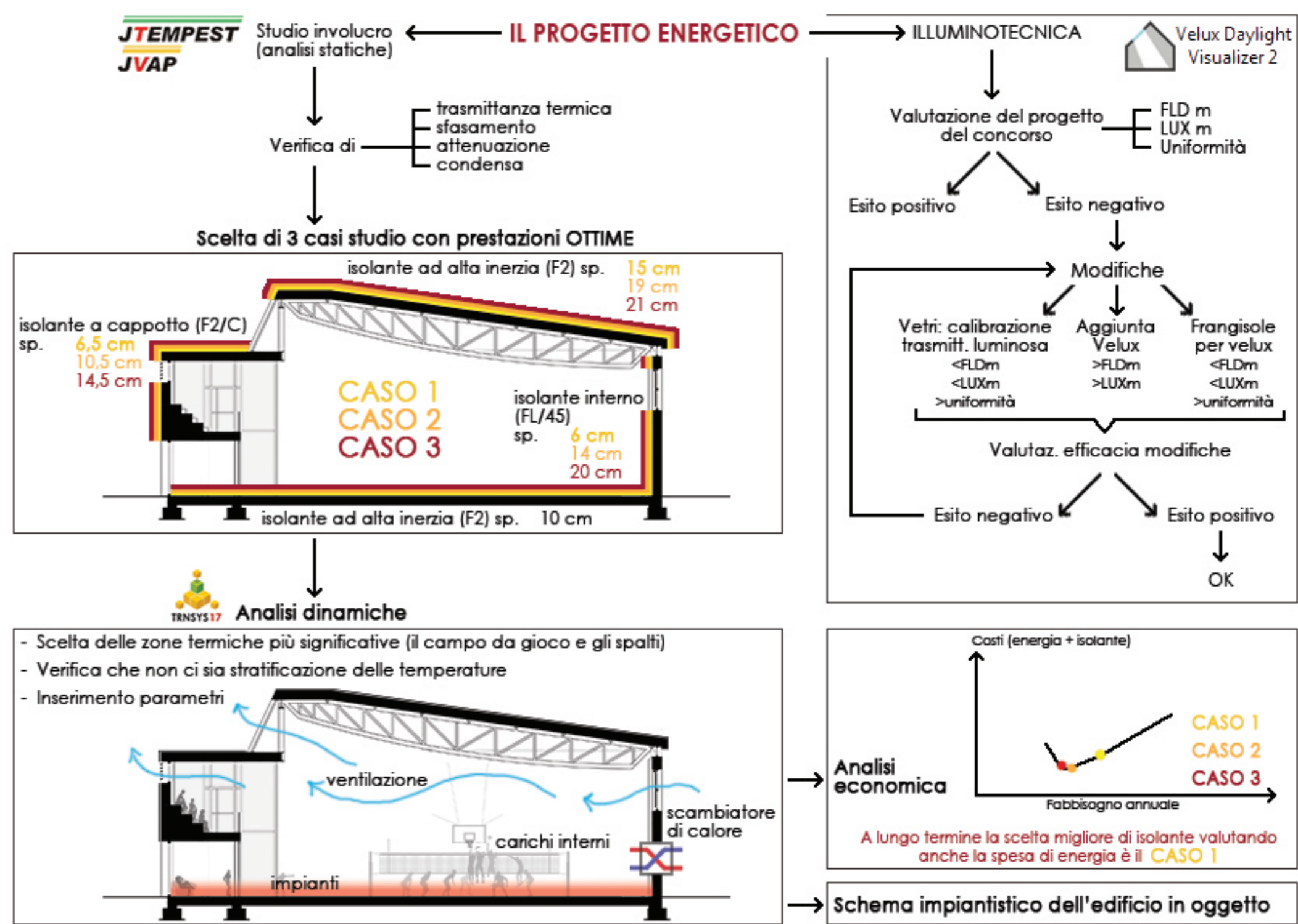
La progettazione di edifici ad alta efficienza energetica richiede una accorta interrelazione tra condizioni macro e micro climatiche, calibrando bene un uso contenuto dei sistemi tecnologici, un ridotto fabbisogno energetico e un alto livello di comfort.

Nel seguente capitolo si andranno ad analizzare diversi fattori per migliorare l'edificio nella sua globalità:

- una analisi statica iniziale, condotta con l'uso dei programmi JTempest e JVap porterà a capire se i presupposti architettonici e tecnologici decisi in fase progettuale erano corretti. L'analisi si basa sulla verifica di valori come la trasmittanza termica, lo sfasamento, l'attenuazione e la presenza di condensa;
- una analisi illuminotecnica sarà utile a migliorare i serramenti e il comfort visivo, punto sempre molto critico per un edificio energeticamente efficiente;

- una analisi dinamica, condotta con il programma Trnsys 17, porterà ad approfondire e calibrare ogni singolo parametro per l'edificio (dalla ventilazione, alle infiltrazioni, ai carichi interni, agli impianti...), in modo da capire ora per ora, nel corso dell'anno se le condizioni di comfort termoisometrico interno sono rispettate;
- una ottimizzazione economica servirà per valutare congiuntamente aspetti di risparmio energetico ed economico, in modo da scegliere l'isolante migliore per l'edificio, anche valutando i costi energetici durante gli anni successivi all'intervento di recupero;
- uno schema impiantistico, infine, unirà tutti gli aspetti trattati durante il capitolo, per studiare anche la produzione di energia con l'utilizzo di fonti rinnovabili.

Uno schema riassuntivo del procedimento usato nel capitolo è rappresentato nella pagina a fianco.



## 7.2 ANALISI STATICHE SULL'INVOLUCRO

Le analisi statiche precedentemente effettuate con i programmi JTempest e JVap hanno verificato i valori di trasmittanza termica, sfasamento e attenuazione: i risultati ottenuti sono stati analizzati secondo le normative vigenti, e in particolare secondo:

DGR 8745 del 22/12/2008 per quanto riguarda la trasmittanza termica totale;

DM 26/06/2009 per quanto riguarda sfasamento e attenuazione.

Riportiamo di seguito la tabella alla quale si fa riferimento per la verifica di sfasamento e attenuazione.

PRESTAZIONI	SFASAMENTO [h]	ATTENUAZIONE
Ottime	$S > 12$	$Fa < 0,15$
Buone	$12 > S > 10$	$0,15 < Fa < 0,30$
Medie	$10 > S > 8$	$0,30 < Fa < 0,40$
Sufficienti	$8 > S > 6$	$0,40 < Fa < 0,60$
Mediocri	$6 > S$	$0,60 < Fa$

Tabella 7.1 Verifica prestazioni da DM 26/06/2009

Da Dlgs 311 del 2006, poi aggiornato nel 2010 e Dlgs 56 del 2010 sono definiti i valori limite di trasmittanza termica U, definita come il flusso di calore, espresso in  $W/m^2K$ , che passa attraverso una struttura di  $1 m^2$  di superficie e con una differenza di temperatura tra i lati della struttura stessa pari ad 1K. I valori limite stabiliti dal 1 Gennaio 2010 sono  $0,34 W/m^2K$  per strutture verticali opache e di  $0,30 W/m^2K$  per strutture opache orizzontali o inclinate di copertura nella zona climatica E.

Un altro parametro che è importante considerare è la trasmittanza termica periodica (Yie), definita all'art.2 del decreto 59 del 2 Aprile del 2009 come il parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico che la attraversa nell'arco delle 24 ore, definita e determinata secondo la norma UNI EN ISO 13786 del 2008 e successivi aggiornamenti. L'art.4 dello stesso decreto impone che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (Yie), sia inferiore a  $0,12 W/m^2K$  relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est e che sia inferiore a  $0,20 W/m^2K$  per tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate.

Questo parametro si calcola moltiplicando il fattore di attenuazione per la trasmittanza, definiti sopra.

Queste analisi sono state eseguite sulle stratigrafie variando lo spessore dell'isolante, che sarà il parametro preso in considerazione per una ottimizzazione dell'involucro.

In primo luogo dalle analisi statiche sono stati eliminati tutte le casistiche in cui lo spessore dell'isolante non permetteva alla stratigrafia di raggiungere le prestazioni ottime definite nel DM 26/06/2009. Tra i casi rimanenti sono stati scelti, per ogni stratigrafia, tre casi studio scegliendo lo spessore minore, maggiore e uno spessore medio di isolante. Ovviamente per ogni stratigrafia il tipo di isolante e il relativo spessore può variare rispetto alle altre chiusure.

Un esempio può essere la copertura, per la quale l'isolante con spessore minore che garantisca ottime prestazioni è da 15 cm, al contrario per un isolante interno che andrà applicato a una chiusura con dei mattoni pieni che già in parte isolano grazie alla grande inerzia, è sufficiente uno spessore di 6 cm per garantire ottime prestazioni; dunque il CASO 1 comprenderà sia isolanti da 15 cm per le coperture, sia isolanti da 6 cm

per l'interno.

Si identificano dunque tre casi studio, per ognuno dei quali corrisponde uno specifico isolante per ogni stratigrafia, come si può vedere in Figura 9.31.

In base a considerazioni tecnologiche spiegate nel capitolo precedente si nota che vi sono diversi tipi di isolante: a cappotto, interno, per la copertura... Ad essi corrispondono i casi studio scelti, identificati nello schema sottostante con diversi colori a seconda dello spessore.



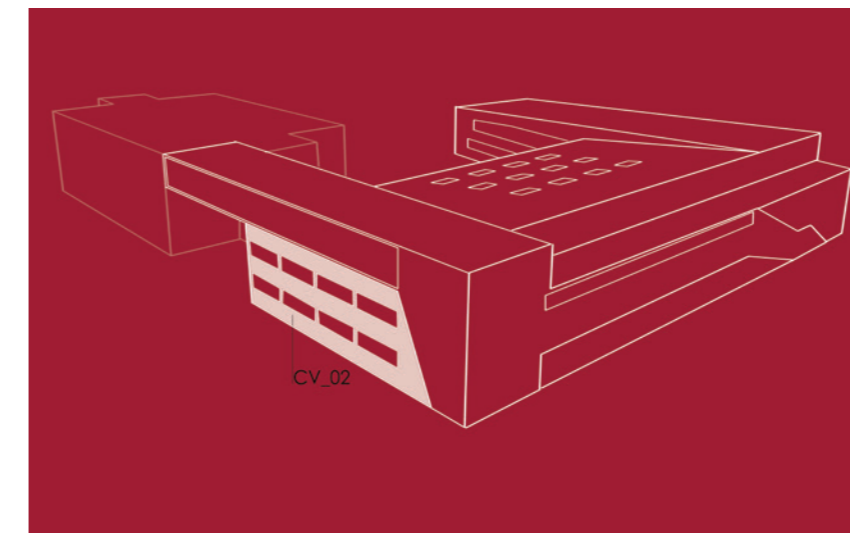
Figura 7.2 Schema casi studio

CV_02 CHIUSURA IN MATTONI	Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento S [h]	Attenuazione Fa [adm]	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
	Celenit FL/45 monostrato in fibra di legno	60	17h 2'	0,063	0,337	0,021	12,89	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,12  Condensa non presente
		80	17h 38'	0,058	0,284	0,016	16,4	
		100	18h 14'	0,054	0,249	0,013	19,43	
		120	18h 54'	0,049	0,219	0,011	23,31	
		140	19h 35'	0,045	0,197	0,009	28,04	
		160	20h 19'	0,041	0,178	0,007	31,13	
		180	21h 3'	0,037	0,163	0,006	36,61	
200		21h 50'	0,033	0,150	0,005	43,66		

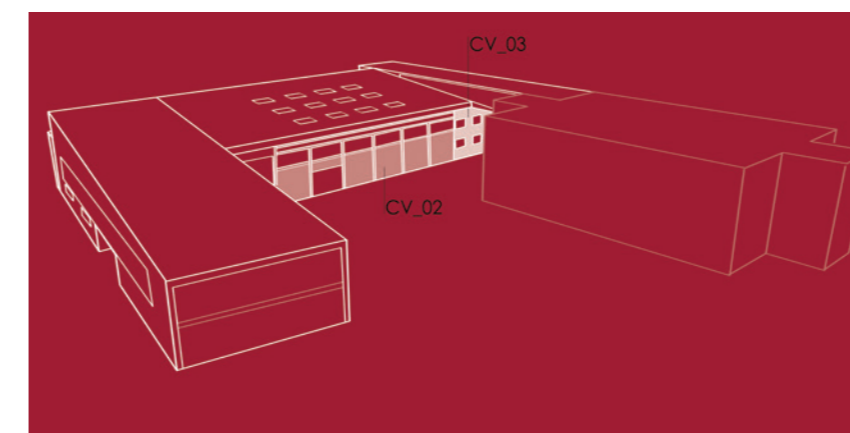
**Tabella 7.2** Analisi statiche sulla chiusura CV\_02 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio

CV_03 CHIUSURA IN CLS	Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento S [h]	Attenuazione Fa [adm]	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
	Celenit FL/45 monostrato in fibra di legno	60	17h 35'	0,041	0,258	0,011	12,89	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,12  Condensa non presente
		80	18h 10'	0,036	0,226	0,008	16,4	
		100	18h 46'	0,033	0,203	0,007	19,43	
		120	19h 26'	0,030	0,183	0,005	23,31	
		140	20h 7'	0,027	0,167	0,004	28,04	
		160	20h 52'	0,024	0,153	0,004	31,13	
		180	21h 36'	0,021	0,142	0,003	36,61	
200		22h 22'	0,019	0,132	0,002	43,66		

**Tabella 7.3** Analisi statiche sulla chiusura CV\_03 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio



**Figura 7.3** Schizzo con identificata la chiusura verticale CV\_02



**Figura 7.4** Schizzo con identificate le chiusure verticali CV\_02 e CV\_03

Nelle tabelle di sinistra vengono identificate le diverse stratigrafie con i tre casi studio considerati per ognuna di esse, identificati in verde. I fattori analizzati vengono ora messi in relazione con lo spessore dell'isolante e il relativo costo. Ciò sarà utile alla fine del capitolo quando verrà svolta una ottimizzazione economica. Negli schemi a destra vengono identificate le chiusure verticali o orizzontali prese in considerazione, per capire subito in quale parte si trovano dell'edificio.

Le due chiusure prese in considerazione in Tabella 7.2 e Tabella 7.3 sono esistenti e presentano degli strati già abbastanza massivi, come i mattoni pieni nella prima e il calcestruzzo gettato in opera nella seconda.

Si nota che anche con spessori molto bassi di isolante si raggiungono ottime prestazioni. Si è dunque deciso di considerare come Caso 1 quello con il minore spessore di isolante che permette di raggiungere ottime prestazioni, come Caso 3 quello con il maggiore spessore di isolante e come Caso 2 un caso intermedio. Si specifica anche che per queste chiusure, essendo esistenti, si è deciso di isolare dall'interno, usando l'isolante Celenit FL/45 in fibra di legno.

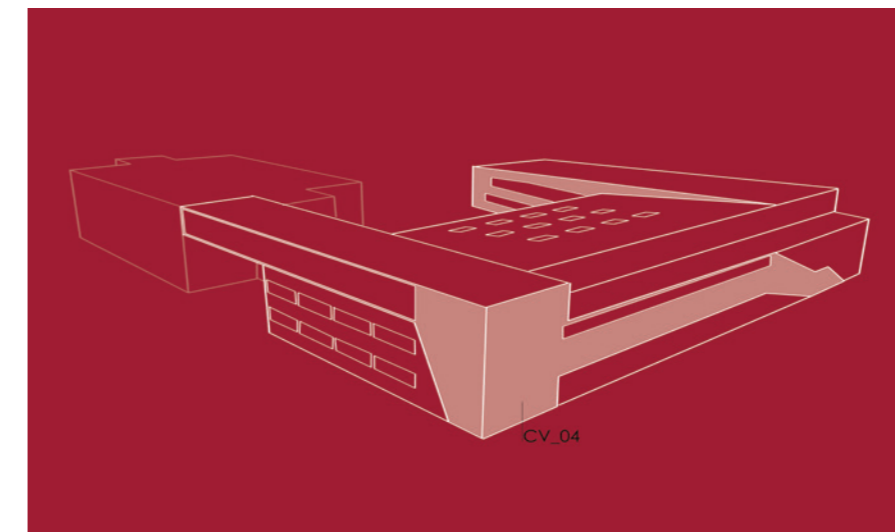


Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento S [h]	Attenuazione Fa [adm]	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
Celenit F2/C formato da 25 mm di lana di legno e da uno spessore variabile di fibra di legno	65 (25+40)	12h 12'	0,172	0,224	0,038	24,48	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,12
	85 (25+60)	13h 12'	0,140	0,200	0,028	18,72	
	105 (25+80)	14h 14'	0,115	0,180	0,021	14,4	
	125 (25+100)	15h 19'	0,095	0,164	0,016	11,52	Condensa non presente
	145 (25+120)	16h 26'	0,077	0,151	0,012	10,08	

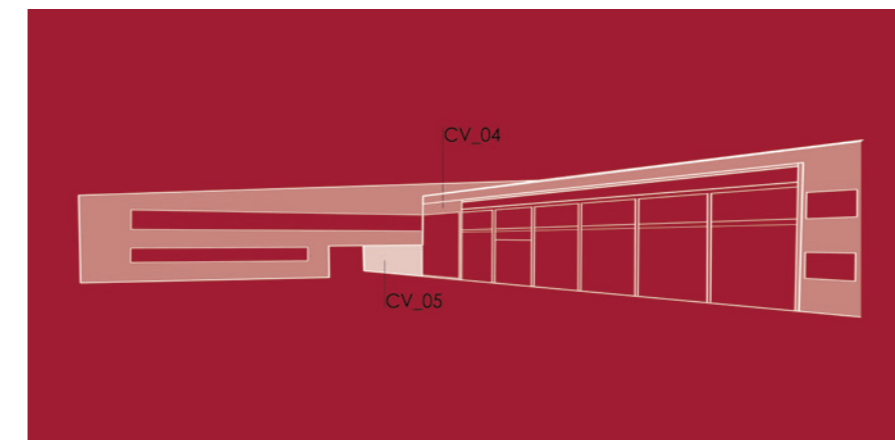
**Tabella 7.4** Analisi statiche sulla chiusura CV\_04 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio

Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento S [h]	Attenuazione Fa [adm]	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
Celenit FL/45 monostrato in fibra di legno	60	14h 55'	0,071	0,402 > 0,34	0,284	12,89	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,12
	80	15h 28'	0,066	0,329	0,022	16,4	
	100	16h 3'	0,063	0,283	0,018	19,43	
	120	16h 42'	0,059	0,245	0,014	23,31	Condensa non presente
	140	17h 23'	0,055	0,218	0,012	28,04	
	160	18h 7'	0,051	0,195	0,010	31,13	
	180	18h 51'	0,046	0,177	0,008	36,61	
	200	19h 38'	0,041	0,162	0,007	43,66	

**Tabella 7.5** Analisi statiche sulla chiusura CV\_05 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio



**Figura 7.5** Schizzo con identificata la chiusura verticale CV\_04



**Figura 7.6** Schizzo con identificate le chiusure verticali CV\_04 e CV\_05

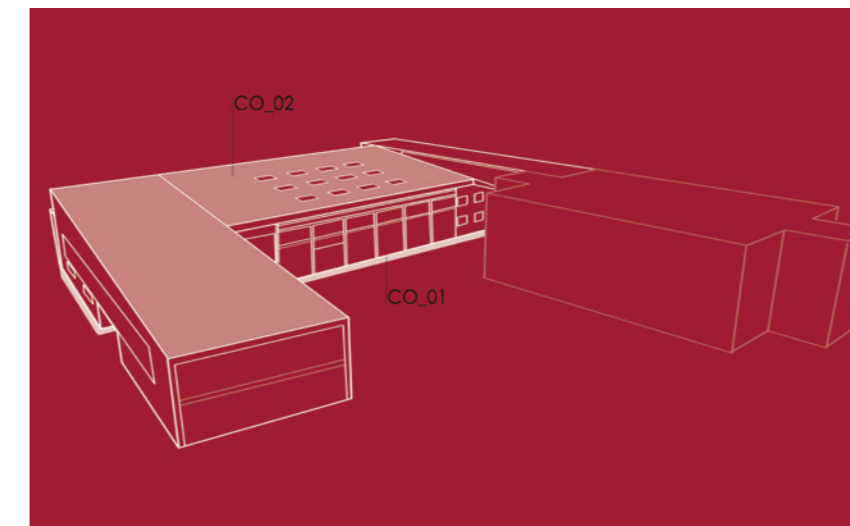
In Tabella 7.5 viene analizzato un altro caso di isolamento dall'interno, come nella pagina precedente; per questo motivo si è utilizzata la stessa tipologia di isolante (Celenit FL/45). Analizzando i valori si nota però che con uno spessore di isolante di 6 cm non sono verificati i valori di trasmittanza termica U e trasmittanza termica periodica Yie. Per questo motivo questa casistica di spessore di isolante viene eliminata dall'analisi e si sceglieranno altri tre spessori di isolanti con cui svolgere l'analisi. La scelta si basa, come per i casi precedenti, sullo stesso principio, considerando i casi con minore, maggiore e medio spessore di isolante che rispettino le ottime qualità prestazionali richieste. In Tabella 7.4 viene invece analizzata una chiusura in cui l'isolante è posizionato all'esterno come cappotto e dunque è stata scelta una diversa tipologia di isolante, il Celenit F2/C. Questo isolante è formato da due strati: 25 mm di lana di legno accoppiata a uno spessore variabile di fibra di legno, che varia 40 mm a 120 mm a seconda dei casi. Con gli stessi criteri spiegati sopra vengono scelte tre casistiche a cui corrispondono tre spessori diversi di isolante.

CO_01 CHIUSURA CONTROTERRA	Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento S [h]	Attenuazione Fa [adm]	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
	Celenit F2 formato da 50 mm di lana di legno e da uno spessore variabile di fibra di legno	110 (50+60)	34h 7'	0	0,180	0	36,93	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,2  Condensa non presente

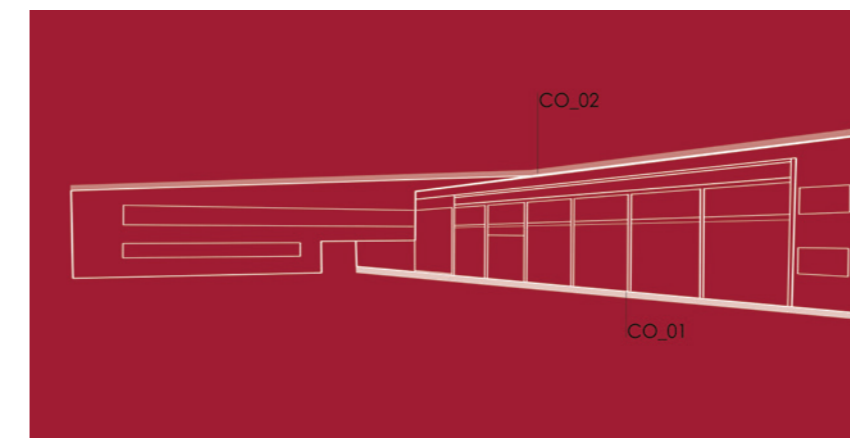
**Tabella 7.6** Analisi statiche sulla chiusura CO\_01 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio

CO_02 COPERTURA	Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento S [h]	Attenuazione Fa [adm]	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
	Celenit F2 formato da 50 mm di lana di legno e da uno spessore variabile di fibra di legno	110 (50+60)	11h 25'	0,265	0,272	0,072	36,93	Buone 10h < S < 12h 0,15 < Fa < 0,30
		130 (50+80)	12h 36'	0,221	0,237	0,052	43,00	
		150 (50+100)	13h 48'	0,181	0,210	0,038	49,13	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,2  Condensa non presente
		170 (50+120)	15h 1'	0,147	0,189	0,028	56,51	
		190 (50+140)	16h 14'	0,118	0,171	0,020	62,47	
		210 (50+160)	17h 28'	0,094	0,157	0,015	68,90	

**Tabella 7.7** Analisi statiche sulla chiusura CO\_02 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio



**Figura 7.7** Schizzo con identificate le chiusure orizzontali CO\_01 e CO\_02



**Figura 7.8** Schizzo con identificate le chiusure orizzontali CO\_01 e CO\_02

In Tabella 7.6 viene considerata la chiusura orizzontale controterra. Per tali chiusure, è stato previsto di utilizzare l'isolante Celenit F2, formato da 50 mm in lana di legno accoppiata a uno spessore variabile di fibra di legno. In questa situazione si notano già ottimi valori di sfasamento, attenuazione e trasmittanza già con lo spessore minore del prodotto scelto. Per questo motivo si è deciso di non variare lo spessore dell'isolante per i tre casi studio, ma di mantenere lo stesso spessore di isolante, perchè l'aggiunta di altro isolante causerebbe solo un aumento dei costi e non un miglioramento delle prestazioni che sono già eccellenti.

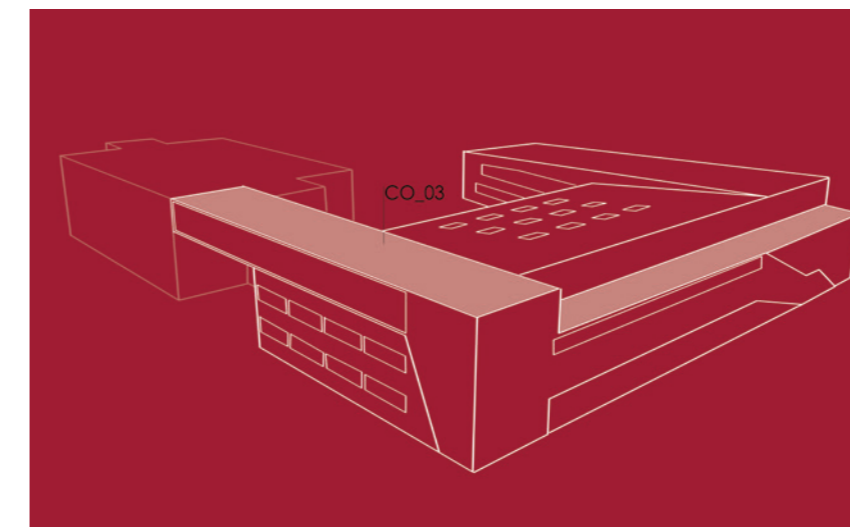
In Tabella 7.7 si prende in considerazione la chiusura verticale di copertura di nuova costruzione. In questo caso è facile immaginare che per raggiungere caratteristiche prestazionali ottime è necessario uno spessore di isolante maggiore rispetto, per esempio, ad una chiusura verticale composta da mattoni pieni (che già in parte isolano grazie alla grande inerzia termica). Le prestazioni ottime sono infatti raggiunte solo considerando 150 mm di isolante, mentre con spessori inferiori si ottengono medie prestazioni. Si scelgono i tre casi studio solo tra quelli che danno ottime prestazioni.

CO_03_COPERTURA PRATICABILE	Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento S [h]	Attenuazione Fa [adm]	Trasmitt. termica U [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
	Celenit F2 formato da 50 mm di lana di legno e da uno spessore variabile di fibra di legno	110 (50+60)	15h 36'	0,136	0,259	0,035	36,93	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,2  Condensa non presente

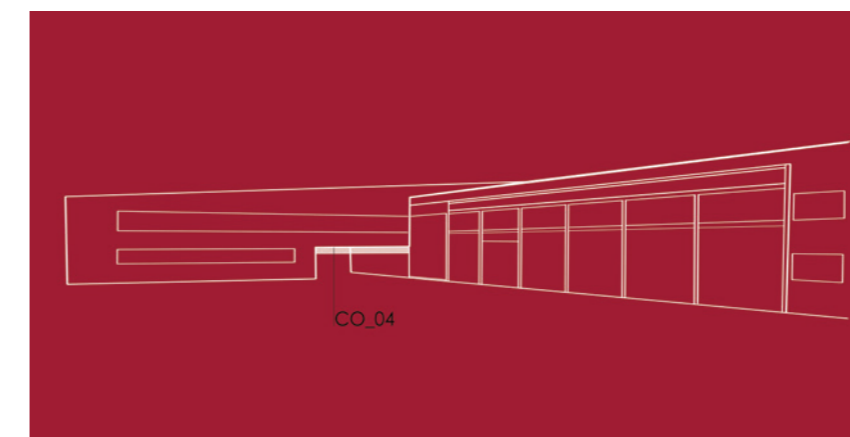
**Tabella 7.8** Analisi statiche sulla chiusura CO\_03 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio

CO_04_PORTICO	Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento [h]	Attenuazione [adm]	Trasmitt. termica [W/mqK]	Trasmitt. termica periodica Yie [W/mqK]	Costo [€/mq]	Qualità prestazionali
	Celenit F2 formato da 50 mm di lana di legno e da uno spessore variabile di fibra di legno	110 (50+60)	13h 43'	0,160 > 0,15	0,294	0,046	36,93	Buone 10h < S < 12h 0,15 < Fa < 0,30
		130 (50+80)	14h 53'	0,133	0,254	0,034	43,00	Ottime S > 12h Fa < 0,15 Yie < 0,2
		150 (50+100)	16h 5'	0,111	0,223	0,025	49,13	
		170 (50+120)	17h 18'	0,090	0,199	0,018	56,51	
		190 (50+140)	18h 31'	0,073	0,180	0,013	62,47	
		210 (50+160)	19h 45'	0,058	0,164	0,009	68,90	Condensa non presente

**Tabella 7.9** Analisi statiche sulla chiusura CO\_04 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio



**Figura 7.9** Schizzo con identificata la chiusura orizzontale CO\_03



**Figura 7.10** Schizzo con identificata la chiusura orizzontale CO\_04

In Tabella 7.8 è riportata la stratigrafia della chiusura orizzontale praticabile, ovvero quella della terrazza a nord e della copertura delle aule laboratori, come si può notare in Figura 8.3.

Avendo già raggiunto ottimi valori di sfasamento, attenuazione e trasmittanza, si è deciso di considerare lo stesso spessore di isolante in tutte le casistiche che verranno considerate, poichè l'aumento dello spessore non garantirebbe prestazioni molto migliori rispetto a quelle già ottenute con uno spessore di isolante pari a 110 mm.

Per quanto riguarda la chiusura orizzontale denominata CO\_04, ovvero il solaio su spazi aperti mostrato in Figura 8.4, si nota che con uno spessore di isolante di 110 mm non sono garantite ottime prestazioni. Per questo motivo vengono scelti i tre casi studio tra gli spessori presenti nel listino prezzi della Celenit.

Un'altra analisi che è stata fatta sulle varie stratigrafie è la verifica che non vi sia condensa per nessuna chiusura considerata. Tutti i casi considerati non comportano la presenza di condensa.

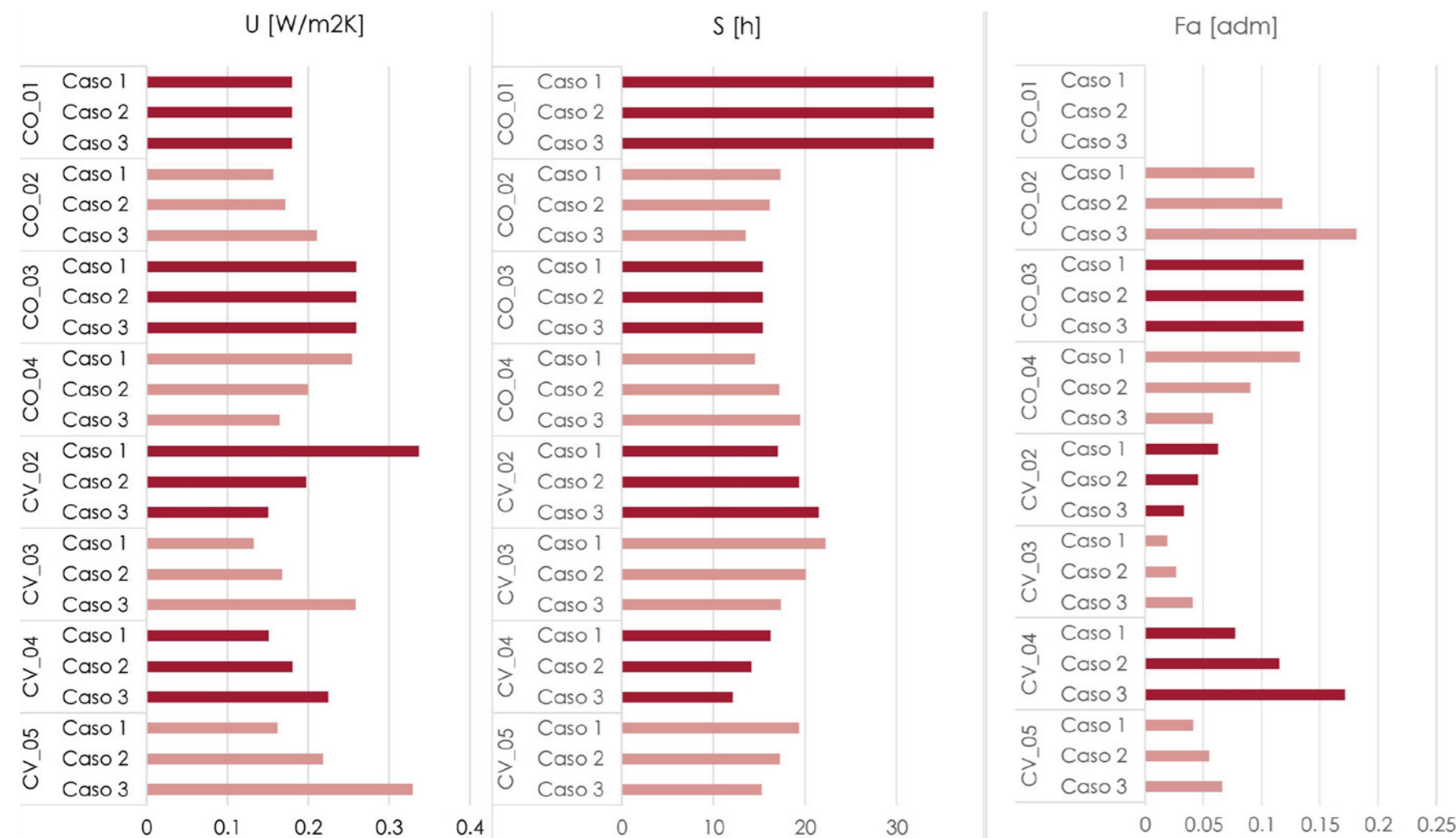


Figura 7.11 Grafico di comparazione dei risultati delle verifiche

In Figura 9.29 vengono graficizzate e comparate tutte le stratigrafie considerate, nei diversi casi studio.

Ovviamente queste analisi sono state eseguite solamente per le chiusure, orizzontali o verticali, poichè per le partizioni, non essendoci differenza di temperatura tra i locali che esse dividono, non ha senso svolgere queste verifiche.

Nelle analisi che seguiranno, dunque, verranno considerati tre edifici identici, impostando gli stessi parametri di ventilazione, carichi interni, ma con diversi spessori di isolanti.

Come si nota dalla pagina a fianco, alcuni casi presentano tre valori uguali di spessore di isolante: ciò è stato spiegato nelle pagine precedenti, poichè quando sono stati osservati valori eccellenti di qualità prestazionali si è deciso di non aumentare ancora di più lo spessore dell'isolante, perchè ciò avrebbe comportato solamente un aumento dei costi, senza l'ottenimento di migliori prestazioni.

Si nota che tra loro i casi scelti sono molto simili in alcuni casi; ciò accade poichè sono stati considerati solamente isolanti molto performanti e spessori che garantissero ottime prestazioni, mentre gli altri valori

sono stati eliminati.

Proprio perchè si ottengono valori così simili diventano indispensabili delle analisi molto specifiche e che considereranno, oltre a spessore e prestazioni dell'isolante, anche costi iniziali dell'investimento e costi relativi all'energia utilizzata dall'edificio in oggetto.

Inoltre, avendo scelto solo casi per i quali sono verificate ottime prestazioni, è chiaro che può essere accettata una qualunque delle casistiche in esame; ciò che ci si prefigge di ottenere è un risultato che possa indicare quale è la migliore tra le casistiche in esame considerando anche parametri energetici ed economici.

## 7.3 ANALISI ILLUMINOTECNICHE

Le analisi illuminotecniche sono state condotte focalizzando l'attenzione principalmente sulla zona del campo da gioco, in linea con quanto effettuato nel presente approfondimento. Il punto di partenza è stato lo studio del progetto presentato in fase concorsuale, per poter analizzare eventuali punti deboli dal punto di vista illuminotecnico. Il secondo passo è stato quindi di progettare delle soluzioni per correggere le mancanze evidenziate nel progetto di partenza e studiarne la reale efficacia migliorativa. Anche in questo caso l'intento è stato quello di non stravolgere le scelte architettoniche, ma di arrivare ad una situazione di comfort con cambiamenti poco impattanti dal punto di vista compositivo.

### 7.3.1 IL QUADRO NORMATIVO

Dal punto di vista illuminotecnico è consigliabile l'utilizzo di illuminazione naturale, ricorrendo a superfici finestrate con caratteristiche tali da assicurare il rispetto dei requisiti previsti dalle norme vigenti. L'illuminazione deve essere il più possibile uniforme, tale da non determinare variazioni che disturbino l'attività

sportiva e deve inoltre essere evitato il fenomeno dell'abbagliamento.

Le normative di riferimento in campo illuminotecnico, relativamente ad impianti sportivi, sono tre:

- Norma UNI EN 12464-1 2004, le cui principali direttive, applicabili al caso in esame, prevedono:
  - $E_m > 300$  lux (punto 5)
  - Uniformità  $\geq 0,7$  (punto 4.3.2)
- Decreto del ministero della sanità del 5/7/1975, il quale al punto 5.2.5 (Tabella 4.8), impone un valore minimo di FLD medio:  $FLD_m \geq 2\%$
- Normativa CONI, che alla Tabella b stabilisce diversi valori di lux medi da rispettare, a seconda del tipo di sport praticato e del livello delle competizioni (amatoriale, agonistico, nazionale, internazionale). Per gli sport praticati nella palestra di progetto la normativa prevede un minimo di 200 lux m per le fasi di allenamento (categoria 1), mentre di 500 per le gare a livello nazionale (categoria 2)

Le norme elencate non richiedono che i valori prescritti siano raggiunti esclusivamente con luce naturale, tuttavia ne raccomandano l'utilizzo, ove possibile.

### 7.3.2 IL METODO DI ANALISI

Le analisi illuminotecniche presentate in questa tesi sono state svolte con l'ausilio del software VELUX Daylight Visualizer, che permette di ottenere informazioni riguardo al Fattore di Luce Diurna, ed al suo valore medio, all'illuminanza, ovvero al valore di lux presente in ciascun punto dell'edificio, all'illuminanza media ed infine alla luminanza, legata alle riflessioni della luce prodotte dalle superfici.

Il programma dispone di un modellatore 3d integrato e permette l'importazione di files .dwg, riconoscendo gli oggetti per layer. Il modello viene geolocalizzato e orientato rispetto ai punti cardinali. Ogni superficie del modello viene associata ad uno specifico materiale e dunque legata alla quantità di luce che può assorbire o riflettere. Di particolare importanza sono poi la scelta dei vetri, in base alla trasmittanza luminosa ed all'indice di riflettività.

Il programma permette poi di esportare viste planimetriche a diverse quote, per verificare la luce presente a diversi livelli, viste in sezione o tridimensionali. In tal modo si possono ottenere risultati per ciascun giorno ed ora dell'anno. Nel caso in esame sono

stati valutati i momenti più critici, ovvero i due solstizi, quello di inverno e quello di estate. Il solstizio d'inverno rappresenta il giorno più corto e buio dell'anno, con un angolo di incidenza solare molto basso, mentre al contrario il solstizio d'estate è il giorno più luminoso, caratterizzato dalla massima altezza solare.

L'analisi è stata effettuata in queste due giornate per poter verificare che il campo da gioco sia sufficientemente illuminato per tutta la durata dell'anno solare, garantendo, in tutto l'arco di tempo, accettabili valori di uniformità di illuminamento.

Il campo da gioco è la zona più critica di tutta la palestra, in primo luogo per il fatto che è l'ambiente che richiede la miglior qualità della luce, ed inoltre perchè si trova nella zona adiacente al prospetto che a livello architettonico è stato conservato, senza mutare l'immagine esistente: questo ha impedito l'utilizzo di frangisole, la cui mancanza è stata sopperita da vetrate con specifiche tecniche bene definite e dalla presenza di tende interne. Queste ultime non sono state considerate nella presente analisi e garantiscono un'ulteriore possibilità a disposizione degli utenti per il controllo luminoso e del comfort visivo.

Le analisi sul progetto preliminare, ovvero quello presentato al concorso e qui indicato come Modello 1, hanno riportato diverse problematiche: nonostante il fattore di luce diurna medio (FLD<sub>m</sub>) fosse verificato, con un valore pari al 3,9 %, l'uniformità luminosa, che dunque denota la qualità dell'illuminamento, risultava essere molto scarsa e sbilanciata a causa delle finestre a sud, con un valore corrispondente a 0,51. Inoltre in inverno la luminosità dell'ambiente non era adeguata

alle richieste normative, con un illuminamento medio pari a  $E_m = 269,5$  lux.

Per migliorare il comfort visivo sono stati effettuati due interventi sul progetto:

- aggiunta di finestre da tetto per favorire l'ingresso di luce zenitale, schermate con frangisole per evitare l'ingresso di luce diretta sul campo
- utilizzo di vetri a bassa trasmittanza luminosa nelle finestre verso Sud del campo da gioco

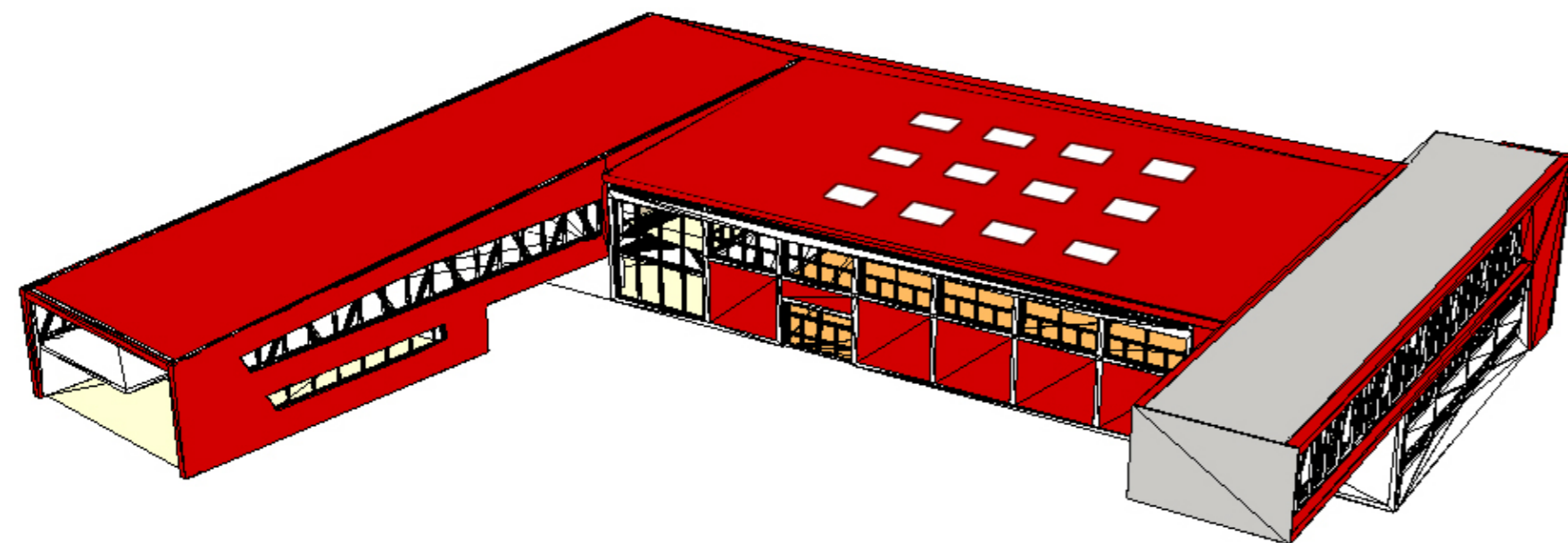
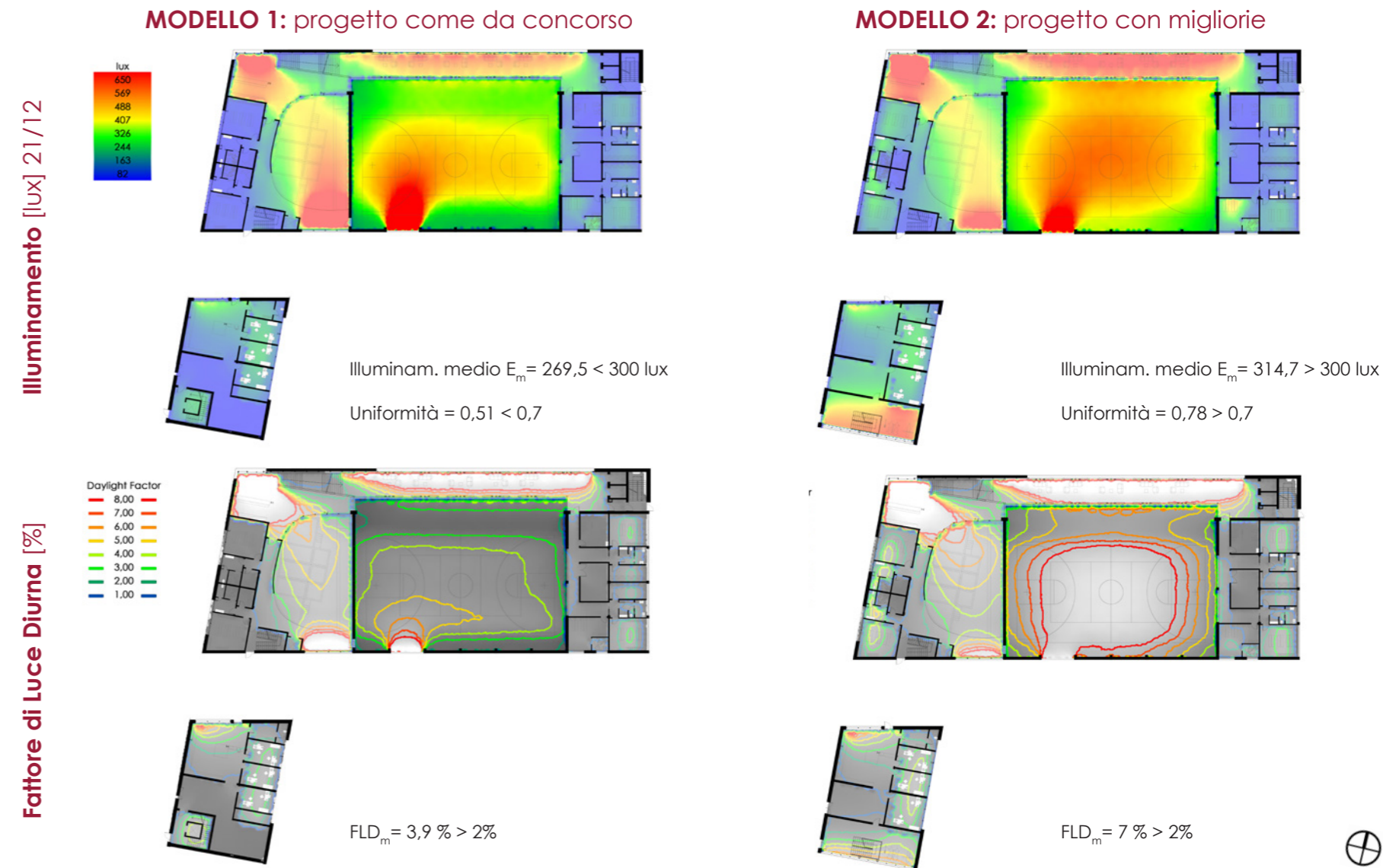


Figura 7.12 Modello dell'edificio nel software velux. Si notino le finestre da tetto sopra al campo da gioco.



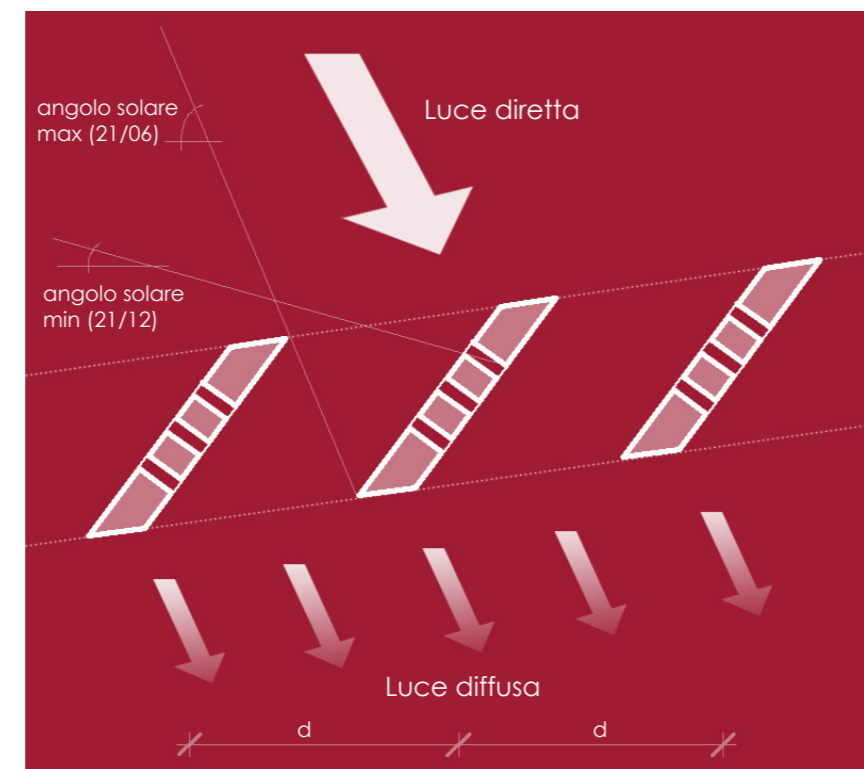
L'aggiunta delle finestre da tetto schermate produce due risultati positivi: aumenta l'illuminamento dell'ambiente e contemporaneamente anche l'uniformità dell'illuminazione, in quanto le finestre, protette da frangisole progettati specificamente, permettono l'ingresso zenitale di radiazione solare diffusa, di una luce che dunque risulta morbida.

L'utilizzo di vetri a bassa trasmittanza luminosa sul prospetto Sud influisce positivamente sull'uniformità luminosa, rendendo meno sbilanciata la luminosità globale dall'ambiente; tuttavia questa modifica comporta un abbassamento del livello di illuminazione globale del campo, effetto critico soprattutto nel periodo invernale.

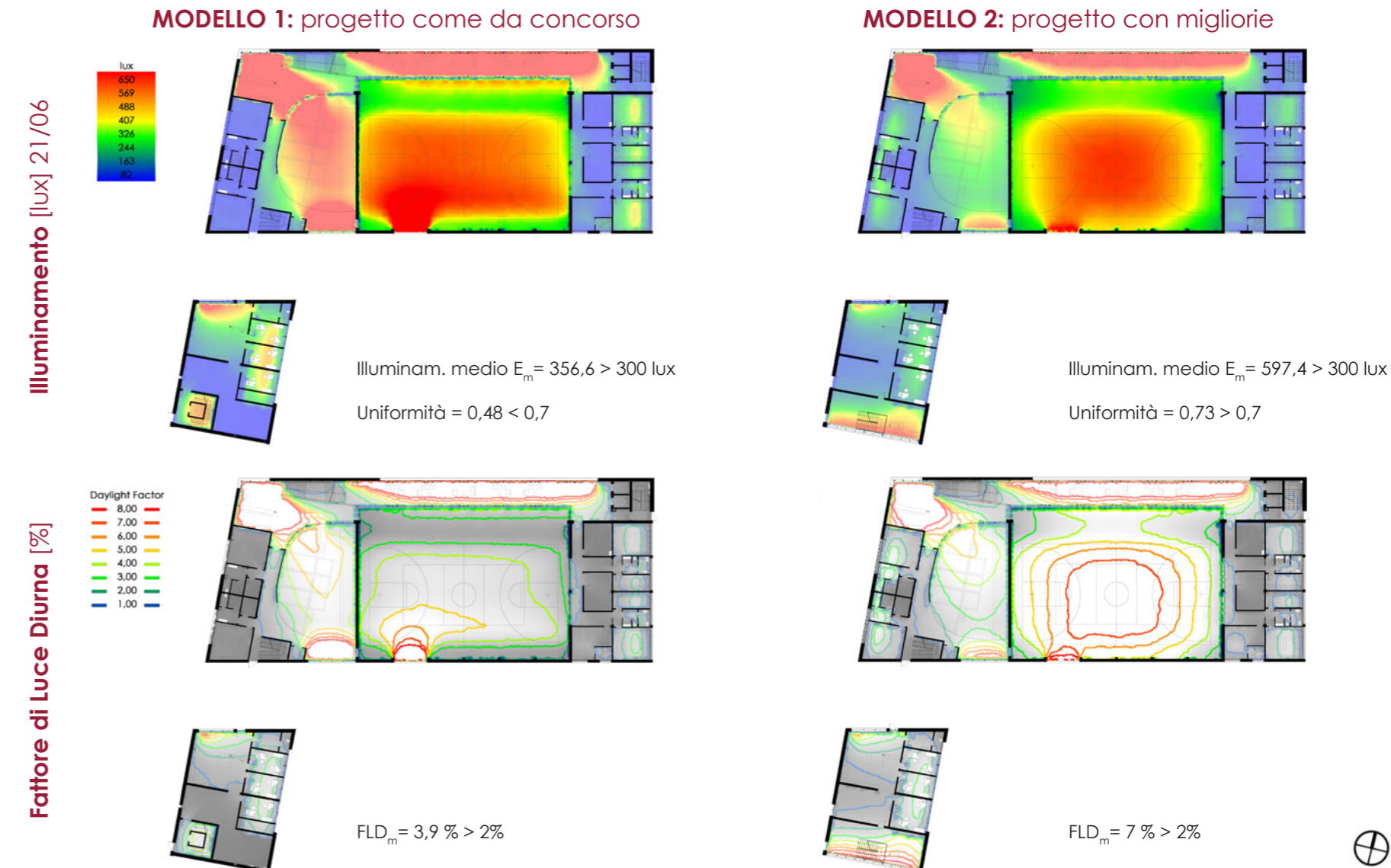
Le modifiche dunque possono avere implicazioni sia negative che positive: pertanto è stato necessario un attento studio delle combinazioni tra di esse, facendo variare la quantità e l'ampiezza delle finestre da tetto, il passo e la larghezza dei rispettivi elementi frangisole e calibrando il livello di trasmittanza luminosa e di indice di riflettività delle vetrate a Sud.

Adottando un procedimento iterativo, svolgendo diverse prove al variare dei parametri elencati, si è

giunti alla migliore combinazione, migliorando così sia il livello di illuminamento medio che l'uniformità luminosa e soprattutto riuscendo a rendere uniformi le prestazioni durante tutto l'arco dell'anno, avvicinando dunque le prestazioni estive e quelle invernali.

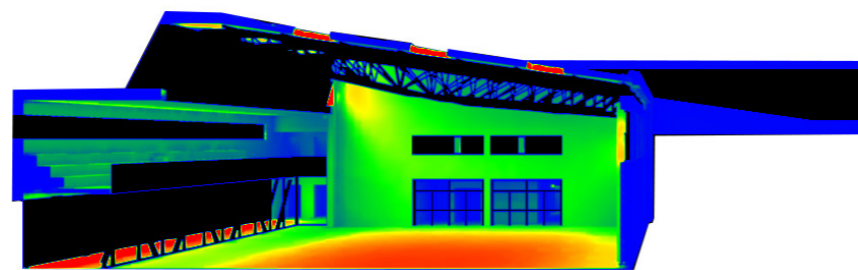


**Figura 7.13** Schema frangisole delle finestre da tetto  
d = interasse tra le lamelle



Di notevole interesse è l'andamento delle curve del fattore di luce diurna nella zona del campo nel modello ottimizzato e la differenza di distribuzione rispetto al modello base. Dopo l'apporto delle migliorie la distribuzione della luce e la variazione di illuminamento tra i diversi punti risulta essere molto più equilibrata; il campo risulta essere la zona più illuminata di tutto l'ambiente e la luce diminuisce gradualmente allontanandosi dal centro, in maniera costante e graduale, che permette all'occhio di abituarsi e di non essere disturbato da improvvisi mutamenti di luminosità. Inoltre l'intero campo risulta ottimamente illuminato ed i limiti normativi soddisfatti con sola luce naturale.

La palestra non può tuttavia funzionare in tutte le ore del giorno ed in tutti i giorni dell'anno senza contributo di illuminamento artificiale: nelle prime ore di lezione della mattina dei mesi meno luminosi (da novembre a febbraio, dalle 8.30 alle 11.30 circa) l'illuminamento medio è inferiore ai 300 lux minimi, anche se il gap è molto contenuto, nell'ordine di circa 50 lux. Dunque in quelle ore sarà necessario l'ausilio di luce elettrica, mentre negli altri mesi in orario scolastico l'illuminazione viene interamente garantita da luce naturale.



**Figura 7.14** Dalla sezione si nota la corretta illuminazione anche sul piano verticale

RISULTATI ANALISI ILLUMINOTECNICHE				
	Data	Modello 1	Modello 2	Normativa
FLD <sub>M</sub> [%]	21/12	3,9	7	2
	21/06	3,9	7	
E <sub>M</sub> [lux]	21/12	269,5	314,7	300
	21/06	356,6	597,4	
Uniformità	21/12	0,51	0,78	0,7
	21/06	0,48	0,73	

**Tabella 7.10** Riepilogo dei risultati ottenuti dalle analisi illuminotecniche svolte sui due modelli, a confronto con i valori richiesti da normativa. Verde = valore accettabile  
Rosso = valore non accettabile

## 7.4 ANALISI DINAMICHE

Le analisi dinamiche differiscono da quelle statiche appena eseguite poiché considerano non solo le caratteristiche resistive dell'involucro, ma anche le caratteristiche capacitive, ovvero si tiene conto della proprietà di immagazzinamento del calore degli elementi massivi dell'involucro (inerzia termica).

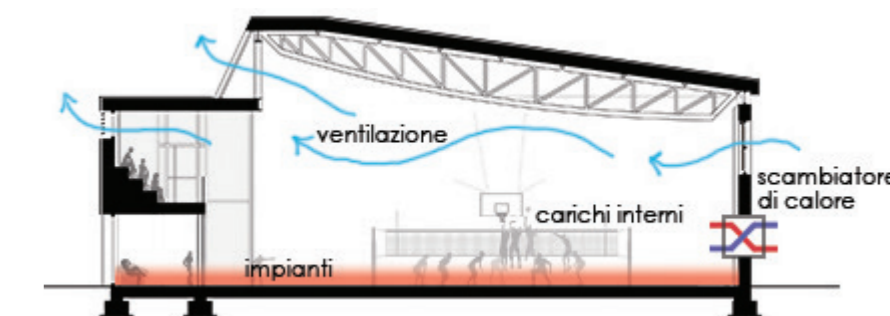
Con queste analisi si fa in modo che le condizioni di partenza nei calcoli energetici per ciascun intervallo di tempo sia il risultato dei calcoli condotti per l'intervallo di tempo precedente, così l'intervallo temporale di simulazione può arrivare fino al minuto e la temperatura interna ai locali non è un dato imposto, ma un risultato della simulazione energetica.

Si può studiare ad esempio il variare della temperatura interna dei locali al variare dei parametri imposti al sistema. Anche le forzanti non sono fisse, ma programmate nel tempo attraverso l'utilizzo di schede temporali (occupazione, apporti gratuiti, ecc.) e di file climatici ricavati da elaborazioni statistiche.

Anche gli impianti seguono in maniera continuativa l'evoluzione dei parametri interni ai locali e si attivano solo quando la temperatura di comfort non è

soddisfatta. Possono essere inseriti anche valori di ventilazione (naturale o meccanica) che descrivono al meglio il funzionamento di un vero e proprio edificio in cui, ad esempio, quando la temperatura esterna in inverno è maggiore di quella interna, si aprono le finestre. Altri elementi che possono essere studiati e ottimizzati sono ad esempio lo scambiatore di calore, che si attiva garantendo in estate una temperatura in ingresso minore della temperatura esterna e in inverno una temperatura in ingresso maggiore della temperatura esterna grazie a un sistema di tubazioni collocate nel terreno.

Le informazioni che si ottengono da queste analisi sono il risultato di come il sistema edificio-impianto risponde alle sollecitazioni (interne ed esterne).



**Figura 7.15** Schema parametri che possono essere studiati mediante le analisi dinamiche



### 7.4.1 MODELLAZIONE DELL'EDIFICIO

La modellazione 3d per quanto riguarda l'aspetto energetico viene realizzata tramite il programma Google SketchUp, con il quale è necessario dividere l'edificio in zone termiche, ovvero stanze che differiscono tra loro per utenza che vi accede, attività svolta all'interno, ma anche materiali che costituiscono l'involucro.

I criteri di suddivisione in zone sono stati dettati dal fatto che non è possibile creare zone termiche concave, poichè il baricentro della zona è quello in cui viene valutata la temperatura di essa e se la zona è concava, probabilmente il baricentro cadrà fuori da essa e quindi i risultati ottenuti potrebbero non corrispondere alla realtà. Alcune zone sono dunque state divise ulteriormente, inoltre le stanze a doppia altezza sono state divise da una superficie virtuale, in modo da analizzare i vari piani separatamente.

Le superfici virtuali che delimitano alcune zone non rappresentano una vera e propria divisione; infatti vengono impostati dei parametri di scambio d'aria tra le zone che di fatto le rendono collegate tra loro.

Essendo l'oggetto dello studio piuttosto vasto si è deciso di valutare e scegliere le zone termiche unendo alcune stanze con caratteristiche simili, in modo da facilitare la successiva assegnazione dei carichi interni e di altri parametri che risultano affini per destinazioni d'uso simili. Un esempio può essere quello delle aule degli studenti, al secondo piano: pur essendoci infatti diverse aule indipendenti, esse conterranno la stessa quantità di persone e vi si svolgerà la stessa attività, dunque sono state unite.

È inoltre importante modellare l'edificio in modo che la linea di confine tra una zona climatica e l'altra cada esattamente a metà della partizione stessa; in questo modo, quando verrà impostata la stratigrafia, essa verrà a trovarsi esattamente nella posizione decisa in fase architettonica. In base a questi criteri si ottiene una suddivisione come segue in Figura 9.10.



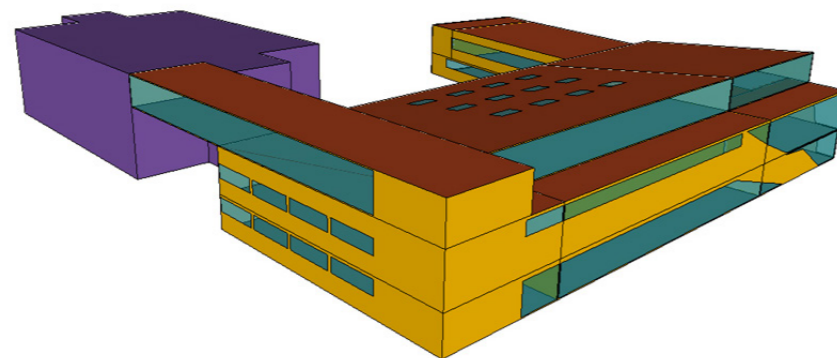
Figura 7.16 Piante piano terra, primo e secondo

Decisa una suddivisione si è proceduto alla modellazione vera e propria, non utilizzando i comandi classici di Google SketchUp ma quelli contenuti all'interno del plugin Trnsys 3d.

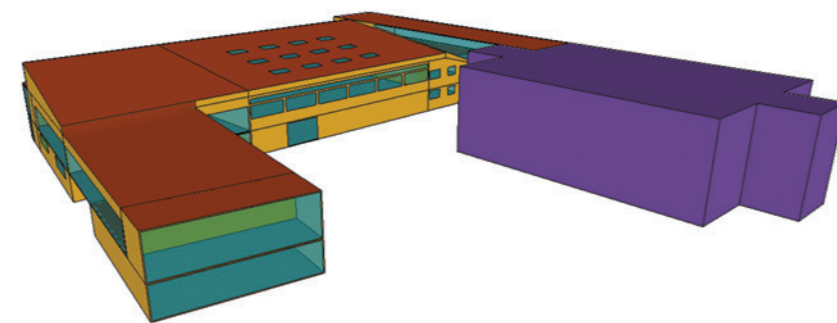
Ogni azione deve essere compiuta con l'utilizzo del plugin, in modo da poter essere salvata e gestita in formato "idf" e successivamente letta dal programma di simulazione Trnsys.

Le superfici modellate contengono già informazioni relative alla loro funzione (roof, floor, ceiling, wall) e alla loro condizione (esterno, adiacente, virtuale); tali informazioni possono essere variate per descrivere al meglio l'edificio.

Dopo aver modellato le zone termiche e aver stabilito le adiacenze tra esse si può procedere alla modellazione di eventuali "zone d'ombra". Queste ultime non verranno studiate e analizzate in termini energetici, ma rappresentano solo un volume che crea ombra sull'edificio oggetto di studio. Nello specifico si è deciso di definire come zona d'ombra la scuola elementare adiacente alla palestra, che viene visualizzata in viola (Tabella 7.2 e Tabella 7.3).



**Figura 7.18** Vista nord-est del modello 3d realizzato in Google SketchUp



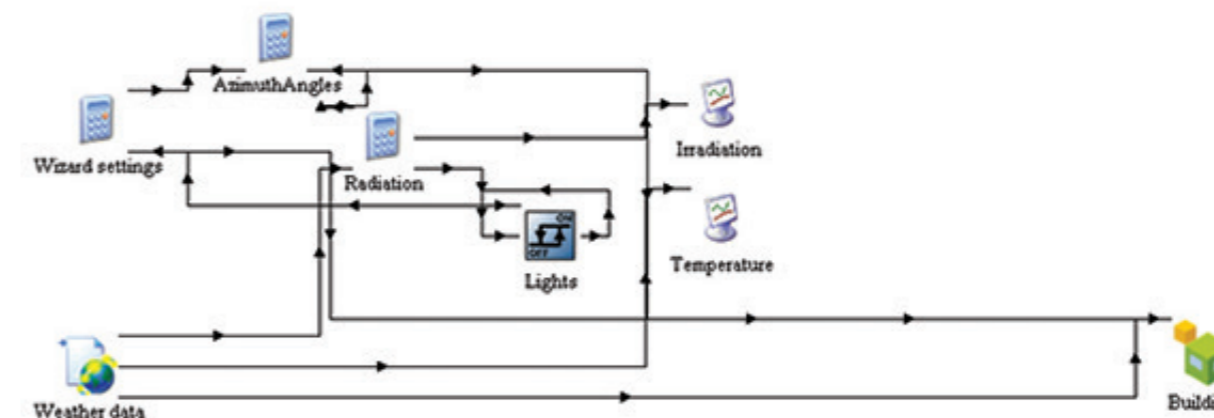
**Figura 7.17** Vista sud-ovest del modello 3d realizzato in Google SketchUp

Le caratteristiche che sono state impostate verranno lette e mantenute da Trnsys durante l'importazione del modello. Si utilizza ora il programma Trnsys, un ambiente di simulazione che permette di studiare il comportamento del sistema edificio-impianto in regime dinamico. Il programma riconosce il modello 3d e restituisce automaticamente una rappresentazione grafica costituita da diverse icone, chiamate "Types". Alcuni "Types" risultano già collocati e collegati all'interno dell'ambiente di lavoro, come si può vedere

in Tabella 7.4.

Tra questi troviamo il Type 56 che rappresenta l'edificio: in esso sono contenuti tutti gli elementi che lo caratterizzano e sono governabili mediante TRNBuild, un'estensione del programma a cui si accede tramite appunto il Type 56.

All'interno del TRNBuild è possibile impostare diversi parametri relativi alla tipologia costruttiva e quindi relativamente a materiali, stratigrafie, tipologie di finestre e loro schermatura.



**Figura 7.19** Impostazione di Trnsys con i types preimpostati

La schermata principale di TRNBuild è rappresentata in Tabella 8.8: si notano sulla sinistra nell'elenco tutte le zone termiche che sono state modellate, ognuna delle quali contiene come sottogruppi "Surfaces" e "Regime". Nel primo sono contenute tutte le stratigrafie di ogni superficie, distinte tra opache e trasparenti e nel secondo vengono impostate le infiltrazioni, la ventilazione, l'impianto di riscaldamento e raffrescamento, i carichi interni e altre informazioni. Inoltre è possibile gestire gli inputs e gli outputs dell'edificio, ovvero tutte le frecce che si collegavano al Type 56 in Tabella 7.4. Le specifiche di ognuno di questi elementi possono essere gestite mediante gli omonimi pulsanti presenti nella barra superiore dell'interfaccia, configurando i parametri di funzionamento di progetto per poi assegnarli alle singole zone termiche, in base alla tipologia di locale. Tali pulsanti, in ordine da sinistra a destra definiscono: le stratigrafie delle superfici, i materiali che le compongono, le tipologie di infissi, le infiltrazioni d'aria, la ventilazione meccanica e naturale, i sistemi di riscaldamento e raffrescamento, i guadagni interni, le definizioni per le valutazioni del comfort e le schedules di progetto.

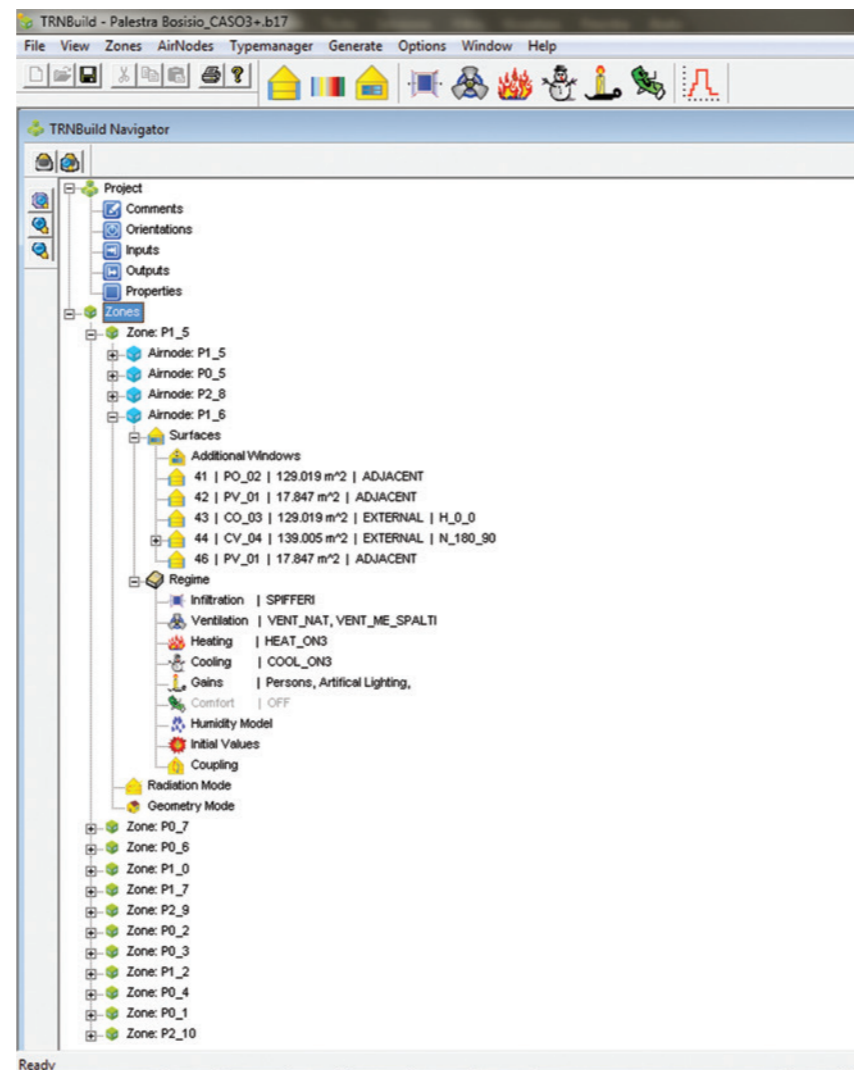


Figura 7.20 Impostazione di TRNBuild

## I MATERIALI

Ogni materiale viene creato mediante il "Layer Type Manager", finestra all'interno della quale è possibile impostare valori come:

conducibilità termica  $\lambda$  [kJ/hmk]

capacità termica  $C$  [KJ/kgK]

densità  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>]

Dopo aver creato tutti i materiali necessari sono stati composti i pacchetti costruttivi semplicemente assemblando i diversi strati secondo l'ordine stabilito e già spiegato all'interno del capitolo "Logica di rimozione delle coppelle nervate della copertura" a pagina 415.

Si assegna ad ogni materiale inserito lo spessore corrispondente allo strato e si procede finché tutti i livelli sono stati inseriti, prestando attenzione all'ordine dei medesimi ed al loro corretto posizionamento rispetto all'esterno/interno della zona termica, come si nota in Figura 9.13. I pacchetti sono stati salvati nella libreria dell'utente e successivamente associati alle rispettive chiusure o partizioni lette dal software. Grazie alle prime analisi si nota che il sistema raggiunge un equilibrio dopo circa 20 giorni dall'inizio

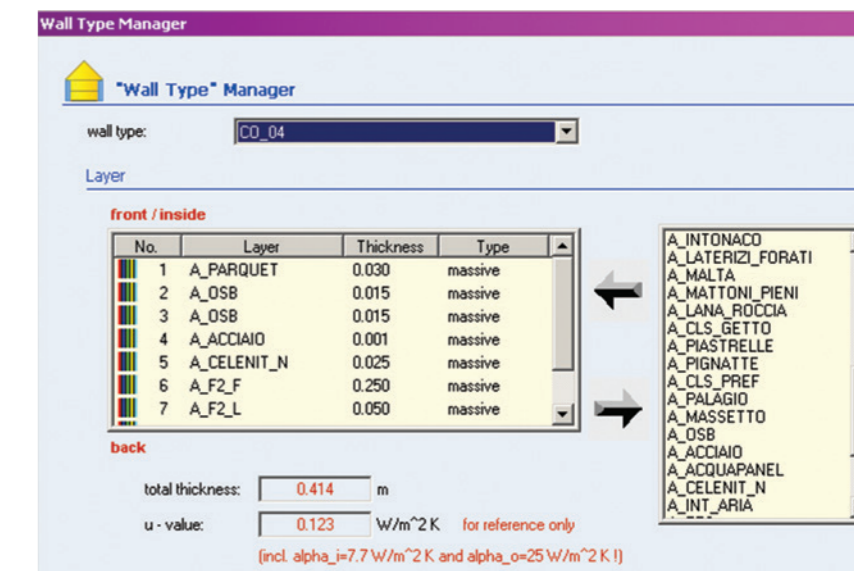


Figura 7.21 Impostazione delle stratigrafie in TRNBuild

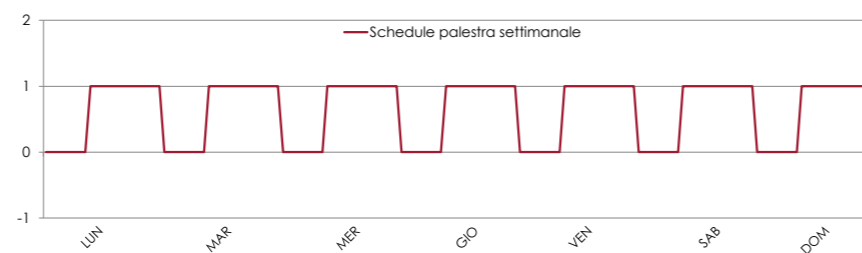
delle simulazioni. Per questo motivo si è deciso di non considerare i risultati di questo primo periodo di assestamento del sistema.

La simulazione viene svolta su 385 giorni, in modo da ottenere dei risultati che comprendano tutto l'anno pur eliminando i primi valori di assestamento del sistema.

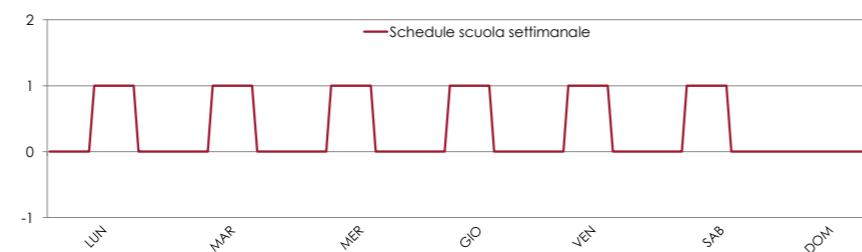
**7.4.2 I CARICHI INTERNI**

Si comincia ora a valutare la presenza di persone all'interno dell'edificio, secondo la norma ISO 7730 che risulta automaticamente inserita nel programma. A seconda dell'attività svolta, infatti, troviamo dei valori corrispondenti di calore sensibile e latente prodotti dalle persone. Dovendo considerare 18 zone molto eterogenee tra loro si è deciso di impostare una tabella per descrivere le diverse attività svolte e il numero di persone presenti in ogni zona. Naturalmente sono stati considerati solo gli orari in cui sono effettivamente presenti delle persone: ad esempio i locali scolastici sono utilizzati dalle 8.00 alle 17.00 tutti i giorni, ad esclusione della domenica, mentre i locali di pertinenza della palestra sono utilizzati dalle 8.00 alle 23.00 tutti i giorni della settimana. Un caso particolare è rappresentato dalla zona termica adibita a spalti, poiché viene utilizzata come la palestra per quanto riguarda gli orari e i giorni della settimana, ma varia fortemente il numero di persone che la occupano, infatti durante la settimana risulta quasi inutilizzata, mentre viene riempita anche con 100 persone nel weekend. Tutto ciò è spiegato in Tabella 7.11.

Per governare presenza, assenza e numero delle persone è possibile creare delle "schedule" per le diverse zone termiche che in ogni momento della giornata e della settimana segnalano la presenza di persone con il valore 1 e l'assenza di persone con il valore 0, come mostrato nei grafici di Figura 9.33 e .



**Figura 7.22** Impostazione della presenza di persone in palestra



**Figura 7.23** Impostazione della presenza di persone a scuola

	Descrizione	Zone termiche	Numero di persone	Grado di attività	Calore totale	Calore sensibile	Calore latente	Orario di presenza
<b>PIANO 0</b>	Scuola canoe	P0_1	15	attività leggera in piedi	185	90	95	8.00-23.00
	Spogliatoi acrobatica	P0_2	40	attività pesante	375	120	255	8.00-23.00
	Sala acrobatica	P0_3	15	attività pesante	525	185	340	8.00-23.00
	Hall	P0_4	10	attività leggera in piedi	185	90	95	8.00-23.00
	Campo da gioco	P0_5	30	attività pesante	525	185	340	8.00-23.00
	Sala d'attesa	P0_6	20	nessuna attività	100	60	40	8.00-23.00
	Spogliatoi palestra	P0_7	45	attività pesante	375	120	255	8.00-23.00
<b>PIANO 1</b>	Sala fitness	P1_0	70	attività pesante	525	185	340	8.00-23.00
	Scuola canoe	P1_1	0	-	0	0	0	-
	Sala attrezzi	P1_2	30	attività pesante	525	185	340	8.00-23.00
	Sala acrobatica	P1_3	0	-	0	0	0	-
	Hall	P1_4	0	-	0	0	0	-
	Campo da gioco	P1_5	0	-	0	0	0	-
	Spalti	P1_6	15-100	attività pesante	375	120	255	8.00-23.00
<b>PIANO 2</b>	Uffici	P1_7	45	attività leggera sedentaria	150	75	75	8.00-23.00
	Campo da gioco	P2_8	0	-	0	0	0	-
	Aule	P2_9	76	attività leggera sedentaria	150	75	75	8.00-17.00
	Sala acrobatica	P2_10	76	attività pesante	375	120	255	8.00-23.00

**Tabella 7.11** Impostazione dei carichi interni

La formula che governa la presenza di persone è:

$$(n^{\circ}\text{persone}) \times (\text{schedule}) \times (W/\text{persona})$$

dove il numero di persone presente in ogni zona è stato deciso in fase progettuale, i W/persona sono ottenuti sommando calore sensibile e calore latente riferito all'attività svolta e la schedule a seconda dei due valori che può assumere (1 o 0), rende nulla o valida l'espressione.

Altri guadagni interni sono rappresentati dalle luci e dalla presenza di computer, la cui accensione è governata dalle stesse schedule, in quanto si ipotizza che questi apparecchi siano utilizzati solo quando sono presenti persone nella stanza. Nello specifico si è ipotizzato di utilizzare delle lampade che consumano 10 W/m<sup>2</sup>, e la relazione matematica che risulta è:

$$(10 \text{ W/m}^2) \times (\text{schedule}) \times (\text{area della zona})$$

Si nota subito che quando la schedule vale 0, ovvero quando non ci sono persone nella zona, tutta la formula risulta uguale a 0 e quindi le luci non vengono

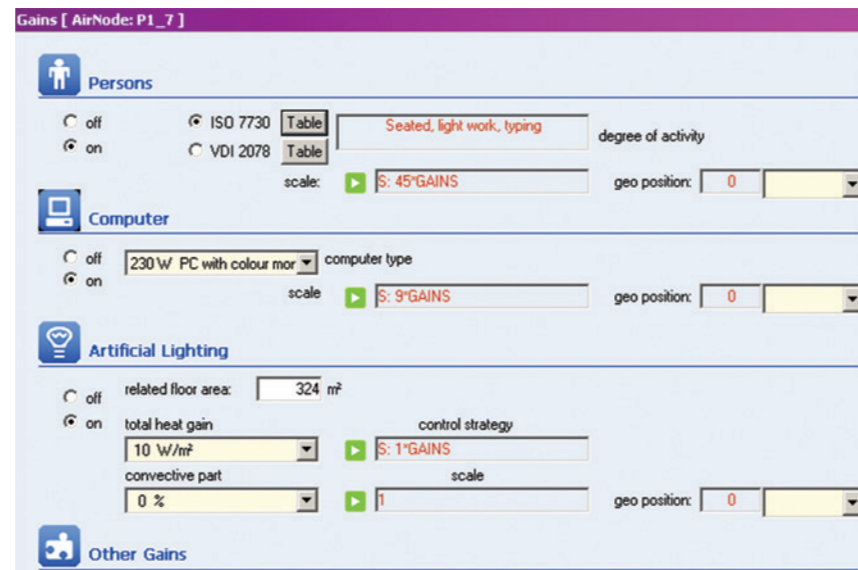


Figura 7.24 Impostazione dei carichi interni in TRNBuild

accesse; viceversa quando la schedule vale 1 le luci si accendono. Allo stesso modo vengono accesi e spenti gli altri apparecchi elettrici presenti nelle zone, come ad esempio i computer negli uffici. Tutte queste impostazioni vengono scelte e create dalla finestra dei guadagni interni rappresentata in Figura 9.14 nel TRNBuild e passando in Trnsys diventano output che partono dall'edificio e giungono alla stampante "schedule" per essere graficizzati (Figura 9.16).

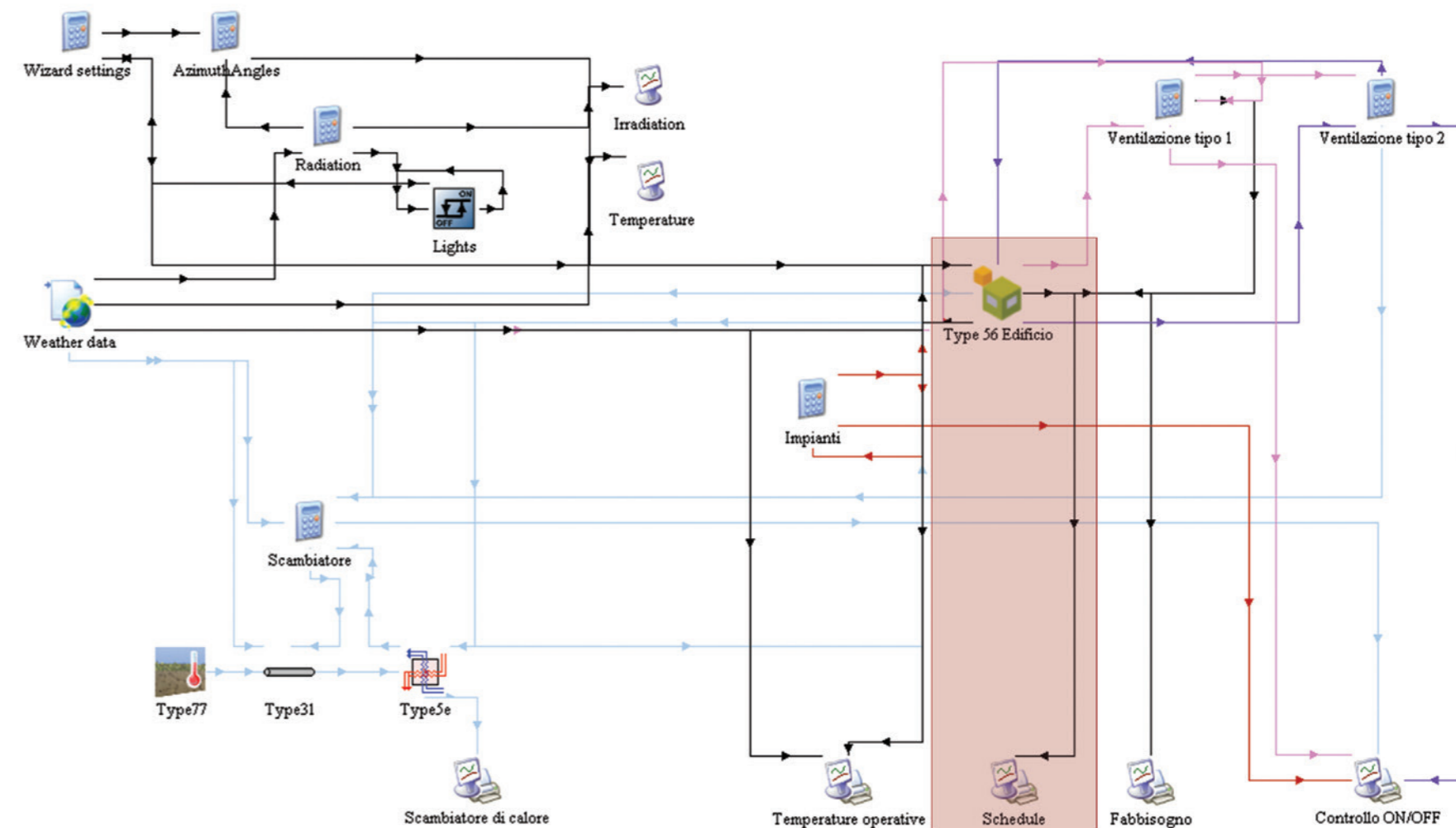


Figura 7.25 Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: i carichi interni

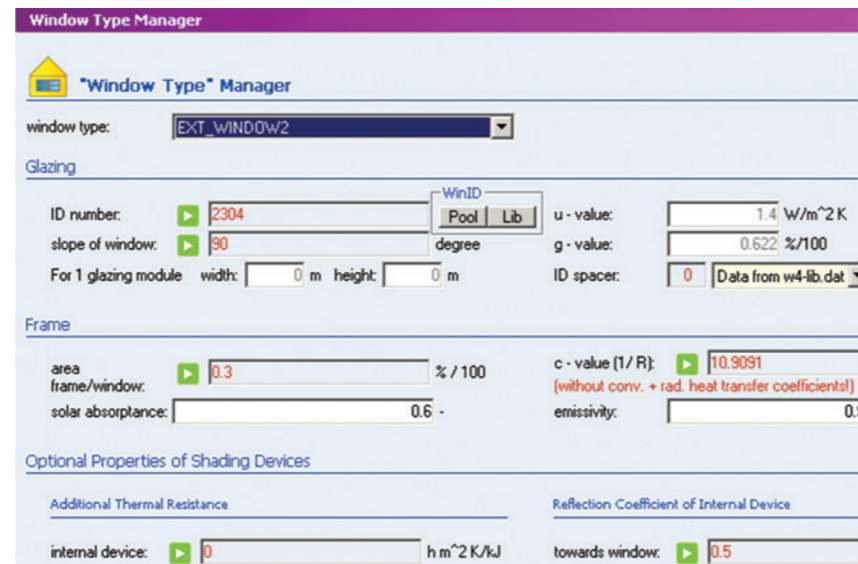
### I SERRAMENTI E LE SCHERMATURE SOLARI

Anche i parametri caratteristici delle finestre, quindi sia di vetro che di telaio, sono stati impostati e regolati tramite TRNBuild variando il fattore g, il fattore u e il fattore c. Inoltre sono stati scelti dei serramenti anche in base alle analisi svolte in “Analisi illuminotecniche” a pagina 248. La seguente tabella spiega le caratteristiche dei serramenti scelti, in base alle analisi realizzate con Trnsys e a quelle descritte nel paragrafo precedente.

SCelta DEI SERRAMENTI	TIPOLOGIA 1	TIPOLOGIA 2 (PIÙ PERFORMANTE)
Trasmittanza termica U	1,4	0,97
Spessore vetro	4+4	6+6
Spessore vetrocamera	16	16
Gas contenuto	Argon	Argon
Fattore g	0,622	0,256

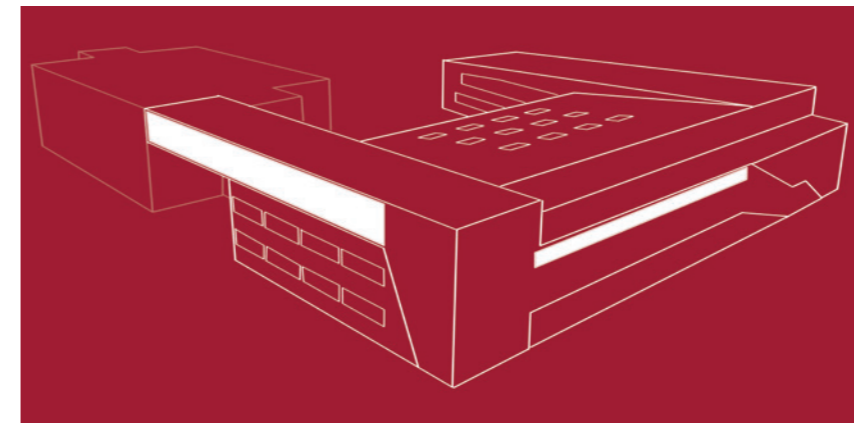
**Tabella 7.12** Caratteristiche dei serramenti scelti

I serramenti sono stati impostati tramite il Window Type Manager in TRNBuild, come segue in Figura 8.37.

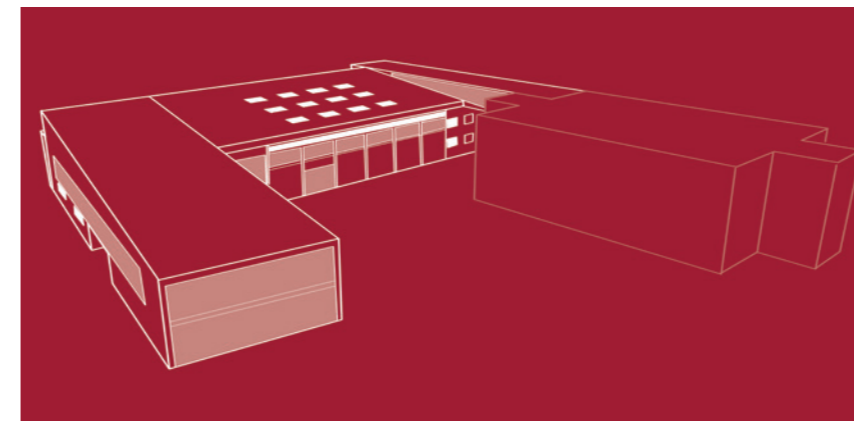


**Figura 7.26** Impostazione dei serramenti in TRNBuild

La libreria del programma contiene già una grande quantità di serramenti con diverse prestazioni e si nota che le caratteristiche di alcuni elementi disponibili non si discostano molto dalle scelte di progetto; per questo motivo si è deciso di scegliere due tipologie di serramenti che si avvicinano molto alle prestazioni richieste, senza dover introdurre nella libreria nuovi elementi.



**Figura 7.27** Schermature scelte lato nord-est



**Figura 7.28** Schermature e finestre scelte lato sud-ovest

Inoltre i valori di trasmittanza termica e di guadagno solare rappresentano solo una quantità di riferimento, in quanto tali grandezze vengono calcolate all'interno del programma Trnsys e sono contenute in forma matriciale in funzione della temperatura esterna, dell'irradianza solare, della velocità del vento e di coefficienti laminari; tutto ciò rende le analisi ancora più veritiere e realistiche.

Altri parametri che sono stati fissati sono le schermature delle finestre. Esse sono già state pensate in fase progettuale e ottimizzate seguendo criteri e normative illuminotecniche. In Tabella 8.11 e Tabella 8.12 sono rappresentate con il colore bianco le schermature e con il colore rosso chiaro le finestre di tipologia 2. Si nota subito che nella parte a sud, dove è stato mantenuto il prospetto esistente, sono state scelte delle finestre più performanti invece delle schermature, che avrebbero in parte nascosto l'edificio. In altre zone, come le aule a est, usate soprattutto la mattina, sono state poste delle schermature per omogeneizzare la quantità di luce interna e non creare abbagliamento. Le finestre sul tetto, invece, sono schermate per permettere l'entrata di luce diffusa nel campo da gioco.

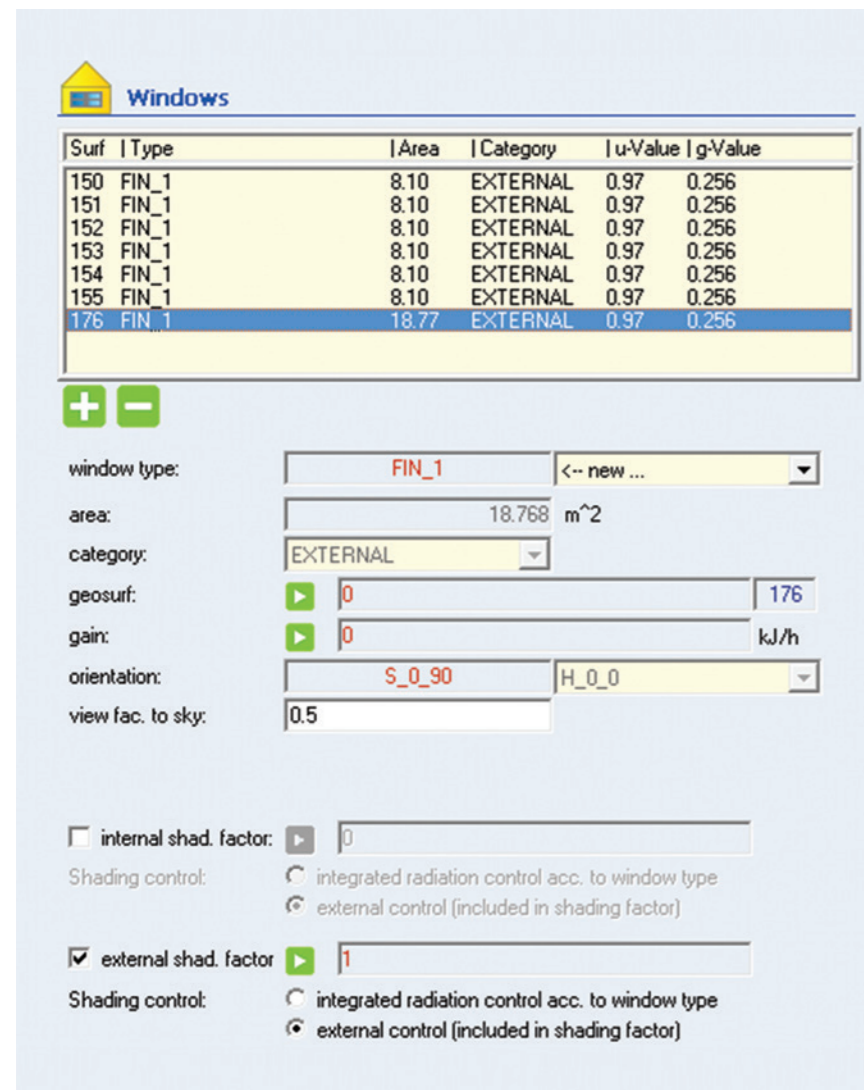


Figura 7.29 Impostazione delle schermature in TRNBuild

Trnbuild è in grado di valutare la presenza o meno delle schermature grazie a un valore percentuale di fattore di ombreggiamento esterno o interno, che rappresenta schermature o tende interne. E' inoltre possibile scegliere la percentuale di schermatura che caratterizza ogni serramento. Come si nota in Tabella 8.13, infatti, valore di "external shading factor" pari a 1 equivale al 100% di schermatura. Tramite questo comando è anche possibile attivare o disattivare le schermature in base all'irradianza. Questo però non è il caso dell'edificio in oggetto, in quanto le lamelle che compongono le schermature sono fisse.

Per impostare le schermature si seleziona una zona termica all'interno del "TRNBuild Navigator", come in Tabella 8.8 a pagina 362 e si seleziona la superficie da considerare. Per ogni superficie, se presenti, sono indicate in elenco le finestre: nel caso di Tabella 8.13 hanno tutte lo stesso nome poichè sono serramenti con uguali prestazioni e si possono identificare grazie alla loro area, categoria, trasmittanza e fattore g. Nel caso specifico vi sono sei finestre della stessa grandezza e una più grande, poichè si sta considerando il primo piano del prospetto sud (Tabella 8.12).

Infatti anche nel Decreto Legislativo del 29 dicembre 2006, n. 311, si specifica che negli edifici di nuova costruzione e oggetto di ristrutturazione di categoria E devono essere presenti schermi per le superfici vetrate. Gli schermi possono essere fissi o mobili, interni o esterni e devono essere efficaci.

Vi è un ulteriore parametro da analizzare, nonostante le stratigrafie impostate siano molto performanti, sono però da prevedere delle minime infiltrazioni dalle pareti; dalla finestra di TRNBuild "Infiltration Type Manager" è possibile definire questo parametro, che è stato stimato come costante e pari a 0,03 Volumi/ora in ogni zona termica dell'edificio.

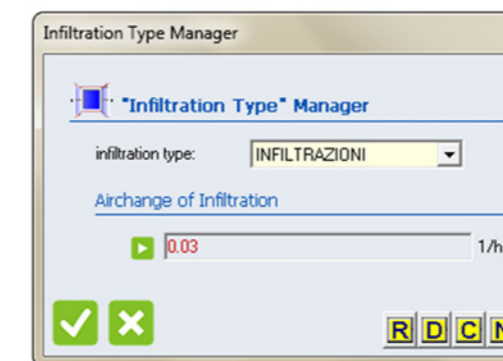


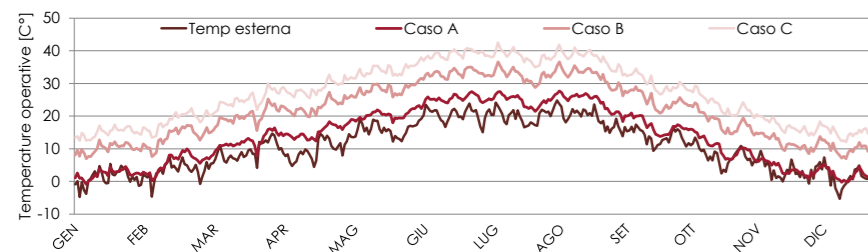
Figura 7.30 Impostazione delle infiltrazioni in TRNBuild

Impostati questi primi parametri all'interno del TRNBuild è ora possibile ricavare delle analisi che possano confermare o confutare le ipotesi fatte in fase progettuale.

Si è deciso di studiare tramite una analisi delle temperature interne l'introduzione dei vari fattori appena descritti e impostati, in modo da paragonare la situazione esistente a quella di progetto.

Si riporta di seguito l'analisi realizzata all'interno della zona termica P0\_5, ovvero quella che rappresenta il campo da gioco. Si analizzano quattro curve di temperature, che rappresentano:

- Temperatura esterna;
- Caso A, senza carichi interni e con serramenti esistenti a vetro singolo con telaio metallico (ipotizzando una trasmittanza pari a 6 W/m<sup>2</sup>K);
- Caso B, con carichi interni e con serramenti esistenti;
- Caso C, con carichi interni e serramenti performanti (Tabella 7.12 a pagina 266)



**Figura 7.31** Analisi delle temperature operative

In Tabella 8.16 sono state graficizzate le analisi delle temperature e si nota che la temperatura esterna è, come si può immaginare, la più bassa, sia in estate che in inverno, mentre il Caso A corrisponde alla situazione dell'esistente, dove la palestra è molto poco utilizzata. Nel momento in cui si passa ad analizzare il Caso B, quindi con serramenti esistenti ma carichi interni definiti da progetto, si nota che le temperature si alzano di molto. Infatti la palestra, fino ad ora utilizzata per poche ore durante la scuola e per qualche sporadica partita la sera diventerà un grande e attivo centro sportivo, quindi è facile intuire che i carichi interni vengono aumentati moltissimo rispetto all'esistente e provocano un aumento di temperatura che in inverno è benefico, poichè l'impianto di riscaldamento

verrà attivato per meno ore al giorno, ma in estate, ovviamente, vi sarà un fortissimo discomfort. Se infine viene considerato il Caso C, quindi con carichi interni di progetto e serramenti nuovi e performanti, si nota un altro aumento di temperatura. Questo dimostra che i serramenti sono molto performanti e viene confermata la veridicità dei dati e dell'impostazione dei parametri in TRNBuild; infatti bisogna considerare che non sono ancora stati considerati i ricambi d'aria, la ventilazione meccanica, naturale, l'attivazione degli impianti di riscaldamento e raffrescamento... Per questo motivo in estate vengono raggiunte temperature così alte. Si sottolinea il fatto che non è stata presa in esame la temperatura della zona termica, bensì la temperatura operativa, definita dalla norma UNI EN ISO 7730 come la temperatura uniforme di una cavità nera fittizia nella quale un occupante scambierebbe per irraggiamento e convezione la stessa quantità di energia termica che scambia nell'ambiente reale non uniforme. Più semplicemente è la temperatura percepita dalle persone presenti nella zona termica considerata. A questo punto si procede con una analisi più specifica sulle temperature interne.

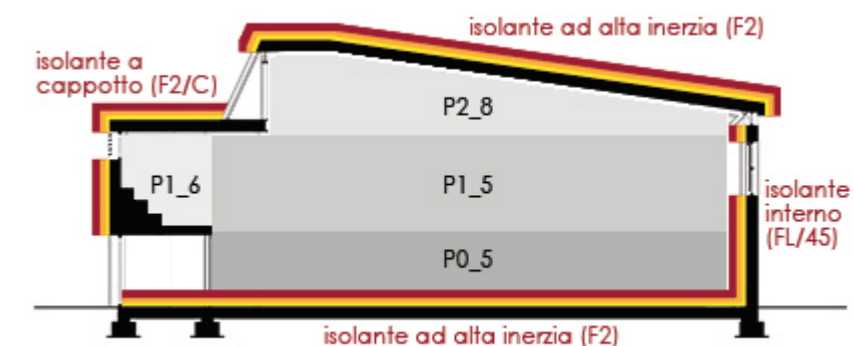
### 7.4.3 OTTIMIZZAZIONE DELLA TEMPERATURA INTERNA

Valutando il progetto energetico dell'intero edificio si è giunti alla conclusione che alcune zone di esso sono maggiormente significative e dunque si è deciso di ottimizzare queste zone che risultano essere anche le più critiche.

Tali zone sono quelle che compongono il campo da gioco e gli spalti, per una totalità di quattro zone termiche.

La scelta è ricaduta sul campo da gioco perchè presenta tecnologie costruttive molto diverse, in quanto una parete è esistente e viene isolata dall'interno, mentre le altre sono di nuova costruzione e vengono isolate dall'esterno. Inoltre le stratigrafie che compongono il solaio controterra e la copertura sono ancora diverse, per la precisione con più inerzia, come si vede in Tabella 8.17.

Un'altra considerazione da fare è che la palestra è alta fino a 11 metri e proprio in questa zona è possibile che si crei una stratificazione dell'aria e dunque che la temperatura nella zona sia molto eterogenea; per questo motivo sarà necessario uno studio accurato. Inoltre gli spalti, come già detto, subiscono forti



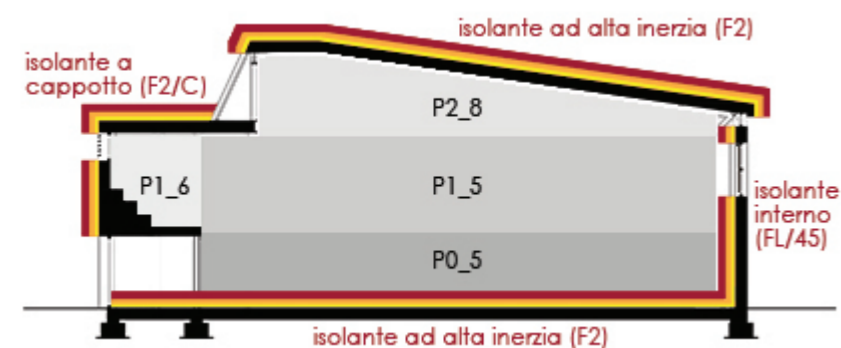
**Figura 7.32** Sezione trasversale con zone termiche indicate

variazioni di calore sensibile e latente a causa della grande quantità di persone in alcuni periodi della giornata e della settimana e quindi da adesso in poi si analizzeranno le sole zone termiche: P0\_5, P1\_5, P2\_8 che rappresentano il campo da gioco nei suoi tre livelli di altezza e la P1\_6 che rappresenta gli spalti.

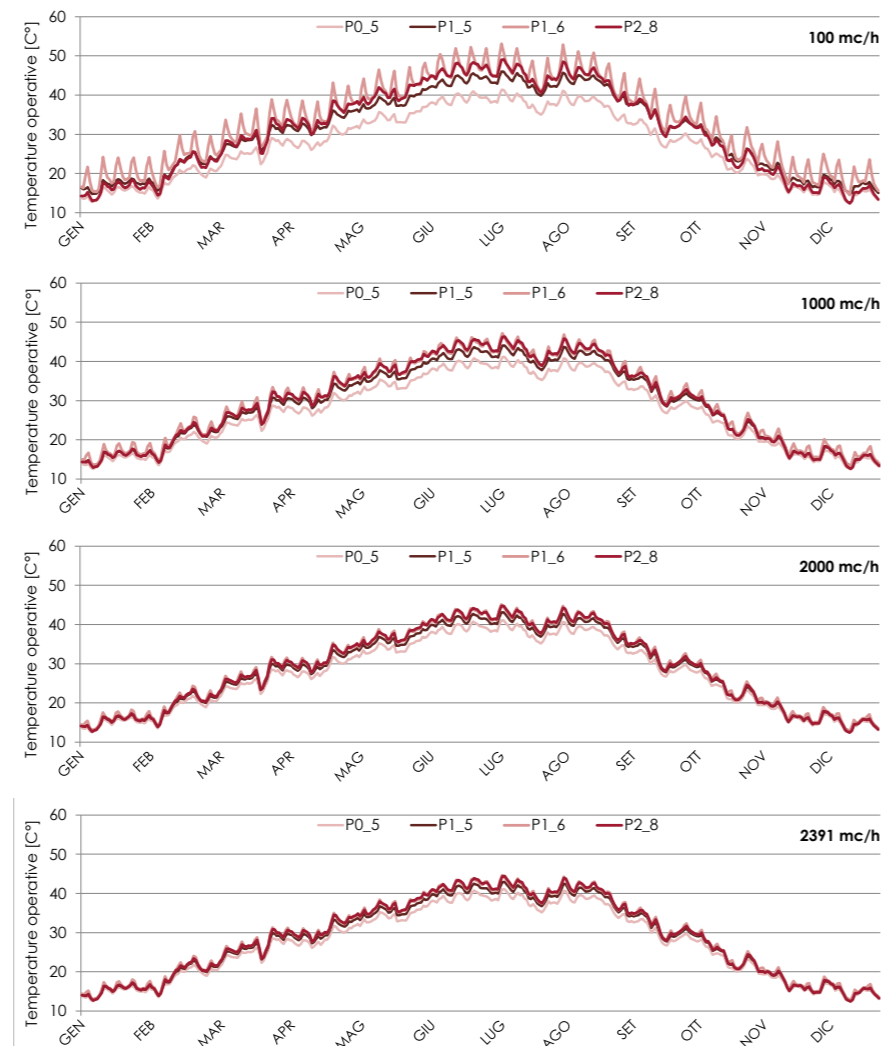
La prima analisi consiste nel valutare la temperatura all'interno delle quattro zone termiche analizzate durante l'anno e valutare la differenza di temperatura tra esse. A questo punto dell'analisi non è importante il valore in sé della temperatura nelle zone, ma piuttosto la differenza tra queste temperature. Infatti, non avendo ancora inserito parametri come la ventilazione, i ricambi d'aria o gli impianti, le temperature rilevate



saranno molto alte. In seguito si dimostrerà che con l'introduzione dei parametri appena citati le temperature rientreranno nella fascia di comfort. Dal punto di vista tecnico il programma legge le varie zone come divise da superfici virtuali e dunque tramite un comando specifico è possibile creare uno scambio d'aria tra queste zone, in modo che non si crei stratificazione delle temperature. L'analisi prevede l'imposizione di uno scambio d'aria tra le zone che viene variato in modo da analizzare per ogni casistica la differenza di temperatura. Vengono scelti dei valori di scambio d'aria di 100 m<sup>3</sup>/h, 1000 m<sup>3</sup>/h, 2000 m<sup>3</sup>/h e 2391 m<sup>3</sup>/h; quest'ultimo è il volume stesso della zona P0\_5, ovvero del campo da gioco al piano terra.



**Figura 7.33** Sezione trasversale con scambi d'aria indicati



**Figura 7.34** Temperature operative nelle quattro zone termiche con diversi valori di scambi d'aria

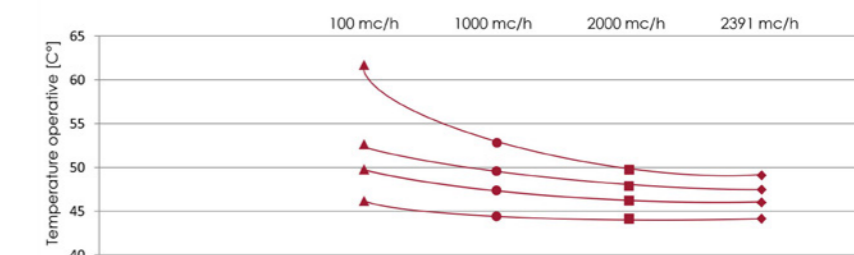
Dai primi grafici non si riesce però a capire precisamente quanto sia la differenza di temperatura tra le zone, ma si riesce solo a notare che le temperature diventano via via sempre più simili aumentando i m<sup>3</sup>/h; per questo si è deciso di valutare la temperatura nelle quattro zone termiche nella giornata più calda dell'anno e nella giornata più fredda dell'anno.

Da una analisi sulle temperature esterne risulta che il giorno più caldo dell'anno è il 19 Luglio e che il giorno più freddo è 16 Dicembre.

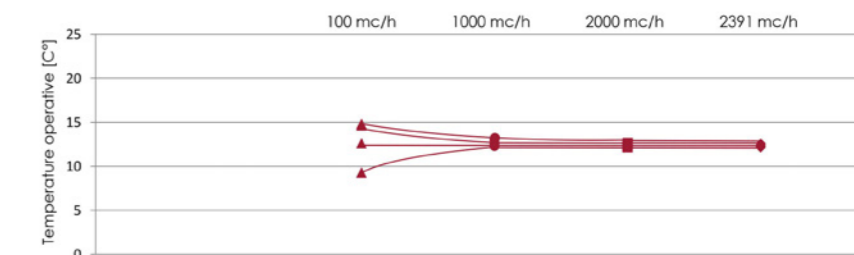
Nei grafici a dispersione, a seconda dei vari casi in cui viene variato lo scambio d'aria, vediamo le temperature nelle quattro zone termiche analizzate nelle due giornate dette sopra. La temperatura minore è sempre quella della zona P0\_5, che in effetti è quella che si trova più in basso, mentre la temperatura più alta è quella della zona termica P2\_8.

Dai grafici di si nota che la differenza di temperatura tra le zone diminuisce sempre più all'aumentare dello scambio d'aria: in estate si parte da una differenza di temperatura di 15°C e si arriva a un delta inferiore a 5°C, invece in inverno con 100 m<sup>3</sup>/h abbiamo un delta di 5,5°C che diventa con 2391 m<sup>3</sup>/h di 0,5°C. Si

sceglie quindi l'ultima soluzione, ovvero si prevede uno scambio d'aria di 2391 m<sup>3</sup>/h, sufficiente a considerare le quattro zone termiche come una sola zona in cui non vi è una stratificazione delle temperature, e quindi in cui vi è comfort per gli utenti.



**Figura 7.36** Temperature operative nelle quattro zone termiche il 19 Luglio



**Figura 7.35** Temperature operative nelle quattro zone termiche il 16 Dicembre

#### 7.4.4 LA VENTILAZIONE

Come notiamo dall'analisi appena effettuata sugli scambi d'aria vediamo che le temperature all'interno delle zone termiche sono simili, ma troppo alte per garantire comfort. Innanzitutto è necessario chiarire qual è la fascia di comfort da rispettare. Si fa ricorso alle normative che, in base alla destinazione d'uso e al tipo di locale segnalano un range di temperature di comfort. Essendo l'oggetto una palestra sono state utilizzate le Norme CONI per l'impiantistica sportiva approvate con deliberazione del Consiglio Nazionale del CONI n. 1379 del 25 giugno 2008. La normativa impone dei valori di umidità relativa del 50% in tutte le stanze, mentre per gli altri valori si riporta la Tabella 7.13 con le caratteristiche ambientali per ogni locale. Si è valutato che una temperatura di 20 - 22°C in estate è molto bassa, quindi nelle sale di attività è stata prevista una temperatura che in estate può arrivare fino a 26°C, come si vedrà in "Gli impianti di riscaldamento e raffrescamento" a pagina 278. Per i ricambi d'aria, invece, i valori inseriti nel programma sono quelli da normativa.

DESCRIZIONE	NUMERO DI PERSONE	TEMPERATURA DELL'ARIA	RICAMBI D'ARIA
Scuola canoe	15	20°C	1,5
Spogliatoi acrobatica	40	18 - 22°C	5
Sala acrobatica	15	16 - 20°C	30mc/h/persona
Hall	10	20°C	1,5
Campo da gioco	30	16 - 20°C	30mc/h/persona
Sala d'attesa	20	20°C	1,5
Spogliatoi palestra	45	18 - 22°C	5
Sala fitness	70	16 - 20°C	30mc/h/persona
Scuola canoe	0	20°C	-
Sala attrezzi	30	16 - 20°C	30mc/h/persona
Sala acrobatica	0	16 - 20°C	-
Hall	0	20°C	-
Campo da gioco	0	16 - 20°C	-
Spalti	15-100	20°C	20mc/h/persona
Uffici	45	20°C	1,5
Campo da gioco	0	16 - 20°C	-
Aule	76	20	1,5
Sala acrobatica	76	16 - 20	30mc/h/persona

**Tabella 7.13** Caratteristiche ambientali dei locali

I ricambi d'aria verranno garantiti grazie a due tipologie di ventilazione: il tipo 1 con lo scopo di immettere aria a temperatura più vicina alla temperatura di comfort e il tipo 2 con lo scopo di garantire i ricambi d'aria imposti da normativa se la ventilazione di tipo 1 non è sufficiente.

Le ventilazioni meccaniche vengono regolate all'interno del programma Trnsys da due calcolatrici, come si vede in Figura 9.20. La seguente formula è quella impostata all'interno della prima calcolatrice:

$$\text{ventilazione\_tipo1} = (\text{LE}(\text{T\_ext}, \text{Temp\_P0\_5}) * \text{LE}(\text{TIME}, 7300) * \text{GE}(\text{TIME}, 2164) + \text{GE}(\text{T\_ext}, \text{Temp\_P0\_5}) * (\text{LE}(\text{TIME}, 3627) + \text{GE}(\text{TIME}, 5836)))$$

dove numeri a quattro cifre nella formula indicano l'ora esatta dell'anno in cui si è deciso di azionare o spegnere la ventilazione e gli altri termini indicano che la ventilazione è attivata solo in alcune circostanze, ovvero in estate, quando la temperatura esterna è minore della temperatura interna (valutata nella zona P0\_5, il campo da gioco, dove sono presenti le persone) e in inverno, quando la temperatura

esterna è maggiore della temperatura interna. Si può paragonare questo tipo di ventilazione a quella naturale, ma impostando nel modello uno scambio d'aria predefinito in entrata e in uscita. La seconda calcolatrice si attiva invece quando sono necessari ricambi d'aria e la ventilazione di tipo 1 non è sufficiente. Osservando la Figura 9.20 si nota che la freccia che proviene dall'edificio è di fatto un output con la temperatura interna rilevata nelle zone scelte.

Si osserva che la ventilazione di tipo 1 si attiva tutte le volte in cui può portare beneficio in termini di temperatura all'interno dell'edificio, a volte garantendo i ricambi d'aria necessari e a volte garantendo più comfort nelle sale.

La ventilazione di tipo 2, invece, è attivata solo quando è spenta la ventilazione di tipo 1 e sono necessari i ricambi d'aria richiesti da normativa. Anche in questo caso una calcolatrice regola il funzionamento della ventilazione meccanica.

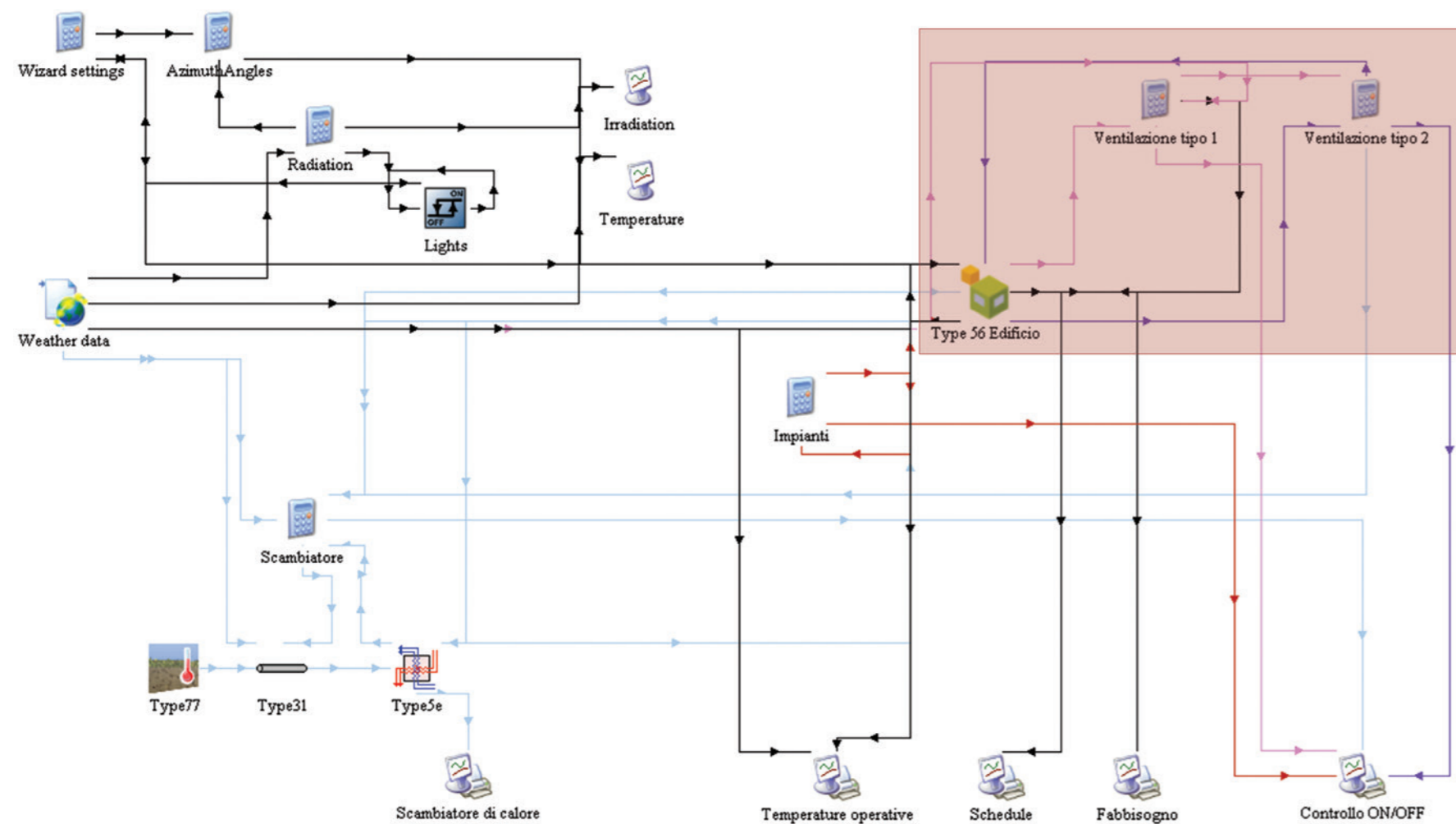


Figura 7.37 Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: la ventilazione

Estrapolando i dati ottenuti si può ricavare una curva delle temperature operative che ora dipende anche dall'attivazione della ventilazione, come si vede in Tabella 8.18. Il grafico mostra tre curve: la temperatura esterna, la temperatura operativa senza l'attivazione della ventilazione e la temperatura operativa dipendente anche dalla ventilazione. Le prime due curve sono le stesse dei grafici precedenti (Tabella 8.16 a pagina 374), in modo da poter facilmente vedere le differenze rispetto al caso precedente. Si nota che l'attivazione della ventilazione contribuisce ad abbassare di molto la temperatura: in estate questo è positivo, mentre in inverno non lo è per niente. Purtroppo, però, i ricambi d'aria sono necessari anche in inverno e per questo la ventilazione resterà comunque attiva. In estate invece, la curva si avvicina maggiormente alla fascia di comfort (22-26°C) ma nei giorni più caldi la ventilazione non basta ad abbassare la temperatura in modo che essa raggiunga durante tutte le ore la fascia di comfort. Ciò si osserva meglio dal grafico di Figura 8.47, nel quale è analizzata la settimana più calda dell'anno (dal 16 Luglio al 22 Luglio). Si nota che la temperatura esterna è molto

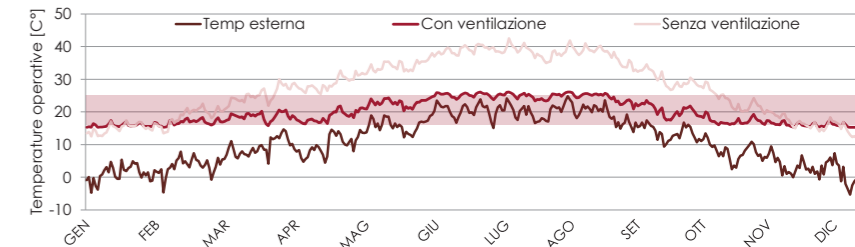


Figura 7.38 Analisi delle temperature con o senza ventilazione

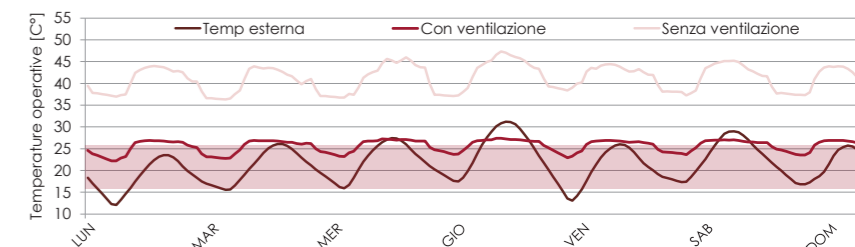


Figura 7.39 Analisi delle temperature con o senza ventilazione in estate

variabile tra il giorno e la notte, mentre le temperature si avvicinano alla fascia di comfort se si considera il caso con l'attivazione della ventilazione. Nonostante ciò molte ore in questi giorni restano in discomfort, dunque sarà necessario l'utilizzo di un impianto di raffrescamento.

### 7.4.5 GLI IMPIANTI DI RISCALDAMENTO E RAFFRESCAMENTO

Mediante il programma Trnsys è possibile impostare anche un vero e proprio sistema di impianti, senza la necessità di sceglierne subito la tipologia. Questo è possibile poichè nel modello vengono impostate delle calcolatrici che gestiscono l'accensione o lo spegnimento dell'impianto nel momento in cui vengono raggiunte le temperature decise e in funzione del periodo dell'anno che si sta considerando. Si è deciso di accendere l'impianto di riscaldamento solo da Aprile a Ottobre e l'impianto di raffrescamento solo da Maggio a Settembre con le seguenti formule:

$$\text{HEAT\_ON}*(\text{LE}(\text{TIME},2520)+\text{GE}(\text{TIME},6889))$$

$$\text{COOL\_ON}*(\text{LE}(\text{TIME},6192)*\text{GE}(\text{TIME},3200))$$

Tali formule sono state inserite all'interno della calcolatrice denominata "Impianti", in Figura 9.22. All'interno del TRNBuild, invece, per ogni zona, sono state fissate altre condizioni che attivano o fermano gli impianti. Ad esempio nelle sale di attività si impone:

$$6*\text{HEAT\_ON}+16$$

$$-2*\text{COOL\_ON}+26$$

$$-50*\text{COOL\_ON}+100$$

Le formule si osservano anche in Figura 8.49 e Figura 8.48, dove HEAT\_ON e COOL\_ON sono degli input, che valgono 0 o 1, quindi sostituendo nelle formule si ottiene che il riscaldamento si attiva se la temperatura operativa della stanza scende sotto i 16°C e si ferma quando la temperatura supera i 22°C in inverno, mentre in estate, con il COOL\_ON, si nota che il raffrescamento si attiva se ho una temperatura nella stanza superiore a 26°C e si ferma quando la temperatura scende sotto i 24°C. Come è stato detto nel paragrafo precedente, infatti, si ritiene che la temperatura imposta da normativa di 22°C in estate sia troppo bassa per le sale di attività, e dunque si è deciso di attivare l'impianto di raffrescamento quando la temperatura supera i 26°C. In estate c'è anche un altro parametro che va verificato, la deumidificazione dell'aria, rappresentato dalla terza formula. Quando il raffrescamento è attivo, infatti, l'umidità dell'aria viene mantenuta al 50%, come da normativa.

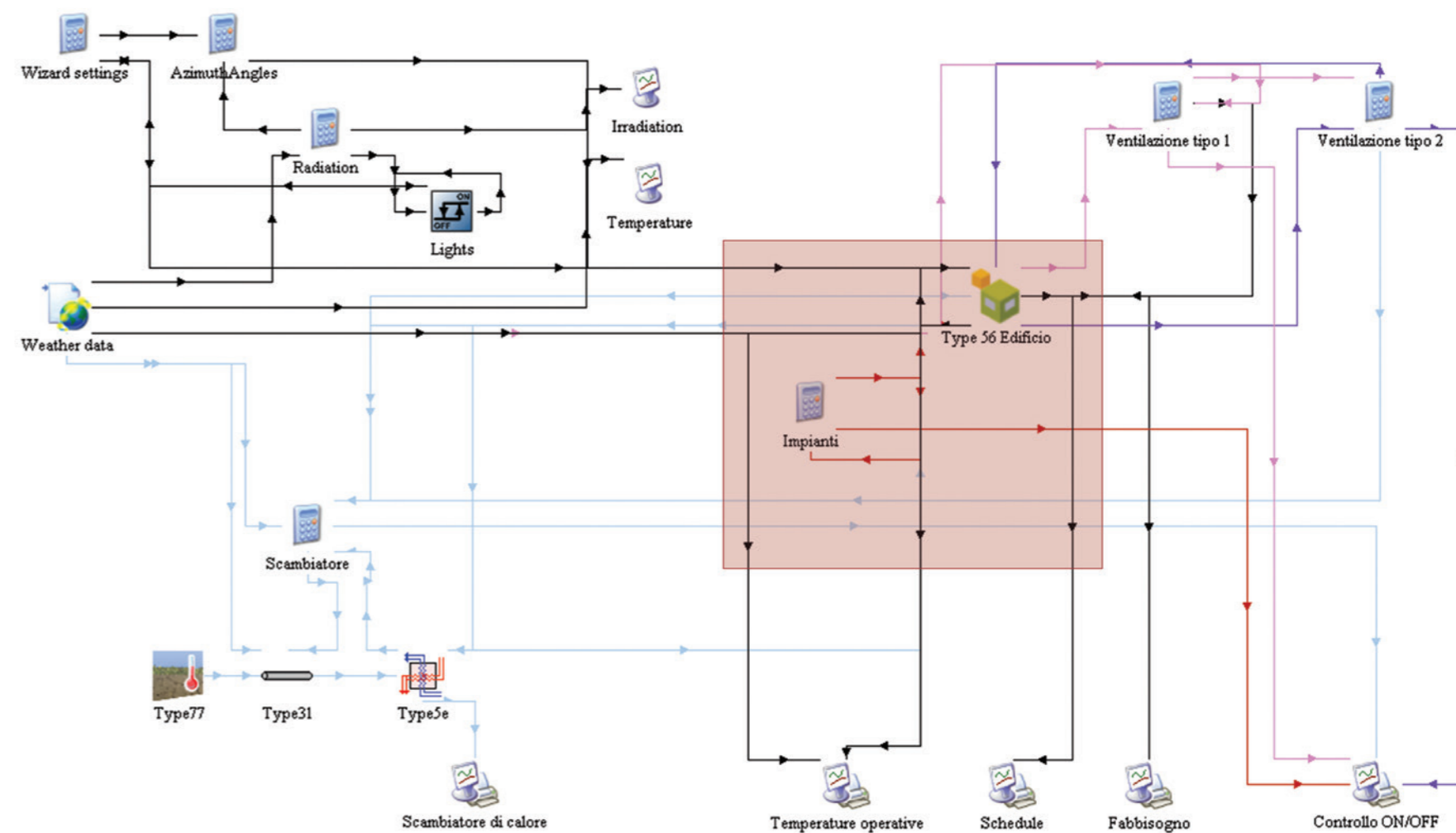


Figura 7.40 Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: gli impianti

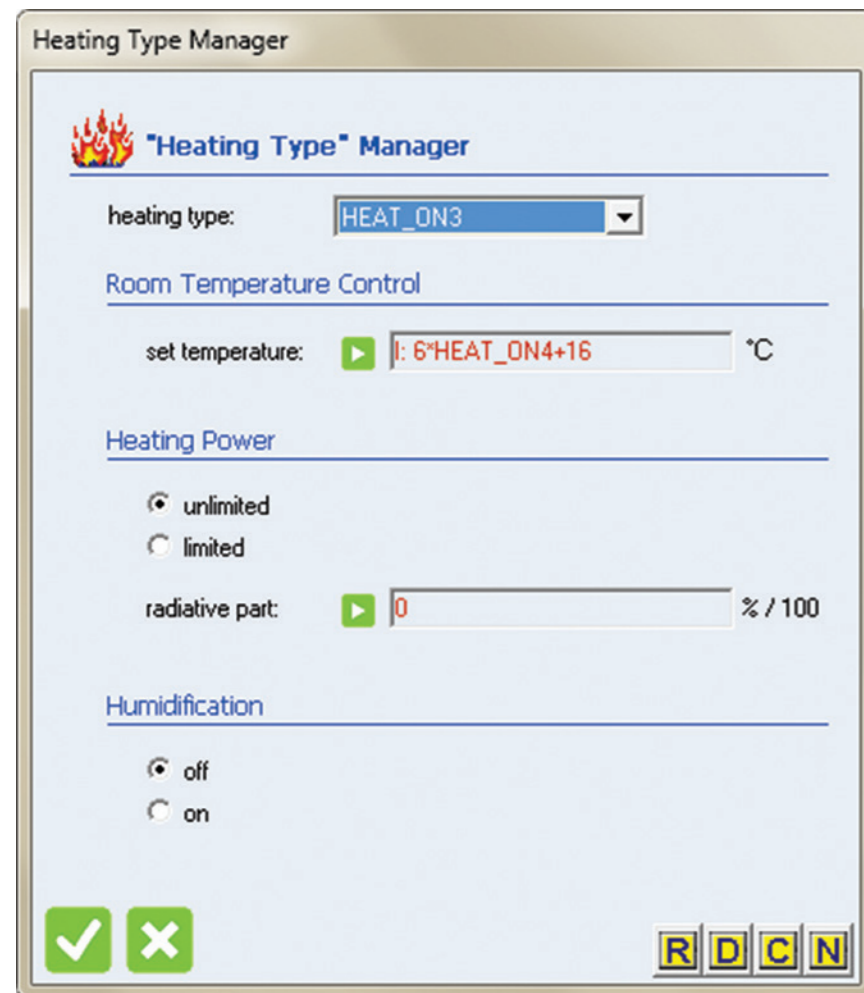


Figura 7.41 Impostazione dell'impianto di riscaldamento in TRNBuild

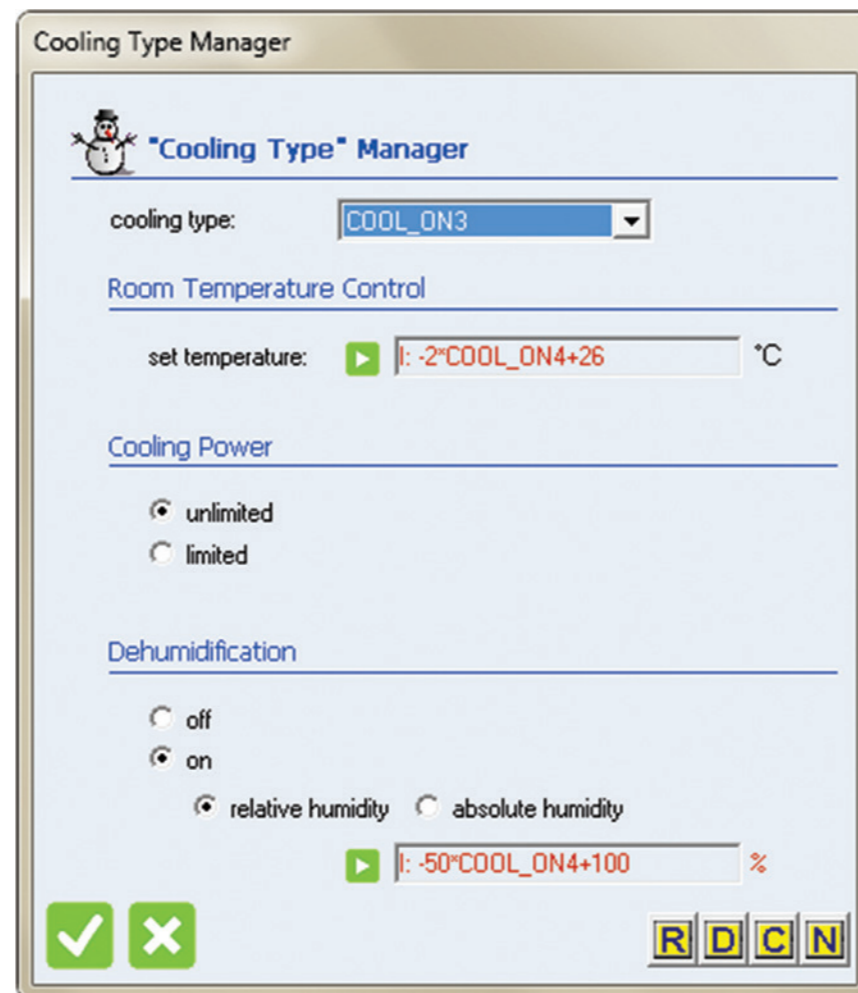


Figura 7.42 Impostazione dell'impianto di raffrescamento in TRNBuild

Gli impianti sono stati attivati ogni volta che la schedule che regola la presenza di persone è attiva, ovvero dalle 8 alle 23. Poichè si è evidenziato che la temperatura alle 8 era inferiore a 16°C si è deciso di attivare l'impianto di riscaldamento un'ora prima, per ottenere temperature interne alla fascia di comfort anche nelle prime ore delle mattinate invernali.

Analizzando le temperature ci si riferisce a tre curve in particolare: la temperatura esterna e la temperatura con riscaldamento e raffrescamento non attivi, che non sono altro che le curve del caso precedente (con la ventilazione attiva) e la temperatura con gli impianti attivi. Osservando il grafico si nota che durante tutto l'anno le temperature soddisfano i requisiti di comfort termoisometrico richiesti.

A questo punto si può iniziare a studiare il fabbisogno dell'edificio. Il Decreto Legislativo n.192 del 19 agosto 2005, dà la definizione di fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale come la quantità di energia primaria globalmente richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto, in regime di attivazione continuo. L'energia primaria

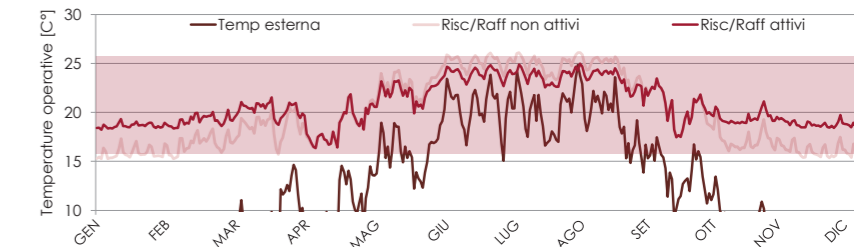


Figura 7.43 Analisi delle temperature con o senza l'attivazione degli impianti

non è immediatamente disponibile, ma deve essere trasformata prima di poter essere utilizzata. Ad esempio, l'energia solare viene trasformata in energia elettrica dai pannelli fotovoltaici per il suo utilizzo. Se la trasformazione è avvenuta, si parla di energia secondaria. Se l'energia resa disponibile dalla fonte primaria, oltre che essere stata trasformata, è stata trasportata presso l'utenza finale, si parla di energia finale. Il processo di utilizzo dell'energia finale non essendo ideale, comporta delle perdite di energia, tali per cui l'energia utile resa disponibile al sistema di nostro interesse è inferiore di quella finale. Quest'ultima energia è chiamata energia utile. I dati che si possono ottenere dal programma sono l'energia utile di cui ha bisogno l'edificio.

Grazie a questi concetti di base si può cominciare ad analizzare il fabbisogno di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio in oggetto.

L'obiettivo sarà quello di abbassare il fabbisogno, in modo da incidere il meno possibile sulla spesa annua di energia che consumerà l'edificio; un altro punto sul quale si agirà sono le fonti rinnovabili di energia, che rappresentano un grande investimento iniziale, ma che permettono poi di abbassare moltissimo i costi nel lungo periodo.

**LO SCAMBIATORE DI CALORE**

Lo scambiatore di calore viene visualizzato in Trnsys tramite tre types, come si vede in Tabella 7.5.

Il type 77 rappresenta il terreno e possono essere scelti alcuni parametri come la profondità alla quale vengono inserite le tubazioni, oppure la temperatura, la densità e il calore specifico del suolo.

Il type 31 identifica le tubazioni e possono essere variati alcuni parametri, come il diametro o la lunghezza dei tubi.

Il type 5e rappresenta il vero e proprio scambiatore di calore ed è direttamente connesso a una calcolatrice che ne regola il funzionamento.

I types sono anche connessi al Weather data, che fornisce il valore della temperatura esterna e al type 56 (l'edificio) che fornisce il valore della temperatura interna della zona termica che si considera, ovvero la P0\_5, cioè quella del campo da gioco. Il type 56 fornisce anche i valori della schedule dei gains, ovvero quella che regola la presenza di persone in base agli orari e ai giorni della settimana.

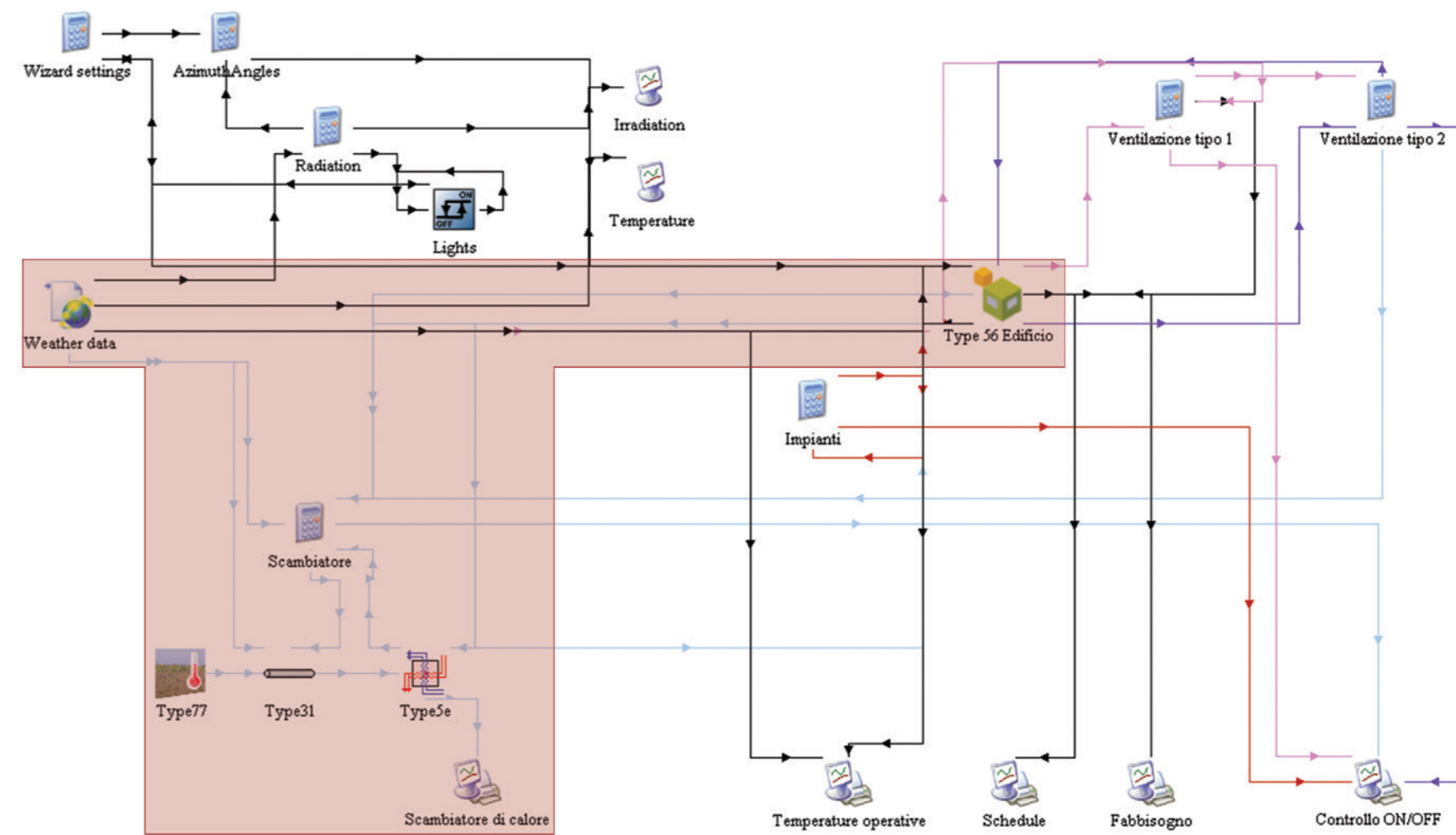


Figura 7.44 Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: lo scambiatore di calore

Le formule inserite nella calcolatrice che regolano il funzionamento dello scambiatore sono le seguenti:

$$\text{PORTATA\_OnOff} = 1.2 * \text{VOLUME} * 0.3 * \text{GAINS} * \text{VENTmeccanica}$$

$$\begin{aligned} \text{PORTATA\_OnOff\_gratis} = & 1.2 * \text{VOLUME} * 0.3 * \text{GAINS} * (\text{LE}(\text{T\_rec}, \text{T\_OP\_P\_05}) * \text{GE} \\ & (\text{T\_OP\_P\_05}, 26) + \text{GE}(\text{T\_rec}, \text{T\_OP\_P\_05}) * \text{LE}(\text{T\_OP\_P\_05}, 16)) \end{aligned}$$

La prima formula attiva lo scambiatore di calore solo quando è attiva la ventilazione meccanica, in modo che l'aria in entrata sia ad una temperatura più vicina a quella di comfort rispetto alla temperatura dell'aria esterna.

Quindi la ventilazione meccanica (ventilazione di tipo 2 da "7.4.4 La ventilazione" a pagina 274) è moltiplicata per GAINS, ovvero per la schedule che indica la presenza o meno di persone, e per la portata d'aria necessaria.

La seconda formula, invece, permette di attivare lo scambiatore di calore ogni volta che vi sono persone nell'edificio e la temperatura della stanza è inferiore

alla temperatura dell'aria del recuperatore in inverno; al contrario in estate lo scambiatore di calore si attiva con la presenza di persone e una temperatura operativa della stanza superiore alla temperatura dell'aria che fornirebbe lo scambiatore.

La ventilazione di tipo 2 è infatti attiva anche quando l'aria esterna ha temperatura sfavorevole, e quindi porterebbe discomfort all'interno delle sale. Per questo motivo l'aria in ingresso viene preriscaldata facendola passare da tubazioni geotermiche, in modo che possa assorbire parte del calore del terreno.

Un secondo preriscaldamento avviene in uno scambiatore di calore che permette all'aria in ingresso di assorbire parte di calore del flusso di aria viziata uscente dall'edificio. In questo modo la temperatura in ingresso è più vicina alla temperatura di comfort, e quindi sarà richiesta all'impianto una quantità di energia per il riscaldamento più bassa e il fabbisogno dell'edificio risulterà ridotto.

Il guadagno termico che si ottiene con l'impianto geotermico è dato dalla differenza di temperatura fra flusso di aria entrante e uscente dai tubi geotermici, è di circa un paio di gradi; il guadagno termico dello

scambiatore è invece di circa 5 gradi.

In definitiva si vede che l'effetto dell'impianto è abbastanza influente: il flusso di aria che entra invece che essere a 5 gradi sarà a 12-13 gradi, richiedendo quindi un riscaldamento dell'impianto molto più ridotto. Si è ipotizzato di utilizzare tubi del diametro di 20 cm e della lunghezza di 40 m, ad una profondità di 2 m dalla superficie come in Tabella 7.6.

Nei casi di nuova costruzione questo sistema è particolarmente indicato, poichè come scavo per la posa delle tubazioni dello scambiatore di calore si può utilizzare quello già fatto per le fondazioni e dunque il costo è molto basso, comprende infatti solo il costo per il materiale e la manodopera.

Nel caso in oggetto, sebbene si tratti di un recupero edilizio, sono diversi i metri quadrati di ampliamento, e quindi si prevede che lo scambiatore venga posizionato sotto le parti di nuova costruzione anche se poi servirà tutto l'edificio.



**Figura 7.45** Posizionamento delle tubazioni dello scambiatore di calore

## 7.5 OTTIMIZZAZIONE ECONOMICA

### 7.5.1 IL FABBISOGNO ENERGETICO DELL'EDIFICIO

In presenza di basse temperature esterne in inverno, come nella zona dell'intervento, si richiede di utilizzare misure opportune per mantenere il più a lungo possibile il calore presente all'interno dell'edificio. In primo luogo è necessario ottimizzare l'involucro. Per analizzare il flusso termico si può procedere ricavando un bilancio termico della palestra, che è utile per capire il rapporto tra dispersioni e guadagni termici nell'arco di un anno. I guadagni termici sono stati inseriti nel programma Trnsys e spiegati in "7.4.2 I CARICHI INTERNI" a pagina 262 e comprendono: riscaldamento da illuminazione, da presenza umana e da dispositivi elettrici, ma anche energia per irradiazione solare attraverso le superfici trasparenti dell'involucro. I fattori di dispersione sono invece dati dalle perdite di calore per conduzione e perdite di calore per ventilazione. La funzione dell'involucro, se performante, dovrebbe essere dunque quella di contribuire al raggiungimento del pareggio nel bilancio termico e le eventuali differenze corrispondono al fabbisogno di energia termica per

riscaldamento e dovranno essere compensate dalla tecnologia impiantistica dell'edificio. Dato che le fonti di calore interne sono determinate dalla destinazione d'uso, e per quanto riguarda la palestra i carichi interni sono molto alti, il potenziale di ottimizzazione dell'involucro si può identificare nella riduzione al minimo delle dispersioni e nella massimizzazione dei guadagni solari.

Da queste considerazioni si intuisce dunque che l'ottimizzazione dell'involucro è una delle parti fondamentali per quanto riguarda tematiche di risparmio e efficienza energetica. L'analisi che segue non prenderà solamente in considerazione parametri come lo spessore dell'isolante e le prestazioni della stratigrafia, ma anche il fabbisogno energetico dell'edificio e la componente economica.

### 7.5.2 CALCOLO DEL FABBISOGNO E DEI COSTI

Il programma Trnsys è in grado di ricavare il fabbisogno dell'edificio tenendo conto dei fattori prima citati, quindi dispersioni e guadagni interni, ovviamente considerando tutti i parametri che sono stati spiegati nei paragrafi precedenti come i ricambi d'aria necessari, il tipo di serramento e schermatura impostati, i carichi interni, le infiltrazioni e gli impianti di riscaldamento e raffrescamento. Proprio calcolando il funzionamento di questi ultimi, che hanno il compito di portare la temperatura delle sale a una temperatura di comfort, si può ricavare il valore del fabbisogno energetico dell'edificio. Tale fabbisogno è stato calcolato per i vari casi studio e per le zone termiche interessate, quindi le sole quattro zone che compongono il campo da gioco e gli spalti. Sono stati ricavati tre valori di fabbisogno termico, in particolare quello dato dal calore sensibile in inverno e in estate e quello dato dal calore latente in estate. Quest'ultimo risulta pari a 0 per l'inverno perchè l'umidità relativa viene regolata solo in estate deumidificando.

Dividendo poi i valori ottenuti per il volume delle quattro zone termiche (7130 m<sup>3</sup>) si ottiene il vero e

proprio valore di fabbisogno. In Tabella 7.14 è stato anche riportato il valore del costo iniziale dell'isolante, che, a seconda dei casi studio, varia poichè è diverso lo spessore dell'isolante stesso. Per calcolare il costo totale di isolante è stato moltiplicato il costo da listino prezzi per i m<sup>2</sup> di superficie, a seconda della stratigrafia considerata.

Per ottenere dalle analisi una curva di valori si è deciso di aggiungere altri casi studio estremi ai tre casi reali:

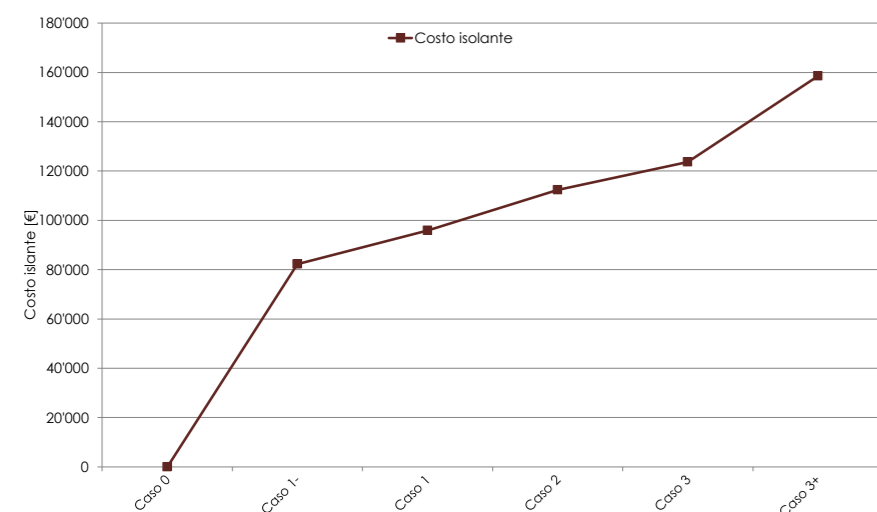
- CASO 0: equivale alla soluzione progettuale senza isolante;
- CASO 1-: lo spessore dell'isolante è stato dimezzato rispetto a quello del caso 1;
- CASO 1, CASO 2 e Caso 3: sono stati spiegati in "7.2 Analisi statiche sull'involucro" a pagina 236
- CASO 3+: lo spessore dell'isolante del caso 3 è stato aumentato di 10 cm;
- Ovviamente queste tipologie rappresentano solo dei casi estremi, che non verranno presi in considerazione come soluzioni possibili.

I dati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

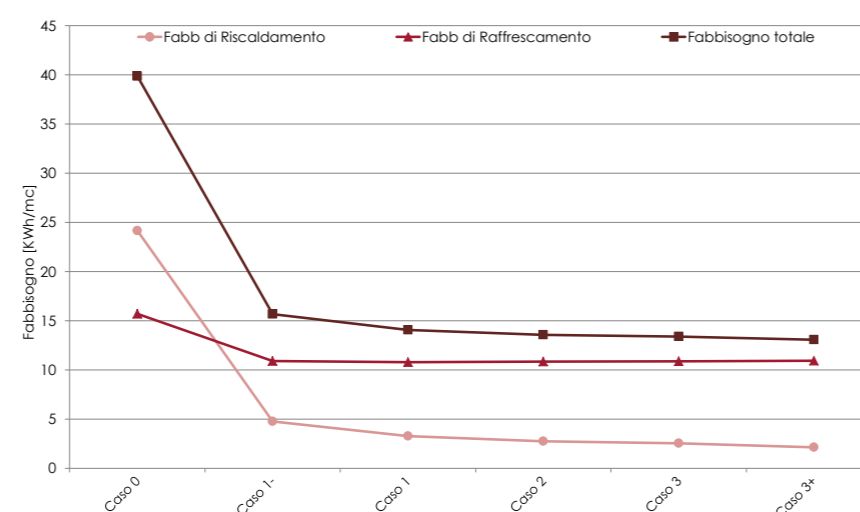


CASI STUDIO		Fabbisogno estivo sensibile [KWh/m³]	Fabbisogno estivo latente [KWh/m³]	Fabbisogno estivo tot [KWh/m³]	Fabbisogno invernale tot [KWh/m³]	Fabbisogno totale [KWh/m³]	Miglioramento Fabbisogno	Costo isolante [€]
	CASO 0	10,02	5,68	15,70	24,15	39,85	0	0
	CASO 1-	4,73	6,17	10,91	4,76	15,67	+61%	82'223
	CASO 1	4,64	6,15	10,79	3,26	14,06	+65%	95'857
	CASO 2	4,68	6,15	10,83	2,73	13,56	+66%	112'368
	CASO 3	4,72	6,15	10,86	2,52	13,39	+66%	123'660
	CASO 3+	4,80	6,14	10,93	2,13	13,07	+67%	158'573

**Tabella 7.14** Analisi di fabbisogno e costo dell'isolante nei diversi casi studio



**Figura 7.46** Costo isolante nei casi studio



**Figura 7.47** Fabbisogno di energia nei casi studio

Nel grafico di Figura 9.24 e dalla Tabella 7.14 si nota che a seconda dei diversi casi studio il costo iniziale dell'intervento aumenta sempre più, con l'aumentare, ovviamente, dello spessore dell'isolante. Nel CASO 0 non vi è alcun tipo di investimento, poichè l'isolante non viene proprio acquistato, per questo il costo è pari a 0. Nel grafico di Figura 9.25, invece, viene studiato il fabbisogno dell'edificio per quanto riguarda il riscaldamento, il raffrescamento e il fabbisogno totale annuale per ogni caso studio.

Si osserva che il fabbisogno per il riscaldamento si abbassa sempre più con l'aumentare dello spessore di isolante, mentre la curva del raffrescamento resta quasi orizzontale. Ciò accade perchè in estate i carichi interni non danno beneficio alla temperatura delle zone termiche, ma la aumentano e per questo il fabbisogno non diminuisce.

Inoltre la presenza di grandi spessori di isolante non permette fuoriuscite di calore dalla palestra e dunque il fabbisogno tende ad aumentare in estate.

Il fabbisogno totale va comunque a diminuire, infatti dalla tabella si evince che rispetto al CASO 0 vi è un miglioramento del fabbisogno che varia dal 61% al 67%

a seconda dei vari casi.

Si nota anche che in generale le curve hanno più o meno gli stessi valori analizzando i casi con presenza di isolante, mentre se si analizza il CASO 0 si vede un altissimo fabbisogno, sia estivo che invernale.

Questo a dimostrazione che il caso reale senza isolante porterebbe sicuramente ad altissimi costi per l'impianto di riscaldamento e raffrescamento, causati da grandi dispersioni.

Ora si è deciso di analizzare proprio questi costi, che non sono iniziali e fissi, come per l'isolante, ma che entrano in gioco anno per anno.

Per prima cosa è necessario trovare il costo dell'energia all'anno 0. E' necessaria innanzitutto una osservazione: i valori di fabbisogno trovati sono termici, ma si è ipotizzato che l'energia per il riscaldamento e il raffrescamento sia prodotta da una pompa di calore, dunque è stato necessario convertire i valori trovati in KWh elettrici e dividerli per il valore di COP e ESEER della pompa di calore (da scheda tecnica entrambi pari a 4). Inoltre si è ipotizzato di considerare per il costo dell'energia 0,4 €/KWh, come da tariffa D1 per le pompe di calore.

In questo modo si ricava il valore di spesa dell'energia in ogni caso studio per il primo anno.

Ma è necessario calcolare anche la spesa di energia per gli anni futuri per poter stabilire la tipologia migliore di isolante tra i casi studio scelti.

Per calcolare il costo dell'energia ogni anno ci si basa sul calcolo del regime a sconto composto, con il quale è possibile trovare il valore attuale del capitale disponibile in un'epoca futura.

Tale valore attuale è proporzionale al capitale e dipende dalla durata considerata.

La formula per determinare il costo di energia, valutata in un qualsiasi anno n è:

$$\frac{\text{spesa di energia}}{(1 + \text{saggio})^n}$$

dove la spesa di energia è quella trovata con il procedimento spiegato sopra, n è l'anno considerato nell'analisi e il saggio rappresenta l'interesse per il regime a sconto composto ed è stato ipotizzato pari a 0,02, ovvero il 2%.

Si ipotizza infatti che il decremento venga assimilato

al costo che la Pubblica Amministrazione dovrebbe sostenere se chiedesse un prestito alla Cassa Depositi e Prestiti.

In questo modo si ottiene l'andamento della spesa di energia, che ogni anno diminuisce, come si può vedere nel grafico di Tabella 7.8.

Il valore del denaro viene infatti attualizzato, in modo da poter calcolare in modo univoco la spesa di energia, riferendola al momento 0.

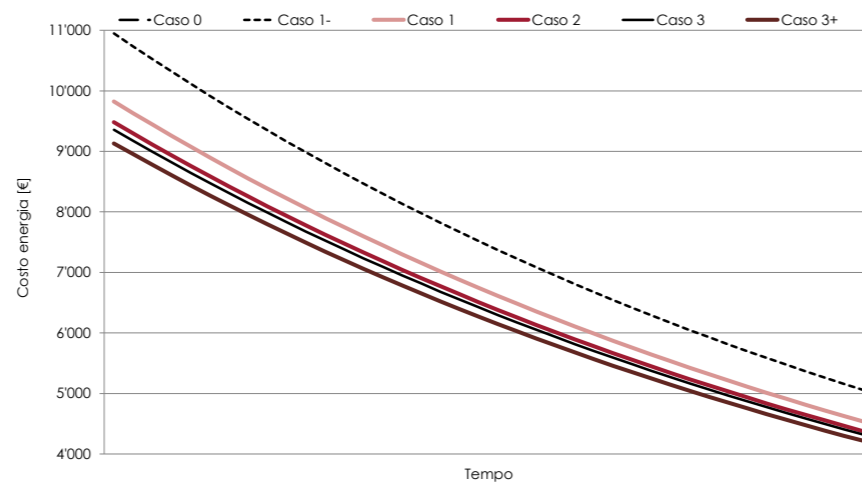


Figura 7.48 Costo dell'energia nel tempo

A questo punto vengono unite le due componenti di denaro ovvero l'investimento iniziale e il costo dell'energia ogni anno, che comunque grava sull'edificio in oggetto. Tali componenti, ogni anno, vanno a sommarsi e la cifra che si trova nel grafico sottostante, sull'asse verticale è il costo totale pagato fino all'anno considerato. Se ad esempio consideriamo il secondo anno la spesa è pari al costo dell'isolante, sommata al costo dell'energia per il primo anno, più il costo dell'energia per il secondo anno.

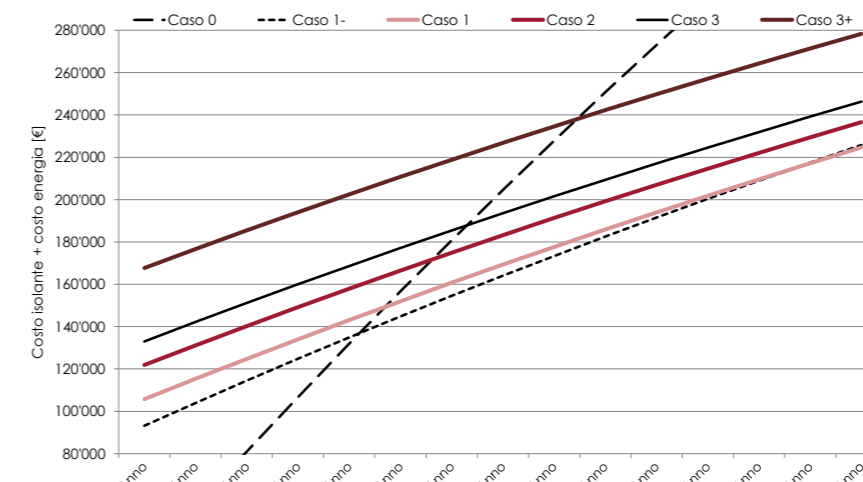


Figura 7.49 Costo isolante+energia nei casi studio in 20 anni

Si osserva che fino al 5° anno non sarebbe conveniente fare un investimento, infatti la curva minore è quella del CASO 0, ma dal 5° anno in poi si capisce che il guadagno è maggiore pur avendo fatto un investimento iniziale. Per capire dopo quanti anni, per ogni caso di isolante, si comincia a risparmiare rispetto al CASO 0, si può osservare l'ascissa del punto di intersezione tra le rette e il CASO 0, oppure è meglio visibile nel grafico sottostante, quando le curve intersecano lo 0. Tale grafico indica il "Cash flow".

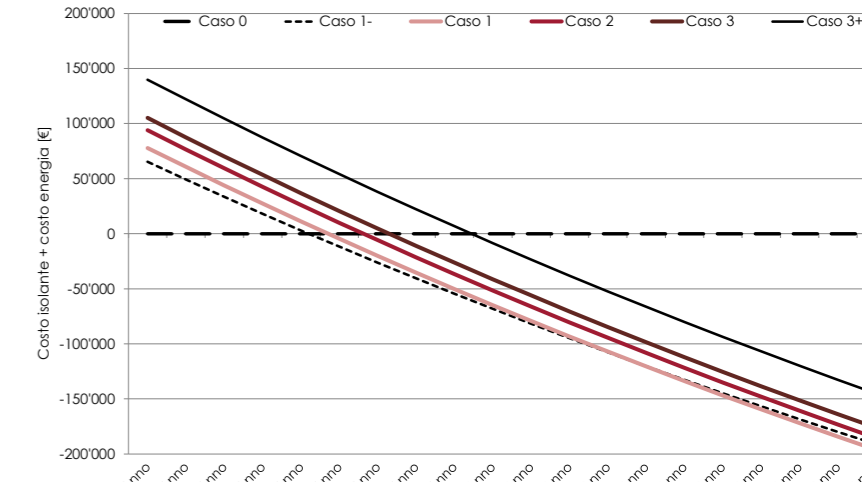


Figura 7.50 Cash flow

Un'altra valutazione è stata effettuata in termini di risparmio. La domanda a cui si vuole dare risposta è a quanto ammonti il risparmio rispetto al CASO 0 (esistente) valutato su diversi periodi temporali, ovvero: quanti soldi in più sarebbero stati spesi se non fosse stato fatto l'investimento? Il grafico di Figura 7.4 mostra che fino al 5° anno non vi è risparmio poiché i costi dovuti all'investimento iniziale dell'opera non sono ancora stati "assorbiti". Al 10° anno si nota che il risparmio maggiore si ottiene utilizzando l'isolante del CASO 1-, ma circa dal 15° anno il risparmio maggiore si ha con l'isolante del CASO 1 e tale situazione permane fino ad oltre il 35° anno. L'isolante di quest'ultimo caso, in termini di risparmio rispetto al caso esistente, è senza dubbio il migliore.

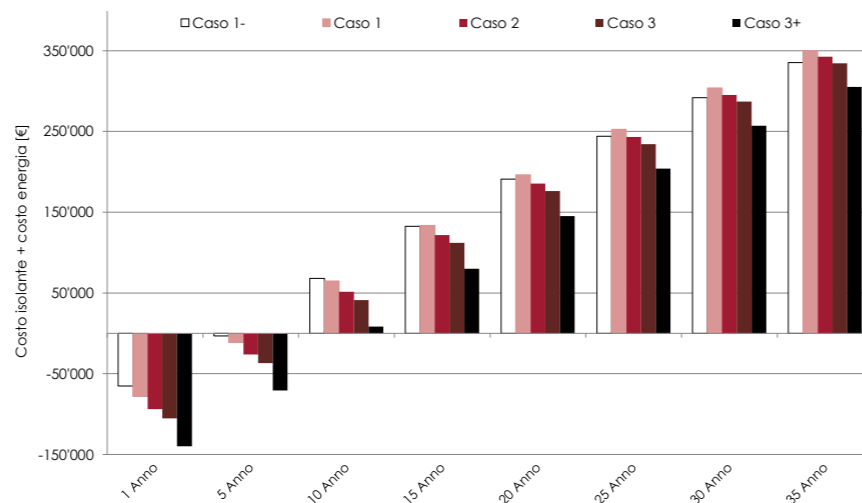


Figura 7.51 Risparmio rispetto al CASO 0 (esistente)

In Tabella 7.15 si riportano i valori in € del risparmio, nei vari casi studio.

CASI STUDIO	1° Anno	5° Anno	10° Anno	15° Anno	20° Anno	25° Anno	30° Anno	35° Anno
CASO 0	0	0	0	0	0	0	0	0
CASO 1-	-65'321	-3'044	68'176	132'682	191'108	244'025	291'955	335'365
CASO 1	-77'829	-11'262	64'864	133'814	196'263	252'826	304'056	350'457
CASO 2	-93'997	-26'122	51'499	121'803	185'480	243'153	295'390	342'703
CASO 3	-105'165	-36'818	41'343	112'136	176'255	234'330	286'930	334'572
CASO 3+	-139'853	-70'652	8'487	80'165	145'086	203'887	257'145	305'382

Tabella 7.15 Risparmio rispetto al CASO 0 (esistente)

Oltre al risparmio rispetto alla situazione esistente è anche interessante analizzare dopo una certa quantità di anni, qual è stato lo spessore di isolante che ha portato a una minore spesa totale, conteggiando il costo per l'energia e quello iniziale dell'investimento per il materiale. Nel caso precedente, infatti, veniva analizzato il risparmio per ogni caso studio rispetto al proprio costo iniziale; per questa ultima analisi invece si considera la spesa totale dopo 10, 20 e 30 anni.

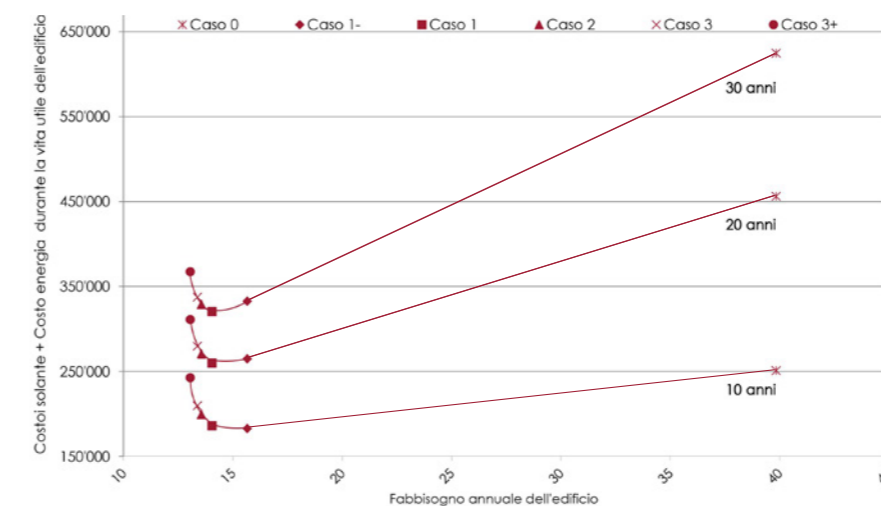


Figura 7.52 Costo complessivo dell'intervento e dell'energia nella vita utile dell'edificio

Le tre curve sono state tracciate unendo i punti con coordinata x=fabbisogno annuale e y=spesa totale. Dal grafico è possibile dedurre che il minimo della curva è lo spessore migliore di isolante; inoltre più è piccolo il valore sull'asse delle ascisse, minore sarà il fabbisogno dell'edificio, quindi più bassi saranno i consumi di energia e i soldi spesi ogni anno per questo motivo. Dal grafico di Figura 9.30 e ancora più precisamente da Tabella 7.16 si nota che per un periodo temporale fino a 10 anni l'isolante migliore è quello appartenente al CASO 1-, sebbene la spesa rispetto al CASO 1 sia inferiore solo di 3'000 €, mentre a 20 e a 30 anni l'isolante che permette di risparmiare di più è quello del CASO 1.

€ SPESI NEI CASI STUDIO	10° Anno	20° Anno	30° Anno
CASO 0	250'735	455'978	624'348
CASO 1-	182'559	264'870	332'394
CASO 1	185'871	259'715	320'292
CASO 2	199'236	270'498	328'958
CASO 3	209'392	279'723	337'418
CASO 3+	242'248	310'892	367'204

Tabella 7.16 Costo complessivo di intervento e energia

Considerando tutte le analisi svolte e i vari risultati si è deciso di utilizzare il CASO 1, la cui combinazione di isolanti è riportata in Tabella 7.17, poichè i casi con uno spessore minore di isolante sono più vantaggiosi solo fino a 10 anni dalla costruzione dell'edificio, ma poichè si ipotizza una vita utile molto maggiore sia dell'isolante, che, ovviamente, del manufatto edilizio, si decide di adottare l'isolante del CASO 1, il cui fabbisogno, migliora del 65% rispetto al CASO 0. Un'altra considerazione che può essere fatta è che essendo la palestra un edificio comunale, il risparmio non deve essere visto solo in termini di denaro, ma anche come beneficio sociale, ovvero un esempio

virtuoso per la comunità: un edificio energeticamente efficiente porta beneficio anche all'ambiente e a chi lo vive. Quindi investire inizialmente una somma di denaro leggermente maggiore (la differenza tra la spesa del CASO 1 e 1- è di 13'000 €) porta ad avere grandi risparmi durante la vita utile dell'edificio e può indurre la comunità ad adottare lo stesso comportamento, portando un beneficio a tutto il paese. Inoltre un grande centro sportivo come quello in oggetto attirerà senza dubbio moltissimi utenti, e si può ipotizzare che in pochi anni sarà possibile rientrare nell'investimento, facendo sì che le generazioni future si trovino ad utilizzare sempre più edifici ad energia quasi zero.

	Tipologia di isolante	Spessore [mm]	Sfasamento [h]	Attenuazione [adm]	Trasmitt. termica [W/mqK]	Trasmitt. termica period [W/mqK]	Costo [€/mq]	Costo isolante totale per le 4 zone in esame
FL/45	CV_02	60	17h 02'	0,063	0,337	0,021	12,89	95'857 €
	CV_03	60	17h 35'	0,041	0,258	0,011	12,89	
	CV_05	80	15h 28'	0,066	0,329	0,022	16,40	
F2/C	CV_04	65 (25+40)	12h 12'	0,172	0,224	0,038	24,48	
F2	CO_01	110 (50+60)	34h 07'	0,000	0,180	0,000	36,93	
	CO_02	150 (50+100)	13h 48'	0,181	0,210	0,038	49,13	
	CO_03	110 (50+60)	15h 36'	0,136	0,259	0,035	36,93	
	CO_04	130 (50+80)	14h 53'	0,133	0,254	0,034	43,00	

Tabella 7.17 Caso studio 1 combinazione di isolanti scelti

## 7.6 GLI IMPIANTI TECNOLOGICI

La qualità finale di un intervento di recupero edilizio si ottiene se vi è integrazione fra scelte progettuali, architettoniche e impiantistiche. La forma dell'edificio, la distribuzione degli spazi interni e la scelta dei materiali devono essere coerenti con la tipologia impiantistica e viceversa.

I principali temi da considerare in fase di progettazione degli impianti sono:

- L'isolamento termico dell'involucro edilizio, comprendendo i materiali delle chiusure opache e le caratteristiche dei serramenti delle chiusure trasparenti;
- lo sfruttamento degli apporti solari gratuiti attraverso un corretto dimensionamento dei componenti vetrati;
- il controllo igrometrico attraverso lo sfruttamento della ventilazione naturale e meccanica.

Le tipologie e le caratteristiche degli impianti da considerare in fase di progettazione variano in relazione alla tipologia dell'edificio e alla sua complessità. Per quanto riguarda la palestra è necessario che gli impianti assicurino sufficienti garanzie

di sicurezza nell'uso, idonee caratteristiche di resistenza per le particolari condizioni di utilizzazione e facilità di intervento e manutenzione.

Gli impianti sportivi, infatti, necessitano di manutenzione più di altre strutture, in quanto sono soggetti a una più rapida usura. Il problema è particolarmente evidente quando si considerano impianti dove è prevista la presenza di spettatori. Una cattiva manutenzione degli impianti di ventilazione, ad esempio, può causare delle alterazioni della qualità dell'aria interna. Per fare in modo che non si verifichino questi inconvenienti è necessario che l'ubicazione dei locali tecnici e le distribuzioni impiantistiche siano progettate e dimensionate correttamente, per permettere una corretta installazione, manutenzione e ispezione.

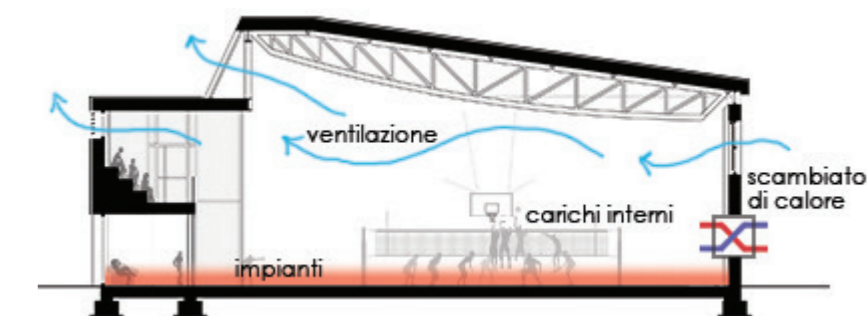


Figura 7.53 Schema dell'impianto tecnologico

### 7.6.1 I GENERATORI DI CALORE: LA CALDAIA E LA POMPA DI CALORE

Un criterio iniziale di scelta per l'impianto di riscaldamento può essere quello relativo ai valori di efficienza di produzione, di distribuzione, di emissione e di regolazione dell'impianto. La scelta di sistemi di riscaldamento a bassa temperatura, per esempio, è ottimale se essi vengono affiancati a generatori ad alto rendimento, come caldaie a condensazione o pompe di calore, che garantiscono ottimi livelli di comfort.

Il cuore di un impianto di riscaldamento è costituito infatti dal generatore di calore, che è responsabile, in misura determinante, del fabbisogno energetico, dell'efficienza e dell'impatto ambientale di tutto l'impianto.

Nel caso in oggetto si è scelto di utilizzare una pompa di calore e una caldaia a condensazione, da utilizzare quando la prima non è in grado di fornire abbastanza energia.

La pompa di calore assorbe energia termica da una sorgente di calore naturale (geotermia, acqua, aria) e la utilizza per il riscaldamento o il raffrescamento.

Questo sistema di riscaldamento è composto da:

- Impianto lato fonte energetica
- Pompa di calore
- Impianto di distribuzione e accumulatore

La fonte energetica da cui si è deciso di assorbire energia è l'acqua. Inoltre, trovandosi l'edificio così vicino al lago di Pusiano, è stato ipotizzato di prelevare l'acqua del lago, facendola passare per uno scambiatore intermedio (in grado di filtrare l'acqua nel caso in cui essa non fosse totalmente pulita o contenga qualche particella solida che potrebbe rovinare la macchina), per poi utilizzarla per assorbirne l'energia termica con la pompa di calore.

Ipotizzando di prelevare l'acqua in profondità, essa si troverà in inverno a una temperatura maggiore rispetto a quella esterna, e in estate, si troverà a una temperatura inferiore.

Per questo motivo è conveniente assorbire energia da questa fonte. L'acqua viene quindi prelevata e deve essere restituita con un gradiente di temperatura non superiore a 3°C. Ipotizzando per esempio che l'acqua venga prelevata a una temperatura di 13°C, essa dovrà essere reimpressa nel lago ad una temperatura

non inferiore a 10°C.

Il sistema scelto è di tipo reversibile, in modo da poter essere utilizzato anche in estate ed è di tipo acqua-acqua, funzionante a energia elettrica.

Il funzionamento della pompa di calore presuppone un sistema di isolamento ottimale ed è ideale per essere utilizzata insieme a sistemi di riscaldamento a pavimento.

La caldaia a condensazione ha invece la funzione di attivarsi nel momento in cui la temperatura dell'acqua non sia sufficientemente alta.

Tale macchina costituisce un sistema altamente efficiente, grazie all'utilizzo del calore contenuto nel vapore acqueo sprigionato dai gas di combustione. La caldaia funziona con l'utilizzo di combustibili fossili o rinnovabili e il condensato prodotto durante la combustione deve essere condotto alla rete dell'acqua di scarico.

Per espellere i gas di scarico è necessario inoltre prevedere una canna fumaria, che deve essere isolata completamente rispetto all'ambiente in cui si trova. L'acqua riscaldata nella caldaia viene o direttamente distribuita o convogliata all'interno del serbatoio di

accumulo per scaldarne l'acqua contenuta. All'interno del serbatoio avviene uno scambio termico e la stessa acqua è riportata alla caldaia mediante circolazione forzata, assicurata da una pompa, sul collettore delle tubazioni di ritorno.

Il funzionamento della caldaia a condensazione e i suoi principali componenti sono rappresentati in Tabella 7.13.



Figura 7.54 Caldaia a condensazione

### 7.6.2 I GENERATORI DI CALORE: I COLLETTORI SOLARI

Il calore viene ceduto al serbatoio di accumulo anche attraverso dei pannelli solari, posizionati sulla copertura dell'edificio. L'utilizzo attivo dell'energia termica del sole mediante collettori solari, in sinergia con efficienti impianti di accumulazione, può avvenire indipendentemente dal clima dello spazio interno e dalle effettive condizioni di irradianza solare. I collettori vengono usati per la trasformazione dell'irradianza solare in energia termica destinata alla produzione di calore. I tetti sono altamente adatti allo sfruttamento attivo del solare termico e quindi si è pensato di utilizzare il tetto delle nuove aule scolastiche per posizionarvi tali collettori. Il Dlgs numero 28 del 3 Marzo 2011 stabilisce però, all'art. 7, che i pannelli devono essere aderenti o integrati nei tetti, con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda e i cui componenti non modificano la sagoma degli edifici stessi. Per questo motivo si è deciso di utilizzare i collettori a tubi sottovuoto, che possono anche essere installati orizzontalmente senza riduzione del rendimento e previa regolazione dell'assorbitore circolare, che si trova all'interno del condotto.

I tubi sono formati da un doppio vetro e il vuoto tra i due vetri trattiene il calore anche quando le temperature esterne sono molto basse. Uno specchio riflettente posto sotto i tubi permette di sfruttare la radiazione solare in modo ottimale, poiché riflette i raggi solari da più angolazioni e li convoglia nei tubi sottovuoto con bassissime perdite di calore. I tubi cilindrici catturano anche i raggi obliqui (che di solito vengono persi con i collettori piani) consentendo così di ottenere un'elevata resa, anche nelle ore pomeridiane e con esposizione non favorevole.



Figura 7.55 Struttura dei pannelli solari sottovuoto

Tali collettori svolgono anche la funzione di protezione del tetto dall'irradianza solare.

Si specifica anche che gli impianti solari sono responsabili di emissioni solo in fase di realizzazione e negli ultimi tempi c'è stato un continuo miglioramento di queste tecnologie, soprattutto con l'introduzione di sistemi ottimizzati e di strategie di regolazione elettronica.

I collettori solari vengono collegati al serbatoio di accumulo e il circolo si avvia quando una sonda rileva che la temperatura nei collettori è maggiore di quella all'interno del serbatoio.

In questo modo viene attivata una pompa che spinge il liquido all'interno del circuito in modo da farlo passare attraverso una serpentina interna al serbatoio. Attraverso tale serpentina avviene il passaggio del calore dal liquido all'acqua del serbatoio.

D'inverno, o in periodi di prolungato brutto tempo, si richiede più acqua di quella che il sistema può fornire; in questi casi interviene la caldaia che scalda l'acqua del serbatoio, fornendo il calore utile a raggiungere la temperatura desiderata.

In estate, invece, se l'impianto solare è sufficiente a

garantire acqua calda sanitaria, la caldaia non viene attivata, risparmiando moltissima energia.

In questo modo la caldaia non è sottoposta a continue accensioni o spegnimenti, ma mediante una modulazione a tempo del sistema è possibile conseguire un rilevante risparmio energetico.

In Figura 7.56 è schematizzato il funzionamento dei collettori solari.

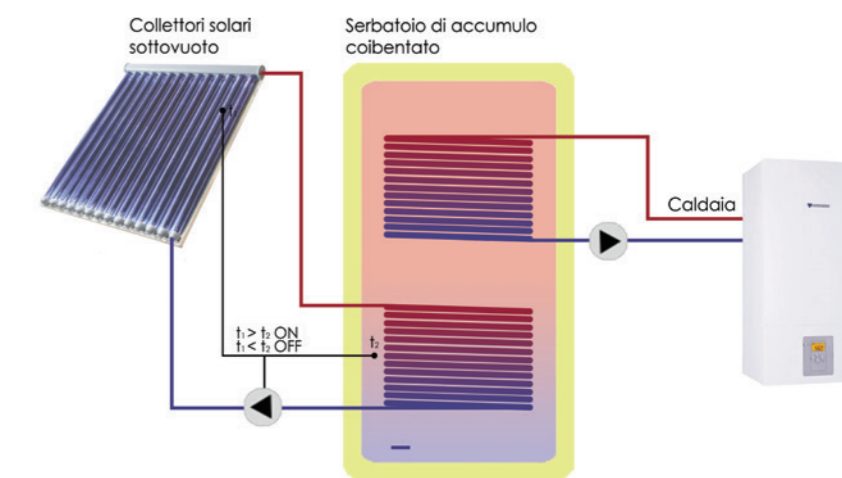


Figura 7.56 Schema di funzionamento dei pannelli solari

### 7.6.3 IL SERBATOIO DI ACCUMULO

Come si è detto, quindi, la pompa di calore, la caldaia e i collettori solari cedono calore a un serbatoio di accumulo coibentato; da esso viene prelevata l'acqua per diverse utenze. I sistemi di accumulo, infatti, possono essere utilizzati sia per il circuito di riscaldamento, che per la produzione di acqua calda. Sono particolarmente consigliati nei casi in cui si necessita una produzione dilazionata di calore o la cui modulazione risulti difficile, come per pompe di calore o impianti solari, come nel caso in oggetto. Un fattore fondamentale è quello dell'isolamento del sistema di accumulo, senza il quale vi sarebbero grandi perdite di energia.

L'accumulo dell'energia termica rende possibile la separazione tra produzione di calore e consegna all'utenza e soprattutto permette lo sfruttamento degli impianti solari termici per tutto l'anno. Inoltre il graduale accumulo del calore utile permette una riduzione della potenza elettrica applicata e evita continue accensioni e spegnimenti del generatore. All'interno del serbatoio l'acqua stratifica a seconda della temperatura e dunque è chiaro che la mandata

per l'acqua calda sanitaria si troverà più in alto, nel serbatoio, rispetto alla mandata per il riscaldamento a pavimento, che funziona a temperature più basse. In Figura 7.8 viene schematizzato il funzionamento di un serbatoio simile a quello in oggetto; nel caso in analisi i generatori di calore sono pannelli solari, caldaia e pompa di calore e le utenze sono acqua calda sanitaria e riscaldamento a pavimento.

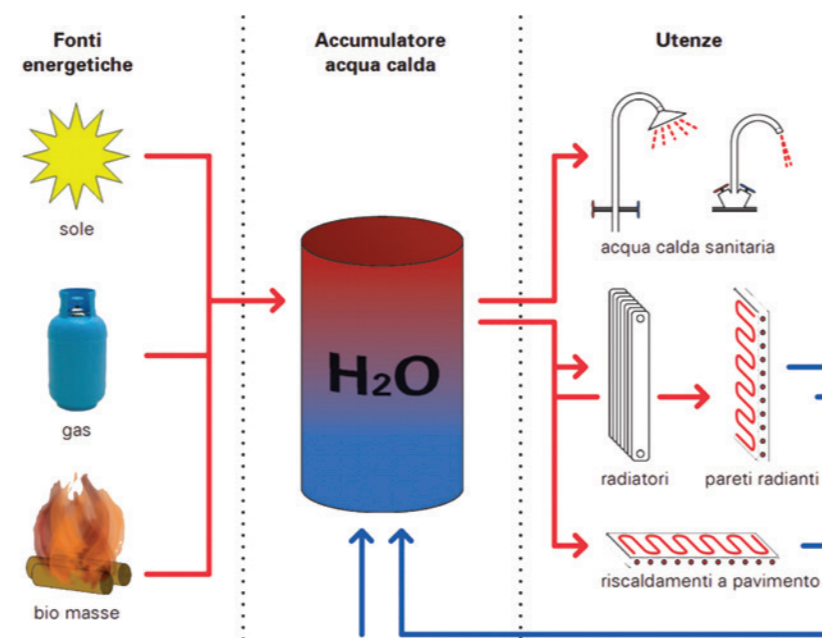


Figura 7.57 Funzionamento del serbatoio di accumulo

### 7.6.4 LE UTENZE: ACQUA CALDA SANITARIA E RISCALDAMENTO A PAVIMENTO

L'impianto idrosanitario provvede a fornire acqua calda sanitaria all'utenza. Una palestra rappresenta un caso particolare, in quanto vi sono molti utenti e circa ogni due ore vengono effettuate le docce, contemporaneamente. L'impianto deve quindi contare su tempi di preriscaldamento brevi e altrettanto brevi tempi di erogazione, con portate molto elevate. Per questo motivo si ricorre a un serbatoio di accumulo. L'approvvigionamento avviene tramite acquedotto pubblico, che, tramite le tubazioni, riempie il serbatoio di accumulo coibentato, garantendo che esso risulti sempre pieno.

L'acqua calda accumulata nel serbatoio viene miscelata con l'acqua fredda per raggiungere la temperatura di distribuzione voluta. Per esempio all'erogazione delle docce, la temperatura di utilizzazione deve essere compresa tra i 37°C e i 40°C. Le tubazioni che permettono la distribuzione di acqua, sia calda che fredda, devono essere correttamente isolate: le tubazioni di acqua calda non devono infatti disperdere calore durante la distribuzione e in quelle

di acqua fredda l'isolamento è necessario per limitare il riscaldamento dell'acqua utilizzata per uso potabile e per evitare la condensa sulle tubazioni. Dovranno inoltre essere predisposti degli ancoraggi per sostenere le tubazioni ed evitare rumorosità per vibrazioni.

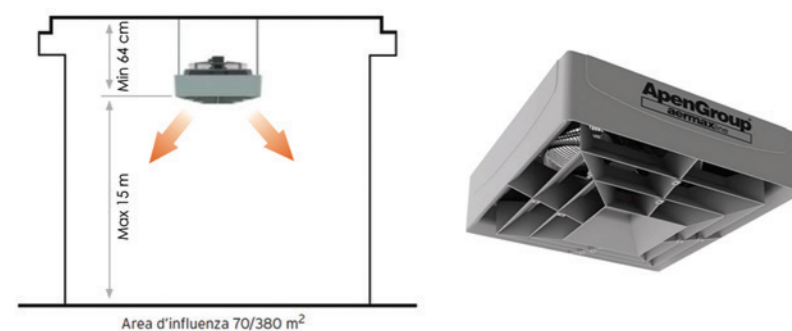
Il riscaldamento a pavimento, invece, è stato scelto perchè funziona a bassa temperatura, garantendo ottime prestazioni sia dal punto di vista sia energetico, che del comfort, a condizione che l'impianto sia dotato di una sufficiente coibentazione termica.

Un'altra accortezza da utilizzare è quella di porre particolare attenzione nella scelta dei materiali di finitura che devono essere facilmente mantenuti puliti, al fine di evitare il sollevamento di polveri fini.

Le serpentine a pavimento che costituiscono questo impianto sono tubazioni di piccolo diametro, in acciaio o resine plastiche, annegate nel massetto della pavimentazione creando un vero e proprio radiatore esteso all'intero ambiente.

Tale sistema ha il vantaggio di ottenere la temperatura richiesta nella zona in oggetto: essendo una palestra il comfort ambientale è massimo, poichè alcune attività si svolgono a terra, quindi vicino alla fonte di calore.

Se però si utilizzasse solo questo sistema si verrebbero a creare problemi di stratificazione verticale delle temperature. Una delle prime analisi, infatti, è stata quella riguardante le temperature interne e la loro stratificazione nel paragrafo "7.4.3 Ottimizzazione della temperatura interna" a pagina 271. Si prevede quindi di utilizzare dei destratificatori d'aria grazie ai quali l'aria calda, che tende a rimanere nelle zone alte degli ambienti riscaldati, viene aspirata dal ventilatore assiale montato sul destratificatore e spinta verso il basso nelle zone in cui vi è presenza di persone. Uno schema esemplificativo è rappresentato in Figura 7.9. L'impianto idrosanitario comprende però anche l'acqua necessaria per l'impianto antincendio,



**Figura 7.58** Schema e fotografia di un destratificatore

l'innaffiamento, il raffreddamento delle UTA e della pompa di calore e gli scarichi dei WC. Per tali usi l'acqua può avere caratteristiche diverse da quella utilizzata per usi sanitari e può non possedere il requisito della potabilità. Possono pertanto essere utilizzate acque provenienti dalla falda o dall'accumulo delle acque piovane. L'impianto antincendio, ad esempio, è costituito da una rete autonoma di tubazioni che alimentano le prese antincendio, gli attacchi per le autopompe e gli impianti di spegnimento automatico. L'impianto di innaffiamento, invece, comprende l'impianto per l'irrigazione del campo da gioco all'aperto ed è composto da erogatori fissi o mobili. La rete di allontanamento delle acque meteoriche comprende l'acqua raccolta dalle coperture degli edifici e quella raccolta dalle superfici esterne. Tutte le imboccature dei pluviali sono munite di griglie ferma foglie e devono essere di dimensioni abbondanti (i pluviali sono stati dimensionati in base alla superficie della copertura e hanno un diametro di 200 mm). Alla base dei pluviali vengono realizzati dei pozzetti ispezionabili, collegati alle condutture di allontanamento delle acque.

### 7.6.5 L'IMPIANTO DI TERMOVENTILAZIONE

L'impianto di termoventilazione utilizza l'aria per riscaldare, raffrescare e contemporaneamente ventilare i locali. È necessario prevedere, insieme ad esso, degli opportuni sistemi di regolazione per consentire un accettabile controllo dell'umidità relativa. Questo tipo di impianto è particolarmente adatto per grandi ambienti e quindi è stato scelto per la palestra oggetto di studio. Il riscaldamento a pavimento di cui si è parlato prima non è infatti sufficiente a garantire una temperatura interna confortevole, infatti ha un ruolo di mantenimento della temperatura interna. Per questo motivo, anche per il riscaldamento, verrà utilizzato un impianto ad aria in parallelo alle serpentine a pavimento. L'aumento della temperatura e della umidità relativa sono la diretta conseguenza dell'emissione di calore e di vapore acqueo da parte dei soggetti praticanti l'attività fisica. Soprattutto nelle palestre, dove a volte ci sono spazi ristretti dove viene praticata una attività molto intensa è necessario un corrispondente ricambio d'aria per mantenere l'ambiente in condizioni climatiche tali da garantirne una termoregolazione efficiente.

Spesso questi ricambi d'aria non possono essere garantiti dalla sola ventilazione naturale, e dunque è necessario progettare un sistema di ventilazione adeguato, in grado di garantire una climatizzazione uniforme e costante e dotato di un sistema di filtraggio utile ad abbattere gli effetti dell'inquinamento. Dunque l'impianto ad aria ha un ruolo fondamentale in un edificio come la palestra, infatti riscalda, raffredda, deumidifica e provvede a garantire i ricambi d'aria necessari. Lo schema fondamentale dell'impianto è costituito da una presa d'aria esterna dalla quale viene aspirata dell'aria che, tramite condotte, viene inviata nell'unità di termoventilazione, dove viene filtrata, riscaldata, umidificata e inviata nei locali da ventilare e riscaldare. L'aria viene immessa nei locali di utilizzo tramite apposite bocchette con alette orientabili che la diffondono uniformemente nel locale, controllando velocità e direzione. Altre bocchette collegate alla rete di ripresa sottraggono l'aria viziata dall'ambiente. L'aria ripresa è in parte miscelata con quella proveniente dall'esterno e nuovamente immessa nell'unità di trattamento dell'aria. La parte non utilizzata per il ricircolo è espulsa dopo essere passata attraverso uno



scambiatore per preriscaldare l'aria in immissione, consentendo di recuperare, almeno in parte, il calore. L'unità di trattamento dell'aria, come si vede in Figura 7.10, contiene anche una batteria di raffreddamento e di umidificazione per il controllo estivo della temperatura e dell'umidità relativa dell'aria. Una sonda presente all'interno dei locali è inoltre in grado

di rilevare la qualità dell'aria appena rileva valori superiori ai limiti di anidride carbonica o formaldeide, la sonda invia un segnale che fa aprire le finestre, in modo che venga attivata la ventilazione naturale; nel caso in cui essa non fosse sufficiente a garantire i ricambi d'aria richiesti, essi saranno assicurati dal sistema di ventilazione meccanizzato.

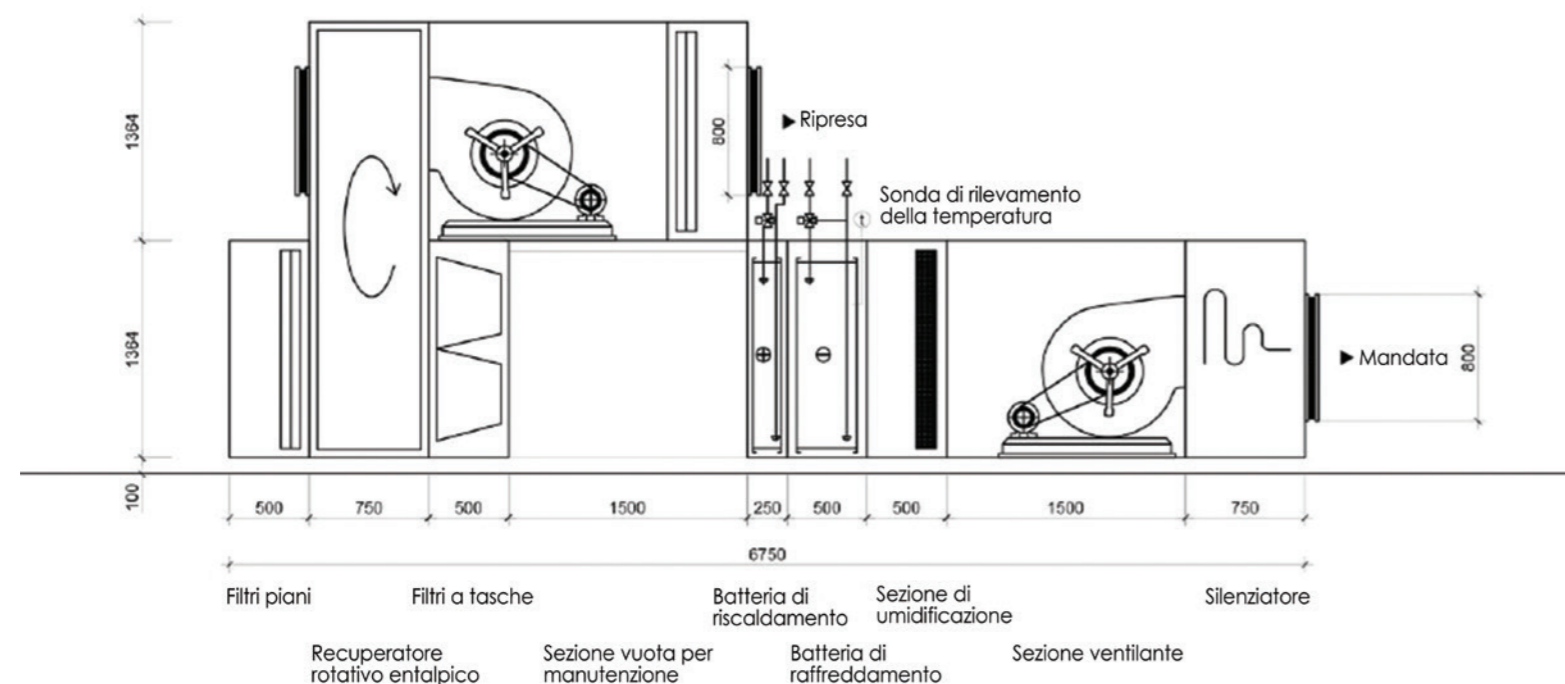


Figura 7.59 Schema di una unità di trattamento dell'aria

### 7.6.6 L'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

La corrente elettrica rappresenta, dal punto di vista fisico, l'energia più pregiata di cui l'uomo dispone, poichè può essere facilmente trasformata in ogni altra forma di energia. La molteplicità delle sue applicazioni la rende assolutamente indispensabile in ogni campo di attività, soprattutto nel funzionamento degli edifici.

Uno dei metodi possibili per produrla è attraverso un impianto fotovoltaico. Il termine "fotovoltaico" indica il processo di generazione di energia elettrica quando questa è ottenuta direttamente dalla luce solare. La generazione di corrente fotovoltaica si basa sul trasferimento dell'energia dei fotoni della luce solare agli elettroni contenuti nel materiale semiconduttore; quest'ultimo, molto spesso, è il silicio, poichè le celle fotovoltaiche di questo materiale hanno un rendimento più alto rispetto agli altri materiali. Le celle vengono collegate in serie o in parallelo ed è sempre previsto un invertitore, che trasforma la corrente continua prodotta in corrente alternata, usata convenzionalmente.

Al contrario di quanto avviene per il solare termico, anche il minimo ombreggiamento delle celle solari può comportare una rilevante riduzione del guadagno

energetico, quindi è necessario studiare al meglio la disposizione di tali moduli. Come anticipato già per il solare termico, però, il Dlgs n° 28 del 3/03/2011 obbliga a posizionare i pannelli seguendo l'andamento della copertura, dunque essi dovranno essere posizionati orizzontalmente, poichè verranno posti sulla copertura delle aule scolastiche. Sicuramente il rendimento sarà un po' inferiore, ma se si considera la latitudine di Bosisio Parini e il reciproco ombreggiamento dei vari pannelli, si scopre che essi andrebbero posti a una notevole distanza tra loro; in questo modo, invece, sarà possibile ottimizzare la superficie disponibile, massimizzando anche la quantità di energia totale prodotta.



Figura 7.60 Esempio di fotovoltaico su copertura piana

Utilizzando il programma PVGIS è stato calcolato il numero di pannelli necessari a coprire il fabbisogno di energia elettrica. Tale fabbisogno, dai calcoli precedenti, per il CASO 1, ovvero quello scelto, è di 25'000 KW elettrici. Nel programma vengono inseriti i seguenti dati:

- il paese dove è ubicato l'edificio, Bosisio Parini, che si trova a una quota di 286 m slm e ad una latitudine di 45°48' Nord e 9° 17' Est;
- la tecnologia di fotovoltaico, ovvero silicio cristallino;
- una stima di perdite causata da temperatura e irradianza bassa dell'11,6% calcolata usando la temperatura esterna locale;
- una stima di perdite causata da effetti di riflessione pari al 3,9%;
- altre perdite causate da cavi, inverter del 14%;
- la posizione dei pannelli, integrati nell'edificio;
- l'inclinazione dei pannelli, pari a 0°;
- la potenza di picco installata, ovvero 25 KWp;

I risultati che si ottengono sono i seguenti:

MESE	PRODUZIONE ELETTRICA MEDIA GIORNALIERA [KWH]	PRODUZIONE ELETTRICA MEDIA MENSILE [KWH]
Gennaio	26,90	832
Febbraio	46,80	1310
Marzo	73,40	2270
Aprile	86,30	2590
Maggio	105,00	3260
Giugno	115,00	3450
Luglio	120,00	3730
Agosto	102,00	3150
Settembre	77,40	2320
Ottobre	47,60	1480
Novembre	28,00	841
Dicembre	21,40	665
MEDIA ANNUALE	71,00	2160
TOT PER 1 ANNO	25'900 KWh	

Dalla tabella si nota che il valore finale annuale di 25'900 KWh è sufficiente a coprire il fabbisogno elettrico calcolato precedentemente. Da scheda tecnica, ogni pannello fotovoltaico ha una potenza nominale di 260 Wp, dunque si ottiene che sono necessari 96 pannelli per coprire il fabbisogno elettrico e un'area di 155 m<sup>2</sup>.

### 7.6.6.1 Dimensionamento

A questo punto si procede con dei calcoli preliminari che possano dare un'idea delle dimensioni e della potenza degli elementi sopra descritti.

Una prima analisi si basa sul calcolo del fabbisogno, calcolato in modo statico, per trovare la potenza della pompa di calore. Tale potenza è quella necessaria per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti, e si ipotizza invece che l'acqua calda sanitaria venga prodotta in parte dalla pompa di calore e in parte dalla caldaia, coadiuvata dal serbatoio di accumulo. Il fabbisogno termico invernale va calcolato come somma dei fabbisogni dei singoli ambienti considerando condizioni di regime.

La temperatura esterna da utilizzare per il loro calcolo è da normativa di -5°C; la temperatura interna è invece di 20°C. Il procedimento di calcolo del fabbisogno invernale ha inizio dalla seguente formula:

$$Q_t = Q_r + Q_v$$

Q<sub>t</sub> è la dispersione termica per trasmissione, data da:

$$Q_t = Q_r + Q_p$$

Dove Q<sub>r</sub> è la dispersione termica attraverso le superfici dell'involucro e Q<sub>p</sub> sono le dispersioni che si hanno in

corrispondenza di eventuali ponti termici. Questi due contributi derivano dalle seguenti formule:

$$Q_r = \sum (U \times S \times \Delta T)$$

$$Q_p = \sum (\Psi_e \times L \times \Delta T)$$

Dove U è la trasmittanza del pacchetto in W/m<sup>2</sup>K, S la superficie disperdente in m<sup>2</sup>, L la lunghezza del ponte termico, Ψ<sub>e</sub> il coefficiente lineare di ponte termico e ΔT la differenza di temperatura tra i due lati del pacchetto.

Q<sub>v</sub>, invece è la dispersione termica per ventilazione, che corrisponde all'energia dissipata a causa dell'apertura delle finestre o per infiltrazioni.

$$Q_v = V \times 0,3 \times C \times \Delta T$$

Dove V rappresenta il volume d'aria presente nell'ambiente (pari al volume stesso dell'ambiente) in m<sup>3</sup>, C il calore specifico dell'aria espresso in Wh/m<sup>3</sup>°C e ΔT la differenza tra la temperatura interna e quella esterna; il risultato ottenuto sarà espresso in W.

Nel caso specifico dell'edificio in oggetto l'unico contributo di cui tenere conto è quello legato alle dispersioni per trasmissione dell'involucro edilizio. Infatti, poiché è stato previsto un isolamento dell'intero involucro, si ipotizza che non siano presenti ponti termici

in corrispondenza dei nodi.

E' inoltre prevista una ventilazione di tipo meccanico, che unita alla tenuta all'aria degli infissi garantita dal produttore, consente di eliminare l'ipotesi di dissipazione per ventilazione.

Per il calcolo per il fabbisogno termico estivo la temperatura interna di progetto da mantenere nei diversi ambienti viene fissata a 26°C.

Tuttavia, oltre alle condizioni esterne di temperatura, influiscono sul fabbisogno termico estivo anche gli apporti solari diretti e i carichi interni, dovuti alla presenza di persone e apparecchiature elettriche, che surriscaldano l'ambiente. Inoltre, il calore prodotto dalle persone è di due tipologie differenti: sensibile e latente.

Il calore sensibile è quello scambiato per convezione e irraggiamento che agisce quindi direttamente sulla temperatura; il calore latente invece è quello dovuto alla cessione di vapore acqueo.

La quantità di calore sensibile e latente ceduto dal corpo umano varia con la temperatura e a seconda dell'attività svolta. In conclusione dunque il fabbisogno termico estivo del locale va calcolato lasciando

separate le componenti di sensibile e latente. Queste due componenti vanno calcolate secondo le seguenti formule:

$$Q_e \text{ sens} = Q_{ir} + Q_t + Q_v + Q_c \text{ sens}$$

$$Q_e \text{ lat} = Q_c \text{ lat}$$

Nel calcolo di queste due componenti di calore è necessario individuare l'ora e il giorno in cui il loro valore è massimo, cioè quando l'ambiente è più affollato e riceve un forte irraggiamento solare: alle ore 12:00.

Tra le componenti del calore sensibile, quella con un apporto maggiore è solitamente l'irraggiamento solare ed è necessario trovare il giorno e l'ora in cui gli apporti solari sono massimi, e in cui probabilmente sarà massimo anche il fabbisogno termico estivo.

Gli apporti solari si possono calcolare con la seguente formula:

$$Q_{ir} = S_v \times I \times C$$

Dove  $S_v$  indica l'area in m<sup>2</sup> della superficie finestrata, I la potenza massima incidente sull'unità di superficie (W/m<sup>2</sup>), C un fattore di correzione dovuto al tipo di vetro o alla presenza di schermature.

Per il calcolo si prendono in considerazione i valori corrispondenti alla latitudine di 45°N nel mese di

Giugno alle ore critiche.

La seconda componente del calore sensibile  $Q_r$ , è l'apporto di calore attraverso l'involucro per trasmissione e va calcolata con la formula:

$$Q_t = Q_r + Q_p = \sum (U \times S \times \Delta T_e) + \sum (\Psi_e \times L \times \Delta T_e)$$

La formula da utilizzare è simile a quella utilizzata per il fabbisogno invernale, ma con  $\Delta T_e$  equivalente, che considera anche la presenza del sole: in estate la superficie esterna del muro non ha una temperatura pari a quella dell'aria ma, essendo esposta al sole, ha una temperatura maggiore, dovuta all'irraggiamento. I valori di  $\Delta T_e$  sono tabulati e variano a seconda dell'orario e dell'orientamento della superficie.

Ultima componente da dimensionare è  $Q_c \text{ sens}$ , che rappresenta i carichi interni di calore sensibile. Vengono considerati come carichi interni solamente quelli che producono calore per un periodo di tempo abbastanza lungo perchè possa influire sulla temperatura.

Oltre alle persone vanno considerate eventuali apparecchiature che producono calore, come apparecchi illuminanti, o apparecchiature elettriche. Nello specifico è stato considerato per le persone un

apporto di 60 W/persona, per gli apparecchi luminosi di 18 W/m<sup>2</sup> e per gli altri tipi di apparecchiature elettriche di 8 W/m<sup>2</sup>.

Questi valori sono stati poi moltiplicati rispettivamente per il numero di persone e per la superficie dell'unità considerata, ed infine sommati l'uno con l'altro. Per garantire un margine di sicurezza, il valore complessivo di calore sensibile è stato aumentato del 5,5%.

Il calore latente  $Q_c \text{ lat}$  tiene conto delle sole persone all'interno dell'ambiente e viene calcolato in modo analogo al  $Q_c \text{ sens}$ .

Cambiano i valori di calore sensibile unitario: in questo caso si hanno 55 W/persona.

I calcoli e i risultati sono riassunti nelle seguenti tabelle:

Fabbisogno invernale:

TRASMISSIONI DI CALORE		Orientamento	Trasmittanza termica	$\Delta T$	Coeff di esposizione	Superficie	$Q_i$	Totale parziale [W]
	CV_02	Sud	0,337	25	1	243	2047,27	20451,443
	CV_04	Sud	0,224	25	1	27,5	154	
	CV_04	Nord	0,224	25	1,2	139	934,08	
	CO_01	-	0,180	10	1	727	1308,6	
	CO_02	-	0,210	25	1	816	4284	
	CO_03	-	0,259	25	1,2	129	1002,33	
	Serramenti	Sud	1,4	25	1	82,15	2875,39	
	Serramenti	Nord	1,4	25	1,2	148,08	6219,528	
Serramenti tetto	-	1,4	25	1	46,46	1626,24		

Fabbisogno estivo:

TRASMISSIONI DI CALORE		Orientamento	Trasmittanza termica	$\Delta T$ equivalente	Coeff di esposizione	Superficie	Q sensibile	Totale parziale [W]
	CV_02	Sud	0,337	1,9	1	243	155,59	3908,370
	CV_04	Sud	0,224	1,9	1	27,5	11,70	
	CV_04	Nord	0,224	0,8	1,2	139	24,91	
	CO_01	-	0,180	0	1	727	0	
	CO_02	-	0,210	8,5	1	816	1456,56	
	CO_03	-	0,259	8,5	1,2	129	283,99	
	Serramenti	Sud	1,4	8,5	1	82,15	977,63	
	Serramenti	Nord	1,4	4,5	1,2	148,08	932,93	
Serramenti tetto	-	1,4	1	1	46,46	65,05		

RADIAZIONE SOLARE		Orientamento	Radiazione solare mensile	$F_{cr1}$	$F_{cr2}$	Superficie	Q sensibile	Totale parziale [W]
	Serramenti	Sud	237	0,17	0,9	82,15	2978,99	3839,95
		Orizzontale	601	0,17	0,9	0	0	
		Nord	38	0,17	0,9	111,99	651,08	
Nord	38	0,17	0,9	36,10	209,87			

CARICHI INTERNI			Superficie locale	Apporto per m <sup>2</sup>		Q sensibile	Totale parziale [W]	
	Luci		856	10		8560	8560	
	Apparecchi elettrici		856	0		0		
		Orario di punta	Numero di persone	Apporto [W/persona]	Coeff. di portata d'aria	Q latente	Q sensibile	Totale parziale [W]
	Campo da gioco	12:00	30	185	20	10200	5550	Latente: 17850
12:00		30	340					
Spalti	12:00	30	120	20	7650	3600	Sensibile: 9150	
	12:00	30	255					

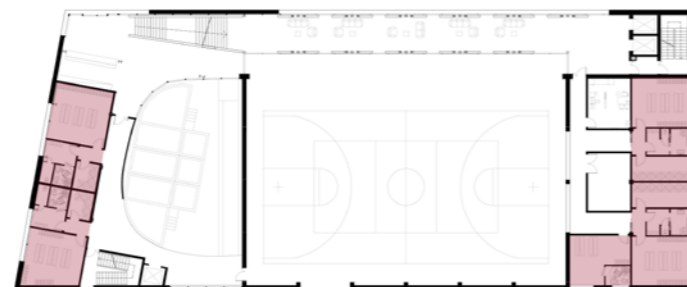
**FABBISOGNO TOTALE [KW]**

Invernale	20,45
Estivo	43,31
Totale	63,76

Tabella 7.18 Calcolo del fabbisogno per il riscaldamento e il raffrescamento, calcolato in modo statico

A questo punto viene considerata anche l'acqua calda sanitaria. Osservando il piano terra dell'edificio, come si vede in 7.4.3, si notano le due aree destinate a spogliatoi, quindi quelle in cui verrà richiesta molta acqua calda. Da un calcolo riguardante tutti gli apparecchi sanitari dell'edificio si evince che sono presenti: 23 docce e 12 lavabo. Il dato veramente importante, però, è il numero di persone che li utilizza: basandosi sul dimensionamento iniziale degli spogliatoi, eseguito in fase di progettazione, si ricava che il numero di atleti che contemporaneamente possono occupare gli spogliatoi è 65 e si suppone che ogni seduta di allenamento duri almeno un'ora, dunque sarà necessario calcolare i litri d'acqua da produrre ogni ora. Dalle normative riguardanti l'acqua calda sanitaria, come la UNI 9182 si ricava che ogni doccia consuma 40 litri di acqua calda sanitaria a 50°C e che ogni lavabo consuma 10 litri. La formula che viene utilizzata è la seguente:

$$\frac{(40 \text{ litri} * 65 \text{ docce}) + (12 \text{ litri} * 20 \text{ lavabo})}{1 \text{ ora}} = 2'840 \frac{\text{litri}}{\text{ora}}$$



**Figura 7.61** Pianta piano terra con evidenziati gli spogliatoi

Ciò che si ottiene è espresso in litri/ora ed è la capacità minima del serbatoio di accumulo.

Per capire la potenza del generatore che deve produrre acqua calda si utilizza la formula seguente:

$$\frac{2'840 \text{ litri}}{\text{ora}} * (50^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) * 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg K}} = 115,6 \text{ KW}$$

dove il numero tra parentesi è dato dalla differenza di temperatura tra l'acqua in erogazione nelle docce, quindi quella all'interno del serbatoio di accumulo e l'acqua in entrata dall'acquedotto; infine il terzo termine è il calore specifico dell'acqua.

Facendo alcune considerazioni sulla portata del serbatoio di accumulo, però, si osserva che se l'acqua venisse immagazzinata a una temperatura superiore a 50°C si potrebbero ridurre le dimensioni del serbatoio; inoltre se si ipotizzasse di mantenere, ad esempio, l'acqua a 60°C si potrebbe provocare uno shock termico e evitare problemi come lo sviluppo di legionella.

L'ultima formula viene dunque riscritta usando questa volta come incognita la portata del serbatoio:

$$\frac{X \text{ litri}}{\text{ora}} * (60^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) * 1,163 \frac{\text{Wh}}{\text{kg K}} = 115,6 \text{ KW}$$

$$X = 2'209 \text{ litri/ora}$$

Si osserva che in questo modo, le dimensioni del serbatoio di accumulo, possono essere ridotte quasi di

una volta e mezza rispetto alla dimensione iniziale.

Osservando di nuovo i dati di Tabella 7.18 a pagina 311 si osserva che la pompa di calore è stata dimensionata con una potenza di 45 KW, dati dal fabbisogno per raffreddamento in estate.

Analizzando il caso estivo, dunque, la pompa di calore garantisce raffreddamento, e la caldaia, dimensionata almeno su 120 KW, garantisce acqua calda sanitaria. Per quanto riguarda il caso invernale, invece, la pompa di calore utilizza meno della metà della sua potenza per il riscaldamento, dunque l'altra metà viene utilizzata per produrre acqua calda sanitaria e quindi la caldaia sarà utilizzata in misura inferiore rispetto al caso estivo.

Ovviamente si potevano dimensionare i due elementi in modo che la pompa di calore fosse più grande e garantisse in ogni stagione anche acqua calda sanitaria, oltre che raffreddamento e riscaldamento, ma in caso di mal funzionamento della stessa, la caldaia non sarebbe stata in grado di produrre abbastanza acqua calda per le attività svolte tutti i giorni in palestra, quindi si è deciso di scegliere una caldaia in grado di produrre sempre abbastanza acqua calda.

Considerando poi che i collettori solari, come fonte rinnovabile, contribuiscono ad alzare la temperatura all'interno del serbatoio, è chiaro che la differenza di temperatura non sarà più così elevata come nelle formule sopra espresse.

Nello schema alla pagina seguente si vedono tutti gli elementi che vanno a formare l'impianto della palestra. I disconnettori sono stati posti per dividere idraulicamente i circuiti e mantenere una temperatura inferiore rispetto a quella all'interno del serbatoio di accumulo.

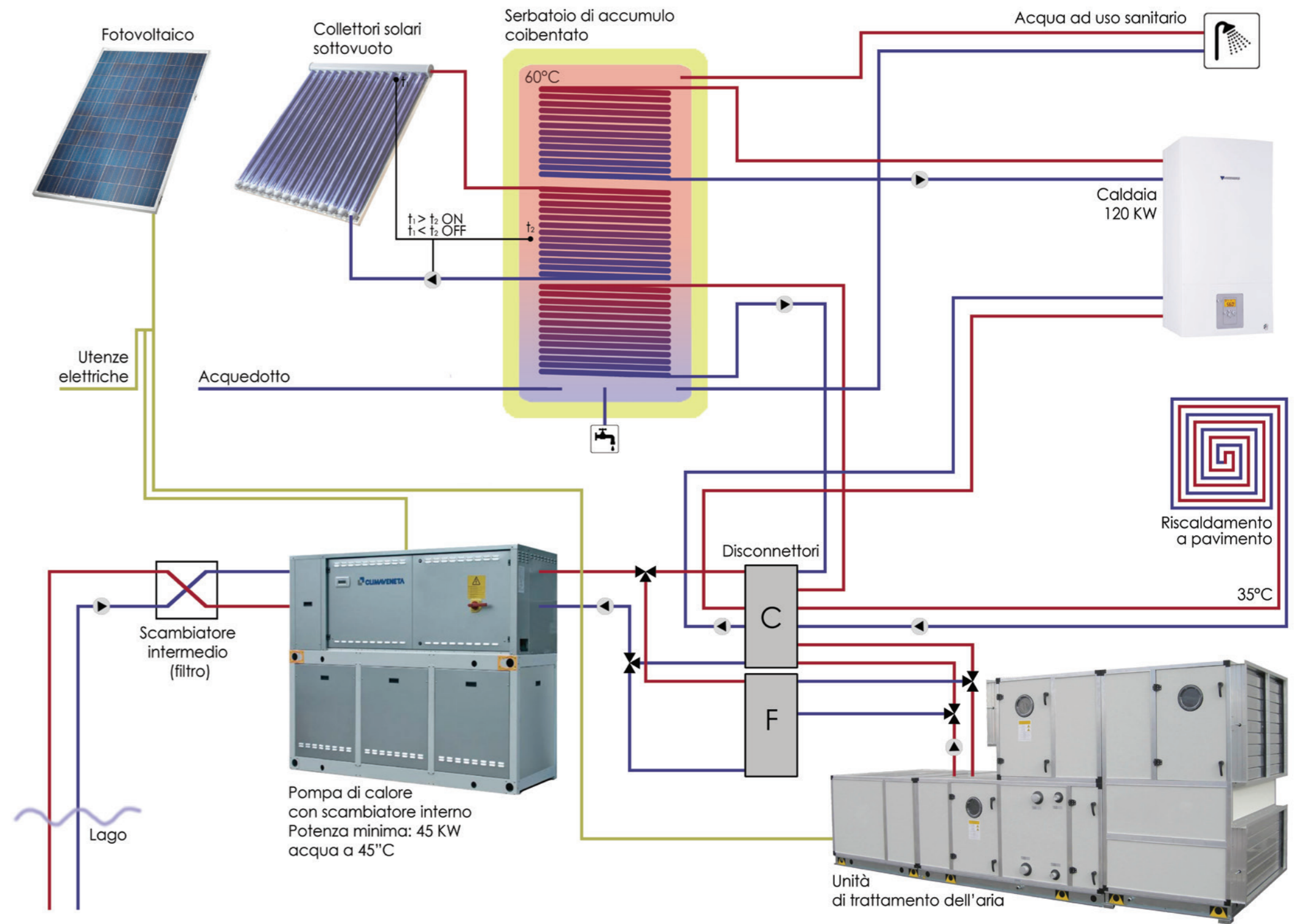
Grazie al serbatoio di accumulo il risparmio energetico è subito visibile, poichè l'acqua non viene prodotta istantaneamente, ma mediante una modulazione e uno spegnimento a tempo, il sistema è in grado di fornire la stessa quantità di calore, ma con elementi meno potenti.

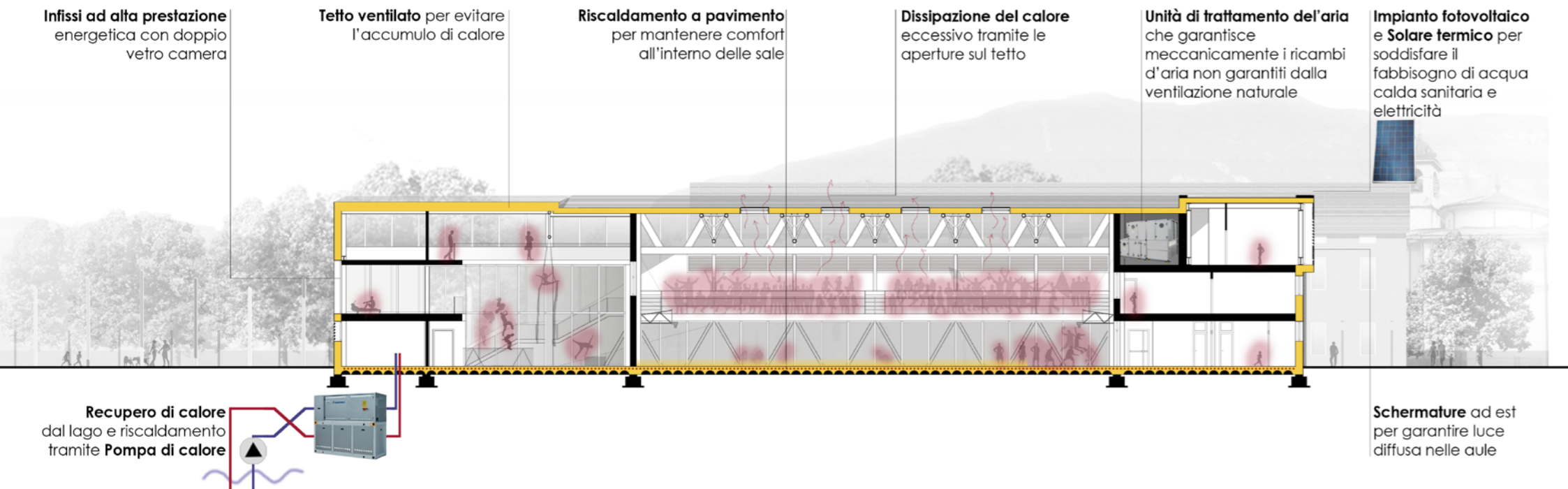
Tutti i sistemi che producono energia rinnovabile e che si notano all'interno dello schema, mostrano che l'edificio ha modificato il suo ruolo da semplice consumatore, diventando parte integrante del sistema di generazione.

Pur avendo trattato una delle tipologie di edificio più

energivora, per quanto riguarda carichi interni, attività svolte e grande quantità di ore di utilizzo dell'edificio, sono comunque stati ottenuti valori bassi di fabbisogno energetico.

A conclusione del capitolo vengono schematizzati il funzionamento impiantistico dell'edificio e lo schematic design, ovvero una graficizzazione di tutte le strategie energetiche di cui si è discusso nel capitolo.





08

08

---

IL PROGETTO STRUTTURALE



## 8.1 INTRODUZIONE

Nel presente capitolo viene analizzata la parte strutturale del progetto, a partire dallo studio della struttura esistente e sulla quale si innesta la nuova edificazione, in un organismo edilizio dove la struttura e l'architettura si fondono perfettamente in un connubio indivisibile. La tecnica diviene forma espressiva e le forme ed i volumi architettonici vengono esaltati dalla forza comunicativa della struttura che viene esposta e messa in primo piano, trovando nella leggerezza dell'acciaio il paradigma dell'interazione tra il nuovo e l'esistente, espresso invece dalla granitica consistenza del calcestruzzo. La ricercatezza compositiva trova piena realizzazione attraverso la simbiosi con gli aspetti tecnico strutturali, pertanto alla progettazione e validazione degli elementi portanti viene imposto un ulteriore vincolo oltre a quelli normativi, dettato dal valore architettonico di cui la struttura è rivestita. Il progetto strutturale è stato dunque sviluppato a partire dall'impostazione generale fino a scendere nel particolare, ponendo particolare accuratezza nello studio delle giunzioni e dei nodi, elementi che contribuiscono fortemente nel donare leggerezza ed

eleganza all'opera intera.

L'approfondimento in esame è stato organizzato fondamentalmente in tre parti: nella prima si introduce l'organizzazione strutturale dell'organismo edilizio e se ne esplicano le caratteristiche principali e le peculiarità; in una seconda fase si approfondisce un tema specifico, ovvero il sistema reticolare di copertura del campo da gioco, attraverso due passaggi principali. In primo luogo viene studiata la geometria della trave reticolare e ne si testa l'efficacia, attraverso la partecipazione al concorso denominato Spaghetti and Structures, per il quale è stato costruito un modello fisico interamente in spaghetti e colla della trave reticolare e lo si è sottoposto a prova di carico a rottura. In tal modo è stato possibile verificare il comportamento della struttura sottoposta ai carichi. Terminato il processo di analisi e validazione della geometria è stato possibile dimensionare gli elementi reali che costituiscono la trave ed i rispettivi collegamenti e giunzioni, seguendo le indicazioni dettate dalla normativa vigente.

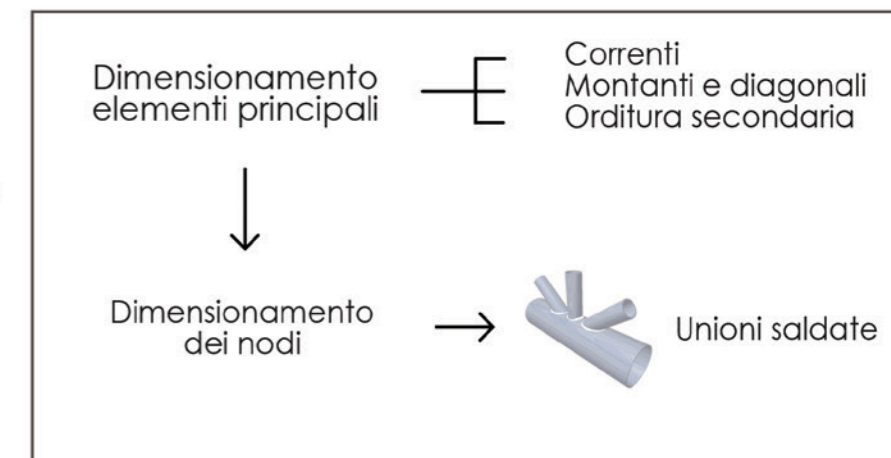
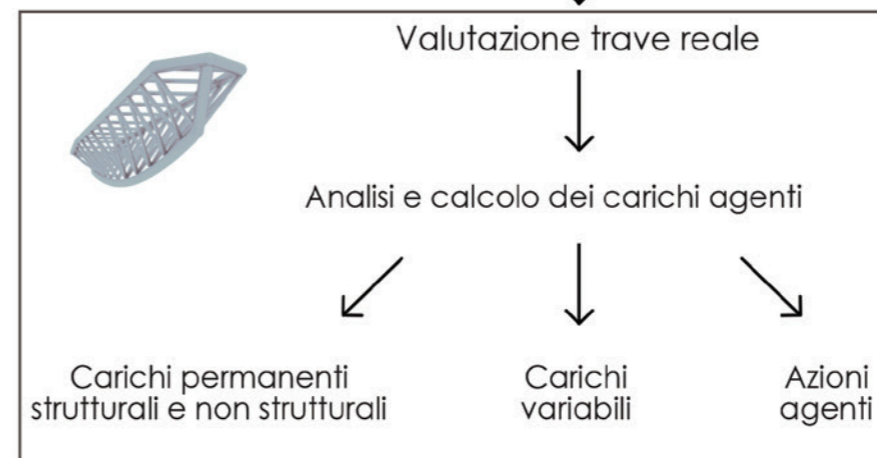
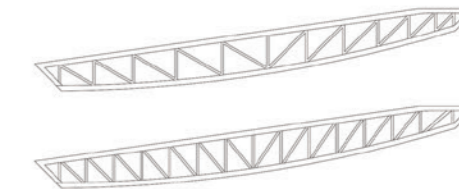
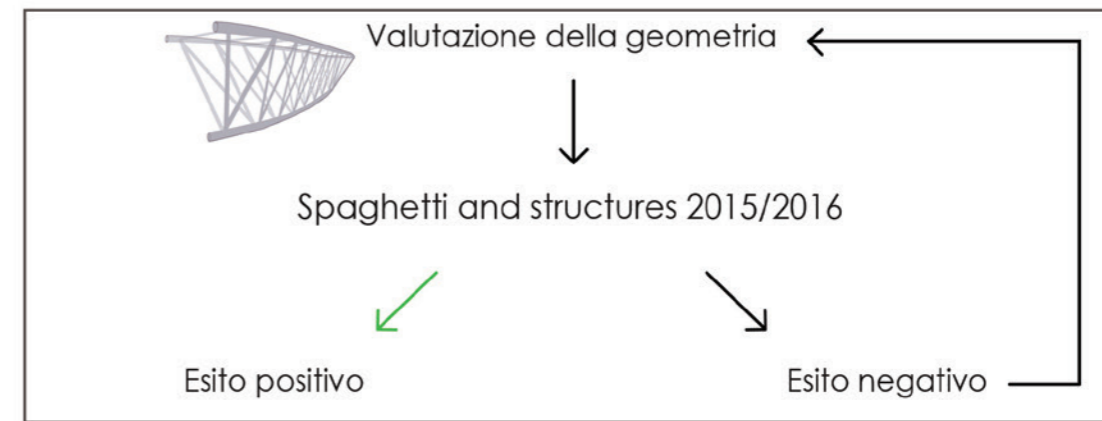
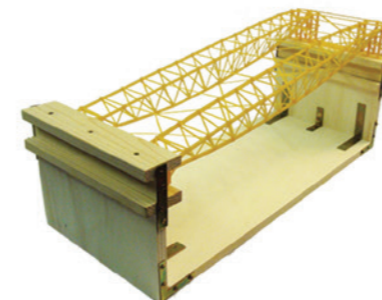
A pagina seguente viene schematizzata l'organizzazione del capitolo strutturale.

## IL PROGETTO STRUTTURALE



Descrizione del progetto strutturale a livello globale

Tema di approfondimento: trave reticola del campo da gioco



## 8.2 IL SISTEMA STRUTTURALE

La destinazione d'uso dell'edificio ha fortemente indirizzato le scelte di carattere strutturale, poiché le gli ambienti di cui palestre e zone fitness necessitano sono caratterizzati da grandi spazi liberi senza muri o pilastri nel mezzo.

L'edificio esistente, nella parte del campo da gioco, era strutturato anch'esso in maniera tale da rispondere a queste esigenze e presentava perciò una struttura in cemento armato gettato in opera a pilastro-colonna, sormontata da una copertura con travi prefabbricate tipo pi greco, sempre in CA, descritte dettagliatamente nel capitolo concernente l'aspetto tecnologico.

La strategia progettuale adottata è stata dunque quella di un grande impiego di travi reticolari in acciaio, che facessero da contraltare alle parti esistenti in cemento armato e rendessero chiaramente riconoscibile l'intervento. In particolare sono state adottate principalmente travi reticolari di tipo Pratt e di tipo Warren, realizzate con profili ad H oppure con tubolari.

**Figura 8.1** A pagina seguente: piante strutturali esistenti.  
In alto: piano terra; in basso: piano primo

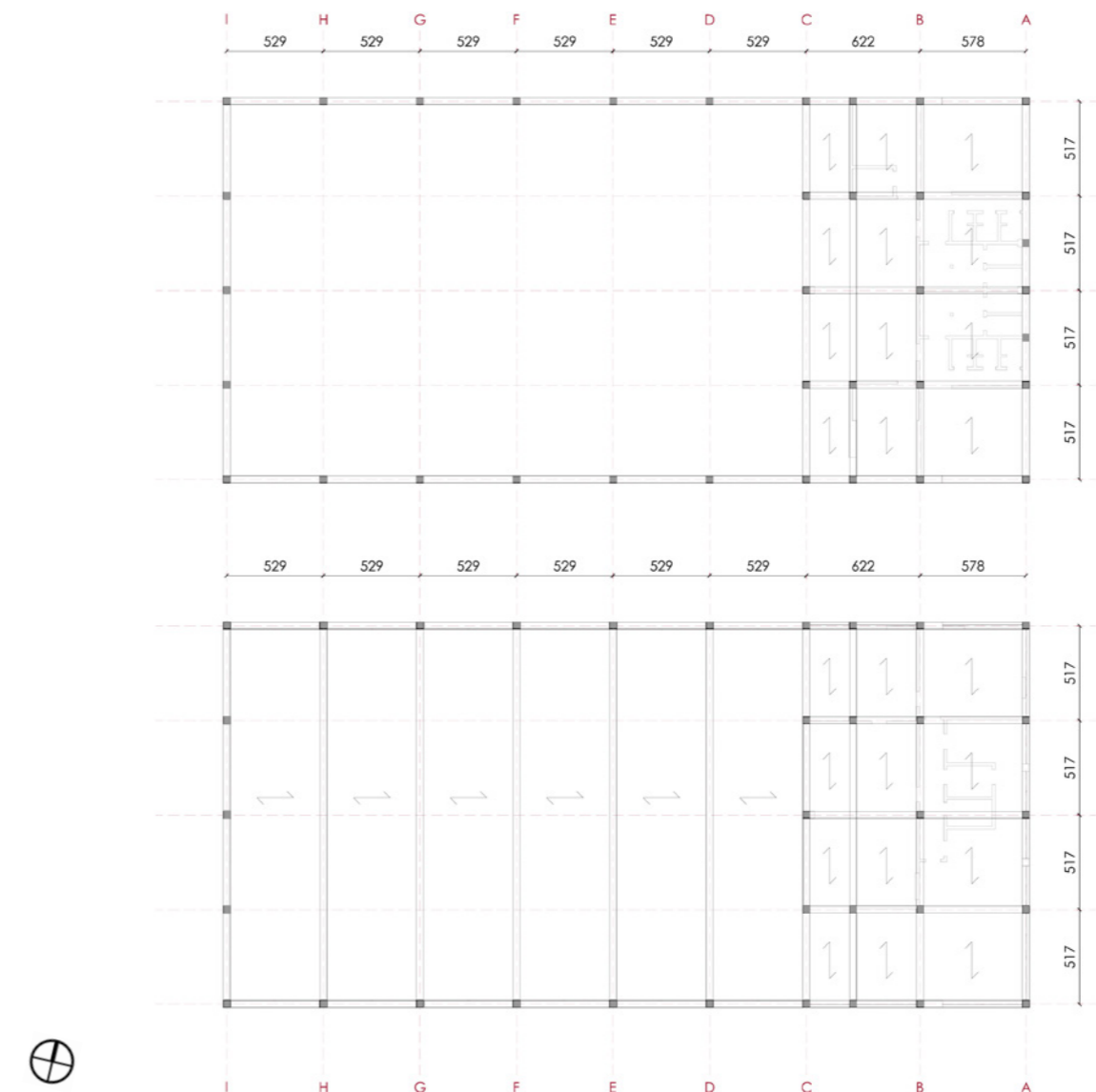
### 8.2.1 LO STRUTTURALE DELLA PALESTRA ESISTENTE

La palestra esistente è divisa in due blocchi: il primo è quello del campo da gioco, caratterizzato da una struttura travi-pilastri in CA gettato in opera. La copertura di questa parte è costituita da travi di tipo pi greco prefabbricate, sempre in CA, unite tra loro da delle coppelle nervate. Il sistema prefabbricato è stato prodotto dalla Magnetti e prende il nome di Larco System; questa tipologia di copertura permette di coprire la grande luce del campo da gioco.

Il secondo blocco, più basso rispetto al primo e con un solaio intermedio, è costituito sempre da una struttura gettata in opera in CA, costituita da pilastri, travi e qualche elemento longitudinale.

La copertura di questo secondo blocco è costituita da un tetto a quattro falde in coppi, sorretto da dei muricci in laterizio.

Lo stato di conservazione delle strutture è buono e non si evince uno stato fessurativo di rilievo. Solamente il sistema strutturale di copertura Larco System, ovvero la parte strutturale più esposta alle intemperie, presenta un degrado più marcato.



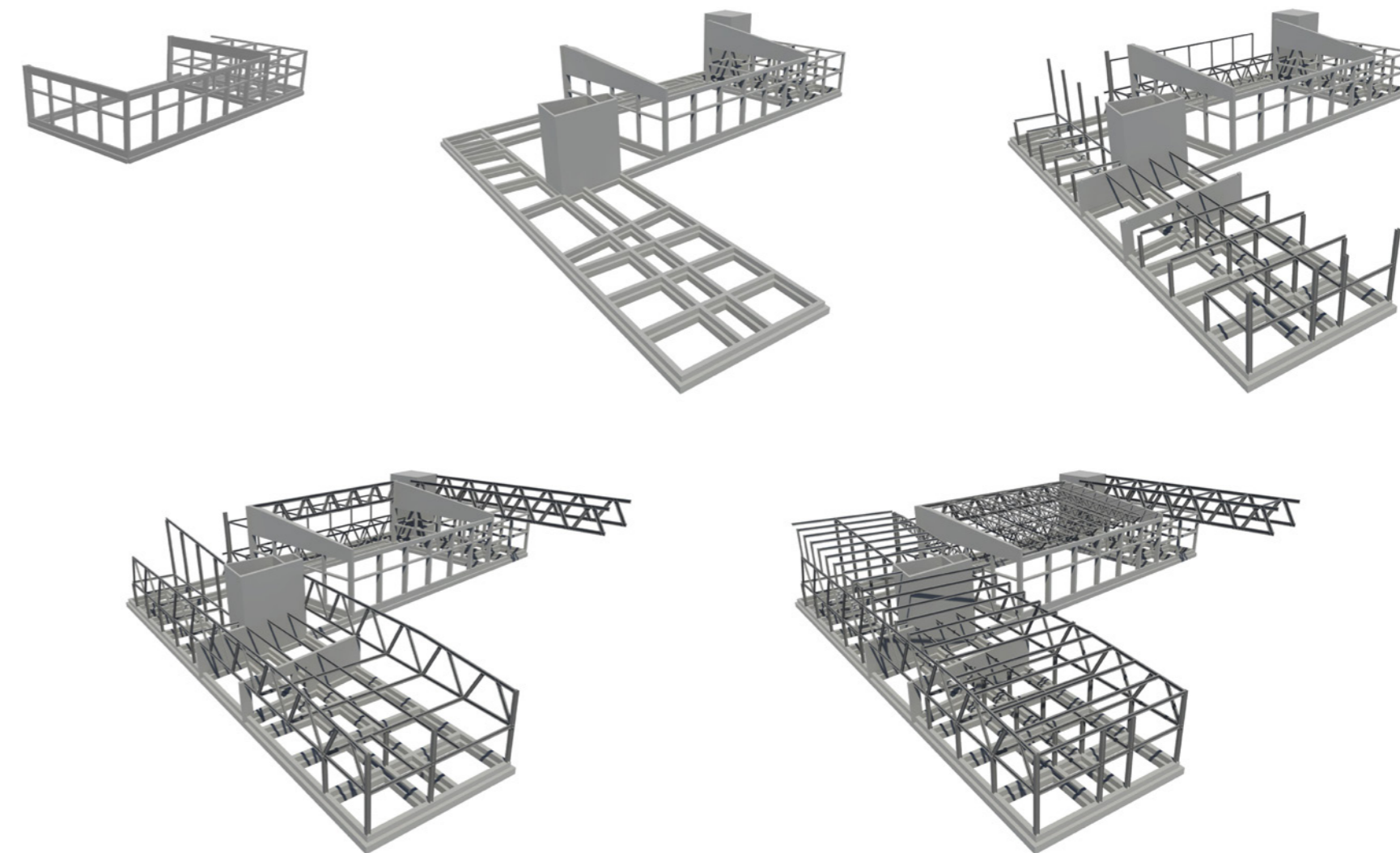
### 8.2.2 IL NUOVO ASSETTO STRUTTURALE

Le nuove necessità legate al potenziamento del polo sportivo hanno portato a cambiamenti importanti anche dal punto di vista strutturale: innanzitutto la rimozione del sistema di copertura del campo da gioco, che non garantiva un'altezza dell'ambiente rispettosa dei parametri normativi per le palestre dove vengono praticati sport con la palla e presentava comunque evidenti segni di degrado. In secondo luogo l'abbattimento dei pilastri e delle travi sul lato Nord dell'edificio, per far posto agli spalti ed evitare ostacoli all'interno del campo visivo.

Con questi interventi insorge il problema della perdita del comportamento scatolare dell'edificio, privato sostanzialmente della copertura e di uno dei quattro lati. Per ovviare a questo problema è stata inserita una trave reticolare di tipo Pratt che collega nuovamente il lato Ovest e quello Est dell'edificio, riportando l'edificio a lavorare come una sezione rettangolare chiusa e non più come un profilo aperto assimilabile a una C. I pilastri di appoggio di questa trave sono stati consolidati ed allargati. Inoltre, da questa trave reticolare si dipartono altre cinque nuove reticolari

spaziali, questa volta di tipo Warren, che sorreggono la copertura e collegano così il lato Nord a quello Sud, riformando la scatola strutturale. Queste nuove travi sono inoltre collegate da elementi controventanti ad X, conferendo alla struttura nuove caratteristiche di resistenza alle azioni orizzontali rispetto alla situazione esistente. La copertura del campo da gioco nel nuovo progetto risulta essere inclinata: questa caratteristica genera delle forze orizzontali sui pilastri della facciata Sud, non contemplate nella situazione esistente. Pertanto questi pilastri sono stati consolidati, allargando la sezione nella direzione della sollecitazione (Nord-Sud), per permettere loro di resistere a questa diversa tipologia di carico.

La parte di nuova edificazione invece prevede una struttura interamente in acciaio, che poggia su travi di fondazione a T rovescia in calcestruzzo armato. La funzione controventante è stata in questo caso attribuita ai nuovi vani scala e a dei setti in CA, che assolvono anche alla funzione di compartimentazione per la sicurezza al fuoco. Le strutture reticolari inoltre, che presentano elementi diagonali, hanno delle capacità resistenti anche in direzione orizzontale.



**Figura 8.2** Sviluppo del sistema strutturale illustrato per passi progressivi, dalla struttura esistente al progetto finito

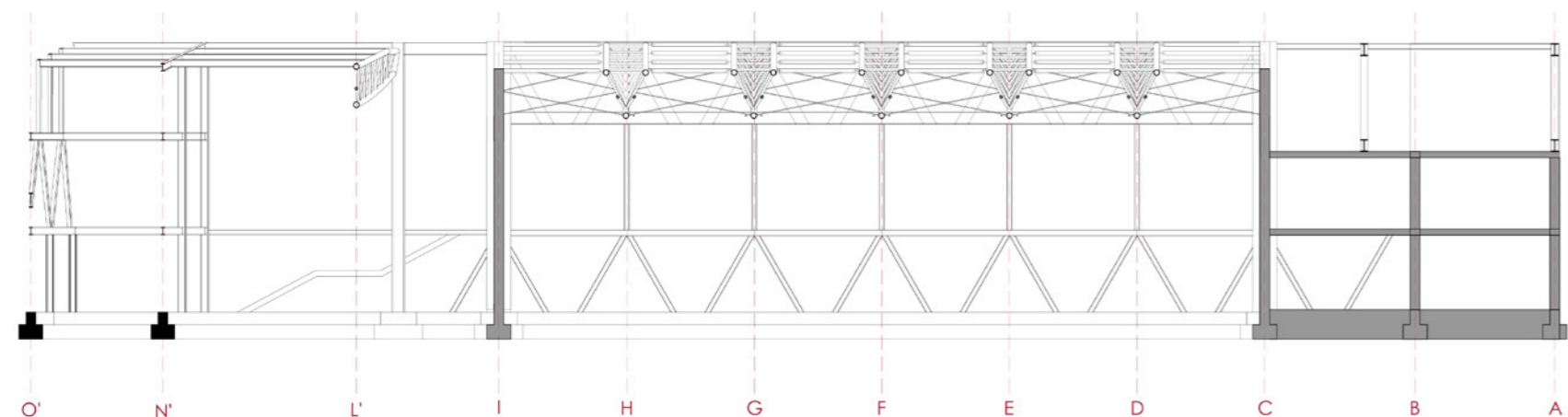
Gli elementi diagonali, che dialogano con le forme spezzate a dell'edificio, caratterizzano fortemente il progetto strutturale e ne costituiscono la cifra stilistica. Questa tipologia di soluzione viene ripresa in tutte le parti del progetto nelle quali vi è la necessità di coprire grandi luci: al di sopra degli spalti e nella copertura del campo da gioco, nel collegamento aereo tra la palestra e la scuola e nella zona fitness al di sopra del passaggio pedonale verso il lago.

A livello planimetrico sono state separate le strutture che costituiscono i due bracci della L allargata che

forma l'edificio (zona fitness-acrobatca e campo da gioco), in maniera da migliorare il comportamento sismico della struttura ed evitare la propagazione non desiderata di azioni ed effetti tra le due parti.

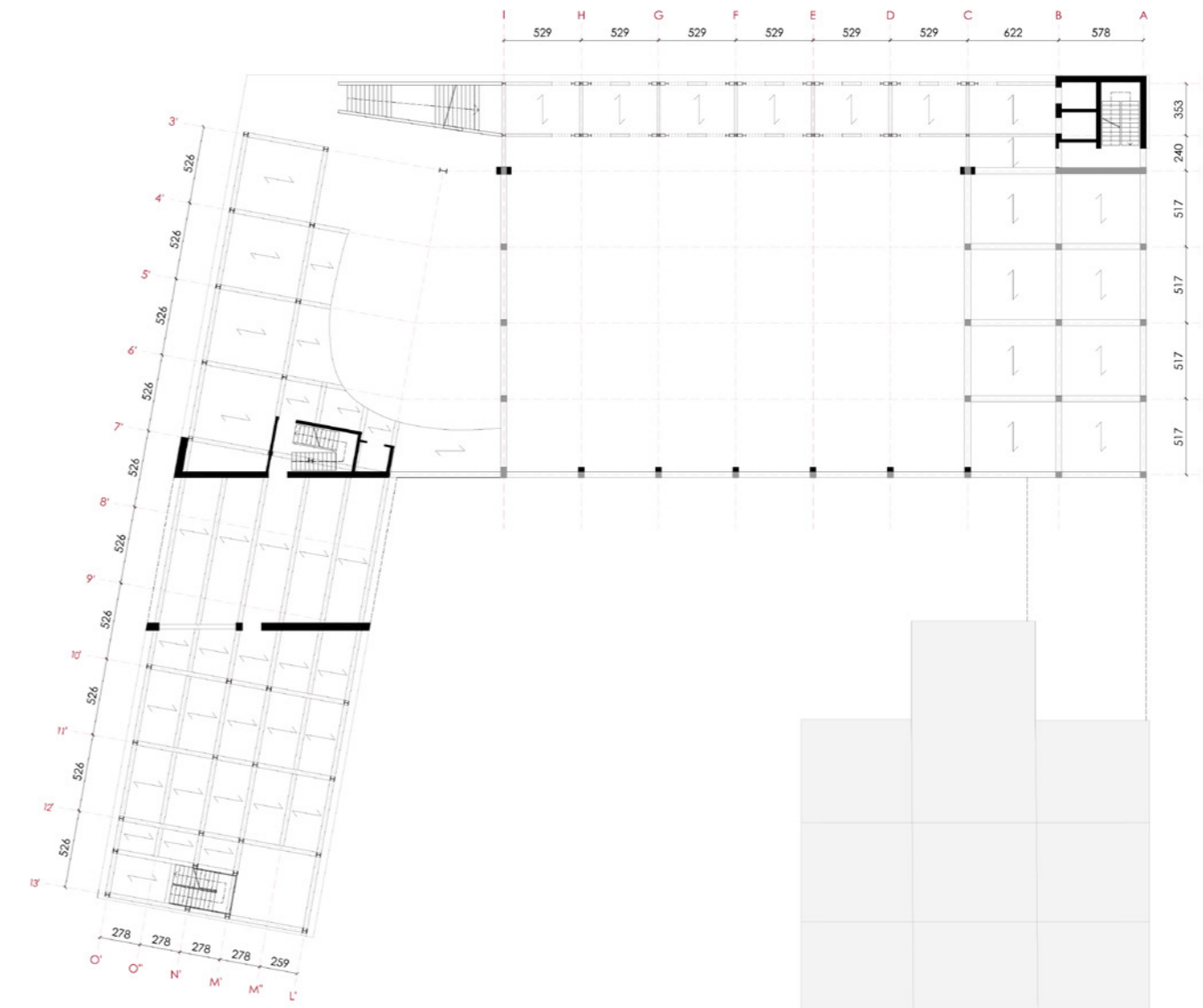
Sono stati inoltre disposti dei vani scala e dei setti in CA con duplice funzione: da un lato questi elementi sono chiamati a svolgere un'azione controventante, dall'altro dividono le diverse compartimentazioni richieste dalla normativa antincendio.

In Figura 8.3 e Figura 8.4 vengono riportate la sezione DD e la pianta strutturale del piano terra.



**Figura 8.3** Sopra: Sezione strutturale DD. La campitura grigia indica strutture esistenti, quella nera la nuova costruzione

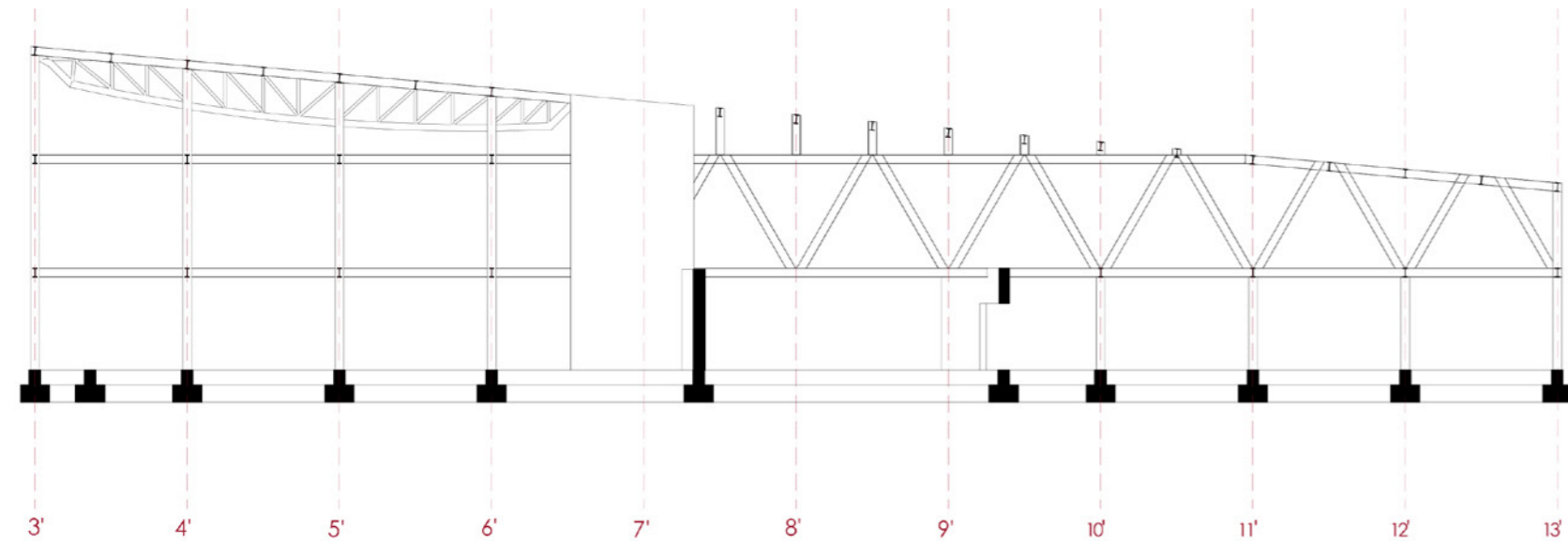
**Figura 8.4** A pagina seguente: Pianta strutturale del piano terra.



I solai sono realizzati con l'utilizzo di lamiere grecate riempite con materiale inerte, un sistema dunque interamente a secco e molto leggero. Questa tecnologia ha reso possibile coprire luci elevate senza dover utilizzare profili di dimensioni troppo elevate, e garantendo così un risparmio economico legato alla minor quantità di acciaio e calcestruzzo richiesti. Inoltre tale soluzione abbassa il peso complessivo della

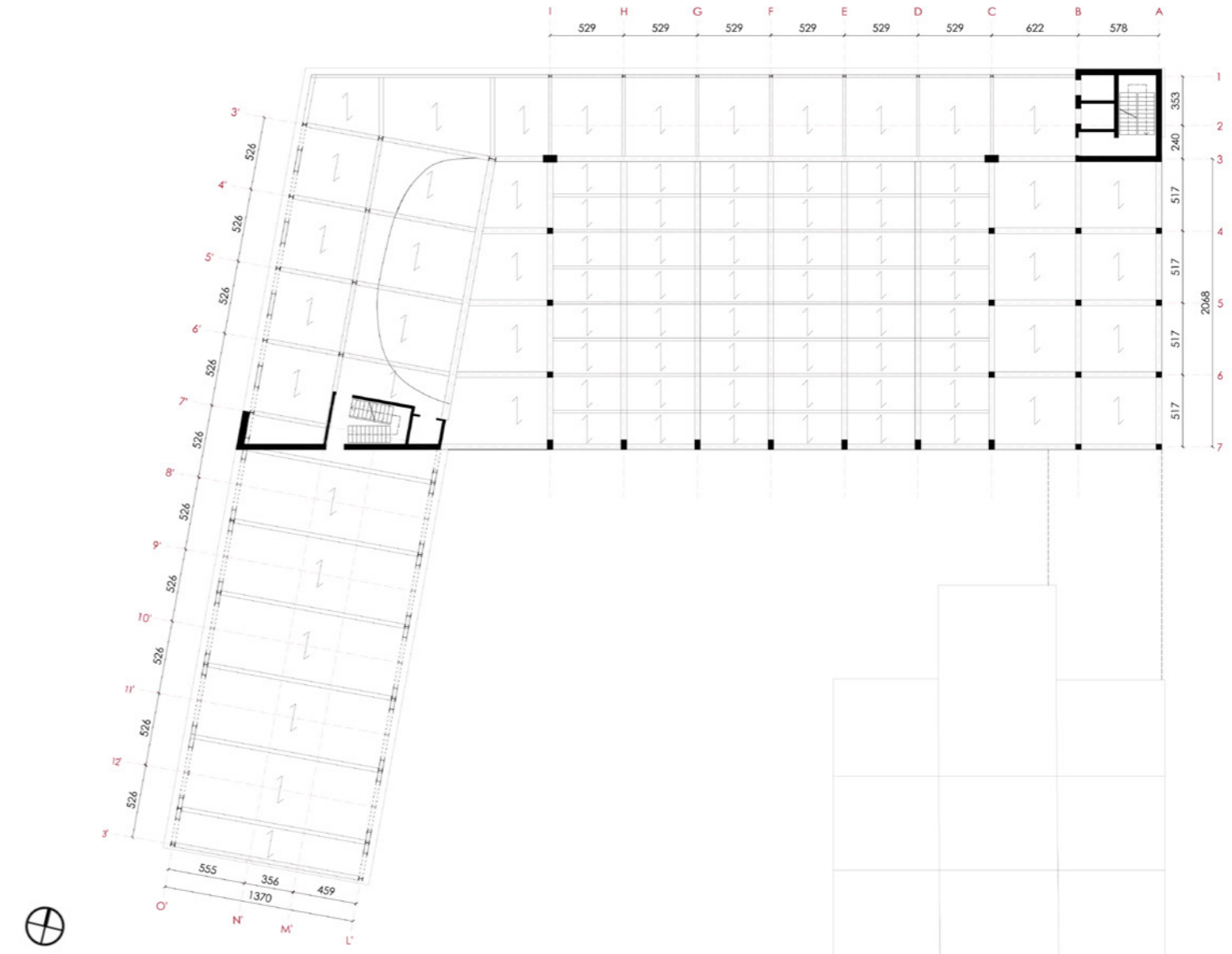
struttura, che risulta in tal modo sollecitata in maniera minore dalle azioni sismiche.

La maglia strutturale è stata derivata dal passo di quella esistente, ruotandola fino a farla diventare perpendicolare alla nuova direzione di espansione della palestra. In tal modo non si generano carichi puntuali in mezzo alle campate delle strutture esistenti e si garantisce un buon comportamento strutturale.



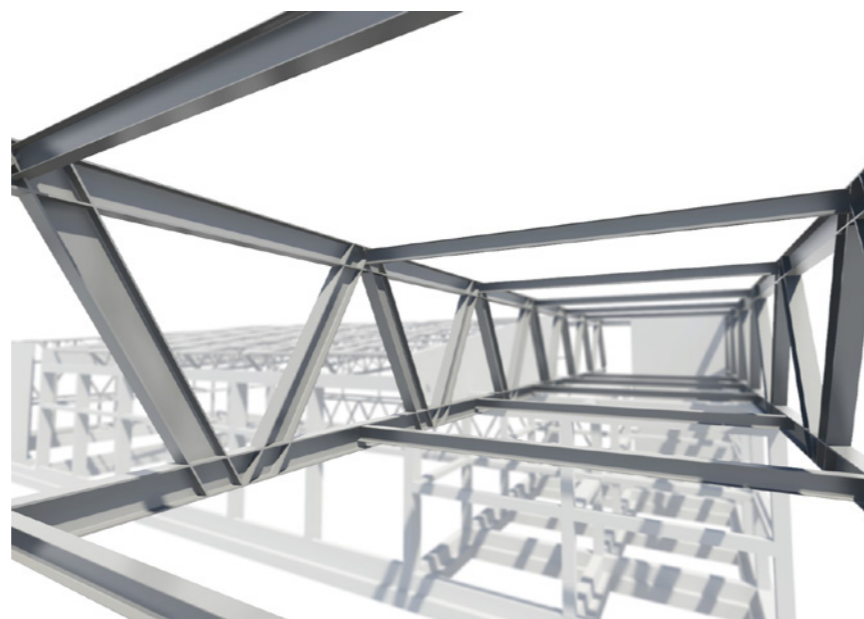
**Figura 8.5** Sopra: Sezione strutturale AA

**Figura 8.6** A pagina seguente: Pianta strutturale del piano primo



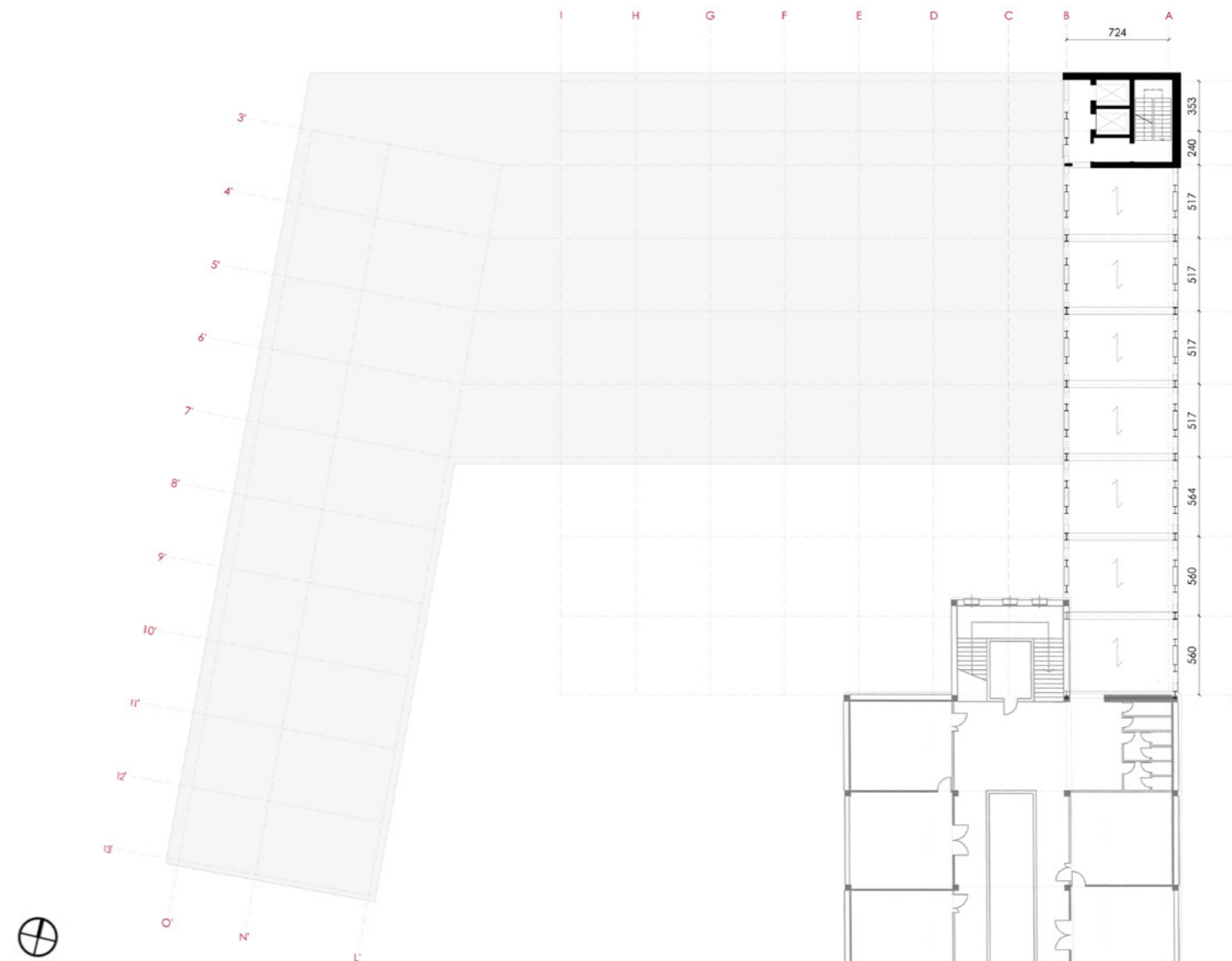
La pianta strutturale del piano secondo, illustrata in Figura 8.8, corrisponde al collegamento in quota tra la palestra ed il complesso scolastico, realizzato con due travi reticolari portanti di tipo Warren, collegate da profili IPE ai quali si appoggiano il solaio del pavimento e quello di copertura. Il passaggio non va ad appoggiarsi alla scuola, ma risulta essere un elemento sospeso a sbalzo, ancorato a livello strutturale solo all'edificio della palestra. Questo schema è stato adottato per evitare lo scambio di azioni tra gli edifici in caso di azione sismica: i due corpi edilizi, avendo un periodo di oscillazione diverso, entrerebbero in contatto urtandosi l'un l'altro; lasciano i due corpi slegati tra loro, e con opportuni accorgimenti nel progetto dei giunti tra di essi, è possibile evitare l'insorgere di questo sconveniente fenomeno.

La sicurezza dell'edificio in caso di incendio viene garantita attraverso la verniciatura di tutte le strutture metalliche con apposita vernice intumescente, che assicura una resistenza prolungata degli elementi strutturali.



**Figura 8.7** Sopra: vista tridimensionale renderizzata della struttura di collegamento tra la palestra ed il complesso scolastico, composta da due travi reticolari Warren affiancate e collegate da profili IPE

**Figura 8.8** A pagina seguente: Pianta strutturale del piano secondo. Viene evidenziata la struttura, realizzata con travi reticolari tipo Warren, nel tratto di collegamento in quota tra la palestra e l'edificio scolastico



### 8.3 SPAGHETTI & STRUCTURES 2015/2016

La competizione Spaghetti & Structures è una esercitazione a carattere competitivo che viene organizzata ogni anno dal Prof. Ing. Lorenzo Jurina per gli studenti del corso di Tecnica delle Costruzioni, Scuola di Architettura e Società al Politecnico di Milano.

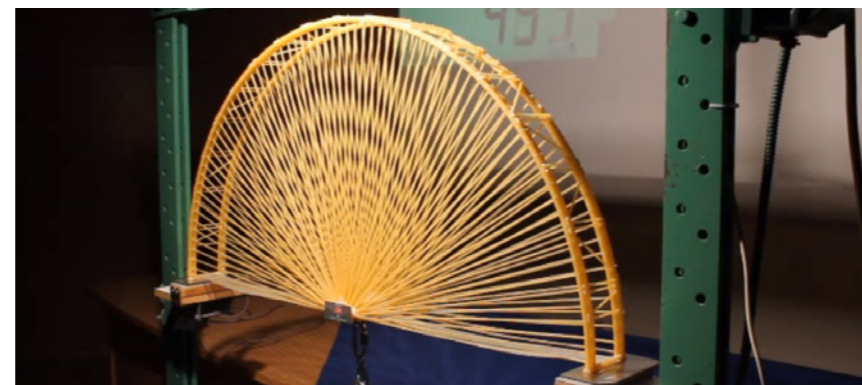
La prova, che per gli studenti costituisce parte dell'esame, consiste nel progettare una struttura reticolare e realizzarla con spaghetti e colla. La struttura deve rispondere a determinati requisiti geometrici e statici e viene collaudata portandola a rottura. La trave viene previamente analizzata attraverso un programma di calcolo FEM e durante la prova si valuta la veridicità del modello confrontandolo con il reale comportamento della struttura. Il bando stesso riassume bene l'obiettivo della prova:

*"L'obiettivo è quello di costruire strutture funzionali, esteticamente gradevoli ed in grado di resistere ai carichi assegnati, cercando di raggiungere alcuni obiettivi ulteriori quali il minimo peso, il minimo ingombro, la massima rigidezza, la massima portata."*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dalla premessa del bando di Spaghetti & structures 2015/2016

La realizzazione di strutture con gli spaghetti, nata negli Stati Uniti, è una pratica che si sta diffondendo in diverse università in tutto il mondo. Il successo della manifestazione è dovuto al fatto che l'esperienza si rivela molto istruttiva e permette di passare dal teorico al pratico, mettendo in evidenza gli effetti concreti delle idee progettuali.

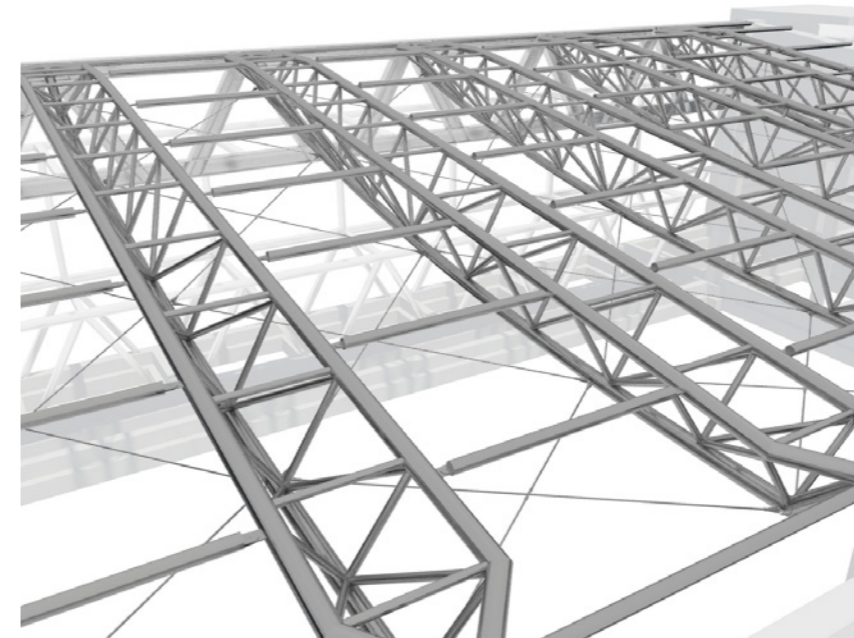
I risultati possono essere notevoli, in termini puramente estetici ed in termini strutturali: il ponte in spaghetti che detiene il record mondiale di portata, costruito dallo studente Peter Sándor del college ungherese di Nyíregyháza, ha resistito ad un carico pari a 466,05 kg a fronte di un peso proprio di soli 994 g, riuscendo così a sorreggere 469 volte il proprio peso.



**Figura 8.9** Spaghetti bridge, Peter Sándor



**Figura 8.10** Sezione prospettica in cui è possibile apprezzare la posizione delle travi reticolari



**Figura 8.11** Vista del sistema strutturale di copertura

La scelta è stata quella di prendere parte a questa esercitazione, pur essendo outsiders, e di utilizzarla come prima pietra del capitolo strutturale, data la vasta presenza di strutture reticolari nel progetto di tesi.

La trave che viene studiata per questa esercitazione è la trave reticolare che sostiene la copertura del campo da gioco della palestra, con il fine di effettuare una prima analisi sulla adeguatezza della geometria scelta e valutare la stabilità del sistema di copertura. L'obiettivo è dunque quello di valutare il comportamento della struttura sotto l'azione dei carichi, verificando l'assenza di fenomeni torsionali e dunque di provare la bontà della geometria utilizzata o, qualora si manifestassero fenomeni non desiderati, porvi rimedio tramite l'aggiunta di elementi, la modifica della geometria o l'irrigidimento di alcune sue parti.

La trave in esame è composta da tre correnti, due superiori e uno inferiore, collegati da diagonali e montanti disposti secondo lo schema della trave reticolare Pratt; non si tratta di una trave piana dunque, ma di un elemento che si articola in tre dimensioni.

Gli elementi che costituiscono la trave sono tubolari cilindrici in acciaio: la geometria della trave è stata pensata in riferimento al fatto che questi si comportano meglio a trazione che a compressione, in quanto possono essere soggetti a fenomeni di instabilità. In quest'ottica è comprensibile la scelta di utilizzare un solo corrente inferiore, sottoposto a trazione, e due correnti superiori, che devono lavorare in compressione. Inoltre la tipologia di trave Pratt è ideale per sezioni che prediligono sforzi di trazione in quanto minimizza la luce degli elementi compressi, ovvero i montanti verticali, riducendo così la lunghezza di libera inflessione, componente fondamentale per il fenomeno dell'instabilità euleriana.

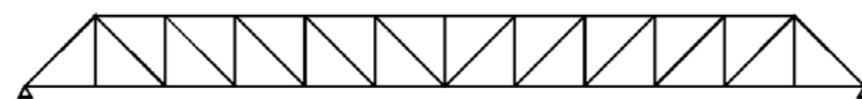


Figura 8.12 Trave reticolare tipo Pratt

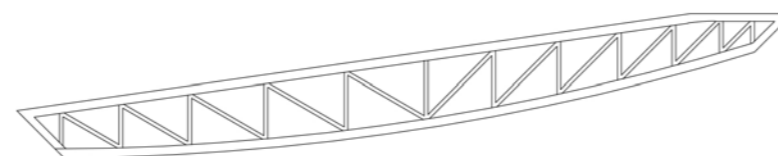


Figura 8.13 Vista laterale della vecchia disposizione di montanti e diagonali (scala 1:200)

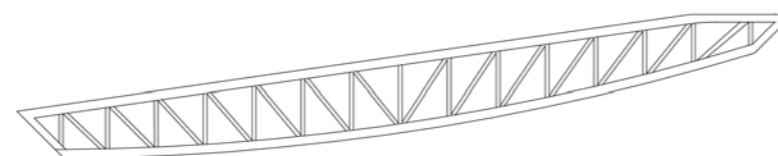


Figura 8.14 Vista laterale della nuova disposizione di montanti e diagonali (scala 1:200)

Prima ancora di affrontare la spinosa tematica dell'adattamento della geometria della trave alla prova con gli spaghetti, è stata fatta una riflessione sulla geometria ipotizzata in fase di progetto preliminare, ovvero per il concorso "Bosisio Parini: nuove connessioni tra lago e luoghi storici/urbani", da cui questo progetto nasce. Come è possibile osservare in Figura 8.13 e Figura 8.14 è stato cambiato il passo dei montanti per

farli corrispondere alla maglia strutturale esistente e per caricare la struttura reticolare solo sui nodi e non in mezzo alle aste, come la teoria insegna. Infatti, nel disegno iniziale, le travi che costituivano l'orditura secondaria e i tondini di controvento, che seguivano il passo della struttura esistente, erano agganciati alla reticolare fuori dai nodi. In tal modo è stata ottenuta omogeneità tra struttura esistente, trave reticolare ed orditura secondaria.

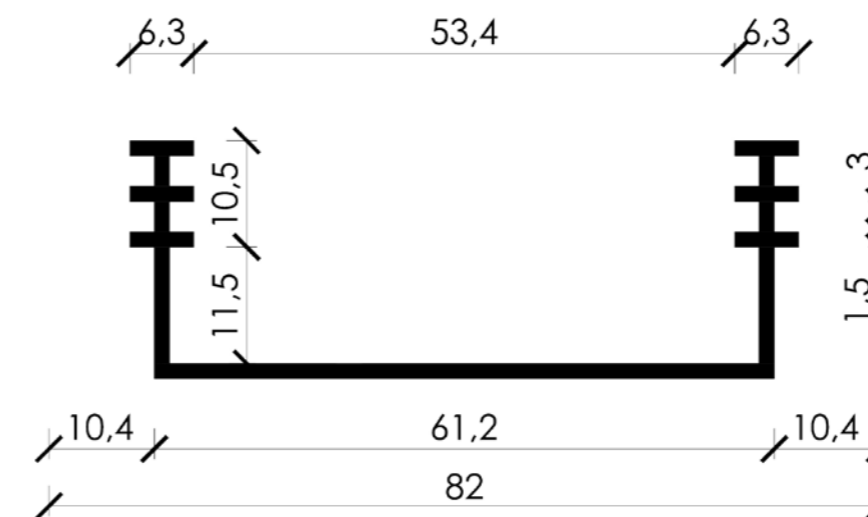


Figura 8.15 Base di appoggio in legno (misure in cm, profondità 24,9 cm)

### 8.3.1 LA GEOMETRIA PER SPAGHETTI AND STRUCTURES

La prima sfida nella preparazione della struttura per Spaghetti and Structures è stata quella di determinare la geometria da utilizzare, poiché vi erano diversi punti critici<sup>2</sup>. Il primo ed il più importante è stato sicuramente il tema degli appoggi: vi è una base in legno standard che viene utilizzata ogni anno per le prove di carico (Figura 8.15) e le strutture vi si devono attaccare senza ausilio di colla, viti, corde o altro. Nel caso della trave in oggetto la situazione è resa ancor più complicata dall'inclinazione e, soprattutto, dal disegno delle due estremità in cui i tre correnti confluiscono in un unico punto, ovvero la cerniera di vincolo. Se questa soluzione è perseguibile con il materiale acciaio, è assai difficile mantenerla con gli spaghetti poiché il punto non risulterebbe abbastanza rigido: si otterrebbe così un vincolo molto fragile. La direzione che si voleva intraprendere era invece quella opposta, ovvero quella di avere vincoli molto rigidi in modo tale da poter portare avanti la prova di carico

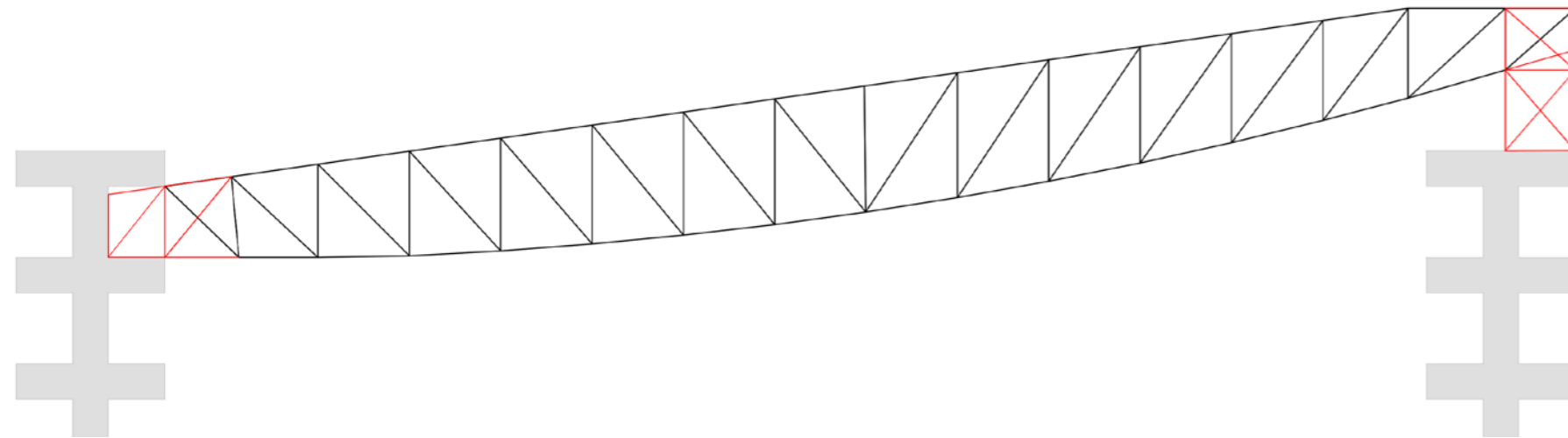
<sup>2</sup> Importante: in quanto outsiders il Prof. Jurina ha concesso la non osservanza di due richieste del bando:  
 a) no Zona off-limits: abolizione ostacolo in mezzeria da superare  
 b) no carico della struttura messa in verticale



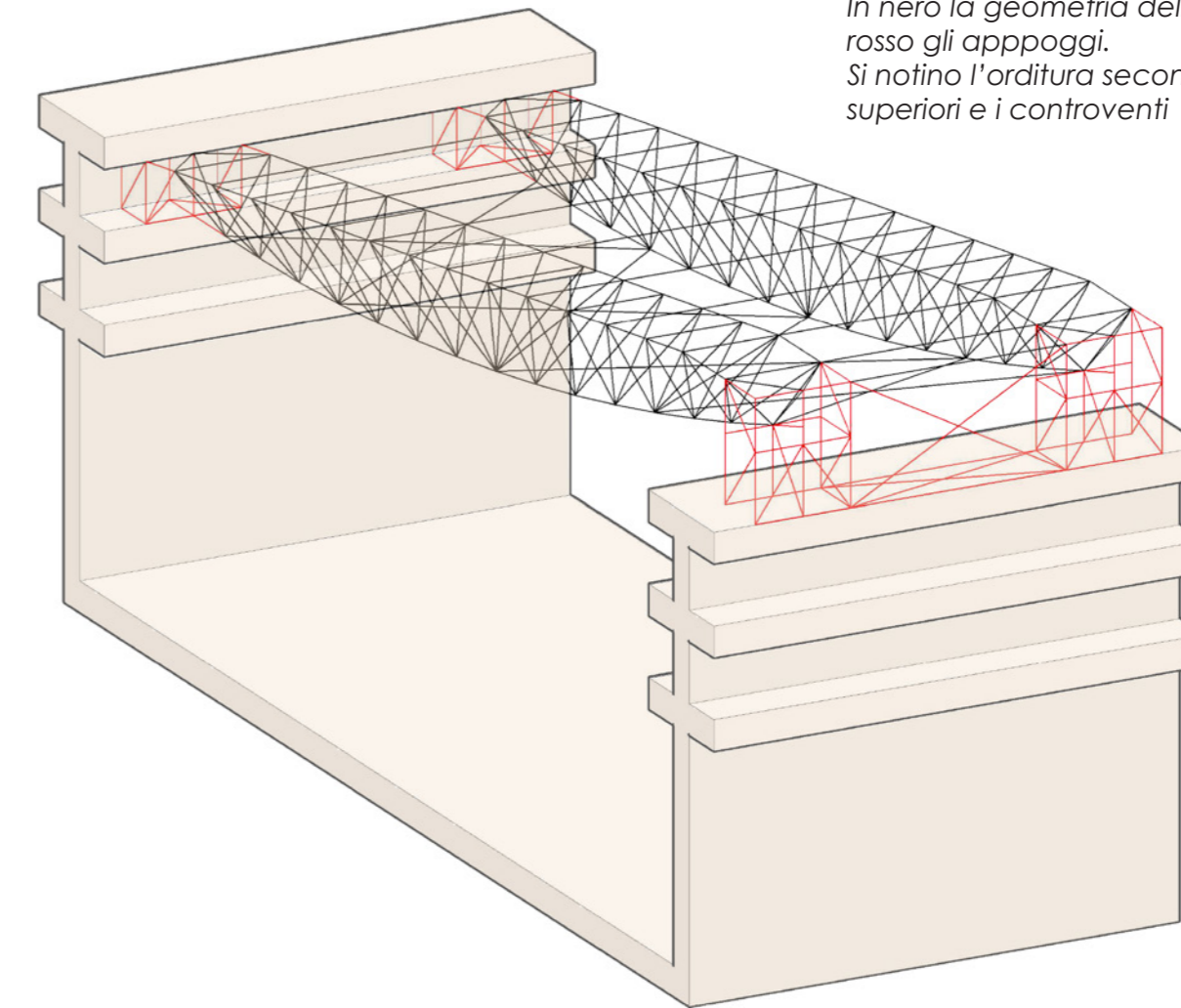
fino a far cedere la trave e potendone così studiare il comportamento sotto sforzo. Arrivare subito a rottura nel vincolo senza poter osservare il comportamento della trave renderebbe l'esperienza di scarsa utilità. Inoltre tale tipologia di vincolo risultava di assai difficile fabbricazione con gli spaghetti alla scala di lavoro del modello fisico, ovvero 1:34. La scala è stata un'altra tra le scelte iniziali, vagliata congiuntamente al sistema di appoggio, in quanto variabili evidentemente connesse: differenti dimensioni del modello richiedono diverse modalità di attacco alla base lignea.

Dopo aver studiato diverse soluzioni di scala e di vincolo, anche molto elaborate, si è giunti alla soluzione definitiva seguendo due linee guida: maggior somiglianza alla trave reale (soprattutto per non stravolgerne lo schema statico) e facilità di realizzazione. La soluzione è stata pensata come traccia, da definire poi completamente nei dettagli durante la costruzione stessa, poiché, come sempre capita, durante la realizzazione sorgono nuovi problemi e nuove soluzioni.

**Figura 8.16** Vista laterale della geometria. In nero la geometria della trave, in rosso gli appoggi



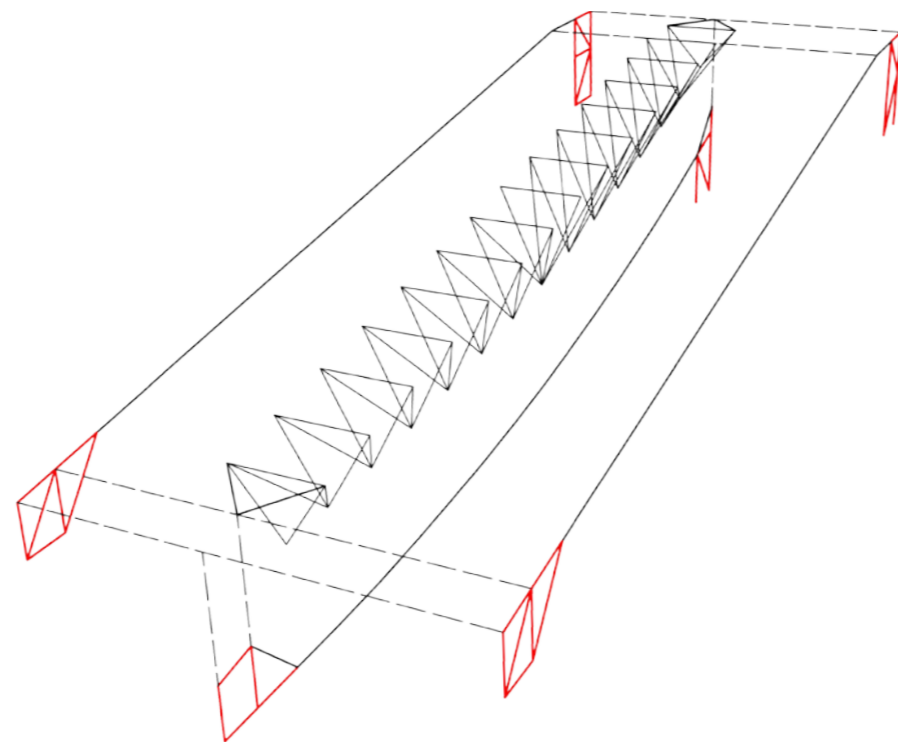
**Figura 8.17** La struttura completa in una vista 3d. In nero la geometria della trave reticolare, in rosso gli appoggi. Si notino l'orditura secondaria tra i correnti superiori e i controventi tra quelli inferiori



Il risultato è stato un attacco più diffuso: pur mantenendo un punto di incontro fra i tre correnti, ciascuno di essi si appoggia ad entrambe le estremità alla base in legno (Figura 8.18).

Con questa soluzione, rispetto ad altre che prevedevano un maggior numero di elementi soprattutto per il vincolo alla quota inferiore, è stata salvaguardata la coerenza con il comportamento statico della geometria reale, con l'unica differenza che gli ultimi due tratti del corrente inferiore ad entrambe le estremità risultano essere in compressione. Questa problematica è stata osservata per tutte le diverse soluzioni, si è quindi scelta quella che minimizzava il carico di compressione.

Infine si poneva il problema della larghezza della trave in relazione alla dimensione delle piastre di carico che vengono impiegate durante la prova: la singola trave reticolare del modello in spaghetti è larga infatti appena 5,5 cm in questa scala, a fronte di piastre di carico di dimensioni 14x18x0,5 cm. Questa condizione si rivelava particolarmente sconveniente in quanto avrebbe portato quasi certamente ad effetti torsionali



**Figura 8.18** Esploso semplificato della geometria adottata. In nero la geometria della trave, in rosso gli appoggi. È interessante notare che nella costruzione del modello fisico si è seguito questo stesso schema: composizione dei due correnti superiori e di quello inferiore e in seguito unione dei tre elementi attraverso il montaggio di montanti e diagonali

sulla struttura: con tali differenze dimensionali fra trave e piastra anche una applicazione leggermente eccentrica del carico poteva provocare l'indesiderato effetto. Dopo aver sottoposto la questione anche al Prof. Jurina si è giunti alla decisione di realizzare due travi reticolari affiancate, collegate dall'orditura secondaria e dai controventi ad X previsti da progetto. Riguardo a questi elementi è opportuno segnalare che è stato deciso di non implementarli ulteriormente (ad esempio con elementi incrociati disposti anche tra i correnti superiori), ma di impiegare la soluzione progettuale già definita per valutarne l'efficacia. In tal modo si è giunti alla soluzione definitiva proposta in Figura 8.17 a pagina 337.

### 8.3.2 LA REALIZZAZIONE DEL MODELLO FISICO CON GLI SPAGHETTI

La realizzazione del modello con spaghetti e colla, nonostante tutti i ragionamenti e le ipotesi effettuate, si presentava come una sfida molto ardua: non capita tutti i giorni di realizzare simili strutture. Inoltre, alcuni elementi di complessità insiti nella geometria della struttura rendevano il compito se possibile ancor più

impegnativo:

- differenza di quota tra un estremo e l'altro
- presenza di due montanti superiori (caratterizzati peraltro da un angolo verso un estremo) e di un montante inferiore curvo: la struttura non è ortogonale
- montanti e diagonali, essendo il corrente inferiore curvo e non allineato a quelli superiori, non giacciono su un unico piano, ma piuttosto su di una superficie curva: è dunque impossibile preassemblarli e montarli sullo scheletro composto dai tre correnti, o persino ottenere una stampa che li rappresenti contemporaneamente nelle loro dimensioni reali, ma vanno montati uno ad uno collegando punti noti appositamente tracciati sui correnti.
- realizzazione di due travi, che tuttavia devono essere pressoché identiche per evitare fenomeni indesiderati durante la prova di carico
- diverse sezioni: i correnti hanno sezione maggiore rispetto agli altri elementi in quanto maggiormente caricati. Nel modello fisico sono stati realizzati sovrapponendo 4 diversi strati di

bavette (sezione quadrupla), mentre tutti gli altri elementi sono composti da bavette singole (in rari casi vi sono elementi doppi).

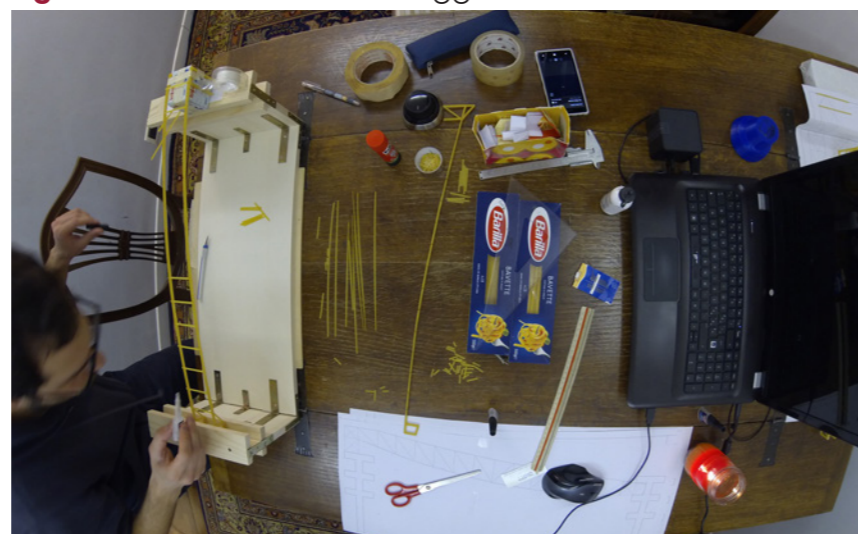
Per la realizzazione del modello è stata utilizzata esclusivamente colla attak: la comune colla stick è stata adoperata solo per posizionare e tener fermi gli elementi su di un foglio di carta, ma qualsiasi unione tra le bavette è dovuta all'attak.

Inoltre, anche se non esplicitamente richiesto, è stato realizzato anche il modello in legno della base di appoggio per la prova di carico, principalmente per due motivi: in primo luogo verificare che le travi finite fossero delle dimensioni corrette e si montassero correttamente; in secondo luogo perché si è rivelato utile in alcune fasi costruttive, in quanto consentiva di avere gli appoggi alle quote reali, dato che la trave compie un dislivello.

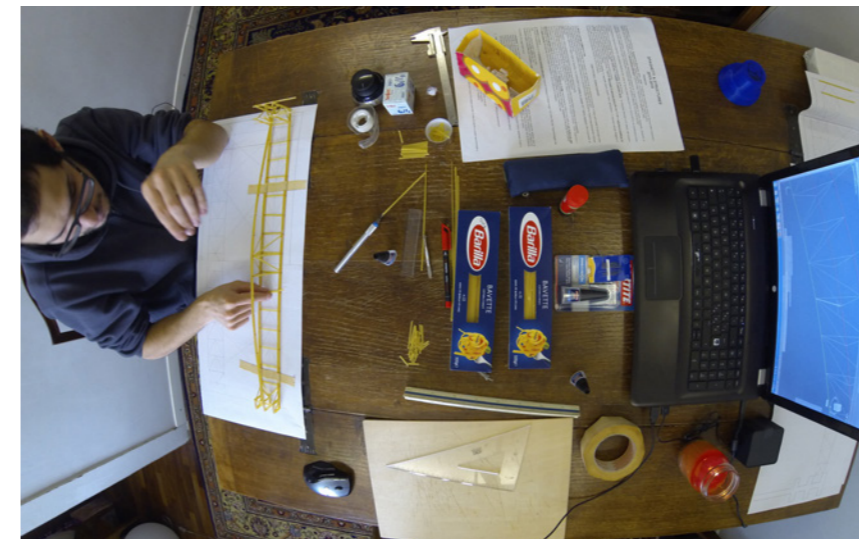
L'intera procedura, durata circa quattro giorni, è stata documentata attraverso un time lapse, grazie ad una fotocamera GoPro Hero 3 Black edition posta in posizione zenitale che ha scattato foto con frequenza di 30 secondi.



**Figura 8.19** Fase 1: assemblaggio dei correnti



**Figura 8.20** Fase 2: unione dei correnti



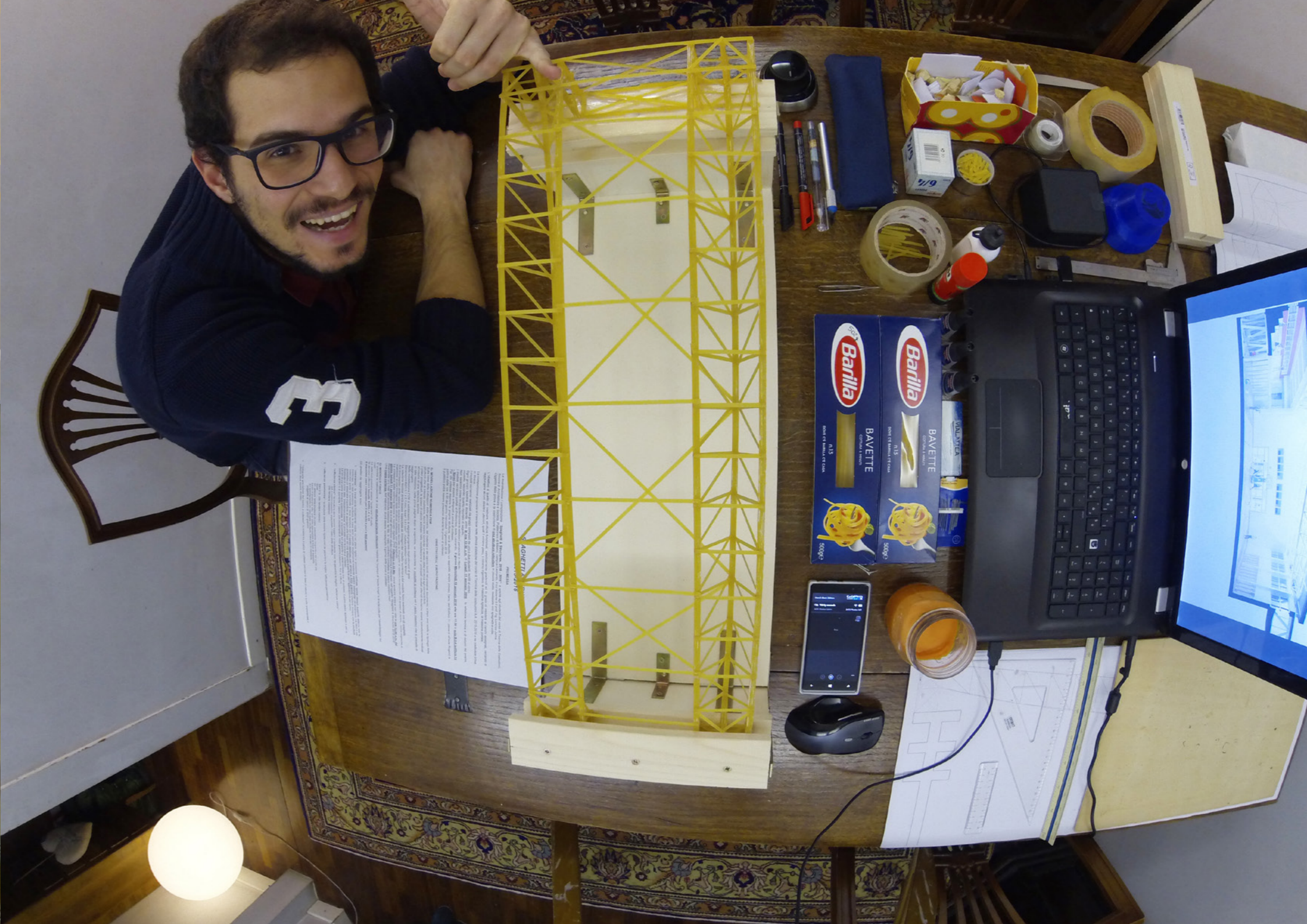
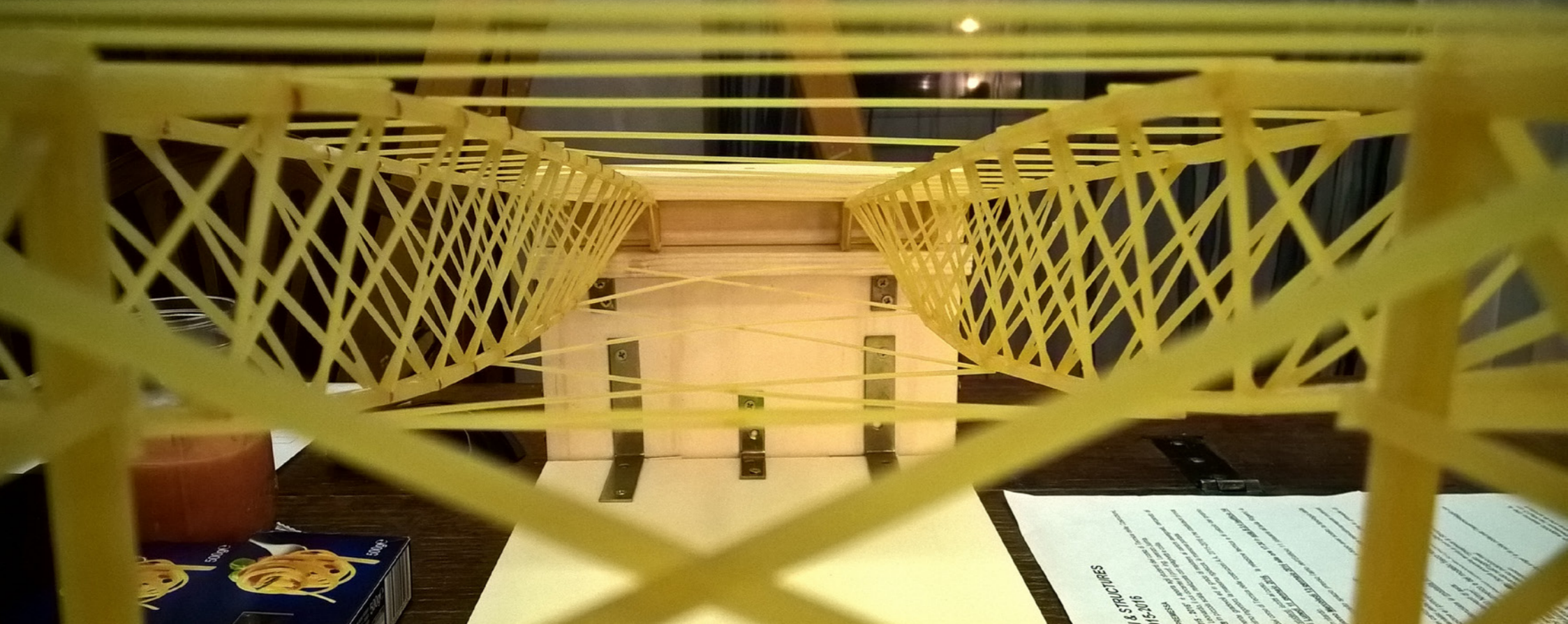
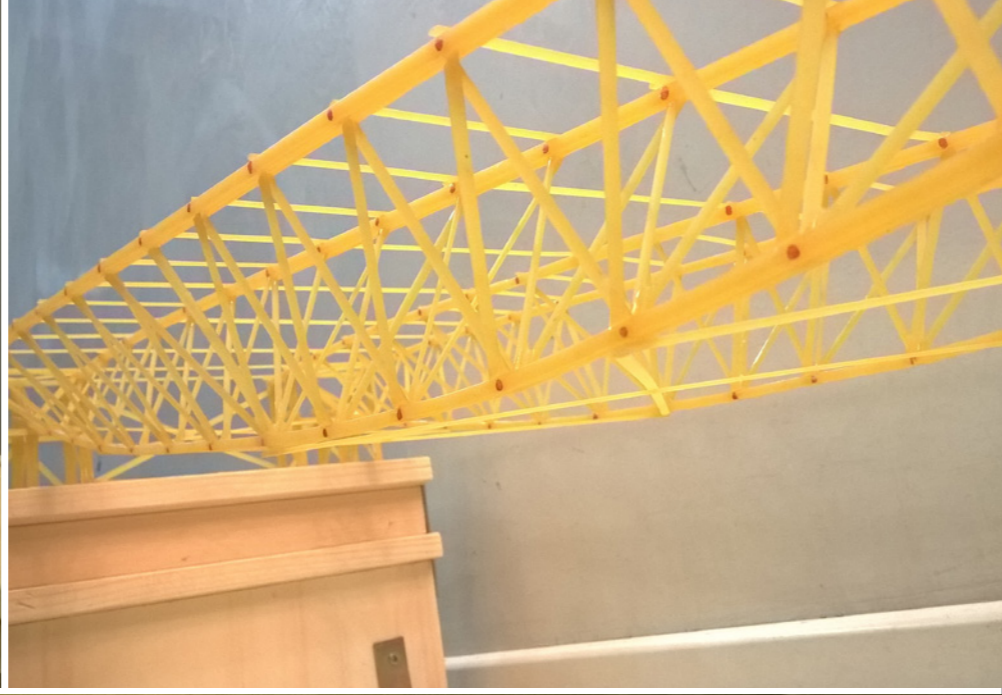
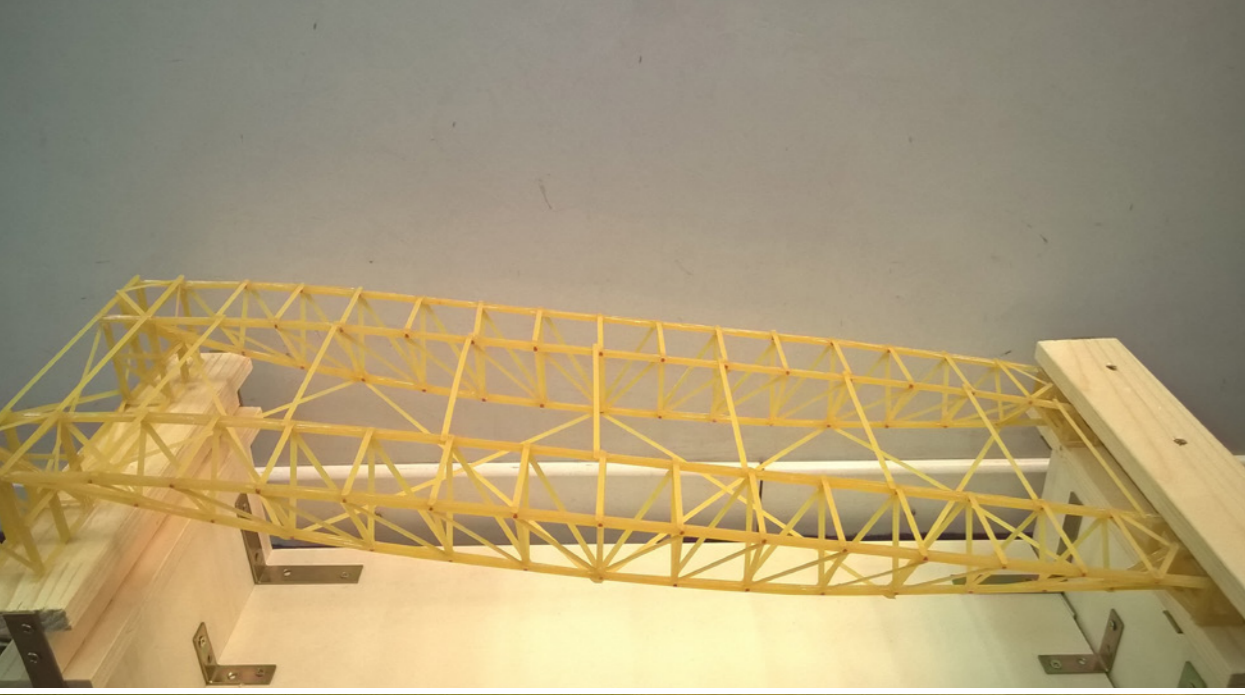
**Figura 8.21** Fase 4: montaggio di montanti e diagonali



**Figura 8.22** Fase 7: unione delle due travi

La strategia, già accennata commentando l'esploso precedentemente illustrato, è stata la seguente:

1. Costruzione dei correnti a partire dalla vista laterale, seguendone il profilo incollando le bavette su un foglio di carta con colla stick e realizzando direttamente i 4 strati richiesti, resi solidali con l'attak (Figura 8.19)
2. Posizionamento dei correnti superiori in verticale, rispettando la distanza reciproca e l'ortogonalità rispetto al piano con l'aiuto di una dima, e unione dei due elementi grazie al posizionamento dei montanti superiori (Figura 8.20)
3. Una volta rimossa la dima viene inserito il corrente inferiore e collegato agli estremi con gli altri due
4. Si posiziona la trave sottosopra, ovvero appoggiata sui correnti superiori, e si collocano montanti e diagonali (Figura 8.21)
5. Si effettuano gli ultimi ritocchi e si aggiungono alcuni elementi di rinforzo
6. Costruzione, secondo le stesse modalità della seconda trave
7. Unione delle travi con orditura secondaria, controventi (Figura 8.22)



### 8.3.3 MODELLAZIONE NUMERICA FEM

Per la modellazione numerica FEM è stato impiegato il software Sap2000, il quale permette di importare files di tipo .dxf da AutoCad, purchè si rispettino determinate direttive nella modellazione. La realizzazione del modello virtuale nel caso di questa trave si è rivelata relativamente semplice, in quanto formata da soli elementi frame.

Durante l'importazione in Sap2000 bisogna accertarsi che le unità di misura combacino tra files di origine e di destinazione. Inoltre, avendo la accortezza di assegnare ad un gruppo ogni nuovo layer importato da AutoCad, la gestione del file risulta poi agevole.

Una volta importata la geometria attraverso il file .dxf bisogna assegnare al modello:

- vincoli
- materiali
- sezioni
- carichi

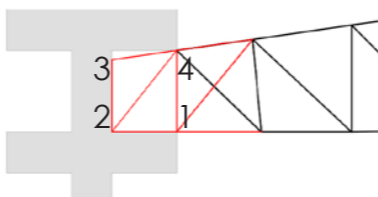
#### 8.3.3.1 Vincoli

Per quanto riguarda i vincoli è necessario effettuare una attenta osservazione della struttura per impostare

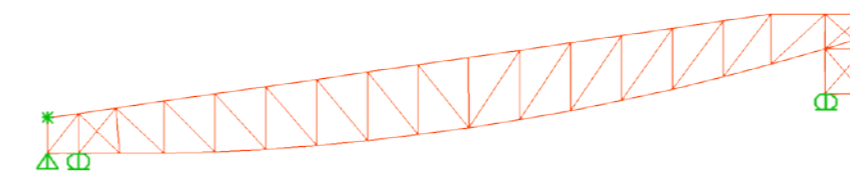
le restrizioni corrette. Nel caso degli appoggi a quota maggiore è facile notare che corrispondono a un vincolo di semplice appoggio: bisogna quindi bloccare la traslazione lungo l'asse Z nei sei nodi in cui la struttura è a contatto con la base lignea.

Per gli appoggi a quota inferiore invece la questione è leggermente più complicata (Figura 8.23): la trave entra nella tasca formata dalla base in legno; in questo punto nei due nodi a contatto con la mensola orizzontale (1, 2) si può assumere un appoggio verticale (vincolare la traslazione su Z); in particolare il nodo all'intersezione tra la mensola orizzontale e l'elemento verticale (2) ha anche la traslazione orizzontale inibita, equivalendo così a un doppio carrello, ovvero ad una cerniera. Il punto 3 è in semplice appoggio contro l'elemento di fondo e dunque è assimilabile a un carrello orizzontale (traslazione sull'asse X bloccata). Il punto 4 invece nel modello fisico non è a contatto ed è quindi svincolato.

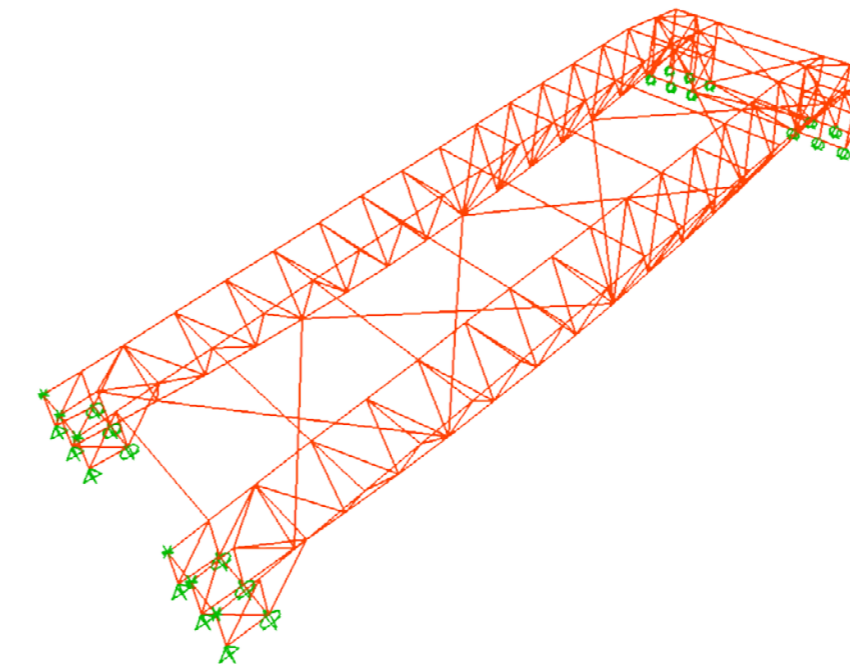
**Figura 8.23** Sistema di aggancio dell'estremo a quota inferiore



La struttura risulta dunque così vincolata:



**Figura 8.24** Vista 2d da Sap2000: schema dei vincoli



**Figura 8.25** Vista 3d da Sap2000: schema dei vincoli

#### 8.3.3.2 Materiali

Il materiale Pasta è un materiale fragile, dotato, nella sua forma di Bavetta n.13 Barilla, di buona resistenza a trazione e di pessima resistenza a compressione, comportamento dovuto in realtà all'instabilità per carico di punta, conseguenza diretta della definizione "pasta lunga".

La pasta è un materiale denso (probabilmente grazie anche alla pressione esercitata per estruderla dai macchinari della filiera produttiva) e dotato di buona omogeneità. Le bavette possono essere inoltre tagliate con un cutter secondo diversi angoli, con un po' di esperienza e di pazienza, riuscendo ad ottenere così ottime giunzioni.

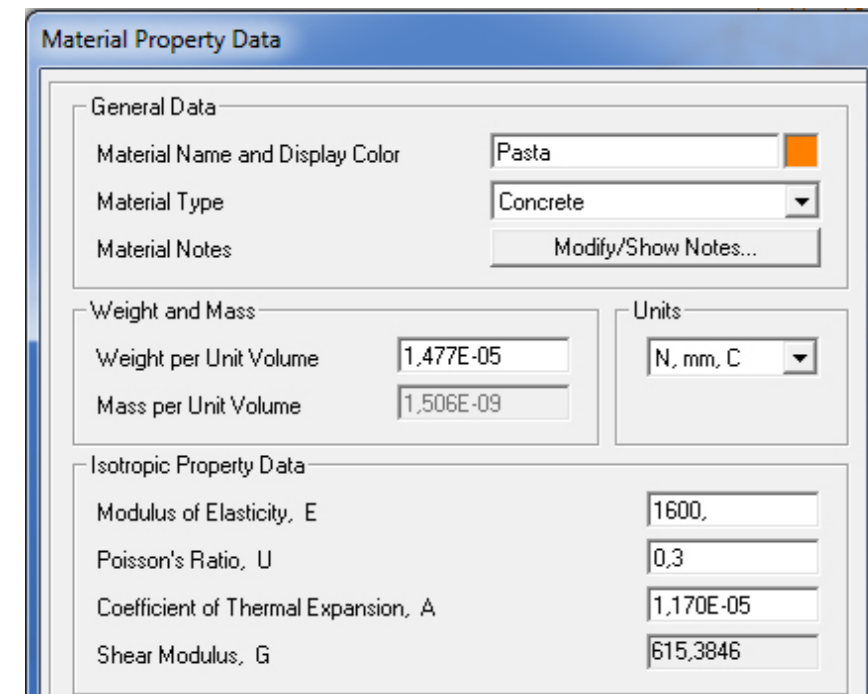
I micropori della pasta la rendono un ottimo materiale da incollaggio: le colle in generale riescono ad avere una buona presa su di essa (anche se la forma ellittica della bavetta in particolare la rende a volte scivolosa). In particolare il connubio con il Super Attak prodotto dalla Loctite garantisce un'aderenza praticamente perfetta, rendendo gli elementi incollati un corpo unico e pressoché indivisibile.

Il valore attribuito al modulo elastico della pasta

per effettuare i calcoli sulla trave con Sap2000 è il seguente:

$$E = 1600 \text{ N/mm}^2$$

Di seguito si riportano i valori impostati nel software per i calcoli, definiti dal menù Define > Materials:



**Figura 8.26** Pannello Proprietà del materiale, Sap2000. Specifiche del materiale pasta utilizzato

### 8.3.4 SEZIONI

La sezione delle Bavette n.13 Barilla è ellittica ma, per semplicità, nei calcoli per Spaghetti & Structures viene approssimata a un rettangolo di dimensione  $B \times H = 1,1 \times 3,1 \text{ mm}$  la cui area è dunque pari a  $3,41 \text{ mm}^2$ .

Quanto detto è valido per elementi singoli; nel modello realizzato sono state impiegate sezioni singole (per la maggior parte degli elementi, tra i quali tutti i montanti ed i diagonali), doppie (rare, solo 4 elementi) e quaduple (per i correnti e gli appoggi alla base in legno). In tutti i casi le bavette sono state accostate per il lato lungo, raddoppiando e quadruplicando dunque la dimensione minore. Le dimensioni utilizzate sono dunque le seguenti:

- Sezione singola
  - $B \times H = 1,1 \times 3,1 \text{ mm}$
  - $A = 3,41 \text{ mm}^2$
- Sezione doppia
  - $B \times H = 2,2 \times 3,1 \text{ mm}$
  - $A = 6,82 \text{ mm}^2$
- Sezione quadrupla
  - $B \times H = 4,4 \times 3,1 \text{ mm}$
  - $A = 13,64 \text{ mm}^2$

In Sap2000 è possibile definire le sezioni tramite il pannello Frame properties, raggiungibile attraverso il menù Define > Section properties > Frame properties.

### 8.3.5 CARICHI

La definizione dei carichi prevede due diverse casistiche: in primo luogo l'applicazione del carico minimo di progetto, ovvero 3000 g, e successivamente la ricerca del carico di collasso della struttura andando ad incrementare progressivamente il valore del carico applicato. L'esperienza insegna che le strutture reticolari di spaghetti collassano a causa dell'instabilizzazione delle aste compresse; la verifica che si deve compiere per valutare se la trave è in grado di resistere ad un certo carico è la verifica ad instabilità di Eulero; per la struttura in esame è necessario verificare due tipologie di puntone: il puntone che presenta il massimo carico di compressione tra quelli di sezione singola e allo stesso tempo quello che presenta il maggior carico tra quelli di sezione quadrupla (gli elementi di sezione doppia non sono tra i maggiormente caricati, il raddoppiamento dell'elemento è principalmente attribuibile a logiche costruttive), tenendo sempre

conto della lunghezza di libera inflessione (a seconda della lunghezza il puntone più compresso potrebbe non essere il primo ad instabilizzarsi).

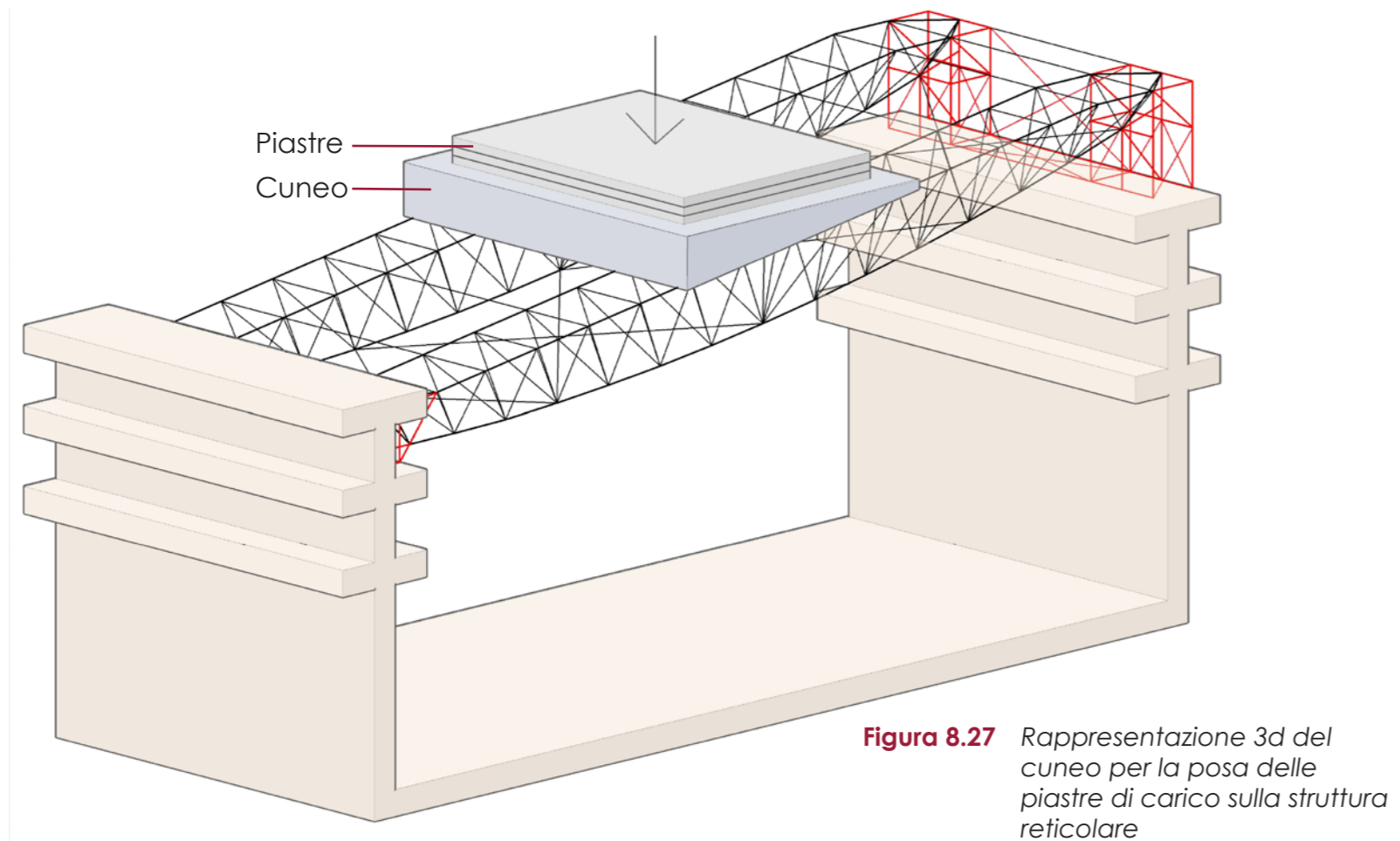
Il software Sap2000 mette a disposizione moltissimi strumenti per la definizione, lo studio e la combinazione dei carichi. Nel caso in esame, per semplicità, sono stati considerati carichi puntuali applicati sui 10 nodi centrali di ognuna delle due travi reticolari, per un totale di 20 nodi. Il carico da applicare a ciascun nodo è dunque, con buona approssimazione, il carico totale diviso 20.

È stato detto che le travi vengono caricate su nodi centrali ben definiti: ciò è dovuto al fatto che è stata predisposto un elemento a forma di cuneo per la posa delle piastre di carico che ha il duplice scopo di uniformare e trasmettere il carico a tutti i nodi e di creare, grazie alla sua particolare forma, un piano di carico orizzontale, dato che le travi seguono l'andamento della falda e risultano dunque inclinate.

Il cuneo deve avere due caratteristiche: essere più rigido della struttura di spaghetti, in modo trasmettere il carico uniformemente senza assorbirlo e senza deformarsi; in secondo luogo deve avere uno strato di separazione dagli spaghetti leggermente morbido, in

modo che si adattino alle possibili irregolarità geometriche che queste strutture possono presentare ed in modo da creare attrito sufficiente per non scivolare, grazie alle

deformazioni di questo strato morbido che si adatta alla forma delle travi di pasta.



**Figura 8.27** Rappresentazione 3d del cuneo per la posa delle piastre di carico sulla struttura reticolare



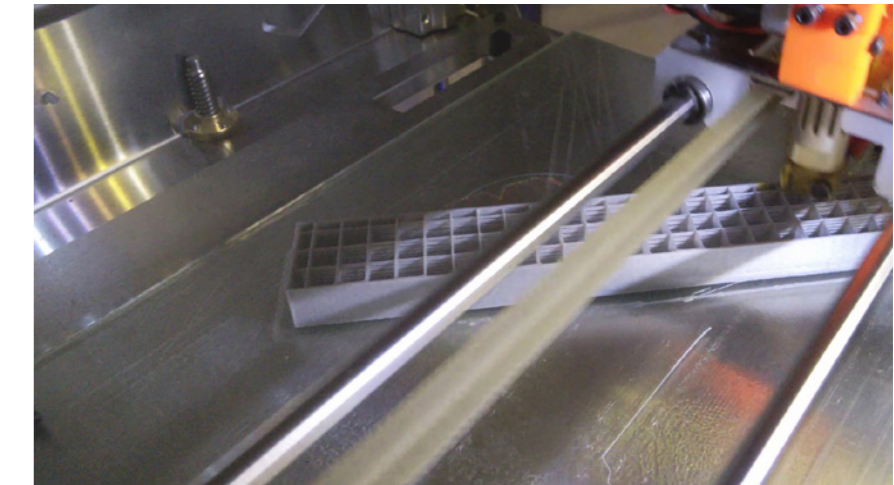
**Figura 8.28** Il cuneo stampato in 3D: vista laterale. Si noti lo strato morbido incollato nella parte inferiore



**Figura 8.29** Il cuneo stampato in 3D: vista dall'alto



**Figura 8.30** Il cuneo stampato in 3D: vista dal basso



**Figura 8.31** Il cuneo durante il processo di stampa 3D



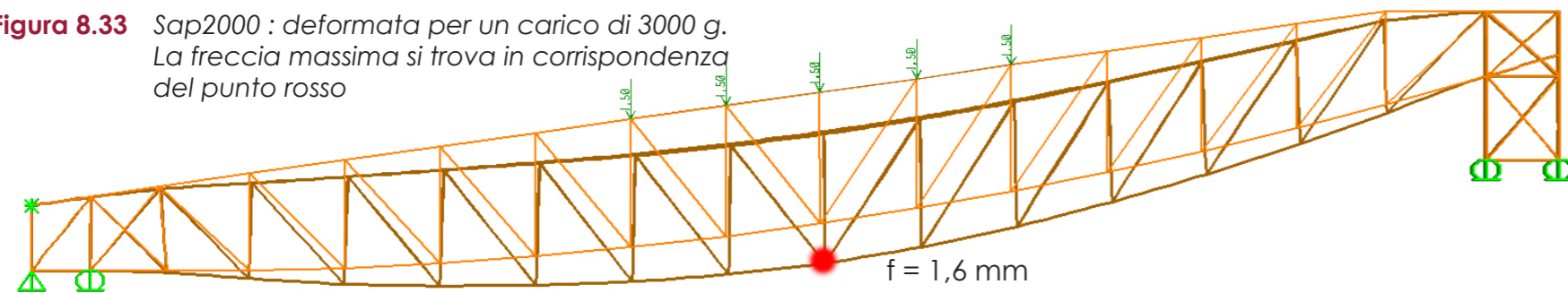
**Figura 8.32** La prova di carico: il cuneo sostiene le piastre

### 8.3.5.1 Carico minimo di progetto: 3000 g

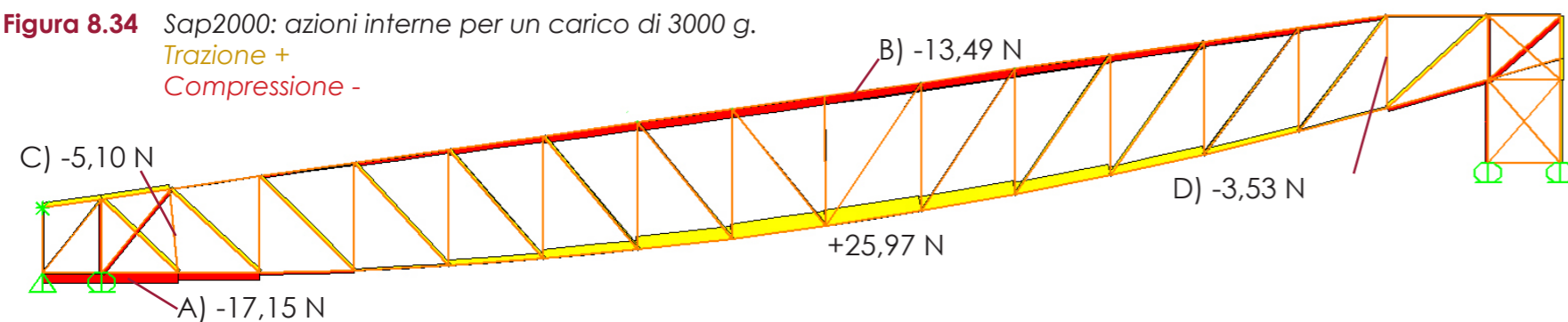
Una volta definite le modalità di carico si può passare all'analisi della struttura sottoposta al carico minimo di progetto di 3000 g. In base ai principi sopra esposti per applicare tale carico, ovvero, arrotondando per eccesso, 30 N, è necessario applicare a ognuno dei 20 nodi prescelti una forza verso il basso di 1,5

N. In Sap2000 queste forze sono state attribuite al caso "carico base 3000" che poi verrà messo in una combinazione di carico con il peso proprio della struttura per determinare lo stato di sforzo agente. Sap2000 calcola la freccia attesa in ciascun punto: Il punto in rosso in Figura 8.33 indica il punto in cui è attesa la massima freccia, pari a 1,6 mm.

**Figura 8.33** Sap2000 : deformata per un carico di 3000 g. La freccia massima si trova in corrispondenza del punto rosso



**Figura 8.34** Sap2000: azioni interne per un carico di 3000 g. Trazione + Compressione -



Per valutare dunque il comportamento della struttura sottoposta al carico sono state selezionate le aste con il peggior rapporto tra lunghezza di libera inflessione e carico applicato, due per ogni tipologia di sezione (vedi Figura 8.34): l'asta A e l'asta B per quanto riguarda le sezioni composte da quattro bavette affiancate, mentre la sezione C e la D per le bavette singole.

In particolare:

- Asta A: sezione quadrupla, costituisce la parte terminale verso l'appoggio a quota minore del corrente inferiore. Sforzo: compressione
- Asta B: sezione quadrupla, costituisce l'elemento di mezzera di uno dei due correnti superiori. Sforzo: compressione
- Asta C: sezione singola, è l'ultimo montante verticale della trave reticolare prima dell'appoggio a quota minore. Sforzo: compressione
- Asta D: sezione singola, è l'ultimo montante verticale della trave reticolare prima dell'appoggio a quota maggiore. Sforzo: compressione

Il calcolo del carico critico euleriano, come già affermato, dipende fortemente dalla lunghezza di libera inflessione. Questa lunghezza a sua volta dipende dal tipo di vincoli di cui l'asta dispone:

- Cerniera-cerniera:  $L_0 = L$
- Cerniera-incastro:  $L_0 = 2/3 L$
- Incastro-incastro:  $L_0 = 1/2 L$

Dove  $L_0$  è la lunghezza di libera inflessione e  $L$  è la lunghezza dell'asta, sotto ipotesi di vincoli perfetti e fissi. Nelle travi reticolari i vincoli tra le aste sono idealmente tutte cerniere ma, nel caso della trave in spaghetti, dove tutti gli elementi sono fissati con l'attak, la situazione sembrerebbe più tendere verso un incastro-incastro, anche se il vincolo chiaramente non può essere perfetto. La reale condizione si trova a metà fra queste due situazioni: un'analisi che voglia stare totalmente a favore di sicurezza potrebbe considerare la situazione cerniera-cerniera, sottostimando così la reale portata della trave.

Con il supporto nei calcoli di un software ad elementi finiti e di un foglio excel preparato ad hoc è stato possibile effettuare rapidamente il calcolo per tutte e tre le condizioni: l'utilizzo di alcune tabelle è stato



fondamentale per organizzare i dati raccolti; le tabelle sono organizzate nel seguente modo: nella prima riga è riportato il valore dell'inerzia minima della sezione, successivamente viene calcolato il valore della lunghezza di libera inflessione a seconda della tipologia di vincolo:

- cc: cerniera-cerniera
- ci: cerniera-incastro
- ii: incastro-incastro

Viene riportato poi nella riga relativa a  $F_{prog \times 000}$  il valore di sforzo estratto da Sap2000 in quel determinato

elemento con quel preciso carico, dove il numero delle migliaia indica i grammi di carico applicato.

Al di sotto viene calcolato il carico critico euleriano in base alle tipologie di vincolo analizzate, riprendendo quindi la terminologia sopra esplicitata. Il valore diviene **verde** se il carico critico euleriano non viene raggiunto dal valore di sforzo nell'asta (sotto quelle condizioni di vincolo), mentre se il carico critico viene raggiunto (e quindi l'asta così vincolata si instabilizza) il testo diviene **rosso**. Si può così analizzare a colpo d'occhio l'evoluzione della situazione in base a carico e vincoli.

CARICO 3000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Variabile	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
I	mm <sup>4</sup>	10,923	10,923	0,344	0,344
L <sub>0 cc</sub>	mm	31,270	39,710	46,220	45,020
L <sub>0 ci</sub>	mm	20,847	26,473	30,813	30,013
L <sub>0 ii</sub>	mm	15,635	19,855	23,110	22,510
F <sub>prog 3000</sub>	N	<b>17,155</b>	<b>14,000</b>	<b>5,100</b>	<b>3,530</b>
F <sub>cr cc</sub>	N	176,409	109,390	2,542	2,679
F <sub>cr ci</sub>	N	396,920	246,127	5,719	6,028
F <sub>cr ii</sub>	N	705,636	437,559	10,167	10,716
Freccia	mm	1,6		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.1** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 3000 g

Analizzando la tabella legata alla condizione di carico minima (3000 g) si evince che l'asta D, ovvero il montante verso il punto di ancoraggio a quota maggiore tenderebbe già a instabilizzarsi qualora la condizione di vincolo fosse quella di cerniera-cerniera. Tuttavia, alla luce delle considerazioni effettuate sul nodo reale della struttura in spaghetti, il valore non è preoccupante. Tutti gli altri valori risultano essere ampiamente rispettati, soprattutto per le sezioni quaduple, che sono ben lontane dal carico critico. Il valore della freccia teorica in mezzeria è poi abbastanza contenuto, attestandosi su un valore di 1,6 mm, a indicare che la struttura è dotata di buona rigidità.

La struttura ha quindi le caratteristiche per resistere al carico minimo assegnato.

È ora possibile calcolare l'efficienza geometrica della struttura, data dalla seguente formula:

$$BB = h \cdot \Delta$$

Dove BB è l'efficienza geometrica, h l'altezza totale della struttura dal punto più basso a quello più alto e

$\Delta$  è la freccia in mezzeria della struttura caricata con 3000 g. Una buona struttura è caratterizzata da un valore di BB il più basso possibile.

Nel caso della struttura in esame il valore di efficienza geometrica è pari a:

$$BB = 105,1 \text{ mm} \times 1,6 \text{ mm} = 168,16 \text{ mm}^2$$

### 8.3.5.2 Previsione del carico a collasso

Implementando il sistema tabellare illustrato poco sopra si può arrivare ad una stima abbastanza attendibile del carico di collasso della struttura: sapendo che i nodi stanno circa a metà tra una condizione cerniera-cerniera e una di incastro-incastro, il metodo adottato permette di avere una buona visione generale sullo stato di sollecitazione della struttura sotto il carico.

Per valutare il carico a collasso è stata creata una nuova combinazione di carico in Sap2000, nella quale si incrementavano progressivamente i carichi applicati ai nodi e se ne studiavano gli effetti riportando i valori di sforzo nelle tabelle excel. Da segnalare l'andamento del valore della freccia in mezzeria, che cresce in maniera pressoché lineare con il carico.

CARICO 4000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog\ 4000}$	N	<b>22,710</b>	<b>18,557</b>	<b>6,758</b>	<b>4,671</b>
$F_{cr\ cc}$	N	176,409	109,390	2,542	2,679
$F_{cr\ ci}$	N	396,920	246,127	5,719	6,028
$F_{cr\ ii}$	N	705,636	437,559	10,167	10,716
Freccia	mm	2,1		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.2** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 4000 g

CARICO 5000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog\ 5000}$	N	<b>28,270</b>	<b>23,083</b>	<b>8,400</b>	<b>5,812</b>
$F_{cr\ cc}$	N	176,409	109,390	2,542	2,679
$F_{cr\ ci}$	N	396,920	246,127	5,719	6,028
$F_{cr\ ii}$	N	705,636	437,559	10,167	10,716
Freccia	mm	2,6		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.3** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 5000 g

CARICO 6000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog\ 6000}$	N	<b>33,820</b>	<b>27,630</b>	<b>10,060</b>	<b>6,952</b>
$F_{cr\ cc}$	N	176,409	109,390	2,542	2,679
$F_{cr\ ci}$	N	396,920	246,127	5,719	6,028
$F_{cr\ ii}$	N	705,636	437,559	10,167	10,716
Freccia	mm	3,1		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.4** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 6000 g

CARICO 7000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog\ 7000}$	N	<b>39,380</b>	<b>32,231</b>	<b>11,709</b>	<b>8,092</b>
$F_{cr\ cc}$	N	176,409	109,390	2,542	2,679
$F_{cr\ ci}$	N	396,920	246,127	5,719	6,028
$F_{cr\ ii}$	N	705,636	437,559	10,167	10,716
Freccia	mm	3,7		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.5** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 7000 g

CARICO 8000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog\ 8000}$	N	<b>44,934</b>	<b>36,737</b>	<b>13,360</b>	<b>9,230</b>
$F_{cr\ cc}$	N	176,409	109,390	2,542	2,679
$F_{cr\ ci}$	N	396,920	246,127	5,719	6,028
$F_{cr\ ii}$	N	705,636	437,559	10,167	10,716
Freccia	mm	4,2		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.6** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 8000 g

CARICO 9000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog\ 9000}$	N	<b>50,489</b>	<b>41,288</b>	<b>15,011</b>	<b>10,370</b>
$F_{cr\ cc}$	N	176,409	109,390	2,542	2,679
$F_{cr\ ci}$	N	396,920	246,127	5,719	6,028
$F_{cr\ ii}$	N	705,636	437,559	10,167	10,716
Freccia	mm	4,7		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.7** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 9000 g

La prima osservazione da fare sui risultati ottenuti è la grande differenza tra le sezioni singole e quelle quaduple: mentre le singole arrivano a rottura con praticamente tutte le tipologie di vincolo, anche quelle meno a favore di sicurezza, le sezioni quaduple non si avvicinano a rottura nemmeno con la configurazione più debole. Questo fattore è in sé positivo per la sicurezza della struttura, in quanto gli elementi principali godono di un buon comportamento, anche se indica che la si poteva forse ottimizzare meglio.

Studiando l'andamento degli sforzi all'aumentare del carico e la progressiva comparsa di fattori di instabilità per le diverse tipologie di vincolo degli elementi sottili, si può ipotizzare un valore di carico a collasso intorno ai 6000-7000 g. Il valore teorico di collasso da utilizzare per il calcolo dell'efficienza statica prevista è dunque di 6000 g, per stare a favore di sicurezza, ma non è escluso che la struttura possa avere risorse per spingersi anche molto oltre.

L'efficienza statica teorica risulta quindi essere:

AA = carico massimo supportato/peso della struttura

$$AA = 6000 \text{ g} / 175 \text{ g} = 34,285$$

Ciò significa che la struttura potrebbe essere in grado di portare oltre 34 volte il proprio peso.

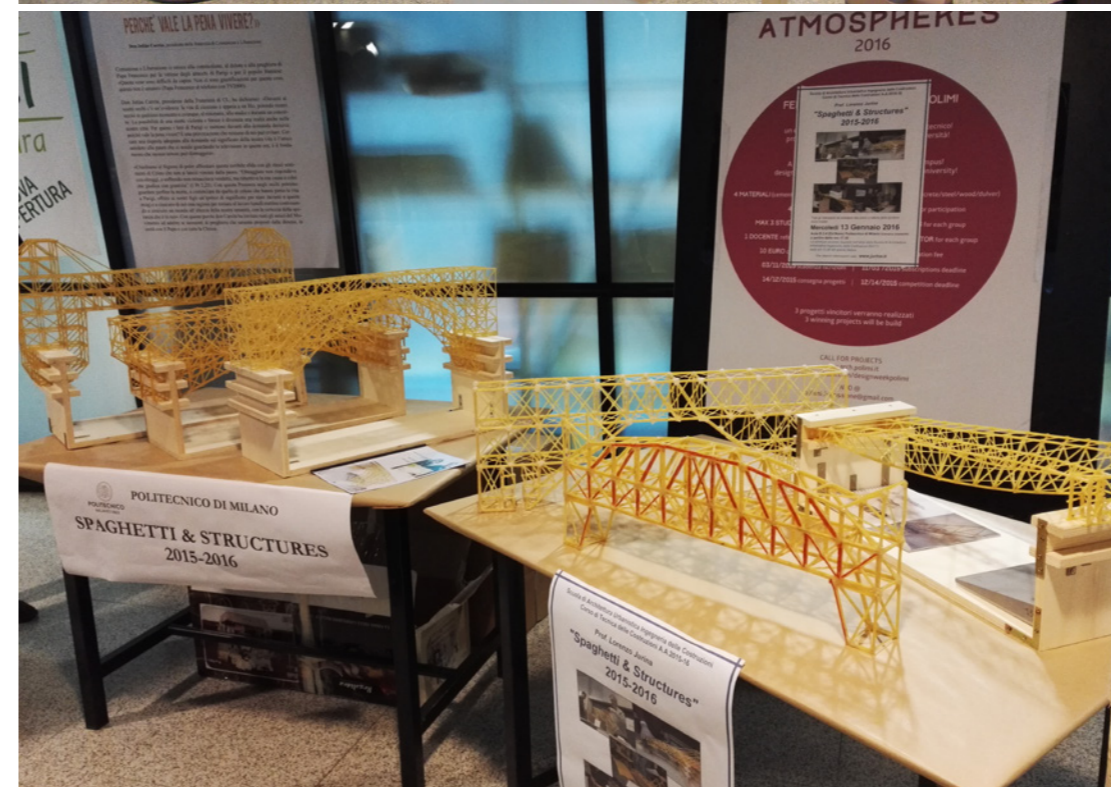
Il meccanismo di collasso previsto sarà innescato dunque dalla instabilizzazione e successiva rottura dei montanti più prossimi alle due estremità della struttura.

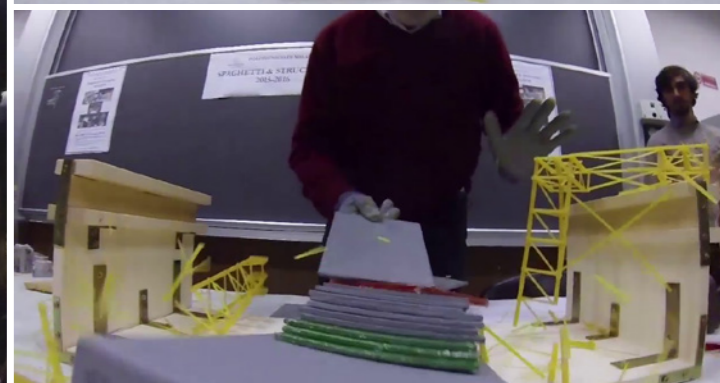
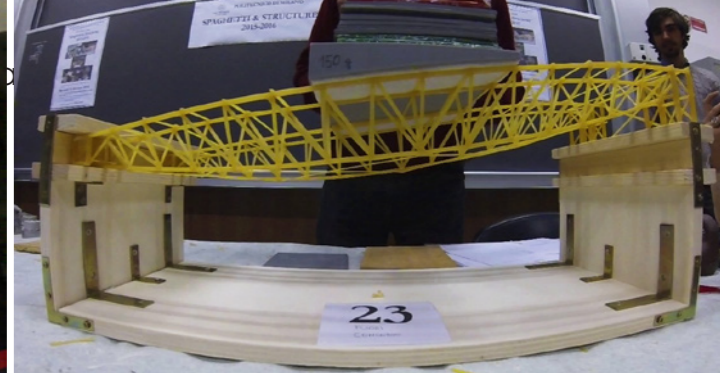
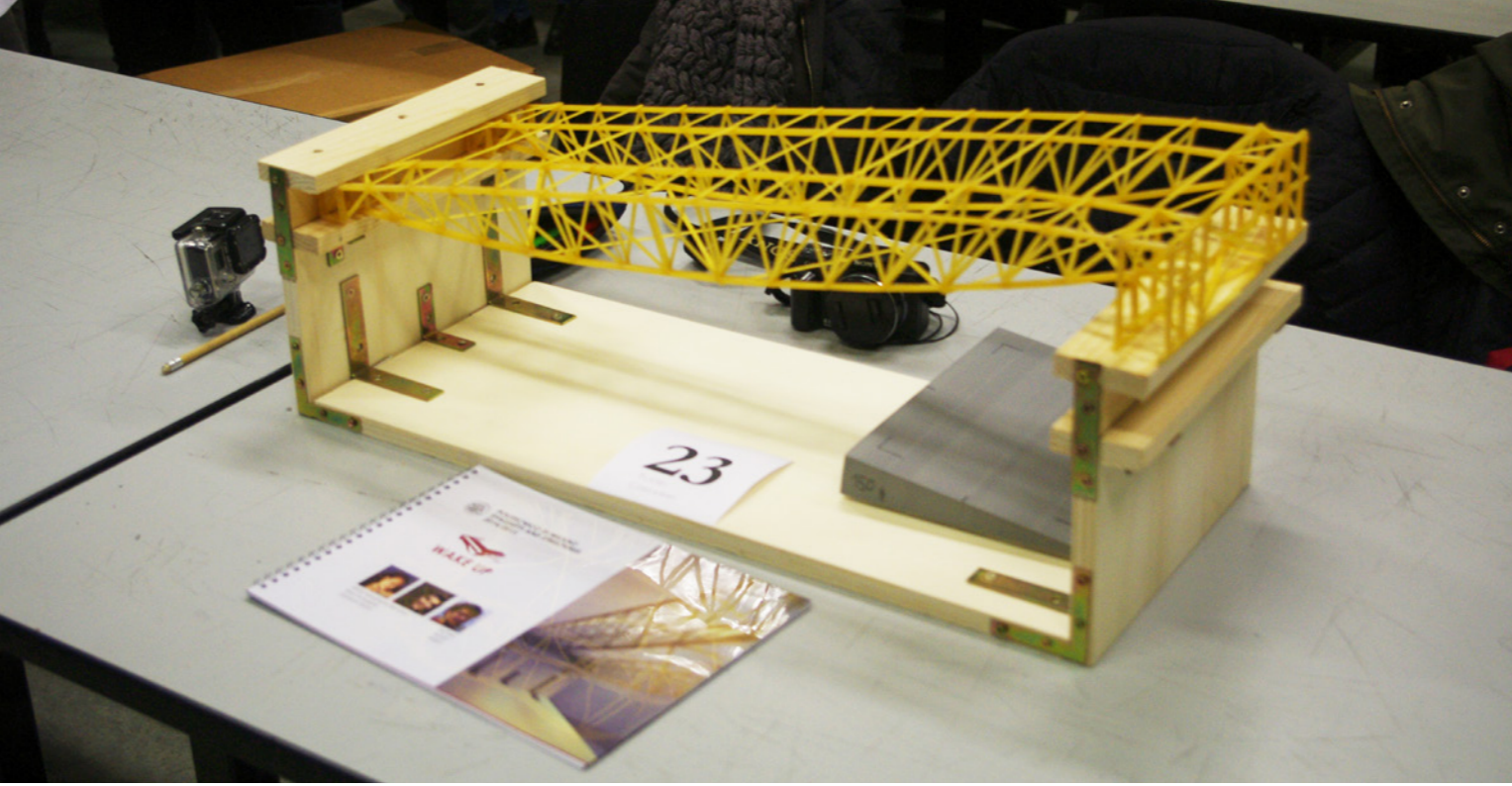
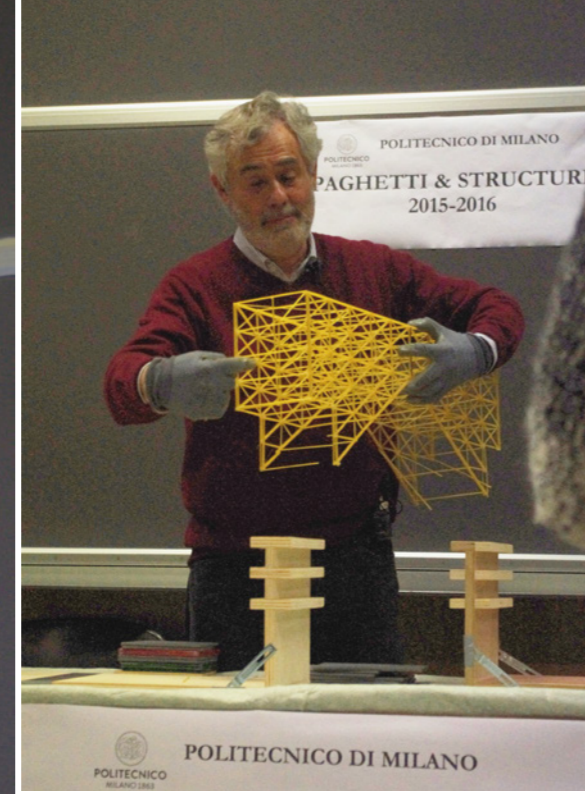
Riepilogo dei dati riguardo alla struttura:

- Peso proprio: 175 g
- Efficienza statica: AA = 34,285
- Efficienza geometrica: BB = 168,16 mm<sup>2</sup>
- Previsione del carico di collasso: 6000 g

### 8.3.6 ESPOSIZIONE DEI MODELLI E PROVE DI CARICO

I modelli realizzati dagli studenti per Spaghetti & Structures 2015/2016 sono stati esposti e successivamente portati a rottura il 13 Gennaio 2016, presso il Campus Leonardo del Politecnico di Milano. L'esposizione ha avuto luogo nell'atrio dell'Edificio 11, di fronte all'aula Rogers, ottenendo un buon seguito e suscitando interesse da parte dei visitatori. Nelle pagine seguenti vi sono alcune foto della mostra e delle prove.





La partecipazione alla manifestazione è stata decisamente interessante ed istruttiva: assistere alle 23 prove di carico effettuate sulle diverse strutture progettate dagli studenti, tutte diverse ed ognuna con specifiche peculiarità, ha permesso di osservare il diverso comportamento delle travi in base alle loro caratteristiche geometriche, costruttive e tecnologiche.

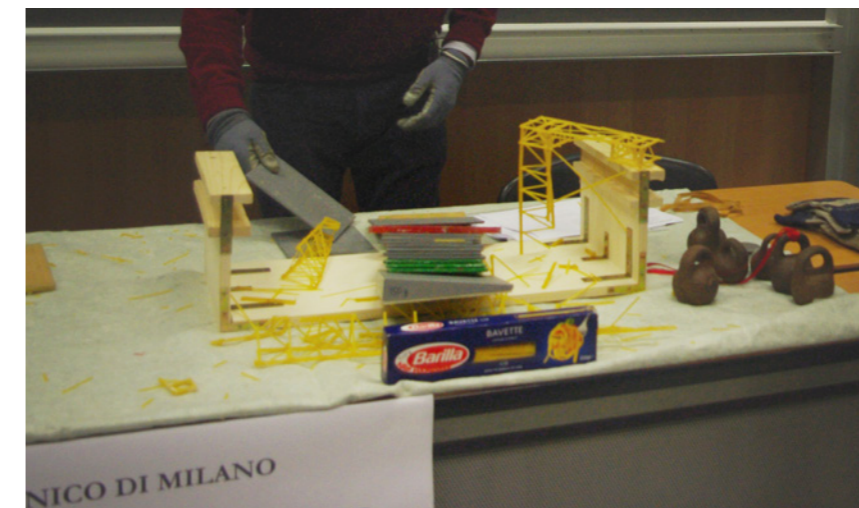
Il caso più eclatante e che ha suscitato maggiore interesse è stato quello di una struttura non dotata di elementi diagonali di controvento e che quindi, con un basso livello di carico (4000 g), si era già evidentemente instabilizzata, con evidenti deformazioni e sbandamenti laterali. A quel punto la prova è stata interrotta per l'impossibilità di proseguire il posizionamento delle piastre di carico e la struttura, anche se quasi integra, è stata dichiarata inservibile. Durante la prosecuzione delle prove la ragazza che aveva progettato quella struttura ha aggiunto degli elementi di controvento (esattamente 6 spaghetti a fronte dei 480 g totali della struttura) ed al termine delle altre prove ha chiesto al professore di caricare nuovamente la sua trave. Il risultato è stato sbalorditivo: non solo la struttura si è

comportata bene dal punto di vista deformativo, ma è riuscita a sostenere un carico di 12,5 kg.

Questo caso è stato il più lampante esempio di come le strutture vadano progettate pensando non nel piano ma nelle tre dimensioni.

Un altro interessante elemento emerso è dovuto alla tecnologia costruttiva: il bando lasciava libertà agli studenti sulla scelta della colla da utilizzare e questi ne hanno utilizzate principalmente di due tipologie: Attak (o simili) o colla calda. Il dato interessante da osservare è stato il differente comportamento delle strutture a seconda del collante scelto: le strutture assemblate con l'Attack, una colla di tipo vetroso, molto resistente e rigida, hanno visto rotture di schianto, di tipo fragile, mentre quelle assemblate con colla calda hanno avuto rotture più duttili ed hanno presentato evidenti fenomeni di viscosità: in alcuni casi si è addirittura arrivati a rottura mantenendo il carico costante ed osservando l'incremento dello stato deformativo.

Inoltre è risultato evidente dalle prove come un maggior grado di iperstaticità riesca a garantire maggiore duttilità: per arrivare a cedimento globale è necessario rompere più aste.



### 8.3.7 L'ESITO DELLA PROVA

Il comportamento in fase di carico della trave reticolare progettata è stato eccellente: in primo luogo è riuscita a reggere ben 13 kg (più i 150 g costituiti dal cuneo, per un totale di 13,15 kg), molto al di sopra dunque del carico critico atteso.

Oltre alle brillanti prestazioni ottenute in termini di pura resistenza, il risultato più importante della prova è stato il comportamento della trave sotto l'azione del carico: non si è innescato alcun tipo di effetto torsionale, di rotazione fuori dal piano di carico, di meccanismo di instabilità generale o di deformazione inattesa.

La geometria si è dunque rivelata vincente: questo è stato il più grande risultato ottenuto, ovvero la validazione geometrica del progetto.

L'obiettivo primario per il quale è stata intrapresa la partecipazione a Spaghetti & Structures 2015/2016 è stato quindi raggiunto.

**Figura 8.35** A sinistra, sopra: esecuzione della prova

**Figura 8.36** A sinistra, sotto: la trave dopo il collasso

Una più specifica analisi della rottura può essere effettuata grazie allo studio delle immagini riprese in slow motion dalla videocamera GoPro, di cui alcuni frames sono riportati a pagina 359. L'osservazione di queste fotografie ha messo in luce quanto già descritto riguardo alle tipologie di rottura legate al collante impiegato: essendo la trave assemblata con l'Attack la rottura è avvenuta di schianto, con una rottura dei giunti di tipo fragile, legata proprio alle caratteristiche chimico-fisiche del tipo di colla. Il cedimento ha poi celermente interessato i correnti e quindi la totalità della struttura. La prima trave a cedere è stata quella verso il Prof. Jurina, poiché quest'ultimo, al fine di indurre le minori sollecitazioni possibili sulle strutture, appoggiava dolcemente le piastre nella parte più prossima alla sua posizione e poi le faceva scorrere fino ad allinearle a quelle precedentemente posizionate.

La struttura ha dunque ceduto quando la quattordicesima piastra è stata appoggiata sulla trave più prossima al professore, prima di poterla far scorrere verso la posizione finale.

Il cedimento è stato preannunciato da un sonoro scricchiolio della struttura dopo il posizionamento del

tredicesimo chilo di carico.

Nella Tabella 8.8 vengono riportati i dati della struttura verificati durante la prova di carico e vengono messi a confronto con i dati progettuali<sup>1</sup>:

PRESTAZIONI DELLA STRUTTURA		
Caratteristiche	Da Progetto	Da prova
Peso proprio [g]	175	178
Efficienza statica $AA = P_{\text{max supportato}} / P_{\text{proprio}}$	34,285	73,876
Efficienza geometrica $BB = h \cdot \Delta$	168,16	168,16
Freccia $\Delta$ [mm]	1	1
Carico di collasso [g]	6'000	13'150

**Tabella 8.8** Confronto tra le prestazioni attese da progetto e quelle raggiunte durante la prova di carico

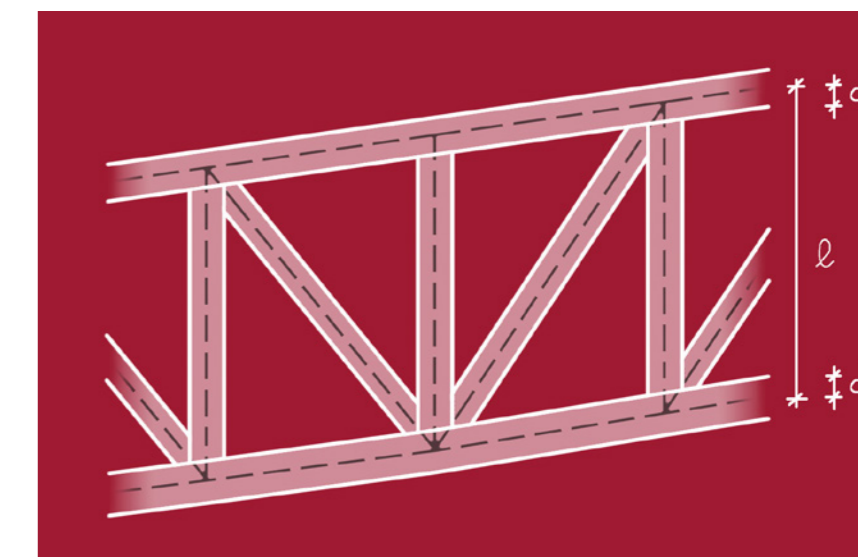
<sup>1</sup> Il peso proprio della struttura cambia poiché misurato con bilance diverse, al termine della costruzione della struttura e prima della prova. La freccia è misurata con carico di 3000 g

La previsione del carico di collasso è stata sottostimata a causa di due fattori: in primo luogo la resistenza del materiale ed il modulo di Young utilizzati potrebbero differire da quelli reali. Nei calcoli strutturali i valori di questi parametri sono stati suggeriti dal bando di concorso stesso, sulla base di quanto emerso dalla tesi "Sperimentazione su travi reticolari in scala ridotta: un ausilio alla didattica" di G. Catta, il cui relatore è stato il Prof. Jurina. Nella tesi stessa si enuncia quanto segue:

*"I risultati [delle prove] sono tuttavia molto discordanti fra loro e si otterrebbe una "E" che varia da 1500 N/mm<sup>2</sup> fino a oltre 6000 N/mm<sup>2</sup>. Allo stesso modo si otterrebbe una  $\sigma_r$  variabile fra 4,7 e 8,17 N/mm<sup>2</sup>. [...] Alla fine ho scelto di percorrere una via più induttiva che deduttiva ed ho immesso nel software FEM Sap2000 diversi valori a cavallo fra 1500 e 6000 N/mm<sup>2</sup> per alcune prove su dei modellini che avevo sperimentato ed i cui valori della freccia in mezzera erano particolarmente attendibili. Questo ha portato alla scelta del valore definitivo da adottare per la "E" della pasta di 1600 N/mm<sup>2</sup>, quello che a mio avviso appare più congruo e verosimile."*<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Catta, G. Sperimentazione su travi reticolari in scala ridotta: un ausilio alla didattica. Milano: Scuola di Architettura e Società, Corso di Laurea in Architettura, Politecnico di Milano. A.A. 2013/2014

L'errore sulla stima del carico di collasso è dovuto inoltre alla presenza di differenze geometriche tra la trave reale ed il modello di calcolo. In particolare le lunghezze delle aste utilizzate per i calcoli coincidevano con le lunghezze ideali delle aste disegnate su AutoCad; ciò significa che non tenevano conto dello spessore dei correnti nel modello fisico (quota d in Figura 8.37, ovvero l'altezza dello spaghetti), che provocano una riduzione della lunghezza dei montanti e dunque un abbassamento del carico critico.



**Figura 8.37** Errore geometrico nel calcolo del carico critico

Nelle seguenti tabelle è riportato il carico critico atteso considerando la corretta lunghezza dei montanti. La lunghezza è stata modificata secondo la formula

$$L_{reale} [mm] = L_{ideale} - (d \cdot 2) - 2$$

Dove  $L_{ideale}$ ,  $d$  sono le quote di Figura 8.37 a pagina 363 e il - 2 è legato alle imprecisioni legate alla costruzione.

Attraverso l'apporto di questa correzione si può notare come il carico critico non sia più compreso tra i 6000 ed i 7000 g, come in precedenza, ma passi

ora ad un valore compreso tra i 9000 g ed i 10'000 g, avvicinandosi così maggiormente al valore osservato in via sperimentale durante la fase di carico (Tabella 8.11 e Tabella 8.12). Si noti che il valore utilizzato precedentemente restava comunque a favore di sicurezza.

Il valore ancora una volta non è perfettamente esatto, probabilmente a causa della scelta del modulo elastico, sulla base di quanto già esplicito in precedenza, tuttavia costituisce una buona approssimazione per questo tipo di applicazione.

CARICO 7000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Variabile	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$L_{0cc}$	mm	31,270	39,710	38,020	36,820
$L_{0ci}$	mm	20,847	26,473	25,347	24,547
$L_{0ii}$	mm	15,635	19,855	19,010	18,410
$F_{prog 7000}$	N	<b>39,380</b>	<b>32,231</b>	<b>11,709</b>	<b>8,092</b>
$F_{cr cc}$	N	176,409	109,390	3,756	4,005
$F_{cr ci}$	N	396,920	246,127	8,452	9,011
$F_{cr ii}$	N	705,636	437,559	15,025	16,020
Freccia	mm	3,7		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.9** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con valori di L corretti (si osservino i valori indicati in corsivo) e carico applicato pari a 7000 g.

CARICO 8000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog 8000}$	N	<b>44,934</b>	<b>36,737</b>	<b>13,360</b>	<b>9,230</b>
$F_{cr cc}$	N	176,409	109,390	3,756	4,005
$F_{cr ci}$	N	396,920	246,127	8,452	9,011
$F_{cr ii}$	N	705,636	437,559	15,025	16,020
Freccia	mm	4,2		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.10** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 8000 g

CARICO 9000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog 9000}$	N	<b>50,489</b>	<b>41,288</b>	<b>15,011</b>	<b>10,370</b>
$F_{cr cc}$	N	176,409	109,390	3,756	4,005
$F_{cr ci}$	N	396,920	246,127	8,452	9,011
$F_{cr ii}$	N	705,636	437,559	15,025	16,020
Freccia	mm	4,7		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.11** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 9000 g

CARICO 10 000 g		SEZIONE QUADRUPLA		SEZIONE SINGOLA	
Forza	udm	A) Corrente appoggio inf	B) Corrente mezzeria	C) Montante appoggio inf	D) Montante appoggio sup
$F_{prog 10 000}$	N	<b>54,037</b>	<b>45,840</b>	<b>15,937</b>	<b>11,510</b>
$F_{cr cc}$	N	176,409	109,390	3,756	4,005
$F_{cr ci}$	N	396,920	246,127	8,452	9,011
$F_{cr ii}$	N	705,636	437,559	15,025	16,020
Freccia	mm	5,2		NB: Carichi di compressione	

**Tabella 8.12** Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 10 000 g

Infine è interessante paragonare i risultati ottenuti dalla struttura, anche se fuori concorso, con quelli dei vincitori di Spaghetti & Structures 2015/2016 per poter avere un metro di paragone e valutare così, a livello più generale, le prestazioni raggiunte.

Nella Tabella 8.13 viene riportato un estratto degli esiti del concorso; la classifica è stata redatta anche attraverso altri parametri, come ad esempio la qualità della relazione tecnica e la gradevolezza estetica della struttura. In questo caso si illustrano solo i dati più interessanti ai fini di una valutazione prestazionale.

La struttura trattata in questa tesi è indicata nell'ultima

riga della tabella (in grassetto), corrispondente al gruppo 23 (evidenziato in rosso), e non rientra nelle posizioni della classifica in quanto, come già descritto, era fuori concorso.

Nella tabella si riporta in verde il miglior valore raggiunto tra tutte le strutture per ciascuna caratteristica.

Come si può evincere dai valori tabellati, la struttura ha avuto un ottimo comportamento anche in confronto alle altre sotto tutti gli aspetti ed in particolare dal punto di vista della leggerezza e dell'efficienza statica, con in assoluto il miglior rapporto peso portato / peso proprio.

ESITI COMPETIZIONE SPAGHETTI & STRUCTURES 2015/2016									
Gruppo	Peso proprio $P_{proprio}$ [g]	Altezza struttura $h$ [mm]	Carico max $g_{max}$ [g]	Carico previsto $g_{prev}$ [g]	Scarto $(g_{max} - g_{prev})$	Efficienza statica AA $g_{max} / P_{proprio}$	Freccia a 3000 g $\Delta$ [mm]	Efficienza geom. BB $h * \Delta$ [mm <sup>2</sup> ]	Posizione in classifica
6	365	74	11'000	5000	6000	30,14	1	74	1
22	399	235	19'500	20'000	500	48,87	1	235	2
2	318	273	13'000	13'000	0	40,88	1	273	3
8	294	97	9000	9000	0	30,61	1	97	4
13	291	220	15'000	5500	9500	51,55	2	440	5
<b>23</b>	<b>178</b>	<b>105</b>	<b>13'150</b>	<b>6000</b>	<b>7150</b>	<b>73,876</b>	<b>1</b>	<b>105</b>	<b>Fuori concorso</b>

Tabella 8.13 Estratto degli esiti del concorso Spaghetti & Structures 2015/2016



Figura 8.38 La cerimonia di premiazione

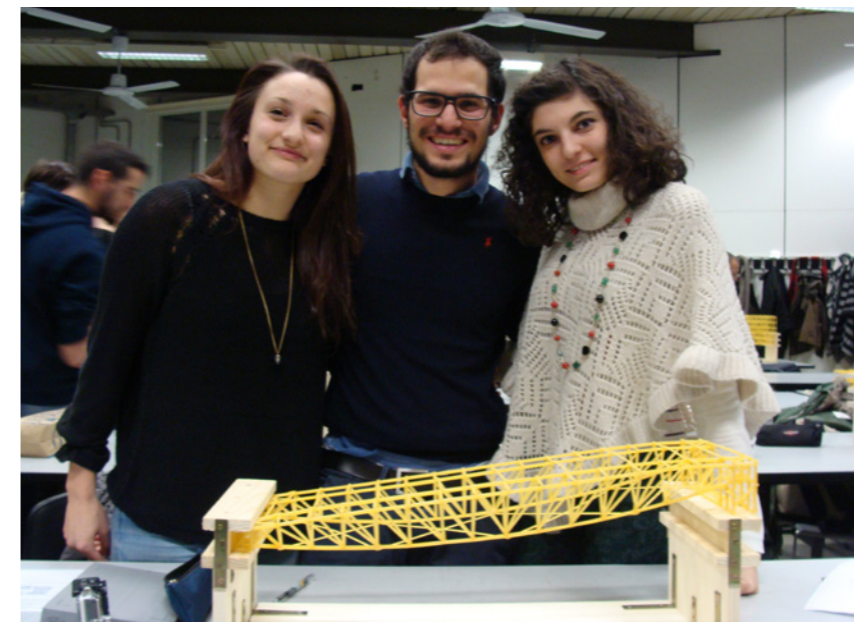


Figura 8.39 Il gruppo di tesi con la struttura reticolare

### 8.3.8 SPAGHETTI & STRUCTURES 2015/2016: CONCLUSIONI

La possibilità di partecipare a questo concorso è stata occasione di arricchimento professionale, confronto e condivisione di momenti di divertimento. Assistere alle diverse prove di carico è stata una possibilità unica di apprendimento e di studio in una modalità alternativa, concreta e decisamente divertente.

Dal punto di vista dello studio della struttura, questa esperienza ha permesso di collaudare e verificare concretamente la qualità della soluzione geometrica proposta, che si è rivelata valida sotto tutti gli aspetti.

Lo sviluppo della progettazione può dunque basarsi su queste solide basi e sarà volto alla verifica della trave reticolare con dimensioni, carichi e materiali reali.

La geometria è stata così appurata e non presenta necessità di ulteriori modifiche; si andranno ora a studiare nello specifico i profili tubolari che compongono la reticolare, i giunti tra di essi e le sezioni cave che costituiscono l'orditura secondaria di collegamento tra le diverse travi.



Il racconto della straordinaria esperienza di Spaghetti and Structures 2015/2016 è stato raccolto sinteticamente in un video pubblicato su [YouTube](#)<sup>1</sup>.



**Figura 8.40** Sopra: inquadra il QR code con la fotocamera con apposita App per vedere il video

**Figura 8.41** A destra: Locandina del concorso Spaghetti and Structures 2015/2016

<sup>1</sup> In caso di problemi con il link o il QR code, il link per esteso è <https://www.youtube.com/watch?v=yx4zEPZMqls>

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni  
Corso di Tecnica delle Costruzioni A.A.2015-16

**Prof. Lorenzo Jurina**

**"Spaghetti & Structures"  
2015-2016**

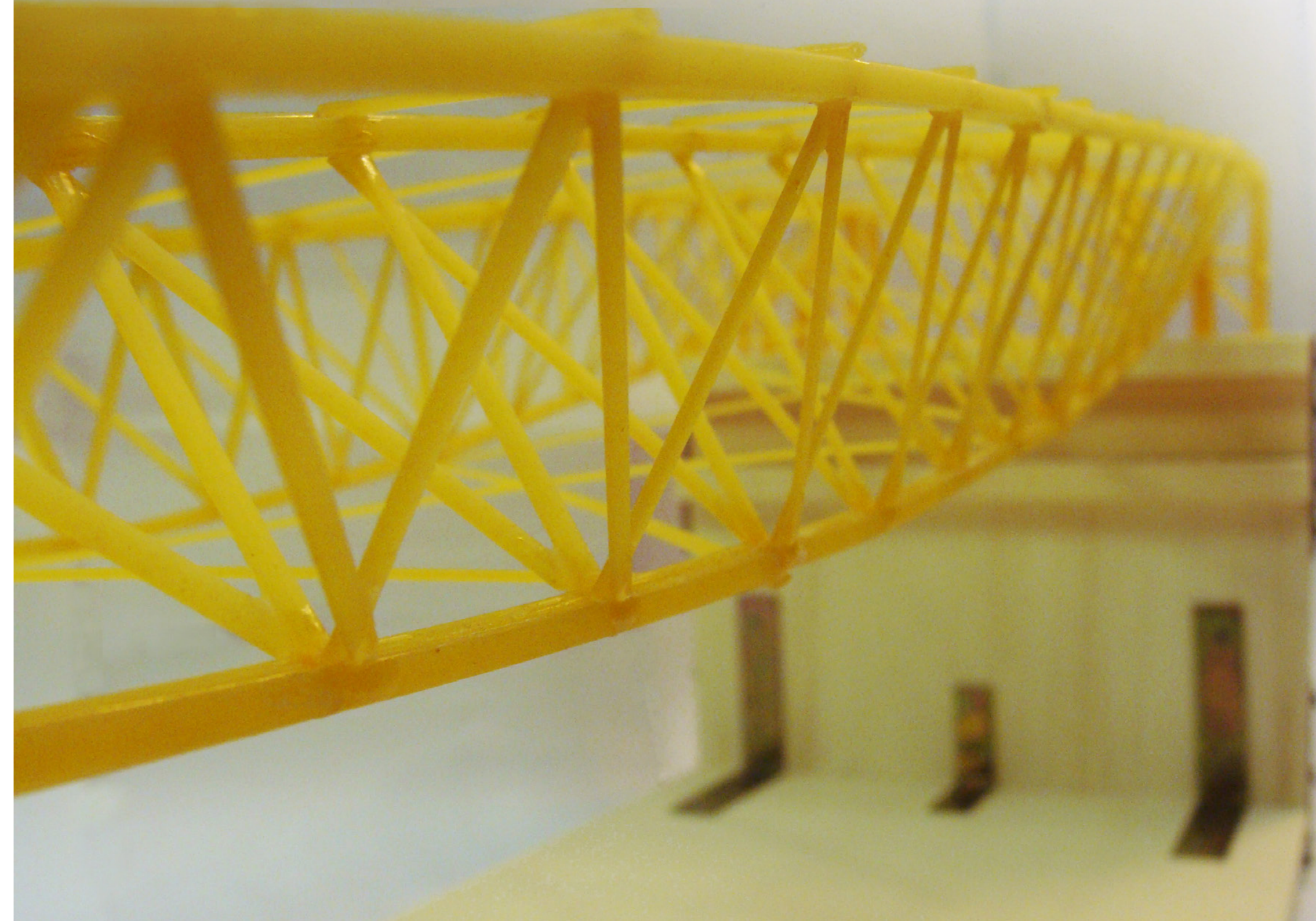


Tutti gli interessati ad assistere alle prove a rottura delle strutture sono invitati:

**Mercoledì 13 Gennaio 2016**  
Aula B.3.4 (Ed.Nave) Politecnico di Milano (Campus Leonardo)  
a partire dalle ore 17.30

Le strutture saranno esposte nell'atrio della Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni (Ed.11) dalle ore 13,00 del giorno stesso.

Per ulteriori informazioni visita [www.jurina.it](http://www.jurina.it)



## 8.4 DIMENSIONAMENTO DELLE TRAVI RETICOLARI DI COPERTURA

Dopo aver approfondito l'aspetto geometrico della trave reticolare ed averne verificato la validità con l'esperienza di Spaghetti and Structures, il passo successivo è quello di verificare i profili e le unioni tra gli elementi secondo la normativa vigente. Si farà riferimento principalmente al D.M. 14/01/2008, agli Eurocodici e alle norme UNI.

Il sistema strutturale che compone la copertura del campo da gioco della palestra è composto da cinque travi reticolari spaziali, collegate tra loro da una struttura secondaria costituita sempre da profili cavi in acciaio e da delle barre disposte a croce con funzione controventante.

Il primo passo per svolgere le verifiche strutturali su questi elementi è quello di determinare le azioni agenti su di essi, facendo riferimento in particolare al capitolo 3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che classifica le azioni in diverse tipologie:

- **permanenti (G):** azioni che agiscono durante tutta la vita nominale della costruzione, la cui

variazione di intensità nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con buona approssimazione come costanti nel tempo.

- peso proprio di elementi strutturali (G1)
- peso proprio di elementi non strutturali (G2)
- **variabili (Q):** azioni sulla struttura o sull'elemento strutturale con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo. Si considerano le seguenti azioni variabili:
  - di lunga durata: agiscono con un'intensità significativa, anche non continuamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura: carichi di esercizio (Q)
  - di breve durata: azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura: carico da neve e azione del vento

### 8.4.1 CARICHI PERMANENTI (G)

Per determinare il valore dei carichi permanenti agenti sulla copertura è necessario considerare tutti gli elementi che vengono portati dal sistema reticolare,

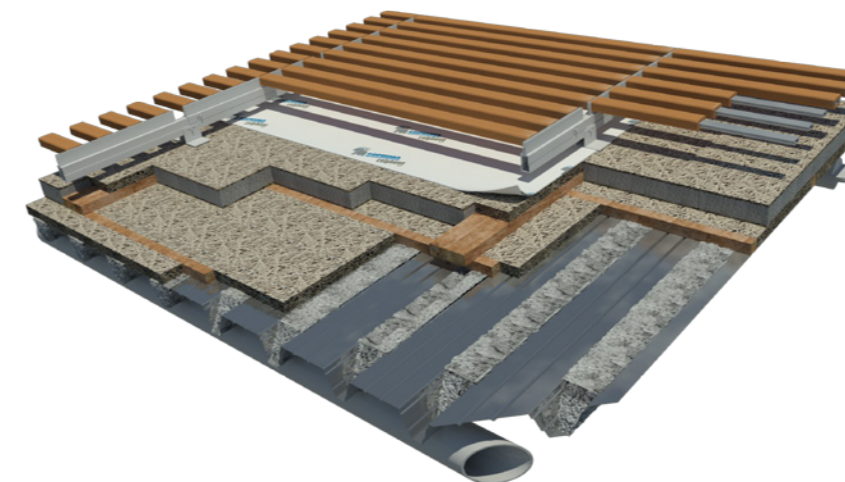


Figura 8.42 CO\_02 Abaco di copertura

ovvero le i pacchetti tecnologici di chiusura che compongono il tetto della palestra nella zona del campo da gioco. Vi sono due tipologie di chiusure: una di tipo opaco, ovvero la CO\_02, e una di tipo trasparente, costituita da finestre da tetto tipo Velux. Per entrambe è stato calcolato il carico al metro quadrato. I risultati per la chiusura opaca vengono riportati in Tabella 8.14, mentre per la chiusura trasparente si è proceduto diversamente: il produttore fornisce il peso esatto di ciascuna finestra, che è stato moltiplicato per il numero totale di elementi e diviso per la loro area totale: Allo stesso modo viene fornito il peso al metro lineare del sistema di oscuramento

CARICHI PERMANENTI - CO_02					
Strato	Spessore [m]	Peso per unità di volume [kN/m³]	G1 [kN/m²]	G2 [kN/m²]	Fonte
Lamelle in cotto	-	-	-	0,627	scheda tecnica
Isolante Celenit F2 LANA	0,050	4,12	-	0,206	scheda tecnica
Isolante Celenit F2 FIBRA	0,160	1,28	-	0,204	scheda tecnica
Isolante Celenit N	0,050	3,53	-	0,177	scheda tecnica
Lamiera grecata	0,001	76,52	0,08	-	scheda tecnica
Doppia lastra cartongesso	0,025	8,83	-	0,221	scheda tecnica
<b>TOTALE</b>			<b>0,08</b>	<b>1,43</b>	

Tabella 8.14 Calcolo dei carichi permanenti indotti dal pacchetto tecnologico di copertura CO\_02

in lamelle di cotto. Dalle seguenti espressioni si può dunque ricavare il carico permanente della chiusura:

$$\begin{aligned} \text{Finestre: } \text{Peso Cad/Area cad} &= \text{Peso/m}^2 \\ 51 \text{ kg}/(1,45 \text{ m} \cdot 0,89 \text{ m}) &= 39,52 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lamelle: } \text{Peso lineare} \cdot \text{m di lamelle/m}^2 &= \text{Peso/m}^2 \\ 18 \text{ kg/m} \cdot 3 \text{ m/m}^2 &= 54 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Sommando i due valori ottenuti e convertendo il risultato in  $\text{kN/m}^2$  è possibile determinare il carico dovuto alla chiusura trasparente pari a:

$$(39,52 \text{ kg/m}^2 + 54 \text{ kg/m}^2) / 100 = 0,935 \text{ kN/m}^2$$

Si noti come il carico dovuto alla chiusura trasparente sia minore di quello imputabile alla chiusura opaca; nei calcoli si è dunque deciso di considerare l'intera superficie come opaca (strategia vuoto per pieno), progettando così a favore di sicurezza ed assicurando la possibilità di eventuali trasformazioni future del manufatto edilizio. Inoltre l'area vetrata è decisamente inferiore rispetto alla totalità dell'area del

tetto ( $45,5 \text{ m}^2$  a fronte degli  $862,5 \text{ m}^2$  totali), dunque l'approssimazione è di lieve entità.

## 8.4.2 CARICHI VARIABILI (Q)

### 8.4.2.1 Azione della neve

Per la determinazione del carico da neve si impiegano le direttive imposte al capitolo 3.4 del D.M 14/01/2008. L'azione della neve viene definita dalla formula

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

Dove:

$q_s$  è il carico neve sulla copertura;

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura

$q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [ $\text{kN/m}^2$ ]

$C_E$  è il coefficiente di esposizione

$C_t$  è il coefficiente termico

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona. Il comune di Bosisio Parini rientra nella Zona I - Alpina, secondo

la suddivisione dettata dalle norme, ad un'altezza sul livello del mare  $q_s$  pari a 270 m. Dato che  $q_s > 200 \text{ m}$  s.l.m. la normativa indica che il valore caratteristico di carico di neve al suolo è pari a:

$$q_{sk} = 1,39 \cdot [1 + (q_s/728)^2] \text{ kN/m}^2 = 1,58 \text{ kN/m}^2$$

Il coefficiente di esposizione  $C_E$  ed il coefficiente termico  $C_t$  vengono assunti pari a 1, mentre il coefficiente di forma  $\mu_i$  è uguale a 0,8, essendo la copertura inclinata di un angolo  $\alpha$  compreso tra 0 e  $30^\circ$ .

Si ottiene dunque:

$$q_s = \mu_i \times q_{sk} \times C_E \times C_t = 0,8 \cdot 1,58 \cdot 1 \cdot 1 = 1,265 \text{ kN/m}^2$$

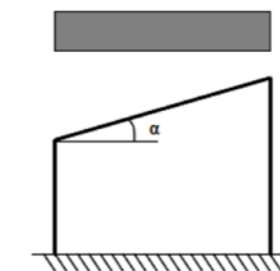


Figura 8.43 Azione della neve per coperture a una falda

### 8.4.2.2 Azione del vento

L'azione del vento, essendo la copertura lievemente inclinata, esercita anche una forza in direzione verticale. Tuttavia questa risulta essere di entità molto lieve e dunque trascurabile rispetto al carico totale, poiché la copertura presenta un angolo di inclinazione molto basso.

Il valore della sollecitazione in direzione verticale indotta dalla forza del vento è stato calcolato secondo le direttive delle NTC e dell'Eurocodice e risulta pari a  $0,17 \text{ kN/m}^2$ . Questo valore, che si conferma di scarsa consistenza, risulta essere abbondantemente coperto dalle ipotesi cautelative poste sul calcolo vuoto per pieno dei carichi permanenti indotti dalle stratigrafie di copertura. Pertanto non si approfondisce dettagliatamente in questa sede il procedimento seguito per il calcolo dell'azione del vento, in quanto azione non rilevante ai fini delle verifiche. Il risultato derivante dai calcoli viene comunque riportato ed è pari a  $0,17 \text{ kN/m}^2$ .

### 8.4.3 COMBINAZIONI DI CARICO

Dopo aver determinato le azioni agenti sulla struttura è necessario combinarle come previsto dal D.M. 14/01/2008 al capitolo 2.5.3, inserendo così fattori di sicurezza e di non contemporaneità.

Nella Tabella 8.15 sono riportati i risultati per ciascuno stato limite derivanti dalle prescrizioni normative.

Nel calcolo delle azioni agli stati limite devono essere considerati i coefficienti  $\gamma_F$  e  $\Psi$ , stabiliti da normativa. I valori di tali parametri sono quelli riportati in Tabella 8.16 e Tabella 8.17, che riportano i valori dettati dalle Norme tecniche per le Costruzioni sempre al capitolo 2.5.

I valori delle azioni trovate con le combinazioni di carico sono quelli da applicare alle travi per le verifiche. Il modus operandi è stato quello di verificare in primo luogo l'orditura secondaria di collegamento tra le diverse travi reticolari, sia in termine di resistenza ultima che in esercizio, per poi applicare le reazioni vincolari trovate sulle travi reticolari, le cui sollecitazioni sono state calcolate ancora una volta attraverso il software FEM Sap2000.

COMBINAZIONI DI CARICO			
Carichi permanenti	$G_1$	$G_2$	UdM
Chiusura opaca CO_02	0,08	1,43	kN/m <sup>2</sup>
Chiusura trasparente	-	0,93	kN/m <sup>2</sup>
Carichi variabili	$q_s$		UdM
Neve	1,265		kN/m <sup>2</sup>
Stati limite	Formula	Valore	UdM
SLU	$Y_{G1} * G_1 + Y_{G2} * G_2 + Y_{Q1} * Q_{k1}$	4,15	kN/m <sup>2</sup>
SLE - Rara	$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \Psi_{02} * Q_{k2}$	2,14	kN/m <sup>2</sup>
SLE - Frequente	$G_1 + G_2 + \Psi_{11} * Q_{k1} + \Psi_{22} * Q_{k2}$	1,76	kN/m <sup>2</sup>
SLE - Q. perm.	$G_1 + G_2 + \Psi_{21} * Q_{k1} + \Psi_{22} * Q_{k2}$	1,51	kN/m <sup>2</sup>

Tabella 8.15 Combinazioni di carico agli stati limite

COEFFICIENTI $\Psi$			
Casi	$\Psi_{0j}$	$\Psi_{1j}$	$\Psi_{2j}$
Coperture	0	0	0
Neve <1000 m	0,5	0,2	0
Vento	0,6	0,2	0

Tabella 8.16 Valori da normativa dei coefficienti  $\Psi$

COEFFICIENTI $\gamma$		
	coeff $\gamma_F$	A1 str
Permanenti	$Y_{G1}$	1,3
Perm non strutturali	$Y_{G2}$	1,5
Variabili	$Y_{Qi}$	1,5

Tabella 8.17 Valori da normativa dei coefficienti  $\gamma_F$

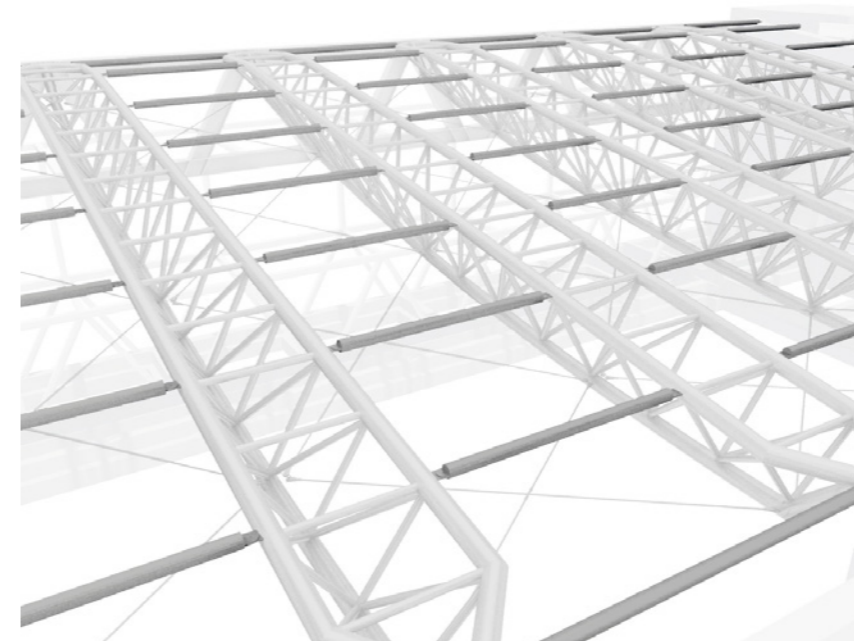


Figura 8.44 Il sistema reticolare di copertura, con l'orditura secondaria in evidenza

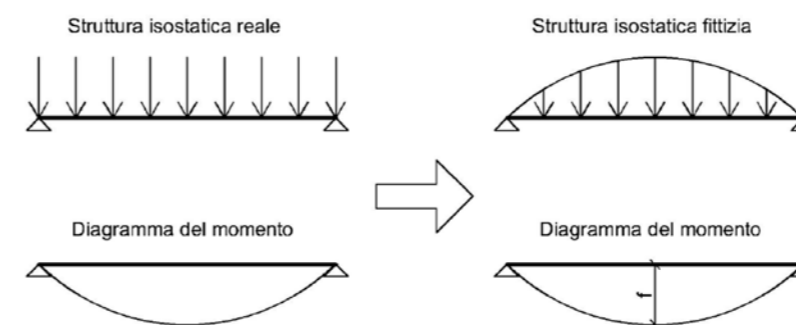


Figura 8.45 Schema di carico orditura secondaria

### 8.4.4 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELL'ORDITURA SECONDARIA

L'orditura secondaria è stata verificata sia allo stato limite ultimo che agli stati limite di esercizio. Per questi ultimi si è considerata la combinazione più gravosa, ovvero la combinazione rara, che, se verificata, soddisfa anche tutte le altre combinazioni.

L'orditura secondaria è costituita da elementi tubolari con schema appoggio - appoggio sottoposti a flessione monoassiale retta indotta da carichi uniformemente distribuiti lungo la luce (Figura 8.45).

#### 8.4.4.1 Stato Limite di Esercizio - Combinazione rara

Attraverso il corollario di Mohr si può determinare la freccia  $f$  associata alla condizione di carico descritta:

$$f = \frac{5}{384} \frac{pl^4}{EI}$$

dove

$p$  è il carico applicato espresso in kN/m

$E$  è il modulo elastico dell'acciaio, pari a 210000 N/mm<sup>2</sup>

$I$  è il momento d'inerzia della sezione in cm<sup>4</sup>

Il D.M. 14/01/2008 alla Tabella 4.2.X definisce il valore massimo della freccia ammessa per diverse tipologie di strutture. Per le coperture il valore di  $f$  deve essere:

$$f \leq 1/250 l$$

La luce della trave  $l$  nel caso della orditura secondaria è pari a 3,41 m; ne risulta che la freccia ammessa deve essere inferiore a:

$$f = \frac{1}{250} l = \frac{1}{250} * 341 \text{ cm} = 1,36 \text{ cm}$$

Noto il valore limite della freccia è possibile calcolare una inerzia teorica e successivamente scegliere il profilo più adatto che soddisfi le richieste prestazionali.

$$I = \frac{5 pl^4}{384 Ef} = \frac{5}{384} \frac{0,91 \text{ kN/m} * (3,41 \text{ m})^4}{210000 \text{ N/mm}^2 * 0,013 \text{ m}} * 10^5 = 56,16 \text{ cm}^4$$

La tipologia di profili in acciaio adoperati, non solo per le travi secondarie ma anche per l'intera struttura reticolare, è quella di tubi formati a caldo, che garantiscono, rispetto a quelli a freddo, una maggiore duttilità grazie all'assenza di tensioni interne residue



GAMMA DEL TUBO FINITO A CALDO

Gamma profilato tubolare a caldo - tondo

DIAMETRO ESTERNO SPECIFICO	SPESSORE SPECIFICO	MASSA LINEARE	AREA DELLA SEZIONE TRASVERSALE	MOMENTO D'INERZIA	RAGGIO DI INERZIA	MODULO D'ELASTICITÀ	MODULO DI PLASTICITÀ	MODULO D'INERZIA DI TORSIONE	MODULO DI TORSIONE	SUPERFICIE LATERALE PER UNITÀ DI LUNGHEZZA	LUNGHEZZA NOMINALE PER TONNELLATA	AREA SUPERFICIE ESTERNA PER METRO
D	T	M	A	I	i	$W_e$	$W_p$	$I_t$	$C_t$	$A_s$	m	$A_w$
mm	mm	kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m		m <sup>2</sup>
82,5	8	14,7	18,7	131	2,65	31,9	44,6	263	63,7	0,259	68,0	138
82,5	10	17,9	22,8	152	2,59	37,0	52,9	305	73,9	0,259	55,9	114
82,5	12,5	21,6	27,5	174	2,51	42,1	61,9	347	84,2	0,259	46,3	94,3
88,9	3,2	6,76	8,62	79,2	3,03	17,8	23,5	158	35,6	0,279	148	324
88,9	4	8,38	10,7	96,3	3,00	21,7	28,9	193	43,3	0,279	119	262
88,9	5	10,3	13,2	116	2,97	26,2	35,2	233	52,4	0,279	96,7	212

Figura 8.46 La sezione scelta per l'orditura secondaria

garantita dal processo produttivo. Il profilo scelto è un tubo finito a caldo  $\Phi 88,9/3,2$ , le cui specifiche sono riportate in Figura 8.46, un estratto del profilario di riferimento. In particolare per la verifica allo SLE è necessario il valore dell'inerzia, pari a  $79,2 \text{ cm}^4$ , dal quale dunque si può risalire al valore della freccia reale:

$$f_{reale} = \frac{5 pl^4}{384 EI} = \frac{5}{384} \frac{0,76 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * (3,41 \text{ m})^4}{210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 79,2 * 10^{-8} \text{ cm}^4} * 10^{-1} = 0,96 \text{ cm} < 1,36 \text{ cm}$$

La freccia reale risulta minore della freccia massima teorica imposta da normativa e dunque il profilo risulta verificato allo Stato Limite di Esercizio.

Nella Tabella 8.18 si riportano sinteticamente i dati ed i risultati della verifica allo SLE delle travi dell'orditura secondaria. Si ricorda che la verifica è stata eseguita per la combinazione più critica, ovvero quella rara:

VERIFICA SLE		
Carichi agenti SLE		
Combinazione	Valore	UdM
SLE - Rara	2,14	kN/m <sup>2</sup>
SLE - Frequente	1,76	kN/m <sup>2</sup>
SLE - Quasi permanente	1,51	kN/m <sup>2</sup>
Dati geometrici, meccanici e normativi		
Interasse travi	2,6	m
Modulo elastico E	210'000	N/mm <sup>2</sup>
Luce travi l	3,41	m
Area di influenza	8,87	m <sup>2</sup>
Massa lineare $\Phi 88,9/3,2$	6,76	kg/m
Peso trave $\Phi 88,9/3,2$	23,06	kg
f teorica (1/250 l)	1,36	cm
Carico lineare p	0,912	kN/m
Inerzia teorica I	56,15	cm <sup>4</sup>
I reale $\Phi 88,9/3,2$	79,2	cm <sup>4</sup>
f reale	0,968	cm
VERIFICA f reale < f max	0,96 < 1,36	VERO

Tabella 8.18 Dati e risultati della verifica dell'orditura secondaria allo SLE

### 8.4.4.2 Stato Limite Ultimo

La trave è sottoposta a flessione monoassiale retta. Per tale situazione il D.M 14/01/2008 impone la seguente verifica di stabilità:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove

$M_{Ed}$  è il momento flettente agente di progetto

$M_{c,Rd}$  è il momento flettente resistente della sezione.

La norma fornisce diverse formulazioni per il calcolo del momento resistente  $M_{c,Rd}$  in base alle caratteristiche geometriche delle sezioni, che vengono divise in classi. È necessario quindi verificare la classe del profilo scelto:

Sezioni Tubolari						
Sezione inflessa e/o compressa						
Classe	$d/t \leq 90 \epsilon^2$ (Per $d/t > 90 \epsilon^2$ vedere EN 1993-1-6)					
1	$d/t \leq 50 \epsilon^2$					
2	$d/t \leq 70 \epsilon^2$					
3	$d/t \leq 90 \epsilon^2$					
$\epsilon = \sqrt{235 / f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\epsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

Figura 8.47 Classificazione delle sezioni: estratto della Tabella 4.2.III del D.M 14/01/2008

Facendo riferimento alla Figura 8.47 è possibile quantificare  $\varepsilon^2$ , che nel caso dell'acciaio 275 che caratterizza i tubolari utilizzati è pari a 0,85. Dunque, noti  $d$  e  $t$ , rispettivamente 88,9 e 3,2 mm, si ricava:

$$d/t * 1/\varepsilon^2 = 88,9/3,2 * 1/0,85 = 32,68 < 50$$

Da cui si deduce che il profilo tubolare  $\Phi$  88,9/3,2 appartiene alla Classe 1.

È dunque ora possibile calcolare  $M_{c,Rd}$  secondo la formula:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 6,15 \text{ kN} * \text{m}$$

Dove

$W_{pl,Rd}$  è il modulo di plasticità, pari a 23,5 cm<sup>3</sup>

$f_{yk}$  è lo sforzo di snervamento, pari a 275 N/mm<sup>2</sup>

$\gamma_{M0}$  è un coefficiente di sicurezza, pari a 1,05

È ora possibile imporre la verifica di sicurezza, che risulta essere rispettata:

$$\frac{M_{c,Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{2,75 \text{ kN} * \text{m}}{6,15 \text{ kN} * \text{m}} = 0,45 < 1$$

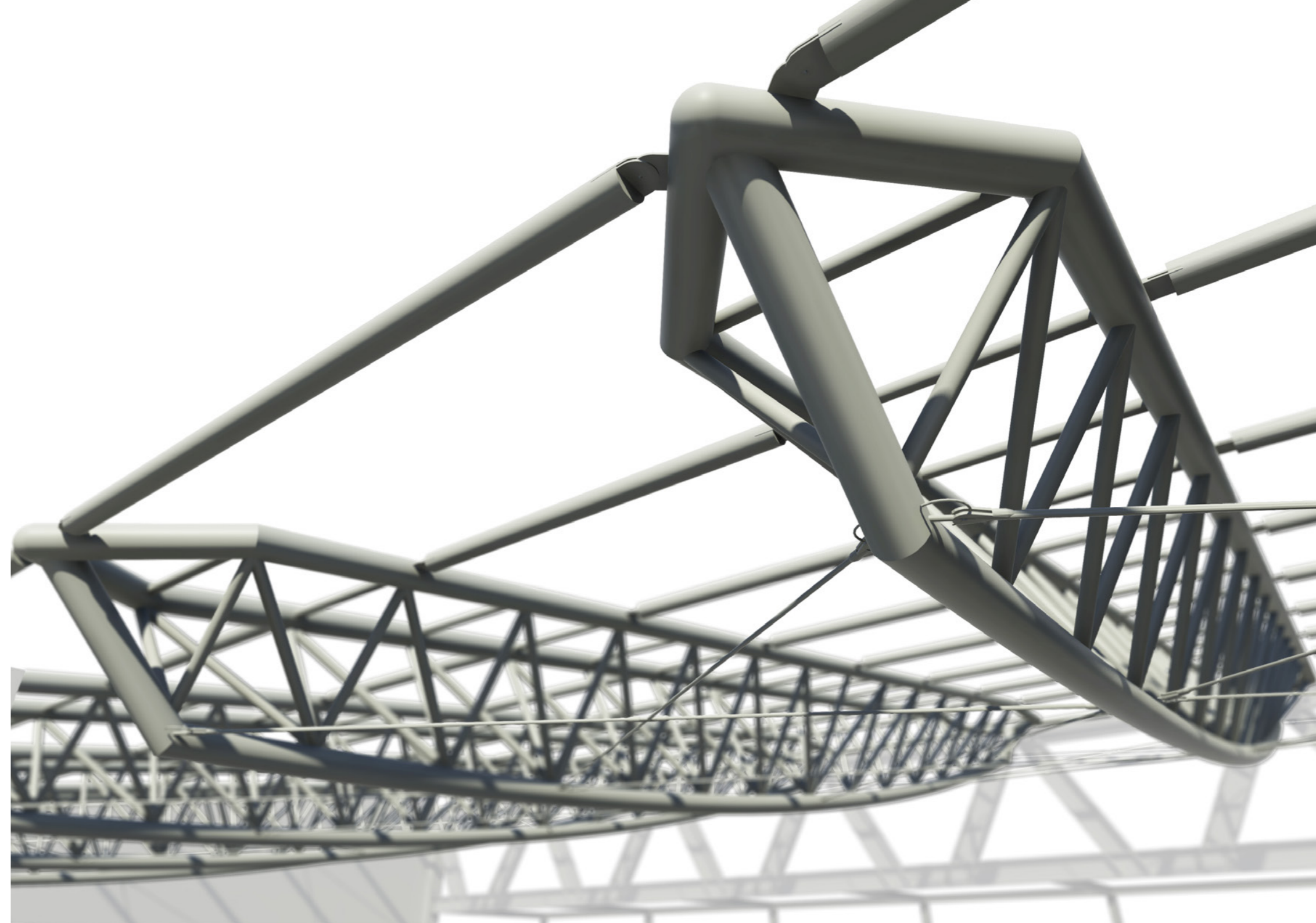
#### 8.4.5 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE TRAVI RETICOLARI DI COPERTURA

Per studiare le travi reticolari di copertura è stato implementato un modello di calcolo con il software a elementi finiti Sap2000, attraverso il quale è stato possibile determinare le sollecitazioni in ogni punto della struttura.

Le azioni agenti nei profili ricavate attraverso l'analisi a elementi finiti sono state poi utilizzate per i calcoli del dimensionamento dei diversi elementi che compongono la trave reticolare. Le verifiche sono state svolte su tutti i profili della trave.

Il processo di modellazione per il software a elementi finiti è analogo a quello descritto nel paragrafo di Spaghetti and Structures, dunque in questa fase lo si tratterà meno approfonditamente e con un focus particolare sui passaggi che presentano differenze significative.

Nel modello a elementi finiti bisogna inserire geometria, vincoli, materiali, sezioni e carichi. I carichi esterni agenti derivano dalle combinazioni di carico analizzate in precedenza.



Lo schema statico di riferimento è una trave cerniera - cerniera, con carichi puntuali applicati ai nodi della reticolare. Questi ultimi si dividono in due tipologie: nodi di attacco dell'orditura secondaria e nodi semplici. In quelli semplici il carico applicato sarà semplicemente legato all'area di influenza considerata per il singolo nodo, mentre per gli altri oltre a questo contributo vi è anche quello che proviene dalle azioni scambiate con l'orditura secondaria (Figura 8.49).

Il valore del carico applicato alle due tipologie di nodo viene calcolato considerando le aree di influenza, illustrate in Figura 8.48. In particolare si ha che:

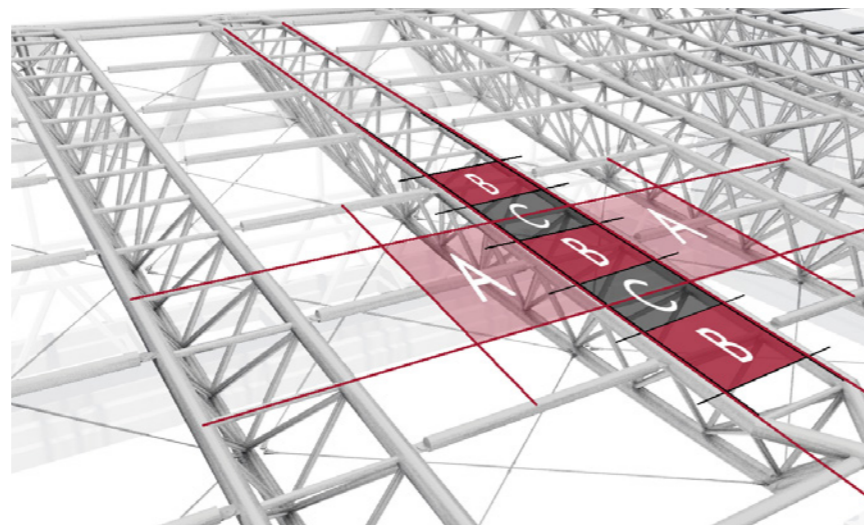
A = Area di influenza travi secondarie, 4,43 m<sup>2</sup>

B = Area di influenza nodo semplice, pari a B/2 = 1 m<sup>2</sup>

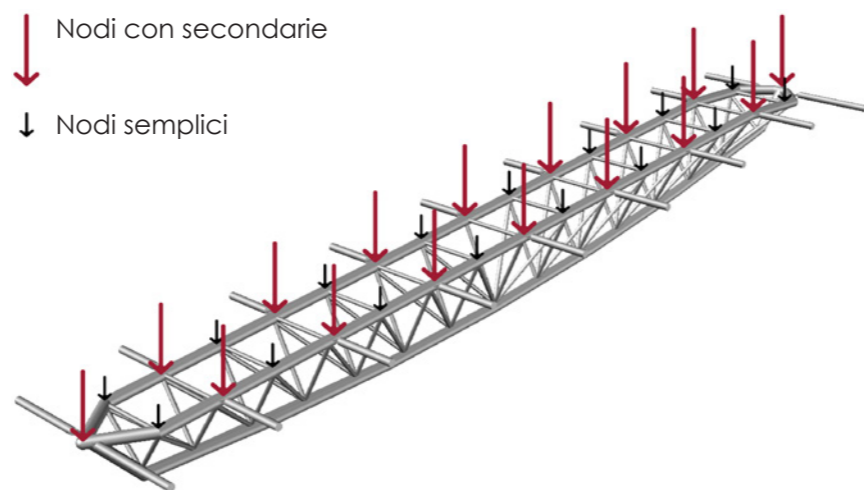
C = Area di influenza nodo con secondarie, C/2 = 1 m<sup>2</sup>

Moltiplicando per queste aree di influenza il valore del carico al metro quadrato si trova il carico puntuale da inserire nel modello per ciascun nodo. L'inserimento di carichi puntuali è una semplificazione che non comporta differenze significative a livello numerico.

Nella Tabella 8.19 vengono riportati i valori dei carichi



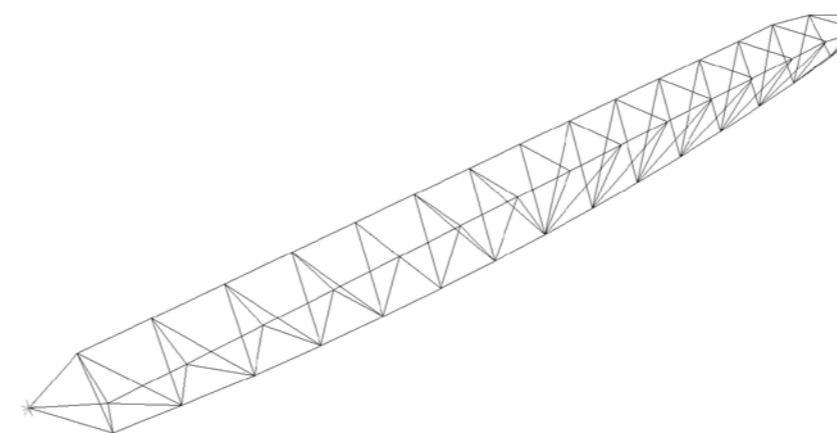
**Figura 8.48** Aree di influenza. A=travi secondarie, B=nodo con secondarie, C=nodo semplice



**Figura 8.49** Punti di applicazione dei carichi

CARICHI SU NODI TRAVE RETICOLARE				
Combinazione	Nodi con ord. sec.		Nodi semplici	
	Valore	UdM	Valore	UdM
SLU	23,935	kN	4,169	kN
SLE - Rara	12,422	kN	2,154	kN
SLE - Frequente	10,243	kN	1,773	kN
SLE - Q. perm.	8,791	kN	1,518	kN

**Tabella 8.19** Carichi agenti sui nodi della trave reticolare



**Figura 8.50** La geometria del modello di trave importato in Sap2000 da AutoCad, composta intermanente da elementi frame

trovati attraverso il procedimento descritto, sia allo Stato Limite Ultimo che allo Stato Limite di Esercizio.

#### 8.4.5.1 La modellazione FEM in Sap2000

La procedura è analoga a quella esaminata per Spaghetti and Structures, dunque la trattazione sarà eseguita in maniera meno approfondita.

Il modello a elementi finiti è stato importato da AutoCad, attraverso la procedura di importazione tramite files .dxf incorporata in Sap2000. Nella procedura di importazione è di fondamentale importanza controllare la corrispondenza tra le unità di misura utilizzate nei due software, per evitare gravi errori dimensionali.

In questo caso, rispetto a quanto effettuato per il modello numerico degli spaghetti, è stato necessario importare una sola trave reticolare per eseguire lo studio del comportamento strutturale.

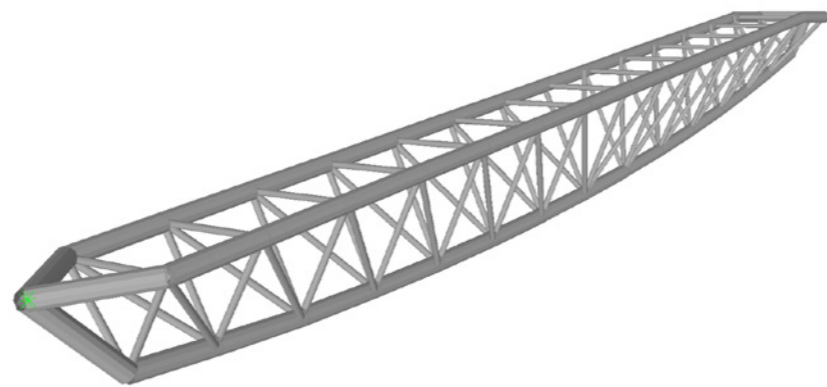
Una volta importato il modello occorre inserire condizioni di vincolo, materiali, sezioni, carichi e combinazioni di carico. Per quanto riguarda i vincoli, è stata imposta una cerniera ad entrambi gli estremi della trave, con l'accortezza di bloccare anche le

rotazioni fuori piano per evitare l'innescio di oscillazioni che sono nella realtà impedito sia dai vincoli stessi che dai mutui collegamenti fra le travi e tra queste ed i setti in CA agli estremi del campo da gioco.

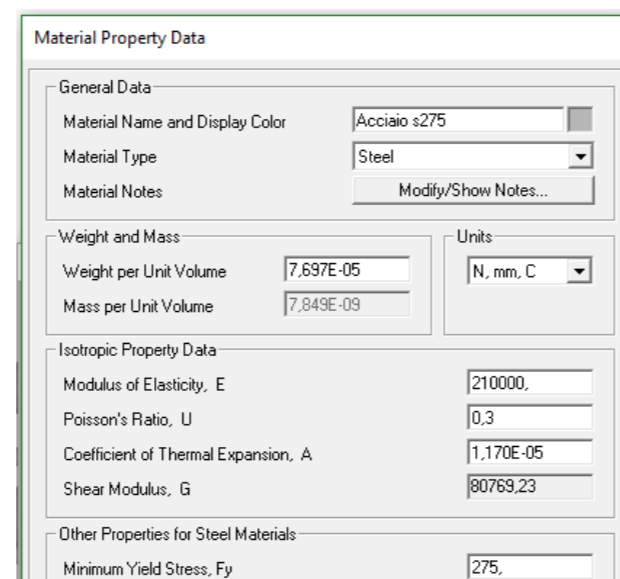
Le sezioni sono state definite in maniera reiterata: in prima istanza sono state inserite le sezioni ipotizzate in fase di predimensionamento e sono stati effettuati i calcoli. Una volta appurato che quelle sezioni erano eccessivamente sovradimensionate, sono state sostituite con sezioni più contenute. Le azioni interne associate a diverse sezioni variano poiché il diverso peso dei profili aumenta o riduce il carico totale da sostenere. I tubolari adottati come soluzione finale sono stati dei  $\Phi 193,7/5$  per i correnti e dei  $\Phi 88,9/3,2$  per montanti e diagonali. Nella Figura 8.51 è riportata la vista estrusa con le sezioni finali esportata da Sap2000.

Il materiale è stato impostato ancor una volta dal menù Define -> Materials, e sono stati inseriti i valori dell'acciaio S275, utilizzato per tutti gli elementi che compongono la trave reticolare

I carichi, di cui si è già ampiamente discusso in precedenza, sono stati inseriti sui nodi come carichi puntuali diretti nel verso negativo dell'asse z.



**Figura 8.51** Vista estrusa esportata da Sap2000, nella quale sono visibili le diverse sezioni degli elementi



**Figura 8.52** Pannello proprietà del materiale: Acciaio S275

Per quanto riguarda le verifiche allo SLE, è stata utilizzata la combinazione rara, la più gravosa, che se verificata, valida automaticamente anche tutte le restanti combinazioni.

Non è stato necessario impostare combinazioni di carico nel programma, in quanto i carichi applicati sono già frutto di combinazioni. L'unica accortezza è stata quella di combinare il carico esterno ed il peso proprio, nel software indicato come carico Dead, in maniera tale da ottenere valori di sforzi già comprensivi di entrambe le forze.

Una volta inserite nel software tutte queste caratteristiche è stato possibile lanciare la simulazione, ovvero far compiere al programma i calcoli per determinare le azioni agenti.

Trattandosi di una trave reticolare il risultato ottenuto è stato quello di trovare elementi sottoposti solamente ad azioni assiali. In particolare il corrente inferiore ed i diagonali sono in trazione, mentre i montanti ed i correnti superiori, a meno degli elementi più prossimi alle due estremità, sono in compressione.

Una volta noti i valori di sollecitazione è dunque possibile procedere alle verifiche.

#### 8.4.5.2 Stato Limite di Esercizio

La verifica allo Stato limite di Esercizio è praticamente immediata, in quanto il software fornisce i valori della freccia in ogni punto della trave. Dunque basta calcolare il valore limite della freccia dato da normativa (con lo stesso procedimento visto per le travi secondarie) e confrontarla con il valore di abbassamento della trave in mezzera fornito da Sap2000.

La luce della trave è pari a 20,17 m, dunque si ha che la freccia massima deve essere inferiore a:

$$f < L/250 = 2017 \text{ cm} / 250 = 8,07 \text{ cm}$$

Il valore massimo della freccia fornito da Sap2000 è pari a 2,91 cm

$$f_{\text{trave}} = 2,91 \text{ cm} < f_{\text{max}} = 8,07 \text{ cm}$$

La verifica risulta dunque essere superata.

Può essere infine interessante notare come le deformazioni siano maggiori verso l'appoggio a quota superiore rispetto all'appoggio a quota inferiore.



8.4.5.3 Stato Limite Ultimo

Le verifiche allo stato limite ultimo sono di due tipologie: a trazione e a compressione. In questo secondo caso, avendo a che fare con elementi di acciaio abbastanza snelli bisogna prestare particolare attenzione alle verifiche di instabilità.

Verifiche a trazione

Gli elementi da verificare a trazione sono il corrente inferiore ed i diagonali, più i profili più spostati verso gli estremi dei correnti superiori, anch'essi in trazione.

La normativa prevede come verifica a trazione il rispetto della seguente disequazione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di calcolo a trazione  $N_{t,Rd}$ , dato che i profili sono giuntati tra loro tramite saldatura, deve essere assunta pari a  $N_{pl,Rd}$ :

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

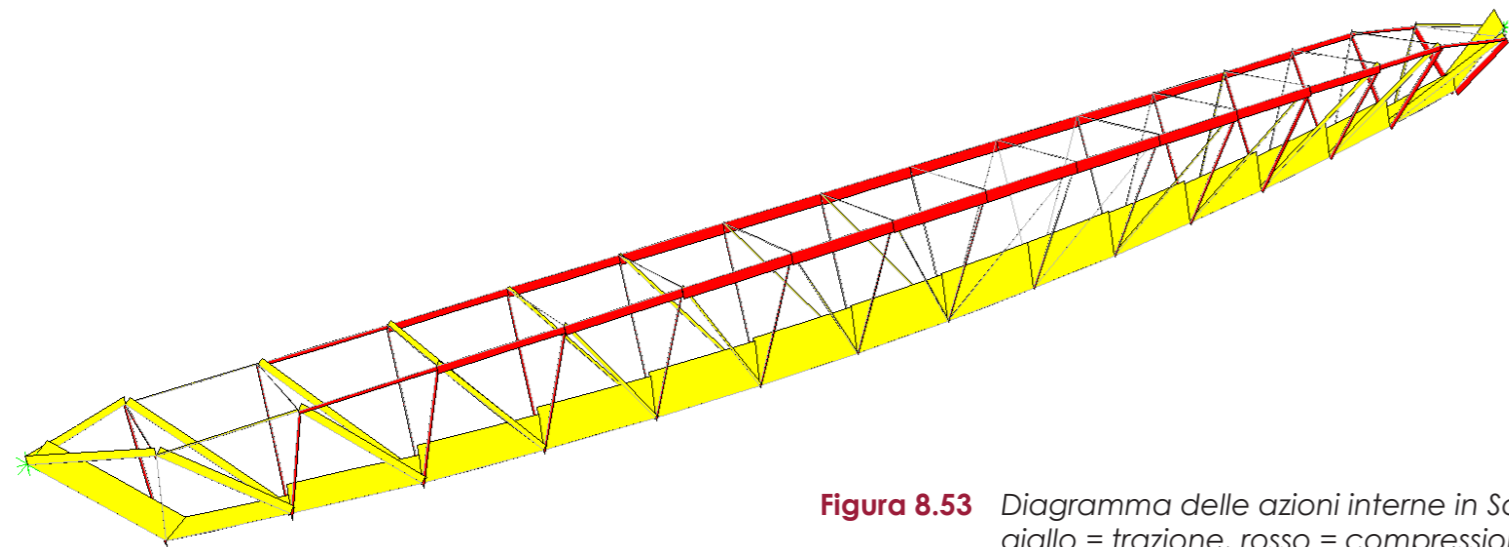


Figura 8.53 Diagramma delle azioni interne in Sap2000, giallo = trazione, rosso = compressione

Sostituendo i valori di progetto nelle formule si ottiene dunque che la resistenza di calcolo per i correnti (profilo  $\Phi 193,7/5$ ), risulta essere pari a:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{29,6 \text{ cm}^2 \cdot 275 \text{ N/mm}^2}{1,05} \cdot 10^{-1} = 775,238 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a trazione per i diagonali (profilo  $\Phi 88,9/3,2$ ) è invece pari invece a:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{8,62 \text{ cm}^2 \cdot 275 \text{ N/mm}^2}{1,05} \cdot 10^{-1} = 225,761 \text{ kN}$$

Attraverso queste formule, fornite dal D.M 14/01/2008 al capitolo 4.2.4.1.2, è stato dunque possibile calcolare la resistenza a trazione dei due diversi profili utilizzati per assemblare la trave reticolare di copertura della palestra.

Sono state effettuate le verifiche su tutti i profili sottoposti a trazione della struttura ed i risultati vengono riportati nella Tabella 8.20 e Tabella 8.21 a pagina 386.

Il riferimento al codice del profilo è indicato in Figura 8.54, dove la c indica i correnti, la d i diagonali e la m i montanti, con numerazione progressiva.

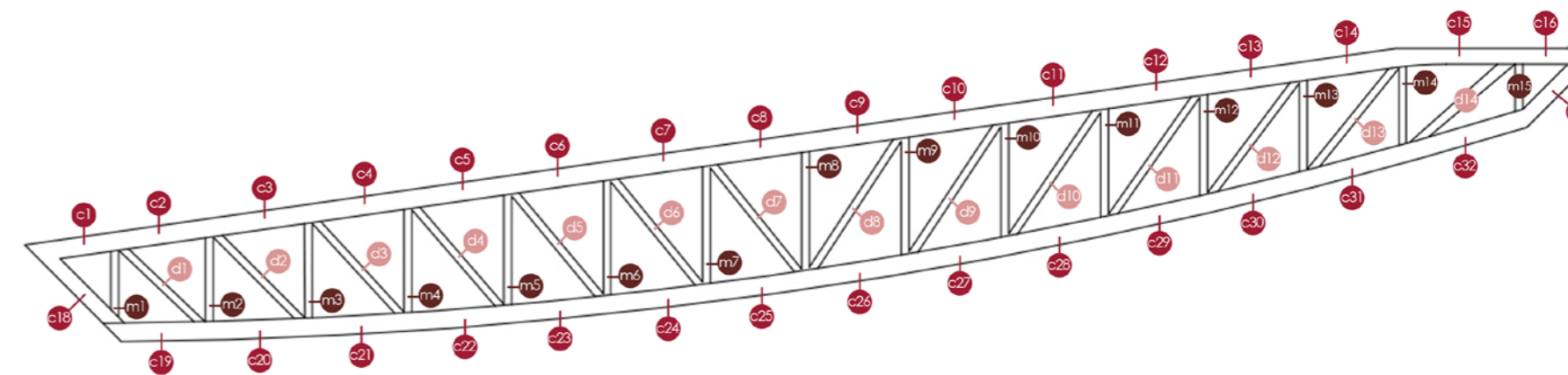


Figura 8.54 Identificazione degli elementi della trave reticolare: c = correnti; d = diagonali; m = montanti

VERIFICA A TRAZIONE - CORRENTI		
Profilo	$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$	UdM
Φ 193,7/5	775,238	kN
Corrente	$N_{Ed}$ [kN]	Verifica $N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$
c1	90,15	VERO
c2	14,57	VERO
c16	33,27	VERO
c17	412,08	VERO
c18	295,35	VERO
c19	218,11	VERO
c20	348,48	VERO
c21	460,32	VERO
c22	547,59	VERO
c23	604,2	VERO
c24	649,81	VERO
c25	647,51	VERO
c26	692,15	VERO
c27	686,77	VERO
c28	663,02	VERO
c29	628,41	VERO
c30	565,5	VERO
c31	483,22	VERO
c32	346,67	VERO

**Tabella 8.20** I risultati numerici della verifica a trazione sui correnti della reticolare, profilo Φ 193,7/5

VERIFICA A TRAZIONE - DIAGONALI		
Profilo	$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$	UdM
Φ 88,9/3,2	225,761	kN
Corrente	$N_{Ed}$ [kN]	Verifica $N_{Ed}/N_{t,Rd} \leq 1$
d1	96,22	VERO
d2	84,46	VERO
d3	67,96	VERO
d4	44,85	VERO
d5	36,37	VERO
d6	19,02	VERO
d7	15,05	VERO
d8	1,9	VERO
d9	7,2	VERO
d10	24,24	VERO
d11	32,86	VERO
d12	56,33	VERO
d13	70,83	VERO
d14	100,94	VERO

**Tabella 8.21** I risultati numerici della verifica a trazione sui diagonali della reticolare, profilo Φ 88,9/3,2

### Verifiche a compressione

Le verifiche a compressione e ad instabilità vengono svolte seguendo le direttive del D.M 14/01/2008, rispettivamente ai capitoli 4.2.4.1.2 e 4.2.4.1.3

Gli elementi da verificare a compressione sono i correnti superiori ed i montanti, considerando in particolare il rischio di instabilizzazione.

La forza di compressione di calcolo  $N_{Ed}$  deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

dove la resistenza di calcolo a compressione della sezione  $N_{c,Rd}$  per le sezioni di Classe 1 vale:

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

Per poter utilizzare tale formulazione della resistenza a trazione bisogna dunque verificare che i profili selezionati siano effettivamente appartenenti a quella classe. La verifica viene eseguita con stessa modalità utilizzata per il profilo Φ 88,9/3,2, la cui classe è già stata controllata nelle verifiche allo SLU sulle travi secondarie.

Per il profilo Φ 193,7/5 dunque si ottiene:

$$d/t * 1/\epsilon^2 = 193,7/5 * 1/0,85 = 45,57 < 50$$

Essendo il risultato inferiore a 50, anche questo profilo rientra nella Classe 1.

Pertanto, applicando la formula per il calcolo della resistenza a compressione, per il profilo Φ 88,9/3,2 si ottiene:

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{8,62cm^2 * 275 N/mm^2}{1,05} * 10^{-1} = 225,761 kN$$

Per il profilo Φ 193,7/5 si ottiene invece un valore di resistenza a compressione pari a:

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{29,6cm^2 * 275 N/mm^2}{1,05} * 10^{-1} = 775,238 kN$$

Una volta noti questi valori, e conoscendo i valori di  $N_{Ed}$  calcolati con Sap2000, possibile effettuare la verifica di resistenza a compressione, i cui risultati saranno riportati in seguito insieme a quelli ottenuti dalla verifica a instabilità.

**Verifiche di stabilità**

La verifica di stabilità di un'asta compressa è soddisfatta quando viene rispettata la seguente disequazione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

Dove

$N_{Ed}$  è l'azione di compressione di calcolo,

$N_{b,Rd}$  è la resistenza all'instabilità nell'asta compressa, che per sezioni di Classe 1 è data da:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$


Il coefficiente  $\chi$  dipende dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato e viene desunto, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale  $\lambda$ , dalla seguente formula:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \leq 1$$

Dove

$$\Phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2]$$

$\alpha$  è il fattore di imperfezione, ricavabile dalla Tabella 4.2.VI delle NTC, di cui si riporta un estratto:

Sezione trasversale	Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità		
			S235, S275, S355, S420	S460	
Sezioni cave 	Sezione formata "a caldo"	qualunque	a	a <sub>0</sub>	
	Sezione formata "a freddo"	qualunque	c	c	
Curva di instabilità	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Fattore di imperfezione $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

**Figura 8.55** Fattore di imperfezione: estratto da Tabella 4.2.VI del D.M 14/01/2008

$\lambda$  è la snellezza adimensionale e per le sezioni di Classe 1 è pari a:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A f_{yk}}{N_{cr}}}$$

Dove

$N_{cr}$  corrisponde al carico critico euleriano

PARAMETRI DI CALCOLO PER LA VERIFICA DI STABILITÀ					
Parametri considerati		Correnti		Montanti	
Notaz.	Definizione	Valore	UdM	Valore	UdM
$N_{b,Rd}$	Resistenza all'instabilità	770,771	kN	224,461	kN
$\chi$	coefficiente di instabilità	0,994	adim	0,994	adim
$\Phi$		0,528	adim	0,528	adim
$\alpha$	fattore di imperfezione	0,210	adim	0,210	adim
$\lambda$	snellezza	0,226	adim	0,226	adim

**Tabella 8.22** Parametri calcolati ai fini della verifica di stabilità dei profili

VERIFICA DI STABILITÀ - CORRENTI					
Corrente	Lunghezza [cm]	Azione di progetto $N_{Ed}$ [kN]	Carico euleriano $N_{cr}$ [kN]	Snell. adim $\lambda$	Verifica $N_{Ed} < N_{b,Rd}$
c3	130,96	-40,62	15952,018	0,226	VERO
c4	130,93	-85,03	15959,329	0,226	VERO
c5	131,06	-112,51	15927,684	0,226	VERO
c6	130,83	-135,51	15983,736	0,226	VERO
c7	130,96	-146,4	15952,018	0,226	VERO
c8	128,8	-156,13	16491,541	0,222	VERO
c9	133,14	-155,31	15433,907	0,230	VERO
c10	130,87	-155,09	15973,966	0,226	VERO
c11	131,23	-150,27	15886,445	0,226	VERO
c12	130,66	-137,7	16025,355	0,225	VERO
c13	131,29	-118,34	15871,928	0,226	VERO
c14	121,71	-85,76	18468,875	0,210	VERO
c15	138,11	-43,72	14343,090	0,238	VERO

**Tabella 8.23** Verifica di stabilità dei correnti compressi

VERIFICA DI STABILITÀ - MONTANTI					
Montante	Lunghezza [cm]	Azione di progetto $N_{Ed}$ [kN]	Carico euleriano $N_{cr}$ [kN]	Snell. adim $\lambda$	Verifica $N_{Ed} < N_{b,Rd}$
m1	140,74	-97,13	828,722	0,535	VERO
m2	154,96	-89,09	683,605	0,589	VERO
m3	169,08	-69,69	574,195	0,643	VERO
m4	179,13	-61,18	511,573	0,681	VERO
m5	186,97	-42,93	469,570	0,711	VERO
m6	174,3	-38,18	540,318	0,662	VERO
m7	195,61	-23,54	429,005	0,743	VERO
m8	196,1	-21,87	426,864	0,745	VERO
m9	194,59	-12,94	433,514	0,739	VERO
m10	190,4	-26,1	452,804	0,724	VERO
m11	183,74	-30,22	486,224	0,698	VERO
m12	174,79	-47,17	537,293	0,664	VERO
m13	163,3	-51,73	615,562	0,621	VERO
m14	150,93	-68,41	720,598	0,574	VERO
m15	119,58	-95,65	1147,961	0,454	VERO

**Tabella 8.24** Verifica di stabilità dei montanti compressi

In queste tabelle sono riportati i valori trovati attraverso le verifiche di stabilità, che sono state compiute su tutti i profili che compongono la travatura reticolare e che risultano tutti essere verificati.

La trave ha dunque superato tutte le verifiche richieste dalla normativa.

#### 8.4.6 UNIONI SALDATE

Esistono due classi di qualità per le saldature:

- I classe: i giunti devono essere eseguiti con particolare accortezza e in grado di soddisfare ai controlli radiografici richiesti dalla UNI EN 1090
- II classe: soddisfano condizioni meno severe (UNI 7278)

I giunti a completa penetrazione realizzano la effettiva continuità tra le parti collegate, mentre i cordoni frontali, laterali e d'angolo determinano una deviazione e una concentrazione delle isostatiche che costituiscono punti di innesco per le rotture a fatica.

Gli elementi che compongono la trave sono sempre collegati mediante saldature. Tutti i giunti della trave reticolare sono realizzati mediante saldature a completa penetrazione di I classe: la trave viene assemblata in officina, un ambiente protetto, da manodopera esperta e qualificata.

La normativa vigente prevede che:

- se la saldatura è di I classe (controlli estesi) non è necessaria alcuna verifica, come nel caso della trave reticolare in esame;

- se la saldatura è di II classe, si calcolano le caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione come se fosse monolitica. Si calcola la  $\sigma_{id}$  in corrispondenza della saldatura (usando lo spessore minimo degli elementi collegati) e si confronta con la  $\sigma_{adm}$  della saldatura ( $0,85 \sigma_{adm}$  o  $0,70 \sigma_{adm}$  del materiale base)

Secondo l'Eurocodice 3 e secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 14/01/2008, tutte le saldature a completa penetrazione devono essere di I classe, quindi non è necessaria alcuna verifica.

L'utilizzo di profili cavi di spessore 5 mm assicura una facile saldabilità rispetto ad elementi più sottili e favorisce la resistenza allo schiacciamento locale nei nodi dove scaricano i diversi puntoni.

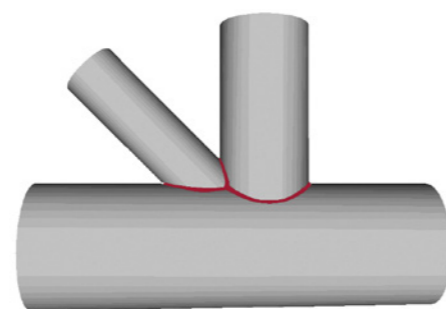
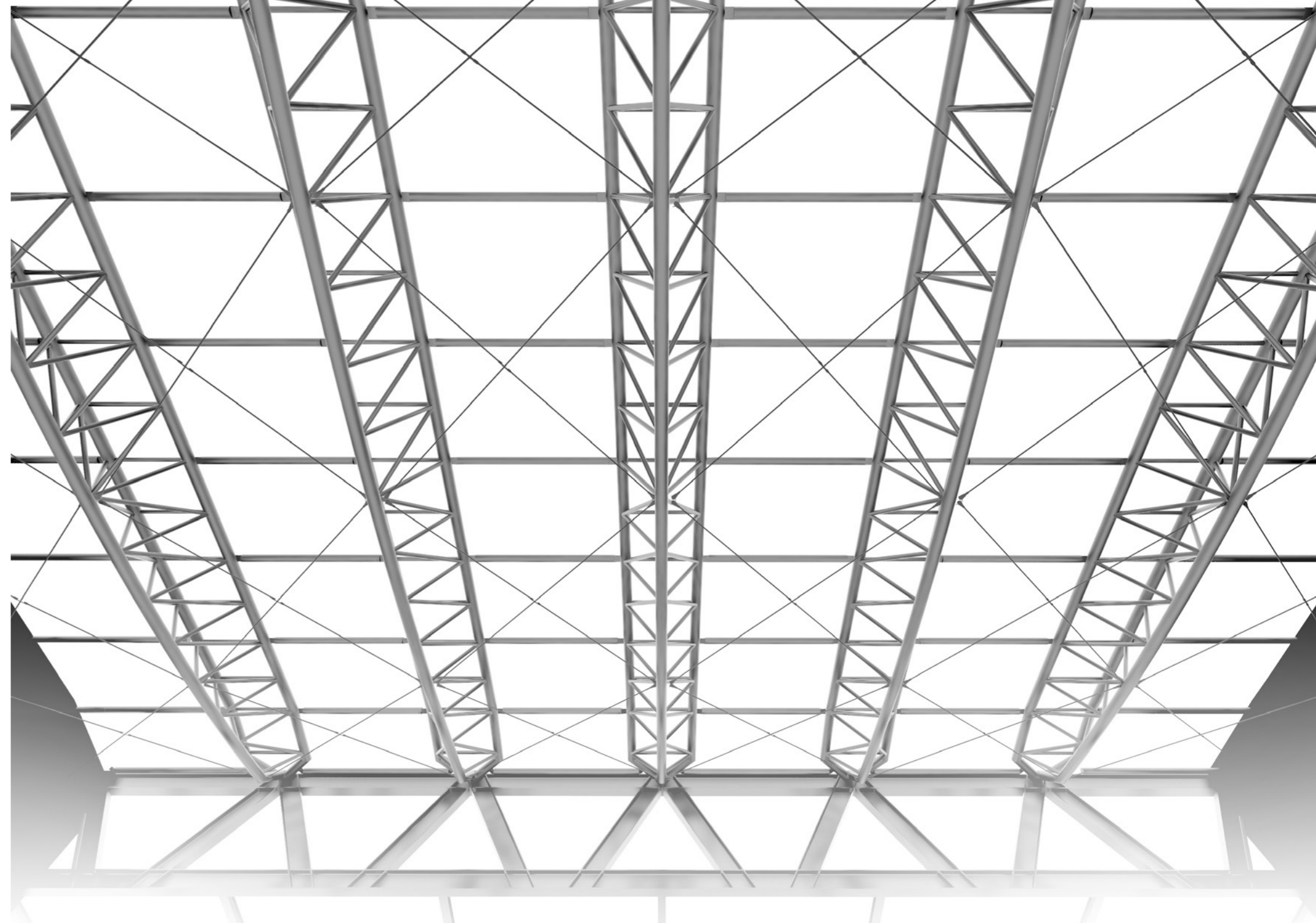


Figura 8.56 Esempio di unione saldata: nodo a N



09

---

IL PROGETTO ERGOTECNICO

## 9.1 INTRODUZIONE

La cura dell'aspetto ergotecnico di un progetto rappresenta una fase decisiva per la buona riuscita dello stesso. Il passaggio dalla progettazione alla messa in opera è infatti un momento delicato e ricco di insidie, soprattutto nell'ambito di progetti di restauro e di recupero, ovvero nei casi in cui è necessario intervenire su beni architettonici esistenti, poiché i rilievi, sebbene effettuati con il massimo scrupolo e con le più moderne tecniche, non risultano mai essere totalmente esaustivi.

Inoltre una delle maggiori problematiche del comparto delle costruzioni è costituito dalla frequente mancanza di unicità, uniformità e coerenza nel processo: non di rado, a fronte di una buona committenza e buoni progettisti, mancano infatti le capacità di programmare e organizzare le varie fasi in modo organico, ottimizzando risorse, tempi e costi, il tutto a scapito della qualità finale dell'opera.

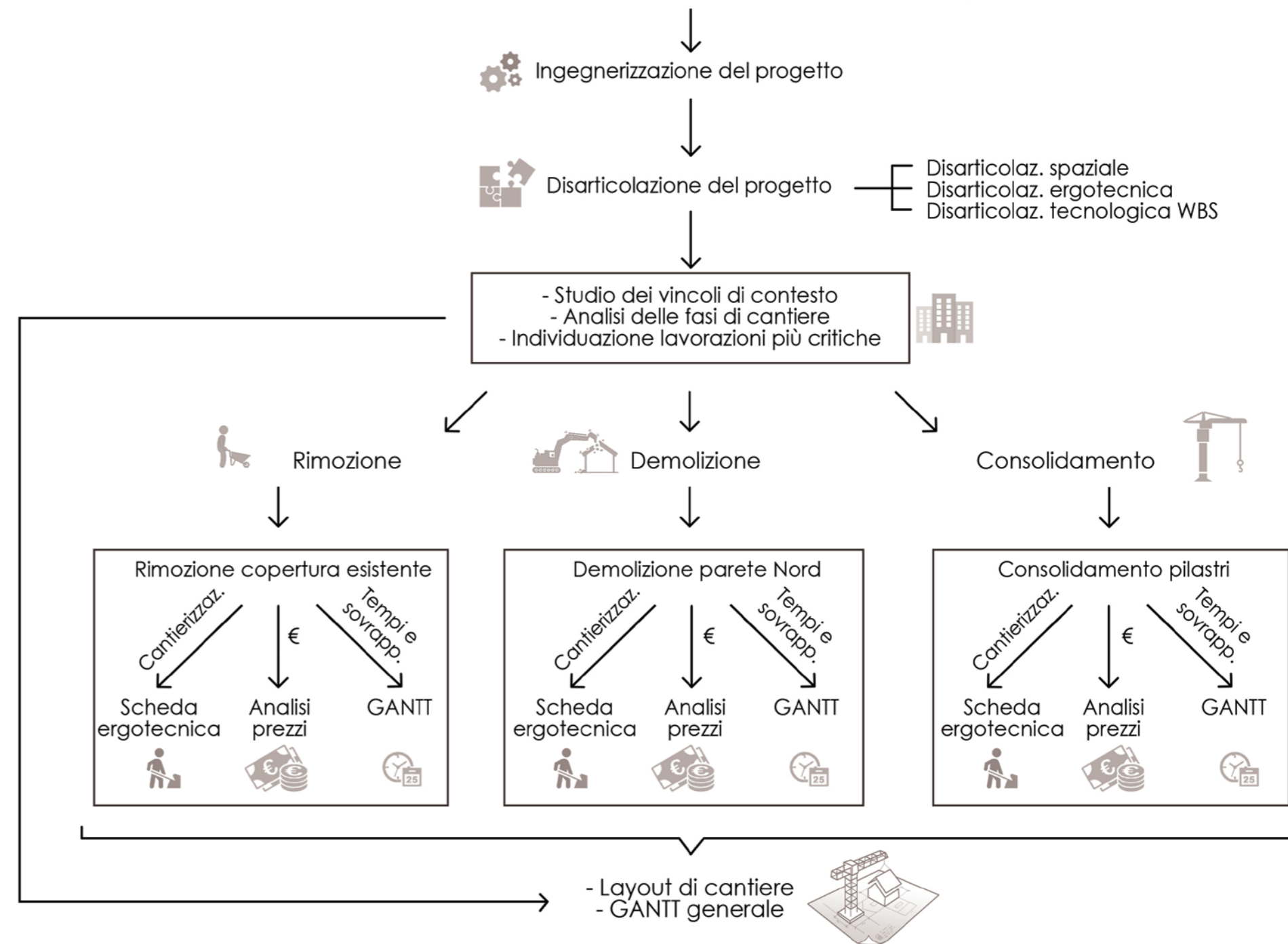
Una corretta progettazione ergotecnica, integrata alla progettazione dell'edificio sin dalle fasi iniziali, risulta dunque essere di primaria importanza e deve tenere conto di fattori legati al contesto, come la presenza

di edifici sensibili o vincoli esterni ed interni al cantiere, delle dinamiche costruttive e degli aspetti organizzativi in relazione alle specificità dell'oggetto in costruzione. Di fondamentale importanza per il cantiere risulta dunque il contesto all'interno del quale ci si trova ad operare, che può influire moltissimo sulle dinamiche del cantiere e sulla sua organizzazione.

L'ottimizzazione della produzione edilizia è un aspetto reso particolarmente complicato dalla natura stessa del cantiere che, a differenza di un processo industriale, viene influenzato da molte variabili esterne: il cantiere vede infatti l'intervento di diversi soggetti e si rende spesso necessaria la collaborazione e simultanea presenza di più imprese, situazione che genera interferenze; queste ultime possono comportare un aumento del rischio di incidenti sul lavoro ed anche, all'aumentare dell'entropia del cantiere, un rallentamento della produzione.

Ogni cantiere rappresenta dunque un prototipo, poiché l'oggetto edilizio da mettere in opera è sempre unico e, qualora per assurdo si costruisse sempre lo stesso oggetto, il variare delle condizioni al contorno (ad esempio posizione geografica, clima, periodo

## IL PROGETTO ERGOTECNICO



dell'anno) renderebbe ancora una volta unico e differente il processo costruttivo

Nel presente approfondimento verranno dunque trattate le fasi più critiche del cantiere, ovvero quelle riguardanti gli interventi sull'esistente, descrivendo dettagliatamente le lavorazioni ed abbinandole ai rispettivi costi, calcolati con il metodo dell'analisi prezzi a causa della loro particolarità, ed alle tempistiche, studiate con l'ausilio del software Microsoft Project.

Il punto di partenza è un'accurata analisi della palestra esistente, in relazione all'edificio di nuova costruzione, attraverso la disarticolazione del progetto.

Il passo finale è lo studio dell'organizzazione del cantiere, a partire dalla grande scala fino alla definizione delle diverse funzioni assegnate a ciascuna zona del cantiere.

Le analisi sul contesto dunque condizionano il modo di concepire ed organizzare il cantiere, come ad esempio il posizionamento degli accessi e delle aree di stoccaggio, gli orari in cui eseguire le lavorazioni più rumorose vista la vicinanza con la scuola e con il lago, le modalità di approvvigionamento dei materiali e molti altri aspetti ancora.

Il contesto tuttavia non influenza solo le scelte operative per il cantiere, ma anche il progetto dell'edificio stesso o delle sue parti: la lunghezza massima delle travi e dei pilastri da utilizzare ad esempio dipende dalla massima lunghezza che possono avere mezzi per il trasporto del materiale in cantiere in relazione alle caratteristiche delle strade attraverso cui si raggiunge il sito; elementi più lunghi di tale misura limite dovranno essere assemblati in cantiere. La lunghezza è solo uno dei molteplici aspetti che, a ben vedere, non dipendono più dalle scelte progettuali dell'architetto ma dalle caratteristiche contestuali del lotto di edificazione.

In questo capitolo della tesi sono state considerate proprio queste problematiche, cercando di mutare le criticità riscontrate in nuove potenzialità e trovando le migliori soluzioni per i diversi ostacoli emersi. A tal proposito un tema di fondamentale importanza per il progetto di questo cantiere è stato il rapporto con la scuola ed il parco dell'area Precampel, direttamente affacciato sul lago, entrambi confinanti con l'area di cantiere.

## 9.2 DISARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

L'organismo edilizio è un sistema molto articolato costituito da molte componendi, che possono a loro volta essere organizzate in sottosistemi più o meno legati reciprocamente. L'edificio si presenta dunque come un organismo complesso e variegato, difficile da gestire nella sua totalità. Per poter affrontare la cantierizzazione del progetto è dunque necessario in primo luogo analizzarlo, scomponendolo nelle sue diverse parti attraverso una disarticolazione su diversi livelli:

- **Disarticolazione ergotecnica:** legata alla tipologia delle opere necessarie per la realizzazione, identifica dunque identificazione le imprese coinvolte nel processo costruttivo secondo il D.P.R 207/2010
- **Disarticolazione tecnologica WBS** (Work Breakdown Structure): scompone il progetto per elementi tecnici, in base alle direttive della norma UNI 8290
- **Disarticolazione spaziale:** individua elementi spaziali omogenei in cui può essere scomposto l'intervento

### 9.2.1 DISARTICOLAZIONE ERGOTECNICA

Elenco imprese secondo il D.P.R. 207/2010:

- **Impresa appaltatrice**
  - OG1 Edifici civili e industriali
- **Imprese subappaltatrici**
  - OS1 Lavori In Terra
  - OS3 Impianti Idrico-Sanitario, Cucine, Lavanderie
  - OS6 Finiture Di Opere Generali In Materiali Lignei, Plastici, Metallici E Vetrosi
  - OS8 Finiture Di Opere Generali Di Natura Tecnica
  - OS18 Componenti Strutturali In Acciaio O Metallo
  - OS23 Demolizione Di Opere
  - OS24 Verde E Arredo Urbano
  - OS28 Impianti Termici E Di Condizionamento
  - OS30 Impianti Interni Elettrici, Telefonici, Radiotelefonici, E Televisivi

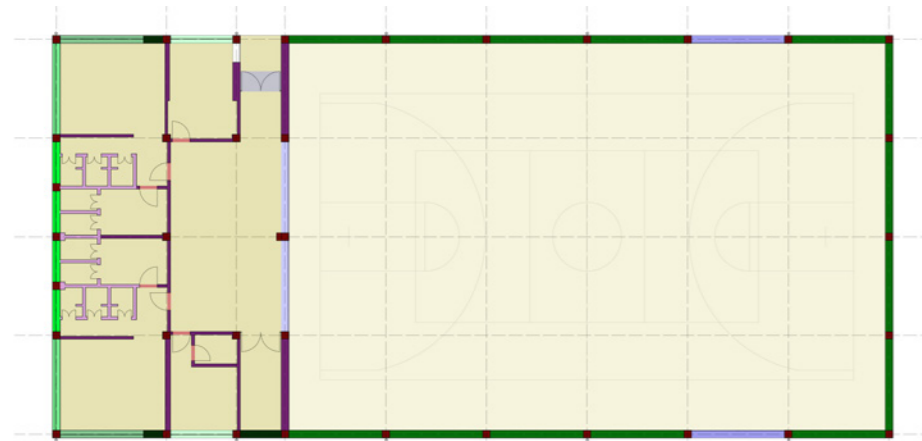
**9.2.2 DISARTICOLAZIONE TECNOLOGICA WBS**

WBS PALESTRA COMUNALE ESISTENTE								
Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche		Classi di elementi tecnici	Elementi tecnici	Tipi di elementi tecnici	Descrizione		
1	Struttura portante esistente	1.1	Strutture di fondazione	1.1.1	Strutture di fondazione dirette	Trave rovescia	F.T.R.01 "Trave rovescia larghezza 100 cm"	
				1.2.1	Strutture di elevazione verticale	Pilastro	S.V.P.01 Pilastro in CA 40x40	
	1.2	Strutture di elevazione	1.2.2	Strutture di elevazione orizzontale	Trave	S.O.T.01	Trave in CA gettata in opera 40x60 cm	
						S.O.T.02	Trave in CA gettata in opera 40x25 cm	
						S.O.T.03	Trave prefabbricata in CA sezione tipo pi greco 250x90 cm	
						S.O.T.04	Trave in CA gettata in opera 60x25 cm	
			S.O.CN.01	Coppella nervata 249x239 cm				
			S.O.CN.02	Coppella nervata 158,5x239 cm				
			S.O.CC.1	Cordolo di coronamento in CA gettato in opera 60x15 cm				
	S.O.CB.01	Cordolo di basamento in CA gettato in opera 25x30 cm						
	S.O.S.01	Solaio tradizionale a travetti e pignatte (20+5 cm)						
	2	Chiusura	2.1	Chiusure verticali	2.1.1	Pareti perimetrali verticali	Struttura in laterizio	C.V.01 Finitura esterna mattoni paramano - interna intonaco
							Struttura in CA	C.V.04 Finitura esterna CA - interna intonaco
					2.1.2	Infissi esterni verticali	Porta finestra	P.F.01
P.F.02								"Porta finestra a doppio battente 215x300 cm con parte superiore fissa"
P.F.03								"Porta finestra a doppio battente 215x280 cm con parte superiore fissa"
Finestra							F.01	Finestra a vasistas 225x245 cm con parte superiore fissa
							F.02	Finestra scorrevole tripartita 325x145 cm con cassettone
							F.03	Finestra scorrevole tripartita 325x180 cm con cassettone
F.04					Finestra scorrevole a due ante 220x145 cm			
F.05					Finestra vasistas a 4 ante 435x110 cm			
F.06	Finestra vasistas a 4 ante 475x110 cm							
F.07	Finestra vasistas a 2 ante 220x115 cm							
F.08	Finestra vasistas a 2 ante 220x75 cm							

2	Chiusura	2.1	Chiusure verticali	2.1.2	Infissi esterni verticali	Finestra	F.03	Finestra scorrevole tripartita 325x180 cm con cassettone		
							F.04	Finestra scorrevole a due ante 220x145 cm		
		2.2	Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1	Solai a terra	Solaio contro terra	C.O.01	Solaio controterra con finitura in linoleum		
3	Partizioni interne	2.3	Chiusure superiori	2.3.1	Coperture	Copertura piana Copertura inclinata	C.O.02	Solaio controterra con finitura in gres		
							C.O.03	Copertura non praticabile con struttura prefabbricata		
							C.O.04	Copertura in coppi con struttura a travetti in legno e muricci		
		3.1	Partizioni interne verticali	3.1.1	Pareti interne verticali	Parete divisoria (tecnologia tradizionale)	P.V.01	"Parete divisoria con struttura in laterizio e finiture in intonaco"		
							P.V.02	"Parete divisoria con struttura in laterizio e finiture in gres (piastrelle)"		
				3.1.2	Infissi interni verticali	Porta interna	P.I.01	Porta interna a battente singolo 80x220		
							Luce fissa interna	L.F.01	Finestra interna fissa 475x175 cm	
								Porta finestra	P.F.04	Porta finestra interna 475x300
									P.O.01	Solaio travetti e pignatte 20+5 cm con finitura in gres
3.2	Partizioni interne orizzontali	3.2.1	Solai	Solaio tradizionale	P.O.02	Solaio travetti e pignatte 20+5 cm al rustico				
4	Partizioni esterne	4.1	Partizioni esterne inclinate	4.1.1	Scale esterne	Scale in CA	P.E.01	Scale in CA gettato in opera con balaustra metallica		
							4.2	Partizione esterna orizzontale	4.2.1	Tettoia

**Tabella 9.1** Disarticolazione tecnologica WBS della palestra comunale esistente allo stato di fatto

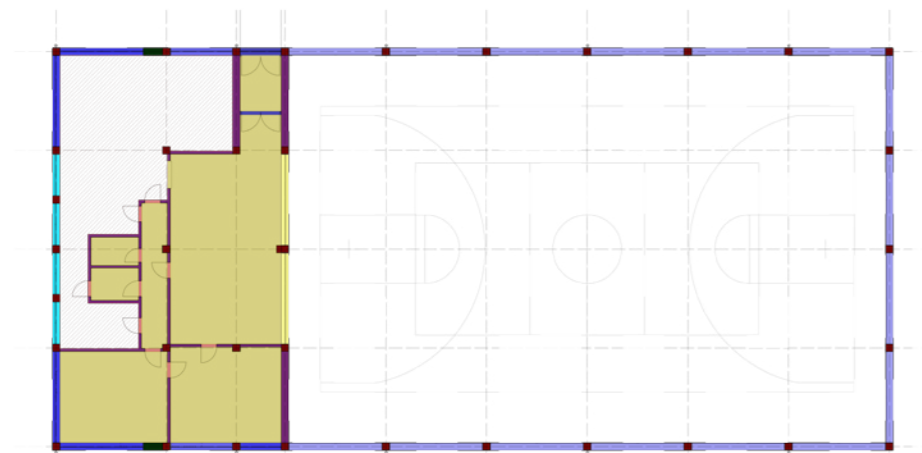




**Figura 9.1** Rappresentazione grafica WBS: palastra esistente, piano terra

LEGENDA WBS PIANO TERRA PALESTRA ESISTENTE		
El tecnici	Tipo	Descrizione
Pilastro	S.V.P.01	Pilastro in CA 40x40
Strut laterizio	C.V.01	Finitura esterna mattoni paramano - interna intonaco
Struttura CA	C.V.04	Finitura esterna CA - interna intonaco
Portafinestra	P.F.01	Porta finestra a doppio battente 245x300 cm
	P.F.02	Porta finestra a doppio battente 215x300
Finestra	F.03	Finestra scorrevole tripartita 325x180 cm + cassettoni
	F.05	Finestra vasistas a 4 ante 435x110 cm
	F.06	Finestra vasistas a 4 ante 475x110 cm
	F.07	Finestra vasistas a 2 ante 220x115 cm
Solaio contro terra	C.O.01	Solaio controterra con finitura in linoleum
	C.O.02	Solaio controterra con finitura in gres
Parete divisoria	P.V.01	Parete divisoria, struttura laterizio, finiture intonaco
	P.V.02	Parete divisoria, struttura in laterizio, finiture in gres
Porta int.	P.I.01	Porta interna a battente singolo 80x220
Portafinestra	P.F.04	Porta finestra interna 475x300

**Tabella 9.3** WBS: piano terra palestra esistente



**Figura 9.2** Rappresentazione grafica WBS: palastra esistente, piano primo

LEGENDA WBS PIANO PRIMO PALESTRA ESISTENTE		
El tecnici	Tipo	Descrizione
Pilastro		Pilastro in CA 40x40
Chius. lateriz	C.V.01	Finitura esterna mattoni paramano - interna intonaco
Chiusura CA	C.V.04	Finitura esterna CA - interna intonaco
Portafinestra	P.F.03	Porta finestra a doppio battente 215x280 cm con parte superiore fissa
Finestra	F.01	Finestra a vasistas 225x245 cm, parte superiore fissa
	F.02	Finestra scorrevole tripartita 325x145 cm + cassettoni
	F.04	Finestra scorrevole a due ante 220x145 cm
	F.08	Finestra vasistas a 2 ante 220x75 cm
Parete divis.	P.V.01	Parete divisoria, struttura laterizio, finiture intonaco
Porta int.	P.I.01	Porta interna a battente singolo 80x220
Luce fissa int	L.F.01	Finestra interna fissa 475x175 cm
Solaio tradiz.	P.O.01	Solaio travetti e pignatte 20+5 cm con finitura in gres

**Tabella 9.4** WBS: piano primo palestra esistente



**Figura 9.3** Rappresentazione grafica WBS: palastra esistente, sopra: Prospetto Sud; sotto: Prospetto Nord

LEGENDA WBS PROSPETTI PALESTRA ESISTENTE		
El tecnici	Tipo	Descrizione
Pilastro	S.V.P.01	Pilastro in CA 40x40
Trave	S.O.T.01	Trave in CA gettata in opera 40x60 cm
	S.O.T.02	Trave in CA gettata in opera 40x25 cm
Cordolo	S.O.CC.1	Cordolo di coronamento in CA 60x15cm
	S.O.CB.01	Cordolo di basamento in CA 25x30 cm
Chiusura vert. laterizio	C.V.01	Finitura esterna mattoni paramano - interna intonaco
Chiusura vert. CA	C.V.04	Finitura esterna CA - interna intonaco
Portafinestra	P.F.01	Porta finestra a doppio battente 245x300 cm

Portafinestra	P.F.02	Porta finestra a doppio battente 215x300
	P.F.03	Porta finestra a doppio battente 215x280 cm
Finestra	F.01	Finestra a vasistas 225x245 cm
	F.02	Finestra scorrevole tripartita 325x145 cm + cassettoni
	F.03	Finestra scorrevole tripartita 325x180 cm + cassettoni
	F.04	Finestra scorrevole a due ante 220x145 cm
	F.05	Finestra vasistas a 4 ante 435x110 cm
Copertura	C.O.04	Copertura inclinata in coppi
Scale in CA	P.E.01	Scale in CA gettato in opera con balaustra metallica
Tettoia	P.E.O.01	Tettoia con struttura metallica e falde in plexiglass

**Tabella 9.5** WBS: Prospetti palestra esistente

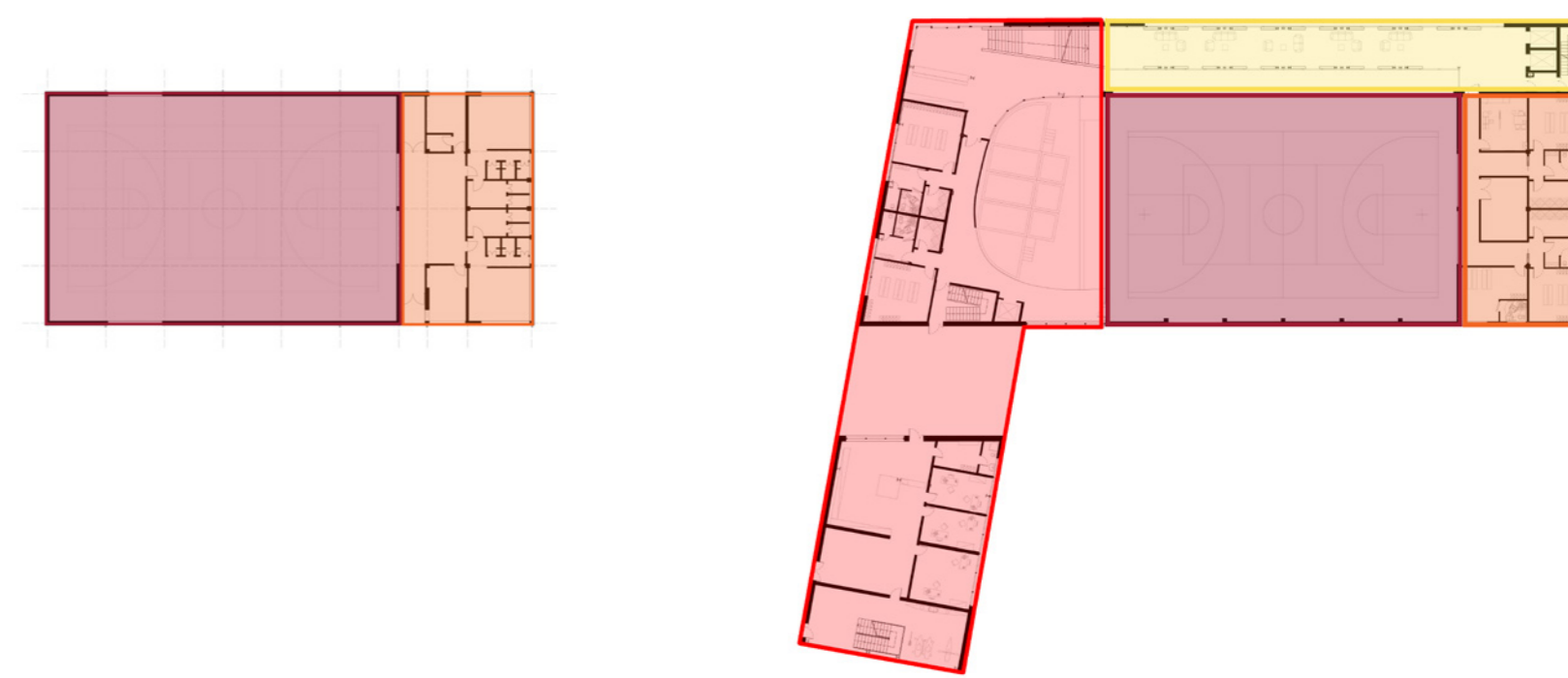
WBS PALESTRA DI PROGETTO								
Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici	Elementi tecnici	Tipi di el. tecnici	Descrizione			
1	Struttura portante	1.1	Strutture di fondazione	1.1.1	Strutture di fondazione dirette	Trave rovescia F.T.R.02	Trave rovescia (larghezza 100 cm, altezza 100 cm)	
						Platea F.PI.01	Platea fondazione blocco scale, spessore 50 cm	
						Plinti di rinforzo F.P.01	Rinforzo strutturale trave rovescia esistente F.T.R.01	
	1.2	Strutture di elevazione	1.2.1	Strutture di elevazione verticale	Pilastro S.V.P.02	Pilastro in acciaio, profilo HEB 300		
					Pilastro S.V.P.03	Pilastro in acciaio, profilo HEB 500		
					Pilastro inclinato S.V.P.04	Pilastro in acciaio, profilo HEB 200		
					Pilastro rinforzato S.V.P.R.01	Rinforzo strutturale pilastro S.V.P.01, allargamento sezione a 80x40 cm		
					Setto in CA S.V.S.01	Setto in CA gettato in opera, spessore 40 cm		
					Blocco scale	S.V.BS.01	Blocco scale in CA gettato in opera, 590x555 cm, sp. 30 cm	
						S.V.BS.02	Blocco scale in CA gettato in opera, 835x370 cm, sp. 40 cm	
						S.V.BS.03	Blocco scale in CA gettato in opera, 630x604 cm, sp. 40 cm	
					1.2.2	Strutture di elevazione orizzontali ed inclinate	Trave reticolare Pratt S.O.T.R.P.01	Trave reticolare tipo Pratt, composta da profili tubolari in acciaio, diametro correnti 193,7 mm, diametro montanti e diagonali 88,9 mm
							Trave reticolare Warren	S.O.T.R.W.01
			S.O.T.R.W.02	Trave reticolare tipo Warren, composta con profili in acciaio, correnti HEB 500, diagonali HEA 300, luce totale 37,5 m				
			S.O.T.R.W.03	Trave reticolare tipo Warren, composta con profili in acciaio, correnti HEA 300, diagonali HEA 300				
			Trave in acciaio	S.O.T.04			Trave in acciaio, profilo HEA 200	
				S.O.T.05			Trave in acciaio, profilo HEA 240	
				S.O.T.06			Trave in acciaio, profilo HEA 300	
			Trave tubolare in acciaio S.O.T.07	Trave in acciaio profilo tubolare, diametro 150 mm				
			Tiranti di controvento S.O.C.01	Tiranti in acciaio pretensionati di controventatura della copertura, profilo tondo pieno diametro 25 mm				

1	Struttura portante	1.2	Strutture di elevazione	1.2.2	Strutture di elevazione orizzontali ed inclinate	Solaio	S.O.S.02	Solaio in lamiera grecata a secco con riempimento in fibra di cellulosa (altezza 105 mm, spessore 15 mm)
				1.2.3	Strutture di elevazione spaziali	Trave reticolare spaziale Pratt	S.S.T.R.P.01	Trave reticolare spaziale a sezione triangolare tipo Pratt, composta da profili tubolari, diametro correnti 200 mm, diametro montanti e diagonali 100 mm, luce 20 m
2	Chiusura	2.1	Chiusure verticali	2.1.1	Pareti perimetrali verticali	Struttura mista	C.V.02	"Finitura esterna mattoni paramano Isolamento interno in lana di legno Controparete in cartongesso con isolamento in lana di roccia"
						Struttura in cls alleggerito	C.V.03	"Finitura esterna composta da facciata ventilata in listelli in laterizio con struttura in alluminio Impermeabilizzazione Isolamento termico: pannello sandwich (interno polistirene espanso, esterno lana di legno mineralizzata) Strato di sostegno in cls alleggerito (sp. 15 cm) Controparete in cartongesso con isolamento in lana di roccia"
						Struttura in CA	C.V.05	"Finitura esterna CA Isolamento interno in lana di legno Controparete in cartongesso con isolamento in lana di roccia"
							C.V.06	"Finitura esterna in listelli in laterizio con struttura in alluminio Struttura gettata in opera in CA Isolamento termico: pannello sandwich (interno polistirene espanso, esterno lana di legno mineralizzata) Controparete in cartongesso con lana di roccia"
						Porta REI	P.R.01	Porta REI 120, dimensioni 120x210 cm
						Portafinestra	P.F.04	Porta finestra in alluminio a doppio battente 245x300 a taglio termico con parte superiore fissa
		2.1.2	Infissi esterni verticali	Finestra	F.09	Finestra vetrocamera in alluminio a vasistas 225x245, a taglio termico con parte superiore fissa		
					F.10	Finestra vetrocamera in alluminio a taglio termico a 4 battenti apribili anche a vasistas, dimensioni tot. 475x130 cm		
					F.11	Finestra vetrocamera in alluminio a taglio termico, unico battente apribile anche a vasistas, dimensioni 150x115 cm		
				Luce fissa	L.F.02	Finestra fissa vetrocamera, struttura a taglio termico in alluminio		
				Facciata continua	F.C.01	Facciata continua in alluminio, vetrocamera con taglio termico		

2	Chiusura	2,2	Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1	Solai a terra	Solaio contro terra	C.O.05	Solaio controterra areato con finitura in parquet, isolato con pannello sandwich (interno polistirene espanso, esterno lana di legno mineralizzata)
							C.O.06	Solaio controterra areato con finitura in grès, isolato con pannello sandwich (interno polistirene espanso, esterno lana di legno mineralizzata)
		2,3	Chiusura orizzontale su spazi esterni	2.3.1	Solai su spazi aperti	Solaio a secco su spazi aperti	C.O.07	Solaio su spazi aperti con struttura portante in lamiera grecata a secco, finitura interna in parquet, isolamento termico in triplo strato di lana di roccia, finitura esterna in pannelli in fibrocemento
		2,4	Chiusure superiori	2.4.1	Coperture	Copertura piana	C.O.08	Copertura piana continua, struttura portante in lamiera grecata a secco, isolamento termico con pannello sandwich (interno polistirene espanso, esterno lana di legno mineralizzata), finitura in lamiera zincata
						Copertura inclinata	C.O.09	Copertura inclinata continua (pendenza 14%), struttura portante in lamiera grecata a secco, isolamento termico con pannello sandwich (interno polistirene espanso, esterno lana di legno mineralizzata), finitura listelli in laterizio con struttura in alluminio
		3	Partizioni interne	3,1	Partizioni interne verticali	3.1.1	Pareti interne verticali	Parete divisoria (tecnologia a secco)
P.V.04	Parete divisoria: doppia struttura metallica in alluminio, isolante lana di roccia, finitura primo lato in intonaco su doppia lastra di cartongesso, secondo lato gres su doppia lastra di cartongesso							
3.1.2	Infissi interni verticali					Porta interna	P.I.02	Porta interna a battente singolo 90x240 cm
						Luce fissa int.	L.F.03	Finestra interna fissa 475x175 cm
						L.F.04	Finestra interna fissa 225x245 cm	
3,2	Partizioni interne orizzontali					3.2.1	Solai	Solaio tradizionale
				P.O.04	Solaio travetti e pignatte 20+5 cm, con pannelli radianti e finitura in parquet			
3,3	Partizione interna inclinata			3.3.1	Scale	Scale in CA	P.I.I.01	Scale in CA gettate in opera, alzata 16 cm e pedata 30 cm
						Scale metalliche	P.I.I.02	Scale con struttura in acciaio, alzata 16 cm e pedata 30 cm

**Tabella 9.2** Disarticolazione tecnologica WBS della palestra di progetto. NB: per le rappresentazioni grafiche cfr. tavole

**9.2.3 DISARTICOLAZIONE SPAZIALE**



LEGENDA	
Blocco 1	Campo da gioco
Blocco 2	Spogliatoi e uffici
Blocco 3	Sala acrobatica
Blocco 4	Distribuzione e spalti

**Tabella 9.6** Disarticolazione spaziale

**Figura 9.4** Disarticolazione spaziale:  
A sinistra: disarticolazione spaziale della palestra esistente  
A destra: disarticolazione spaziale della nuova palestra

### 9.3 APPROCCIO ALLE LAVORAZIONI

In questa sezione vengono trattati schede ergotecniche, analisi prezzi e GANTT. In primo luogo, prima di riportare gli elaborati finali, sono definite le modalità ed i criteri attraverso i quali è stato sviluppato lo studio: il focus è impostato principalmente sulle fasi di demolizione degli elementi che sono stati decisi di rimuovere della vecchia palestra, in modo da poter svolgere un lavoro lungo un filo logico e temporale che fosse il più possibile completo su queste fasi.

#### 9.3.1 SCHEDE ERGOTECNICHE

Nella trattazione delle schede ergotecniche si è cercato di sviluppare la lavorazione in maniera adeguata al contesto entro il quale si trova ad operare il cantiere, cercando quindi di ridurre al minimo i disturbi ambientali data la vicinanza con il plesso scolastico ed il parco comunale Precampel.

È stato inoltre preso in considerazione il rischio derivante dalle attività da svolgere alla contemporaneità tra le diverse lavorazioni: l'indirizzo di progetto è stato quello della riduzione del rischio per i lavoratori, in virtù di

quanto prescritto dalla legge in materia di sicurezza sul lavoro (D. lgs. 8290/2008).

In seguito, una volta stabilite le modalità generali attraverso le quali portare a compimento la lavorazione, si scende più nel dettaglio, analizzando le schede tecniche dei singoli prodotti o macchinari necessari, valutandone le criticità e le possibili incompatibilità reciproche. È stato più volte necessario contattare direttamente i produttori, via mail o per telefono, per richiedere informazioni aggiuntive rispetto a quanto riportato nelle schede tecniche.

Altro elemento di valutazione è stato il confronto con l'analisi prezzi, sulla base della quale sono state adoperate scelte per ridurre l'onere o le durate della lavorazione.

Infine, attraverso il confronto con i GANTT ed i layout di cantiere, sono stati rivisti alcuni aspetti delle schede ergotecniche per meglio far coesistere le diverse attività durante le fasi di cantiere.

#### 9.3.2 ANALISI PREZZI

Per ricavare un costo ed una durata per ogni lavorazione si è deciso di procedere con un approccio

deterministico, ovvero individuando tra le principali risorse (manodopera, noli, materiali) l'elemento critico; tale elemento influirà sugli altri imponendo una durata specifica. Un esempio può essere l'attività di foratura, senza dubbio influenzata dalla velocità di perforazione del trapano. Risulta dunque di fondamentale importanza dividere l'analisi per risorse, in modo da poter trovare in ogni lavorazione gli elementi che incidono maggiormente sui tempi/costi, prolungando le durate o incrementando il prezzo. Un esempio riguardo quest'ultimo è rappresentato dalla autogru, la quale ha un costo orario di noleggio molto alto, e dunque è importante che la durata della lavorazione sia ridotta al minimo, in modo da non incidere troppo sul prezzo finale; in un caso analizzato è stato deciso per questo di utilizzare una autogru con una portata molto alta per riuscire a svolgere l'intera lavorazione di "rimozione travi di copertura" in una sola giornata.

Per ogni fase costruttiva sono state individuate diverse lavorazioni; queste sono state studiate separatamente e poi nel loro insieme, in quanto ogni lavorazione prevedeva diverse attrezzature, materiali e un numero diverso di componenti della squadra operativa.

L'analisi prezzi è stata svolta sui gesti costruttivi, poiché le schede tecniche di ogni prodotto indicavano valori molto specifici, come ad esempio la velocità di salita e di traslazione in quota della piattaforma elevatrice.

Per questo motivo si è deciso di procedere facendo una analisi prezzi partendo dal singolo elemento (aggancio con piattaforma elevatrice di una sola trave di copertura alla autogru) per poi trovare il totale per tutti gli elementi. Talvolta alcune lavorazioni risultavano ricavabili da prezario ed in tal caso si è deciso di utilizzare due fonti principali: il prezario delle opere pubbliche della regione Lombardia e quello della Camera di Commercio di Milano. Queste fonti sono state analizzate molto attentamente, facendo riferimento ad una voce solo nel momento in cui questa risultasse perfettamente coerente con quanto analizzato in ogni caso specifico. I riferimenti alle voci da prezario trovate sono sempre indicati in tabella, mentre nei casi in cui non fosse presente una voce compatibile è stato fatto riferimento al produttore stesso. Molto spesso le schede tecniche di prodotto non sono risultate completamente esaurienti, soprattutto per quanto riguarda la durata delle lavorazioni, perciò

è stato necessario contattare i diversi produttori via email o telefonicamente per ottenere alcune informazioni specifiche.

Tutti i calcoli eseguiti per ricavare durate e costi sono riportati nelle tabelle che precedono le analisi prezzi.

Per ogni lavorazione inoltre sono stati ricavati anche altri dati, come ad esempio le durate ottimistiche, pessimistiche e mediane. Osservando tali dati è stato a volte possibile ottimizzare alcune voci per ridurre la durata della lavorazione o abbassarne il prezzo, incrementando la manodopera (utilizzo di più squadre operative) o altre risorse (ad esempio scelta di un'attrezzatura più costosa ma più efficiente con conseguente riduzione del tempo di impiego).

### 9.3.3 GANTT DELLE LAVORAZIONI

Per ogni lavorazione viene inoltre riportato un diagramma a barre (GANTT) con il quale vengono analizzate le durate dei singoli gesti costruttivi e anche le relazioni possibili tra di essi. Ogni barra può avere con le altre rapporto di inizio-inizio, fine-fine o inizio-fine.

In questo modo si può evincere come il tempo totale delle singole lavorazioni può essere influenzato a

seconda delle diverse scelte organizzative adottate nel cantiere. I rapporti tra le lavorazioni sono inoltre utili per capire quali attività sono critiche e che quindi richiedono una particolare attenzione, poiché un ritardo di una risorsa che riguarda una di queste attività potrebbe far allungare la durata totale di altre lavorazioni o del cantiere stesso. Vi sono invece altre attività che non risultano critiche e alle quali potrebbero anche essere assegnate meno risorse allungandone la durata, riducendone il costo e senza intaccare il calendario complessivo del cantiere.



**Figura 9.5** Vista d'insieme del sistema di copertura



**Figura 9.6** Vista di dettaglio del sistema di copertura

## 9.4 RIMOZIONE SISTEMA DI COPERTURA

### 9.4.1 SCHEDA ERGOTECNICA

#### 9.4.1.1 Descrizione della lavorazione

Rimozione della copertura, composta da finitura, impermeabilizzazione e sistema strutturale prefabbricato Larcosystem, prodotto dalla azienda Magnetti, composto di due tipologie di elementi fondamentali:

- travi tipo pi greco (luce 2068 cm, altezza 90 cm, larghezza 250 cm)
- coppelle nervate di collegamento tra le travi (luce 239 cm, larghezza variabile tra elementi di bordo e centrali, rispettivamente 158,5 e 249cm).

La lavorazione si compone delle seguenti fasi:

- Demolizione cordolo di coronamento perimetrale in CA
- Rimozione della finitura in ghiaietto e dello strato impermeabilizzante
- Rimozione coppelle nervate
- Rimozione travi tipo pi greco

Lavorazioni con precedenza:

- Rimozione serramenti
- Rimozione impianti elettrici
- Rimozione gronde e pluviali

Macchinari necessari:

- autogru portata 220 t
- autogru portata 35 t
- piattaforma elevatrice
- escavatore con impianto idraulico martello/pinza
- escavatore idraulico cingolato da 12.000 kg, capacità benna 0,9 mc
- Autocarri ribaltabile: portata 40 t

Opere provvisorie:

- Parapetto
- Rete di sicurezza

Descrizione degli elementi da rimuovere o demolire:

#### Pacchetto tecnologico di copertura

La copertura è impermeabilizzata con doppia membrana bituminosa (sp. 0,4+0,4 cm), con strato di protezione e finitura in ghiaietto (sp. variabile 3-5 cm)

#### Cordolo di coronamento perimetrale in CA

Il cordolo perimetrale è realizzato con cemento armato gettato in opera, di sezione 15x60 cm. Non ha funzione strutturale, ma solo di contenimento e finitura, presenta dunque armatura lenta e poco fitta.

#### Sistema strutturale prefabbricato larco system

##### Travi tipo pi greco

Elemento prefabbricato che svolge ruolo primario dal punto di vista statico, con estremità laterali sagomate per l'appoggio alla trave di bordo (in CA gettata in opera, con cordolo di contenimento della copertura).

Peso: 21 t. Numero totale di elementi: 7

Luce 2068 cm, altezza 90 cm, larghezza 250 cm

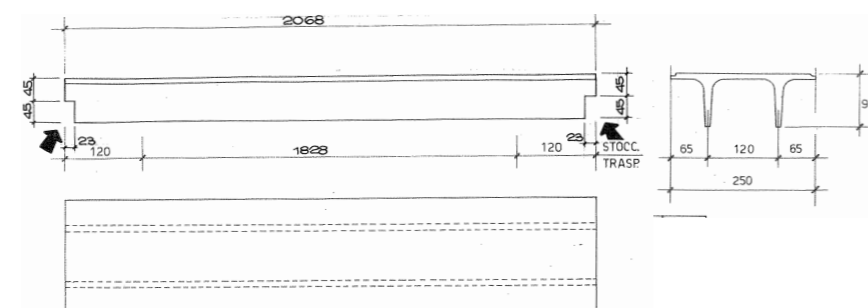


Figura 9.7 Sistema di copertura prefabbricato Larco System: viste ortogonali delle travi tipo pi greco

#### Coppelle nervate

Elemento prefabbricato complementare, utilizzato in unione agli elementi portanti di copertura. Coppella nervata con sviluppo piano, il cui schema statico prevede delle nervature portanti che servono a sostenere i carichi di esercizio. Se ne distinguono due diverse tipologie:

- Tipologia Q1: dim. 249x239 cm, peso 775 kg, usata quasi sull'intero solaio

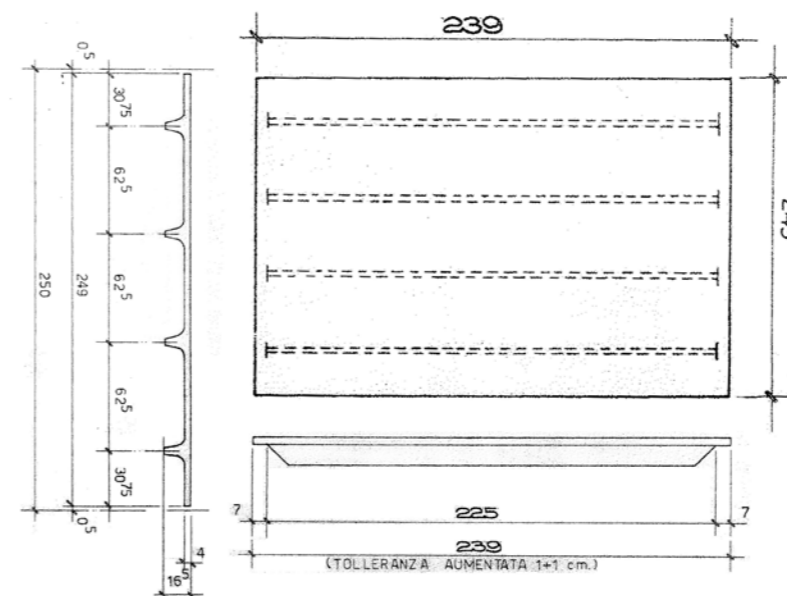


Figura 9.8 Coppella nervata Q1, estratto da disegno esecutivo del sistema Larco System (Magnetti)

- Tipologia Q2: dim. 239x158 cm con un peso di 500 kg, utilizzata sul perimetro

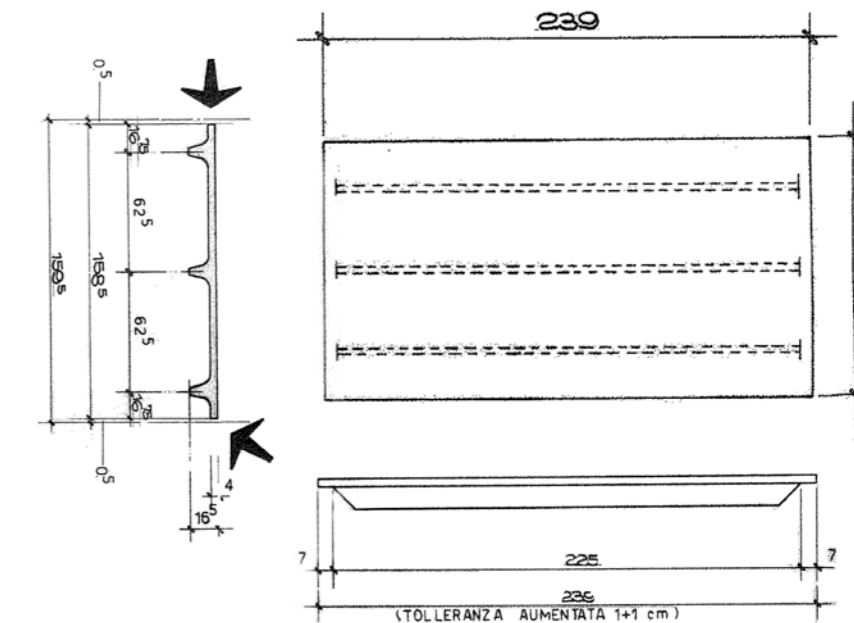


Figura 9.9 Coppella nervata Q2, estratto da disegno esecutivo del sistema Larco System (Magnetti)

#### 9.4.1.2 Rimozione

##### Cordolo perimetrale di coronamento in CA

Prima di effettuare la demolizione del cordolo l'area circostante deve essere segnalata con nastro di segnalazione rosso e bianco fino a una distanza di almeno 8 m dal fabbricato per evitare che la caduta

di macerie provochi danni a cose e/o persone.

La demolizione del cordolo è la prima ad essere eseguita poiché il cordolo limita lateralmente le travi a pi greco e le coppelle, impedendone la rimozione.

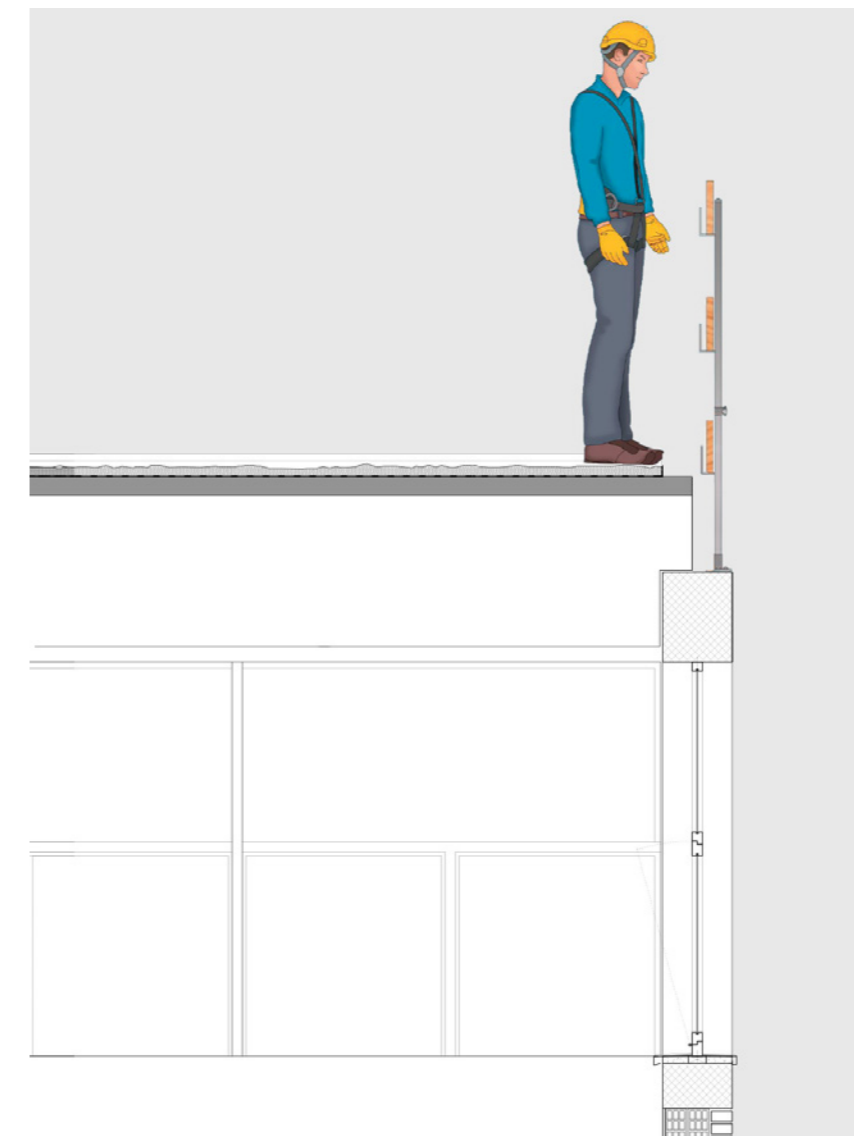
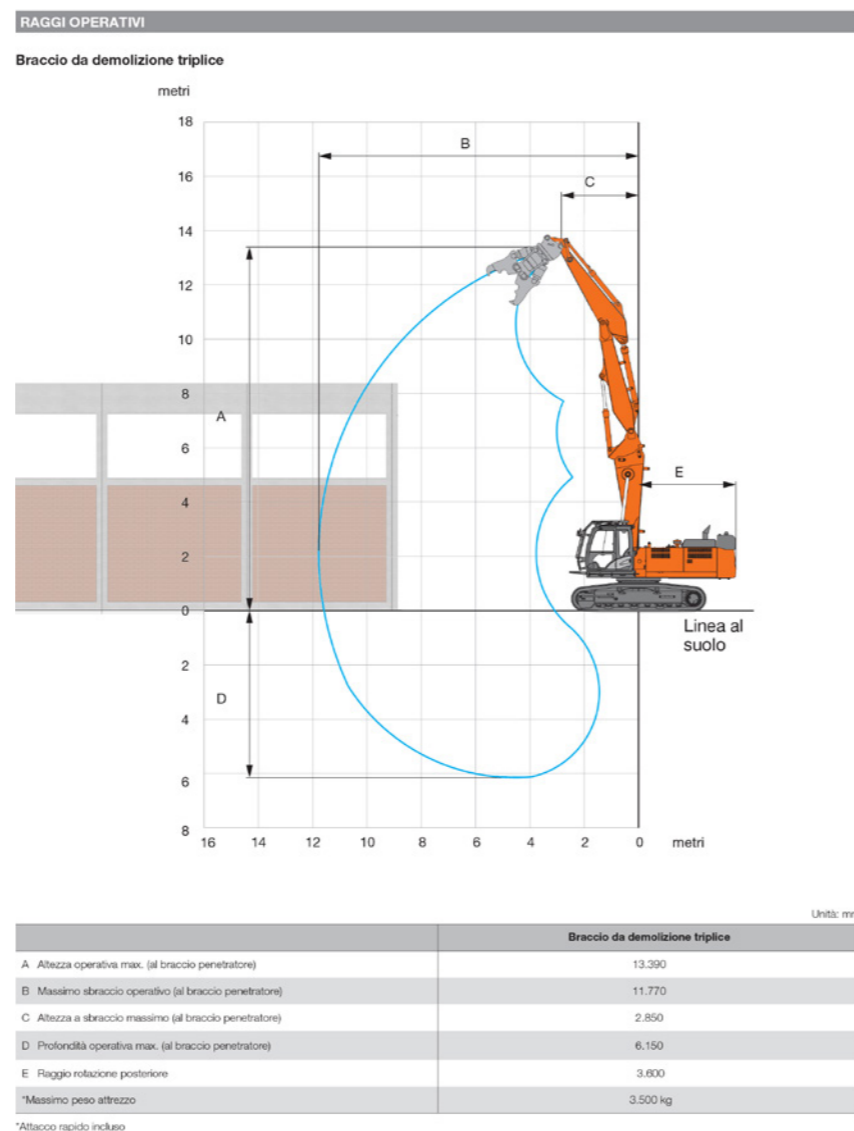
Il cordolo perimetrale verrà demolito dall'esterno dell'edificio con l'ausilio di un escavatore munito di pinza idraulica, tenendone costantemente la superficie bagnata per limitare la produzione di polveri. Nella Figura 8.34 si riporta il raggio d'azione dell'escavatore, derivato dalla scheda tecnica del produttore.

Le macerie prodotte verranno allontanate con escavatore munito di benna e caricate su autocarro ribaltabile per il trasporto in discarica.

### Pacchetto tecnologico di copertura

Prima di effettuare la lavorazione è necessario installare un parapetto di sicurezza lungo tutto il perimetro della copertura del campo da gioco, per evitare cadute accidentali di persone o cose. Gli operai addetti al montaggio del parapetto temporaneo lavorano a bordo di piattaforma elevatrice dall'esterno

**Figura 9.10** Raggio operativo dell'escavatore munito di pinza idraulica da demolizione



dell'edificio.

Il parapetto deve essere di Classe A secondo la norma UNI EN 795 ed in particolare deve avere altezza  $\geq 100$  cm (misurata tra piano di calpestio e parte più alta del corrente superiore) ed essere composto da tre correnti: superiore, centrale e fermapiede. Tra i correnti la distanza massima deve essere di 47 cm e la distanza fra il bordo superiore della tavola fermapiede e la superficie di lavoro deve essere  $\geq 15$  cm. Il parapetto può essere agganciato con tasselli a fissaggio con ancorante chimico direttamente alla trave in CA, previa accettazione della idoneità e robustezza del supporto. Si riportano nella Figura 9.11 della colonna accanto le specifiche indicate.

### Rimozione ghiaietto

Una volta messa in sicurezza l'area della copertura si può procedere manualmente alla rimozione del ghiaietto attraverso l'utilizzo di badili. Il materiale accumulato viene depositato su carriere, scaricate ciclicamente attraverso convogliatore di macerie

**Figura 9.11** Parapetto di Classe A secondo la norma UNI EN 795, dettaglio costruttivo

(conforme ai requisiti di cui all'articolo 153 del D.lgs. 9 Aprile 2008, n. 81) a bordo di autocarri ribaltabili per la dismissione finale in discarica. Ogni squadra operativa deve essere composta almeno da tre operai e avrà a disposizione due carriere; due operai caricano il materiale sulle carriere e il terzo le svuota ciclicamente in maniera alternata.

**Rimozione impermeabilizzante**

La rimozione del sistema di impermeabilizzazione avviene attraverso il taglio (con cutter o simili) delle membrane e successiva asportazione a strappo. I materiali rimossi vengono accumulati su carriere ciclicamente svuotate attraverso convogliatore di macerie (conforme ai requisiti di cui all'articolo 153 del D.lgs. 9 Aprile 2008, n. 81) a bordo di autocarri ribaltabili per la dismissione finale in discarica.

Prima di poter procedere allo smontaggio del sistema di copertura prefabbricato Larcosystem è necessario montare delle reti di sicurezza al di sotto della copertura, per permettere ai lavoratori addetti allo smontaggio delle coppelle nervate di lavorare in

sicurezza.

**SISTEMA STRUTTURALE PREFABBRICATO LARCO SYSTEM**

Durante la rimozione del sistema di copertura si utilizza prima una autogru con portata 35 t per movimentare le coppelle nervate, mentre successivamente una autogru con portata 220 t per movimentare le travi tipo pi greco.

Per lo smontaggio è necessario rimuovere prima le coppelle nervate, le quali sono appoggiate alle travi tipo pi greco, quindi, una volta liberate, si può procedere alla rimozione delle travi stesse.

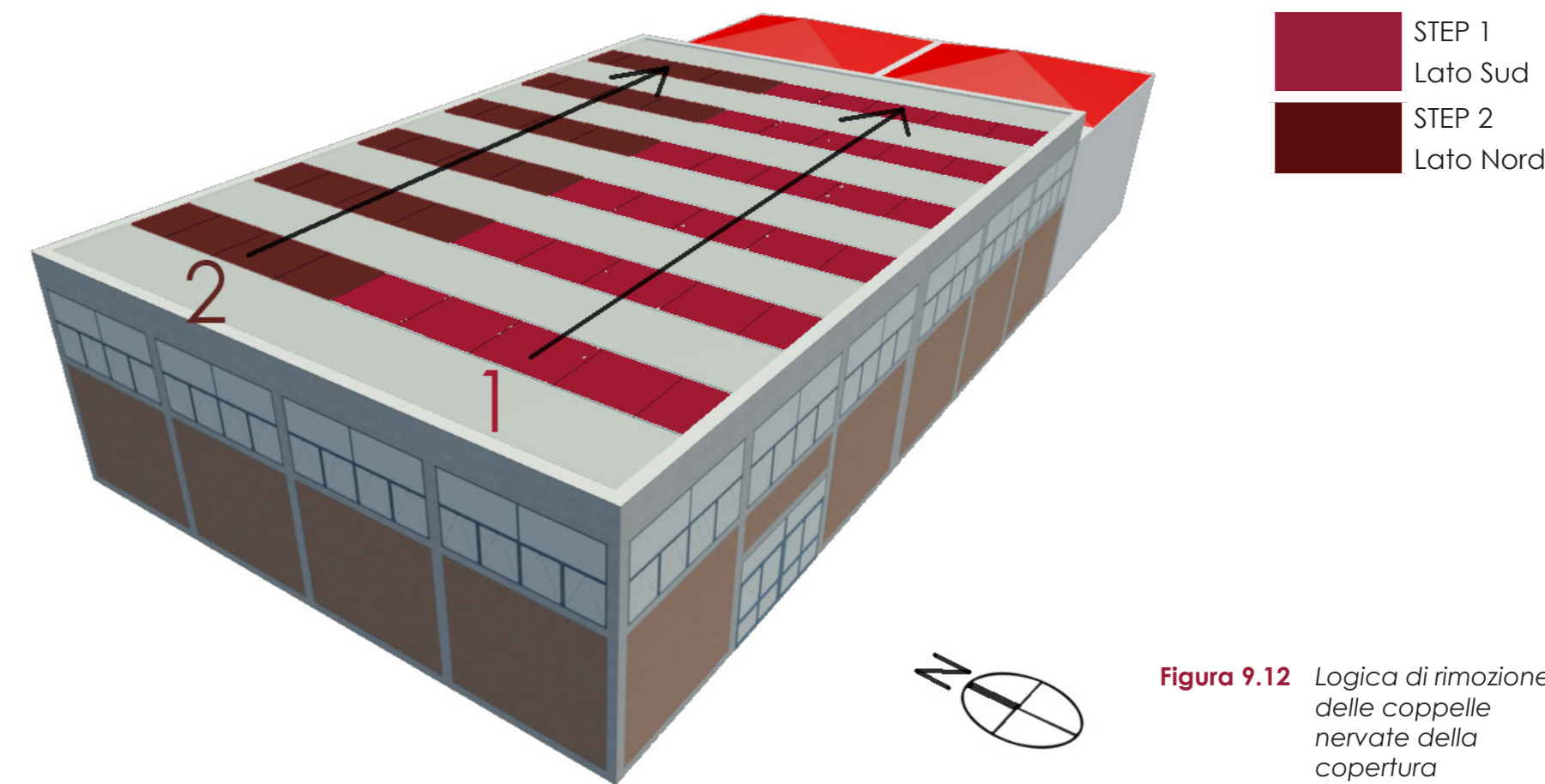
**Coppelle nervate**

Per lo smontaggio delle coppelle nervate si procede per campate, andando da Ovest verso Est (in modo da garantire sempre un appoggio sicuro all'operaio sul tetto al progredire della lavorazione) lavorando per step: in primo luogo l'autogru si posiziona sul lato Sud dell'edificio rimuovendo le coppelle nervate su quel lato di campata in campata; in seguito, sempre procedendo da Ovest verso Est, si passa alla rimozione delle coppelle nervate del lato Nord in seguito al

riposizionamento dell'autogru sul lato Nord, come rappresentato in Figura 9.12.

Le coppelle nervate, movimentate con l'autogru,

verranno caricate direttamente sull'autoarticolato con il quale verranno portate al luogo di smaltimento.



**Figura 9.12** Logica di rimozione delle coppelle nervate della copertura



### Travi tipo pi greco

Prima di poter smontare le travi tipo pi greco è necessario rimuovere le reti di sicurezza montate in precedenza all'interno della palestra e il parapetto sul perimetro dell'edificio. Per effettuare queste operazioni gli addetti lavoreranno a bordo di piattaforma elevatrice, all'interno dell'edificio per la rimozione delle reti ed all'esterno per rimuovere il parapetto.

Una volta rimosse le coppelle nervate sarà possibile rimuovere le travi tipo pi greco. Gli operai incaricati di agganciare le brache a 4 braccia agli elementi da rimuovere opereranno su una piattaforma elevatrice posta all'interno del campo da gioco della palestra. Ogni trave deve essere inoltre collegata a due funi, una per lato, attraverso le quali due operatori potranno movimentare la trave durante lo spostamento.

Una volta stoccate le travi vengono demolite attraverso l'utilizzo di escavatore munito di pinza idraulica da demolizione, distinguendo così il ferro dal cls. Le due componenti vengono poi caricate su autocarro ribaltabile di portata 18 mc per la dismissal.

### 9.4.1.3 Movimentazione

#### Cordolo perimetrale in CA

Le macerie provenienti dalla demolizione del cordolo perimetrale in CA sono allontanate con escavatore munito di benna, il quale le carica su autocarro ribaltabile per il trasporto in discarica. In caso rimanessero macerie sul tetto dell'edificio, queste possono essere allontanate attraverso carriere fino al punto di abbassamento e successivamente inserite in un convogliatore di macerie (conforme ai requisiti dell'articolo 153 del D.lgs. 9 Aprile 2008, n. 81) attraverso il quale giungono sui diversi cassoni scarrabili degli autocarri con i quali verranno trasportate in discarica per lo smaltimento finale.

#### Pacchetto tecnologico di copertura

Il ghiaietto e la membrana bituminosa vengono movimentati sul tetto dell'edificio mediante carriere fino al punto di abbassamento: qui sono inseriti in un convogliatore di macerie (conforme ai requisiti dell'articolo 153 del D.lgs. 9 Aprile 2008, n. 81) attraverso il quale giungono sui diversi cassoni scarrabili degli autocarri con i quali verranno trasportati in discarica

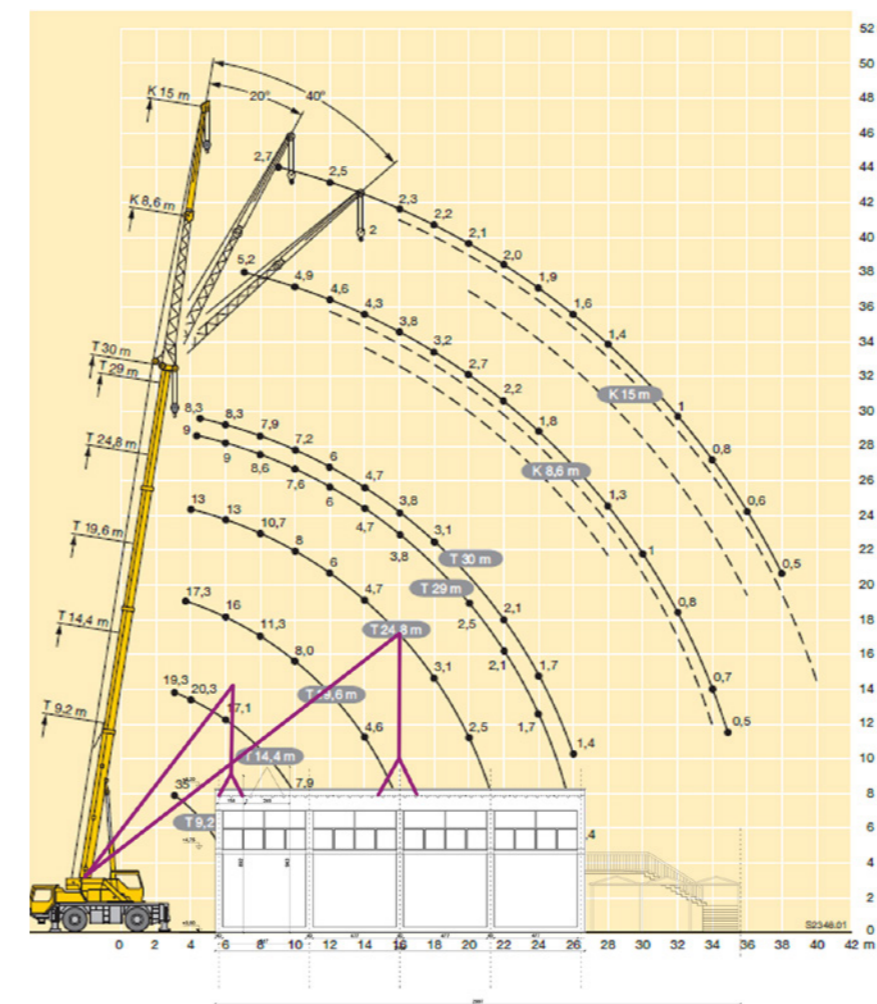


Figura 9.13 Rimozione delle coppelle nervate: schema delle portate di sollevamento di un'autogru da 35 t

per lo smaltimento finale.

#### SISTEMA STRUTTURALE PREFABBRICATO LARCO SYSTEM

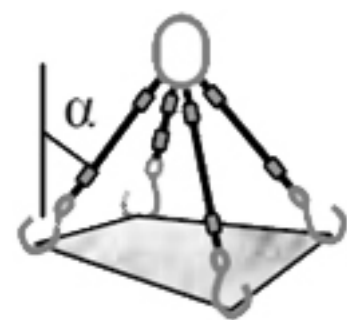
Il sistema di copertura prefabbricato viene movimentato con due diverse autogru di diversa portata per i diversi elementi.

Inizialmente si utilizza una autogru di portata 35 t per rimuovere le coppelle nervate (peso variabile tra i 500 e i 775 kg a seconda della tipologia Q2 o Q1), mentre successivamente è necessaria una autogru di portata 220 t per rimuovere le travi tipo pi greco (peso 21 t).

#### Coppelle nervate

Trattandosi di molti elementi ed avendo questi un peso considerevole, l'autogru da 35 t dovrà posizionarsi in due diversi posti per rimuoverli tutti, a metà del lato Sud prima, ed a metà del lato Nord del fabbricato in seguito, in maniera tale da lavorare sempre in sicurezza rispettando i rapporti distanza-angolo-carico indicati dal produttore dell'autogru. Nella Figura 9.13 viene riportato lo schema delle altezze e dei carichi di sollevamento dell'autogru da 35 t in base al posizionamento del mezzo rispetto al fabbricato.

Previo l'aggancio, ogni singolo elemento viene sollevato tramite movimentazione aerea con l'utilizzo di autogrù; il sollevamento deve avvenire con Braca a quattro bracci con anello triplo e ganci in fune d'acciaio con anima tessile, provvisti di ganci di sicurezza, in grado di sopportare le sollecitazioni indotte dal peso dei manufatti, maggiorato dagli effetti dinamici e dell'incremento dovuto all'inclinazione delle funi, non superiore a 60° (angolo  $\alpha < 30^\circ$ ), secondo lo schema riportato in Figura 9.14:

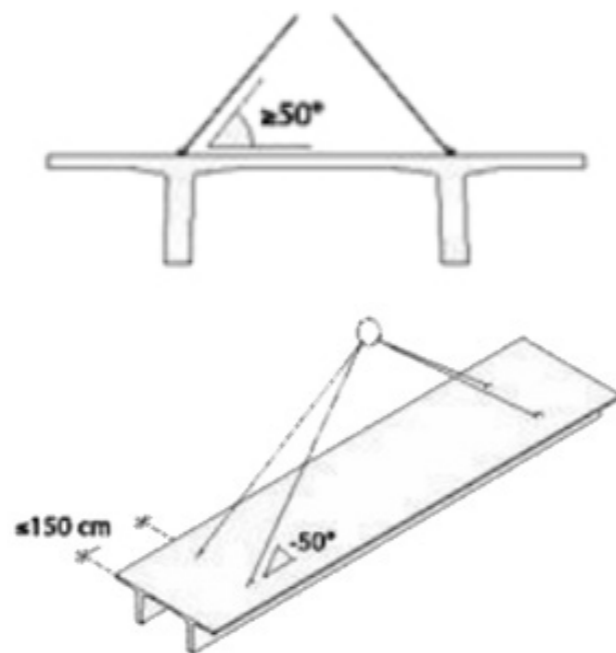


**Figura 9.14** Schema di aggancio per la movimentazione aerea delle coppelle nervate ( $\alpha < 30^\circ$ )

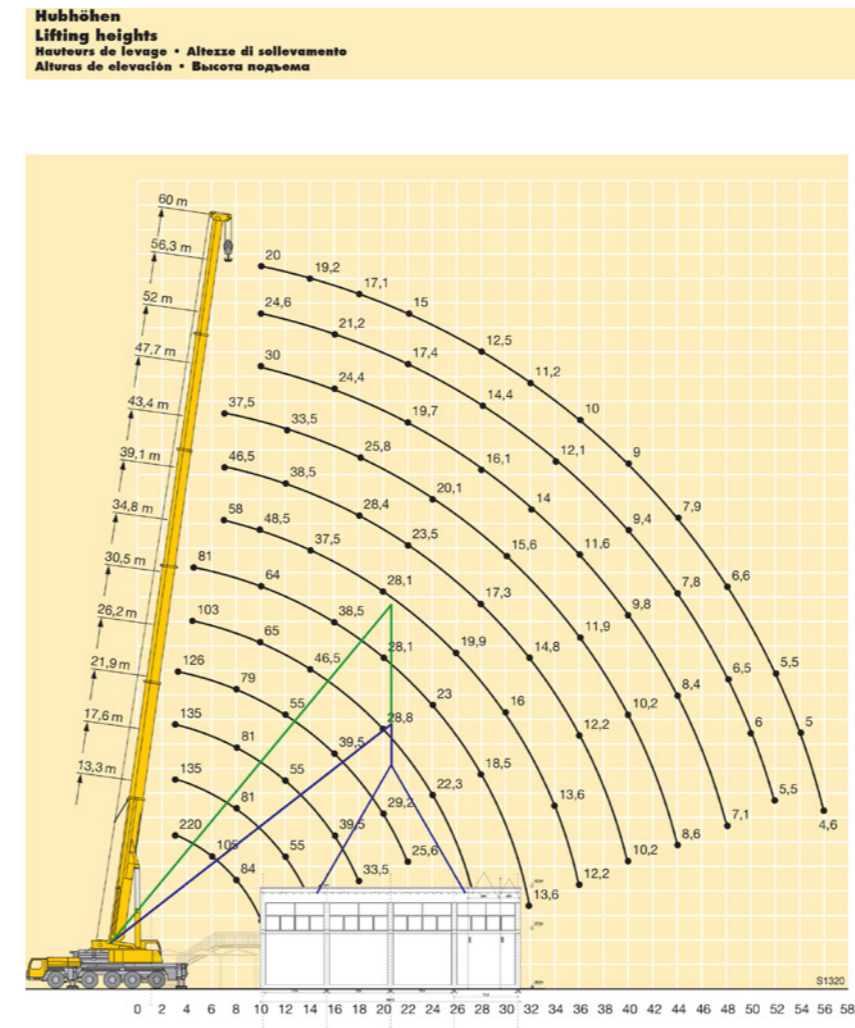
**Travi tipo pi greco**

Previo l'aggancio alle boccole predisposte, ogni singolo elemento viene sollevato tramite movimentazione aerea con l'utilizzo di autogrù (portata 220 t); il sollevamento deve avvenire con

braca a quattro bracci con anello triplo e ganci in fune d'acciaio con anima tessile, provvisti di ganci di sicurezza, in grado di sopportare le sollecitazioni indotte dal peso dei manufatti, maggiorato dagli effetti dinamici e dell'incremento dovuto all'inclinazione delle funi, con angolo non inferiore a 50°, secondo lo schema rappresentato in Figura 9.15:



**Figura 9.15** Schema di aggancio per la movimentazione aerea delle travi tipo pi greco



**Figura 9.16** Rimozione delle travi tipo pi greco: schema delle portate di sollevamento di un'autogrù da 220 t

Alle travi devono essere inoltre agganciate due funi alle estremità, controllate a terra da personale qualificato, per controllare la rotazione e le movimentazioni aeree ed il corretto posizionamento nel luogo di stoccaggio. Una volta messi in tensione i cavi, prima di procedere al sollevamento, controllare accuratamente che gli agganci siano effettuati correttamente e che le funi siano tese in maniera uniforme. Successivamente è possibile sollevare dolcemente e senza strattoni per 30-40 cm ed effettuare una brevissima sosta per consentire un controllo visivo dell'integrità della trave ed un ulteriore controllo sulle funi e sugli agganci. Proseguire dunque con la movimentazione, facendo rispettare al personale le distanze di sicurezza dal carico sospeso e vietando nella maniera più assoluta lo stazionamento al di sotto di esso.

Data la mole degli elementi da movimentare è necessario agire con particolare prudenza e con movimentazioni dolci e graduali; il manovratore dell'autogrù deve sempre mantenere il contatto visivo o radiofonico con tutti gli operatori.

In Figura 9.16 vi è lo schema delle altezze e dei carichi di sollevamento in base al posizionamento del mezzo.

Dopo lo stoccaggio le travi vengono demolite attraverso pinza idraulica da demolizione montata su di escavatore, bagnandole costantemente con acqua durante la lavorazione per evitare una eccessiva produzione di polveri. Le macerie prodotte da tale operazione, divise tra cls e acciaio, vengono movimentate da escavatore munito di benna e caricate a bordo di autocarro scarrabile da 18 mc per il trasporto in discarica abilitata.

#### 9.4.1.4 Stoccaggio/deposito

##### **Pacchetto tecnologico di copertura e macerie cordolo perimetrale in CA**

Sia il ghiaietto che la membrana impermeabilizzante che il cordolo perimetrale in CA non vengono stoccati in cantiere ma vengono direttamente caricati su autocarri ribaltabili per il trasporto in discarica e la definitiva dismissione. Il ghiaietto e la membrana vengono caricati sull'autocarro attraverso il convogliatore di macerie, mentre le macerie del cordolo vengono caricate tramite escavatore munito di benna.

##### **Coppelle nervate**

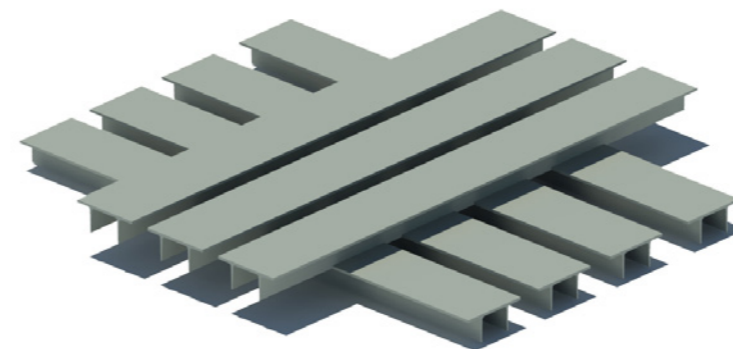
Le coppelle nervate non vengono stoccate all'interno del cantiere, main seguito alla rimozione sono direttamente caricate con l'autogru direttamente a bordo dell'autoarticolato per il trasporto ad una discarica abilitata allo smaltimento di questi elementi.

##### **Travi tipo pi greco**

Gli elementi vengono depositati in luogo pianeggiante a portata del braccio della autogru caratterizzato da consistenza adeguata a reggere il carico delle travi. Il luogo deve essere facilmente raggiungibile da autocarri ribaltabili da 18 mc (portata 40 t), a bordo dei quali verranno caricate le macerie provenienti dalle travi in dismissione. È inoltre importante che il terreno non perda consistenza né capacità portante in presenza d'acqua, in quanto la demolizione delle travi comporta utilizzo di acqua per evitare l'eccessiva diffusione di polveri.

Le travi devono essere impilate ponendo quattro travi di base e tre travi al di sopra, posizionate in maniera ortogonale alle prime e assicurandosi che la parte aggettante non sia di lunghezza maggiore di 2 m.

Si riporta in Figura 9.17 la disposizione sopra descritta:



**Figura 9.17** Modalità di disposizione delle travi tipo pi greco per lo stoccaggio temporaneo in cantiere

#### 9.4.1.5 Dismissione

##### **Cordolo perimetrale in CA**

Il cordolo perimetrale in CA viene dismesso attraverso autocarro con cassone scarrabile da 18 mc (portata 40 t); con un volume totale di 7,5 mc circa, al netto del volume di rigonfiamento, è necessario un solo viaggio per lo smaltimento.

Per limitare l'inquinamento acustico e la creazione di polveri, data la prossimità con la scuola ed il parco turistico del Precampel, acciaio e calcestruzzo non

vengono separati in cantiere, ma vengono portati congiuntamente in discarica. In tal modo crescono i costi per lo smaltimento, ma si riducono il disturbo arrecato alle zone confinanti con il cantiere e la spesa per effettuare la divisione in cantiere.

##### **Pacchetto tecnologico di copertura**

Il ghiaietto e l'impermeabilizzante vengono dismessi attraverso autocarro con cassone scarrabile da 18 mc (portata 40 t). Il ghiaietto, con un volume di circa 31 mc e un peso totale di 47 t, deve essere smaltito in due differenti viaggi. Per l'impermeabilizzante invece è necessario un solo viaggio; in questo caso il cassone del camion deve essere chiuso con apposito telo per evitare che il materiale fuoriesca dal vano di carico a causa dell'azione del vento durante la marcia.

##### **Coppelle nervate**

Per il trasporto delle coppelle è necessario un autoarticolato a 4 assi (40 t) più un autocarro a 3 assi (25 t). Gli elementi, in dismissione, possono essere disposti l'uno sull'altro senza stocchetti di legno interposti ma devono essere legati con cinghie al piano di carico

in maniera tale da evitare movimenti o ribaltamenti dovuti agli effetti dinamici ed alle vibrazioni durante il trasporto.

### Travi tipo pi greco

Le travi, dopo essere state demolite in cantiere, vengono allontanate a bordo di autocarri ribaltabili da 18 mc (portata 40 t). Ogni trave ha un volume di 8,79 mc, e dunque la cubatura totale è di 79,11 mc, considerando tutte e 7 le travi. Applicando un fattore di rigonfiamento pari a 1,5 si ottiene un volume totale di carico sui cassoni pari a 118,66 mc, per un totale di 147 t. Sono dunque necessari 7 viaggi per dismettere le travi a bordo di autocarri scarrabili da 18 mc.

### 9.4.2 ANALISI PREZZI

In questa sezione sono riportate due diverse tipologie di tabelle: in primo luogo si riportano quelle utili per i calcoli dei singoli prezzi (tabelle con layout verticale), mentre successivamente quelle riepilogative dei costi trovati (tabelle con layout orizzontale). Le tabelle qui riportate derivano da fogli Excel che tramite l'utilizzo di diverse formule hanno semplificato il calcolo dei prezzi

DEMOLIZIONE CORDOLO DI CORONAMENTO IN CA		
Noli		
<b>AUTOCARRO RIBALTABILE</b> (portata 10000 kg)		
Altezza cordolo, spessore e lunghezza (3 prospetti) 60x15x8322 cm		
Volume cordolo in CA	7,49	mc
Volume incrementato (indice di rigonfiamento 1,5)	11,23	mc
Peso macerie a mc	2500,00	kg
Peso totale macerie	18,72	t
Numero di viaggi per lo smaltimento delle macerie	2	
<b>PINZA</b>		
Tempo di apertura	1	s
Tempo di chiusura	1,9	s
Durata totale di un ciclo	10,9	s
Volume asportato ogni ciclo	0,02	mc
Numero totale di cicli	468	
Durata demolizione di 1 mc	11,35	min
Durata demolizione di tutto il cordolo	85,04	min

**Tabella 9.7** Calcoli per la determinazione del costo della demolizione del cordolo di coronamento in CA

**Tabella 9.8** Calcoli per la determinazione del costo della rimozione della finitura in ghiaietto (pagina seguente, colonna sinistra)

**Tabella 9.9** Calcoli per la determinazione del costo della rimozione del manto impermeabilizzante (pagina seguente, colonna destra)

RIMOZIONE FINITURA IN GHIAIETTO		
Noli		
<b>CASSONE SCARRABILE</b> (18mc, 40 t)		
Trasporto cassone in cantiere	80,00	€
Deposito in cantiere di un nuovo cassone vuoto, analisi di laboratorio, carico cassone	250,00	€
Volume ghiaietto	31,40	mc
Peso ghiaietto a mc	1500	kg
Peso totale ghiaietto	47,11	t
Numero di viaggi per lo smaltimento ghiaietto	2	
Costo totale cassone	580,00	€
Materiali		
<b>CONVOGLIATORE DI MACERIE</b>		
Prezzo convogliatore per almeno 5 pezzi	171,99	€
Prezzo supporto per tramoggia	71,80	€
Prezzo tramoggia	59,29	€
Costo totale	303,08	€
Costo al giorno (ipotizzando di sostituirlo dopo 3 anni)	0,39	€
Costo all'ora	0,05	€
<b>BADILI e CARRIOLA</b> capacità 75 l		
Costo	115,20	€
Costo all'ora	0,06	€/h
Calcolo durata e prezzo		
Volume asportato con un badile con un gesto	0,00	mc
Durata di un gesto	7,00	s
Numero di gesti a mc	1000,00	
Tempo per rimuovere 1 mc	116,67	min
Durata lavorazione per una squadra operativa di tre persone	46,67	min
Durata totale della lavorazione per una squadra operativa di tre persone	24,43	h

RIMOZIONE MANTO IMPERMEABILIZZANTE		
Noli		
<b>CASSONE SCARRABILE</b> (18mc, 40 t)		
Trasporto cassone in cantiere	80,00	€
Deposito in cantiere di un nuovo cassone vuoto, analisi di laboratorio, carico cassone	250,00	€
Volume impermeabilizzante	12,56	mc
Volume incrementato (indice di rigonfiamento 1,5)	17,84	mc
Peso impermeabilizzante a mq	4,80	kg
Peso totale impermeabilizzante	3,01	t
Numero di viaggi per lo smaltimento dell'impermeabilizzante	1	
Costo totale cassone	330,00	€
Materiali		
<b>CONVOGLIATORE DI MACERIE</b>		
Prezzo convogliatore per almeno 5 pezzi	171,99	€
Prezzo supporto per tramoggia	71,80	€
Prezzo tramoggia	59,29	€
Costo totale	303,08	€
Costo al giorno*	0,39	€
Costo all'ora	0,05	€
<b>CUTTER e CARRIOLA</b> capacità 75 l		
Costo	66,58	€
Costo all'ora	0,03	€/h
Calcolo durata e prezzo		
Lunghezza taglio con cutter	31,17	m
Numero di tagli a mq	2	
Durata di taglio e strappo	2,5	min
Durata a mq per una squadra operativa di tre persone	5	min
Durata totale della lavorazione per una squadra operativa di tre persone	52,34	h

RIMOZIONE TRAVI TIPO PI GRECO		
Noli		
<b>AUTOGRU</b> portata 200 tonnellate		
Costo al giorno	1.600	€/g
Costo trasporto zavorre e piastre	1.200	€
Costo trasferimento dal deposito al cantiere e viceversa	450	€
Costo totale autogru	3.250	€
Posizionamento autogru	2,00	h
Tempo di rimozione di una trave	0,50	h
Tempo di rimozione di 7 travi	3,50	h
Tempo totale	5,50	
<b>PIATTAFORMA AEREA</b> per fissare le travi all'autogru		
velocità massima di salita	0,20	m/s
velocità massima di traslazione	0,70	m/s
velocità massima di traslazione in quota	0,10	m/s
Tempo di salita, aggancio discesa di 2,5m, spostamento verso il secondo lato della trave, salita e discesa a terra	245,00	s
	4,08	min
Spostamento verso l'altro capo della trave	22,86	s
Tempo di salita, aggancio discesa di 2,5m, spostamento verso il secondo lato della trave, salita e discesa a terra	245,00	s
	4,08	min
Spostamento alla seconda trave	2,86	
Tempo totale per una trave	8,60	min
Calcolo durata		
Durata di rimozione di una trave	0,93	h
Durata di rimozione di 7 travi	6,50	h

**Tabella 9.10** Calcoli per la determinazione del costo della rimozione delle travi tipo pi greco

RIMOZIONE COPPELLE NERVATE		
Noli		
<b>AUTOGRU</b> portata 35 tonnellate		
Posizionamento autogru	0,17	h
Tempo di rimozione di una coppella nervata	15	min
Tempo di rimozione di 27 coppelle (lato sud)	6,75	h
Tempo di spostamento e posizionamento sul prospetto nord	0,17	h
Tempo di rimozione di 27 coppelle (lato nord)	6,75	h
Durata totale lavorazione	13,83	h

**Tabella 9.11** Calcoli per la determinazione del costo della rimozione delle coppelle nervate

Una volta eseguiti queste ricerche e questi calcoli preliminari è possibile arrivare ai risultati finali, che vengono riportati nelle tabelle delle pagine seguenti.

DEMOLIZIONE CORDOLO DI CORONAMENTO IN CA							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A MC	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A MC [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
Manodopera							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	0,53	0,09	3,94
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,19	38,05	7,20	1,42	53,93
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,19	38,05	7,20	1,42	53,93
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,19	38,05	7,20	1,42	53,93
Noli							
Tractor Service SRL	Nolo di escavatore con impianto idraulico martello/pinza a freddo	h	0,19	157,00	29,71	1,42	222,52
N04023	Nolo di escavatore idraulico cingolato da 12.000 kg, capacità benna 0,9 mc: a caldo	h	0,19	55,45	10,49	1,42	78,59
N04001	Autocarri ribaltabile: portata 10.000 kg: a caldo	h	0,26	81,41	20,84	1,92	156,09
A.02.04.054	Oneri di scarica per rifiuti speciali non pericolosi (ex IIB): conglomerato cementizio armato in blocchi di grosse dimensioni non contaminato . Codice CER 17 09 04	t	2,50	35,00	87,50	18,72	655,36
					Prezzo lavorazione [€]		1278,29
					Costo lavorazione [€]		1010,50
					Spese generali (15%) [€]		67,37
					Utile d'impresa (10%) [€]		107,79
					Incidenza % Manodopera		16
					Costo Manodopera [€]		165,72
					<b>COSTO TOTALE [€]</b>	<b>194,06</b>	<b>1453,44</b>
					<b>DURATA TOTALE [ore]</b>	<b>0,19</b>	<b>1,42</b>
					Durata "NORMALE" [giorni]	0,02	0,18
					Decremento % della durata in condizioni ottimistiche	1%	1%
					Durata OTTIMISTICA [giorni]	0,02	0,18
					Incremento % della durata in condizioni pessimistiche	100%	100%
					Durata PESSIMISTICA [giorni]	0,05	0,35
					Durata MEDIANA [giorni]	1	1

**Tabella 9.12** Analisi prezzi: demolizione cordolo di coronamento in CA

RIMOZIONE FINITURA IN GHIAIETTO							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A MC	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A MC [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Manodopera</b>							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	0,53	0,09	3,94
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,78	32,00	24,89	24,43	781,61
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,78	32,00	24,89	24,43	781,61
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,78	32,00	24,89	24,43	781,61
<b>Noli</b>							
Rodellascavi	Cassone scarrabile	h	0,78	23,75	18,47	24,43	580,00
<b>Materiali</b>							
Macchedil	Convogliatore di macerie	h	0,78	0,05	0,08	24,43	2,54
	Carriola e 3 badili	h	0,78	0,06		24,43	
A.02.04.053	Oneri di scarica per rifiuti inerti (ex IIA): rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione non contaminati. Codice CER 17 09 04	t	1,50	13,50	20,25	47,11	635,93
	Prezzo lavorazione [€]			115,63			3615,41
	Costo lavorazione [€]			91,40			2858,03
	Spese generali (15%) [€]			13,71			428,70
	Utile d'impresa (10%) [€]			10,51			328,67
	Incidenza % Manodopera			84			84
	Costo Manodopera [€]			60,73			1894,81
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>			<b>139,85</b>			<b>4372,79</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>			<b>0,78</b>			<b>24,43</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]			0,10			3,05
	Decremento % della durata in condizioni ottimistiche			1%			1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]			0,10			3,02
	Incremento % della durata in condizioni pessimistiche			100%			100%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]			0,19			6,11
	Durata MEDIANA [giorni]			1			4

Tabella 9.13 Analisi prezzi: rimozione finitura in ghiaietto

RIMOZIONE MANTO IMPERMEABILIZZANTE							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A MQ	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A MC [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Opere compiute</b>							
A.02.04.019	Rimozione manto impermeabile compreso abbassamento al piano di carico, escluso carico e trasporto alle discariche (al mq)	mq	1,00	2,90	2,90	628,08	1821,43
<b>Manodopera</b>							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	compreso in A.02.04.019	3,49	compreso in A.02.04.019
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,08	32,00		52,34	
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,08	32,00		52,34	
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,08	32,00		52,34	
<b>Noli</b>							
Rodellascavi	Cassone scarrabile	h	0,08	6,30	0,53	52,34	330,00
<b>Materiali</b>							
Livengood	Cutter lama grande e carriola	h	0,08	0,03	compreso in A.02.04.019	52,34	compreso in A.02.04.019
Macchedil	Convogliatore di macerie	h	0,08	0,05		52,34	
A.02.04.054	Oneri di scarica per rifiuti speciali non pericolosi: guaine bituminose non contaminate. Codice CER 17 03 02	t	0,00	190,00	0,91	3,01	572,81
	Prezzo lavorazione [€]				4,34		2724,24
	Costo lavorazione [€]				3,43		2153,55
	Spese generali (15%) [€]				0,23		143,57
	Utile d'impresa (10%) [€]				0,37		229,71
	Incidenza % Manodopera				85		85
	Costo Manodopera [€]				2,90		1821,43
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>				<b>4,93</b>		<b>3097,52</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>				<b>0,08</b>		<b>52,34</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]				0,01		6,54
	Decrem % in cond ottimistiche				1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]				0,01		6,48
	Increment % in cond pessimistiche				100%		100%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]				0,02		13,09
	Durata MEDIANA [giorni]				1		8

Tabella 9.14 Analisi prezzi: rimozione manto impermeabilizzante

RIMOZIONE COPPELLE NERVATE							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' CAD	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO CAD [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Manodopera</b>							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,02	41,65	0,71	0,92	38,41
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,26	38,05	9,75	13,83	526,36
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,26	38,05	9,75	13,83	526,36
<b>Noli</b>							
A.01.02.075	Nolo di autogru telescopica, compreso l'addetto alla manovra, carburante, lubrificante, data a nolo funzionante, nella durata del nolo è compreso il tempo di trasporto al e dal cantiere (durata minima del nolo un giorno di otto ore); portata 35t	h	0,26	129,00	33,05	13,83	1784,50
N04008	Autoarticolato portata 40 tonnellate	h	0,27	152,03	40,35	14,33	2179,10
	Prezzo lavorazione [€]				93,61		5054,72
	Costo lavorazione [€]				74,00		3995,83
	Spese generali (15%) [€]				4,93		266,39
	Utile d'impresa (10%) [€]				7,89		426,22
	Incidenza % Manodopera				27		27
	Costo Manodopera [€]				20,21		1091,13
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>				<b>106,43</b>		<b>5747,33</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>				<b>0,26</b>		<b>13,83</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]				0,03		1,73
	Decremento % della durata in condizioni ottimistiche				1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]				0,03		1,71
	Incremento % della durata in condizioni pessimistiche				100%		100%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]				0,06		3,46
	Durata MEDIANA [giorni]				1		3

**Tabella 9.15** Analisi prezzi: rimozione coppelle nervate

RIMOZIONE TRAVI TIPO PI GRECO							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' CAD	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO CAD [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Manodopera</b>							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,05	41,65	2,18	0,37	15,27
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,79	38,05	29,90	5,50	209,28
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,79	38,05	29,90	5,50	209,28
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,79	38,05	29,90	5,50	209,28
<b>Noli</b>							
Società trasporti Bergamo SRL	"Nolo di autogru telescopica di portata 200 t, compreso addetto alla manovra, carburante, lubrificante, data a nolo funzionante, nella durata del nolo è compreso il tempo di trasporto da e al cantiere"	h	0,79	590,91	464,29	5,50	3250,00
N04056	Piattaforma semovente con braccio telescopico altezza 18m	h	0,14	41,65	5,97	1,00	41,77
	Prezzo lavorazione [€]				562,12		3934,86
	Costo lavorazione [€]				444,37		3110,56
	Spese generali (15%) [€]				29,62		207,37
	Utile d'impresa (10%) [€]				47,40		331,79
	Incidenza % Manodopera				21		21
	Costo Manodopera [€]				91,87		643,10
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>				<b>639,15</b>		<b>4474,03</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>				<b>0,79</b>		<b>5,50</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]				0,10		0,69
	Decremento % della durata in condizioni ottimistiche				1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]				0,10		0,68
	Incremento % della durata in condizioni pessimistiche				100%		100%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]				0,20		1,38
	Durata MEDIANA [giorni]				1		1
	<b>Costo totale manodopera [€]</b>						<b>5616,19</b>
	<b>Costo totale lavorazione [€]</b>						<b>19145,11</b>

**Tabella 9.16** Analisi prezzi: rimozione travi tipo pi greco

**Tabella 9.17** Tabella riassuntiva del costo totale della lavorazione

### 9.4.3 GANTT

Attraverso il software Microsoft Project è stata analizzata la rimozione del sistema di copertura nelle diverse lavorazioni che la compongono e si è in tal modo potuto procedere alla realizzazione di un GANTT al

fine di mettere in evidenza la contemporaneità tra le lavorazioni e i giorni necessari per poterle portare a compimento (Figura 9.17).



Figura 9.18 GANTT della rimozione del sistema di copertura



Figura 9.19 Vista della chiusura verticale CV 01



Figura 9.20 Fotoraddrizzamento della chiusura verticale

## 9.5 DEMOLIZIONE CHIUSURA VERTICALE NORD (CV 01)

### 9.5.1 SCHEDA ERGOTECNICA

#### 9.5.1.1 Descrizione della lavorazione

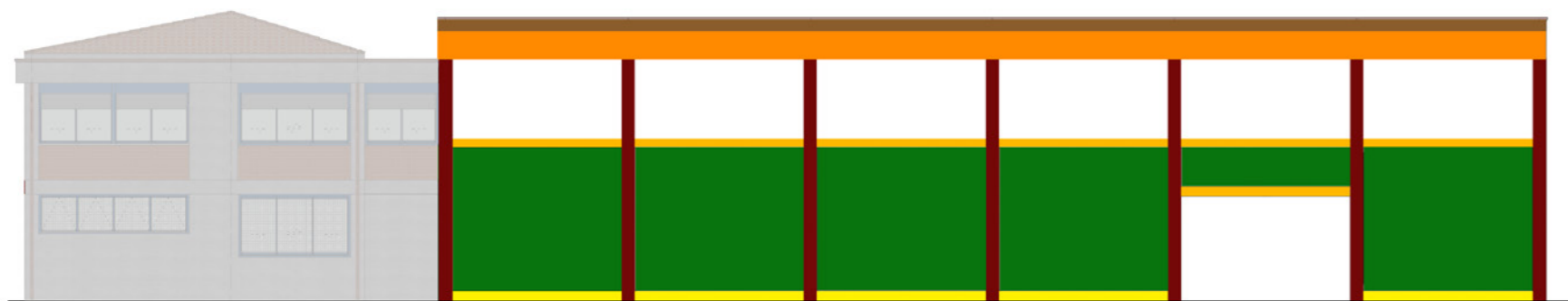
Demolizione della chiusura verticale CV\_01 del lato Nord dell'edificio, costituita da sistema portante pilastro-trave in CA gettato in opera ed un tamponamento in laterizio (Figura 9.19 e Figura 9.20).

Prima di effettuare le demolizioni è necessario mettere in sicurezza la parete Ovest tramite puntellamento dell'ultima campata, poiché la struttura, perdendo il comportamento scatolare diventa meno stabile.

Il tamponamento in laterizio viene demolito con martello demolitore montato su escavatore e, una volta che i corsi superiori sono stati rimossi, la demolizione prosegue per spinta.

La trave di coronamento viene smontata con tagli strutturali e movimentata con autogru, mentre la trave intermedia, i pilastri ed il cordolo di basamento vengono demoliti con pinza idraulica demolitrice montata su escavatore.





**Figura 9.21** Disarticolazione tecnologica WBS del prospetto Nord della palestra esistente

La chiusura verticale è costituita dai seguenti elementi:

- Pilastro 40x40 cm, h 700 cm
- Trave di coronamento 40x60 cm
- Trave intermedia 40x25 cm
- Cordolo di basamento 25x35 cm
- Tamponamento in laterizio a cassa vuota, esterno in mattoni paramano (12x12x6 cm), interno in forati (12x25x25 cm) con finitura in intonaco

La lavorazione si sviluppa secondo il seguente ordine:

- Demolizione tamponamento in laterizio
- Rimozione trave di coronamento
- Demolizione trave intermedia
- Demolizione pilastri
- Demolizione cordolo di basamento

Lavorazioni con precedenza:

- Rimozione sistema di copertura

Macchinari necessari:

- Autogru portata 35 t
- Piattaforma elevatrice
- Sega a disco diamantato per calcestruzzo
- Escavatore munito di benna
- Escavatore munito di pinza idraulica/martello demolitore

Opere provvisorie:

- Puntellamento ultima campata parete Ovest
- Recinzione area in demolizione

### 9.5.1.2 Rimozione

Le demolizioni devono essere effettuate nel seguente ordine: tamponamento in laterizio, trave di coronamento, trave intermedia, pilastri, cordolo di basamento.

#### Opere provvisorie

Prima di procedere alle demolizioni è necessario puntellare l'ultima campata della parete Ovest, in prossimità della chiusura da demolire, per evitare che azioni orizzontali come il vento possano indurre sollecitazioni eccessive per la struttura che, una volta demolita la parete Nord, non si comporta più in maniera scatolare, perdendo quindi rigidità.

Il puntellamento deve essere eseguito con strutture lignee disposte su entrambi i lati della parete, ognuno dei quali montato secondo lo schema in Figura 9.22 e andando ad insistere principalmente sulle strutture in CA:



**Figura 9.22** Schema per il puntellamento della muratura

#### Rimozione tamponamento in laterizio

Il tamponamento in laterizio è il primo elemento ad essere demolito.

Prima di effettuare la demolizione è necessario recintare l'area soggetta a caduta delle macerie, che per demolizioni per rovesciamento la normativa prevede essere una volta e mezzo l'altezza dell'elemento da demolire. Il tamponamento in laterizio si estende fino ad un'altezza di 4,40 m dal piano di calpestio, conseguentemente la recinzione deve essere posta almeno a 6,60 m di distanza. La recinzione verrà posta solamente all'esterno dell'edificio, mentre l'accesso all'interno del campo da gioco sarà vietato. Gli operai addetti alla demolizione lavoreranno dall'esterno dell'edificio. Queste prescrizioni sono da ritenersi valide e da applicare per tutta la durata della lavorazione, ad eccezione della fase di rimozione della trave di coronamento che verrà successivamente approfondita.

La lavorazione sarà effettuata mediante escavatore munito di martello demolitore. In primo luogo è necessario demolire i corsi di laterizio di sommità, per isolare il tamponamento dalla struttura portante;

successivamente sarà possibile demolire la parte restante per spinta, partendo dall'alto e andando verso il basso.

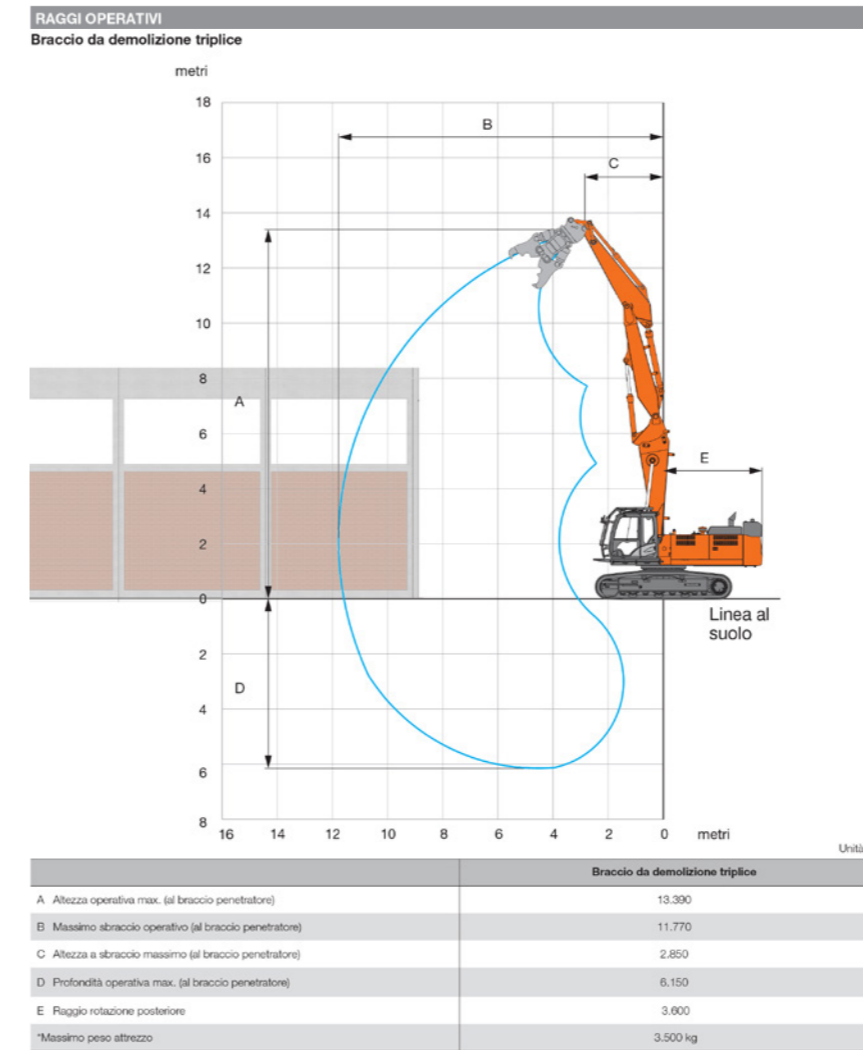
Durante tutte le operazioni gli operai dovranno prestare particolare attenzione al rischio di cadute rovinose ed incontrollate del tamponamento: per questo motivo sarà consentito lavorare solo a bordo dell'escavatore, finché tutto il tamponamento non sarà stato abbattuto. Solo successivamente per rimuovere eventuali singoli mattoni rimasti al di sotto di quota 1,5 m dal piano di calpestio ci si potrà avvicinare a piedi e terminare il lavoro con mazza ed eventualmente punte o scalpelli. Le macerie prodotte saranno allontanate con

escavatore munito di benna.

### Rimozione trave di coronamento

La trave di coronamento viene smontata per pezzi: attraverso tagli strutturali eseguiti con sega a disco diamantato verrà divisa in 3 pezzi (ciascuno della lunghezza di due campate, ovvero 10,15 m, e del peso di circa 6,3 t) i quali saranno movimentati con autogru di portata 35 t direttamente sull'autoarticolato che verrà impiegato per la dismissione degli elementi. L'ordine e la disposizione dei tagli strutturali da effettuare per la rimozione della trave di coronamento è indicato nella Figura 9.23:

**Figura 9.23** Ordine e disposizione dei tagli strutturali da effettuare per rimuovere la trave di coronamento



**Figura 9.24** Raggi operativi di un escavatore munito di braccio triplice e pinza demolitrice

I conci di trave dovranno essere agganciati all'autogru ed i cavi dovranno essere già in lieve tensione prima dell'esecuzione del taglio, per evitare che in seguito a questo si verifichino pericolosi spostamenti del concio. Solamente durante questa fase della lavorazione gli operai addetti al taglio ed all'imbrago delle travi potranno lavorare anche dall'interno dell'edificio. Per effettuare i tagli è necessario fissare sulla facciata del pilastro ortogonale alla sezione di trave i binari a cremagliera che supportano la testa di taglio, con ausilio piattaforma elevatrice. Questa tipologia di demolizione è stata scelta poiché permette di rimuovere in sicurezza le travi da altezza considerevole, evitando la caduta incontrollata di macerie dall'alto e senza bisogno di puntellare la struttura in rimozione.

Le demolizioni delle parti rimanenti vengono effettuate interamente attraverso pinza idraulica demolitrice montata su di un escavatore, attraverso la quale è possibile anche tagliare i ferri di armatura, con gli appositi denti nella parte più interna della pinza. In Figura 9.24 si riporta il diagramma con i raggi

operativi dell'escavatore, valido per la demolizione del tamponamento in laterizio e di tutti i restanti elementi che compongono la facciata, i quali verranno successivamente approfonditi.

Nota: l'escavatore può lavorare anche in posizione non ortogonale rispetto alla facciata, ove lo spazio di manovra non sia sufficiente. È inoltre raccomandato che le macchine per demolizione lavorino in linea con il sottocarro ogni volta che questo è possibile.

Si è preferito adoperare questa soluzione per effettuare le demolizioni restanti, la maggior parte dell'intera parete, in quanto è meno rumorosa e produce meno polveri: in tal modo si arreca minor disturbo alla scuola ed alla zona del parco Precampel.

#### **Demolizione trave intermedia**

Dopo aver rimosso la trave di coronamento si passa alla trave intermedia, che viene demolita mediante l'utilizzo di pinza idraulica da demolizione montata su di un escavatore.

Il peso e la luce ridotti che caratterizzano questa trave non rendono necessarie opere di puntellamento durante la rimozione. Inoltre l'operatore, lavorando

a bordo dell'escavatore e considerando il raggio operativo di quest'ultimo, si trova a distanza di sicurezza anche nel caso di cedimenti improvvisi della trave.

La demolizione della trave, al fine di ridurre al minimo la possibilità di cedimenti improvvisi, deve avvenire a partire dalla mezzeria e spostandosi successivamente verso gli estremi, in maniera da ridurre la luce dello sbalzo una volta tranciata la trave e da ridurre il peso da supportare.

Le macerie prodotte dalla demolizione vengono allontanate utilizzando escavatore munito di benna, con il quale le macerie vengono caricate su di un autocarro ribaltabile per il trasporto in discarica.

#### **Demolizione pilastri**

Ultimata la demolizione delle travi è possibile demolire i pilastri, adoperando anche in questo caso una pinza idraulica da demolizione montata su di un escavatore. Per demolire in sicurezza questi elementi l'operatore deve effettuare la demolizione dall'alto verso il basso, ponendo particolare cauzione a non esercitare spinte in direzione orizzontale sugli elementi che, ormai isolati, potrebbero spezzarsi e cedere rovinosamente.

Le macerie prodotte dalla demolizione vengono allontanate utilizzando escavatore munito di benna, con il quale le macerie vengono caricate su di un autocarro ribaltabile per il trasporto in discarica.

#### **Demolizione cordolo di basamento**

Il cordolo di basamento è l'ultimo elemento da demolire. La demolizione avviene attraverso pinza idraulica montata su di un escavatore cingolato da demolizione.

Le macerie prodotte dalla demolizione vengono allontanate utilizzando escavatore munito di benna, con il quale le macerie vengono caricate su di un autocarro ribaltabile per il trasporto in discarica.

Le macerie di cemento armato verranno portate in discarica senza venir divise tra calcestruzzo e acciaio per evitare di generare ulteriori rumori e polveri data la vicinanza con gli edifici scolastici e con il parco Precampel.

#### **9.5.1.3 Movimentazione**

##### **Trave di coronamento**

I conci di trave di coronamento (peso 6,3 t) vengono movimentati mediante autogru di portata 35 t, alla quale sono stati agganciati precedentemente all'esecuzione del taglio strutturale.

I conci di trave vengono imbrigliati in 2 punti, posti a 1,5 m dalle due estremità, con fasce di poliesteri a 4 strati tipo FPQ, portata minima 4,8 t, con angolo tra fascia e trave maggiore di 60°. È importante in questa fase assicurarsi che il carico sia ben equilibrato (in relazione alla posizione del baricentro) ed applicare le fasce intorno alla trave in modo da rendere impossibile qualsiasi spostamento del carico durante le operazioni di sollevamento e trasporto. In Figura 9.25 si riporta lo schema di aggancio:



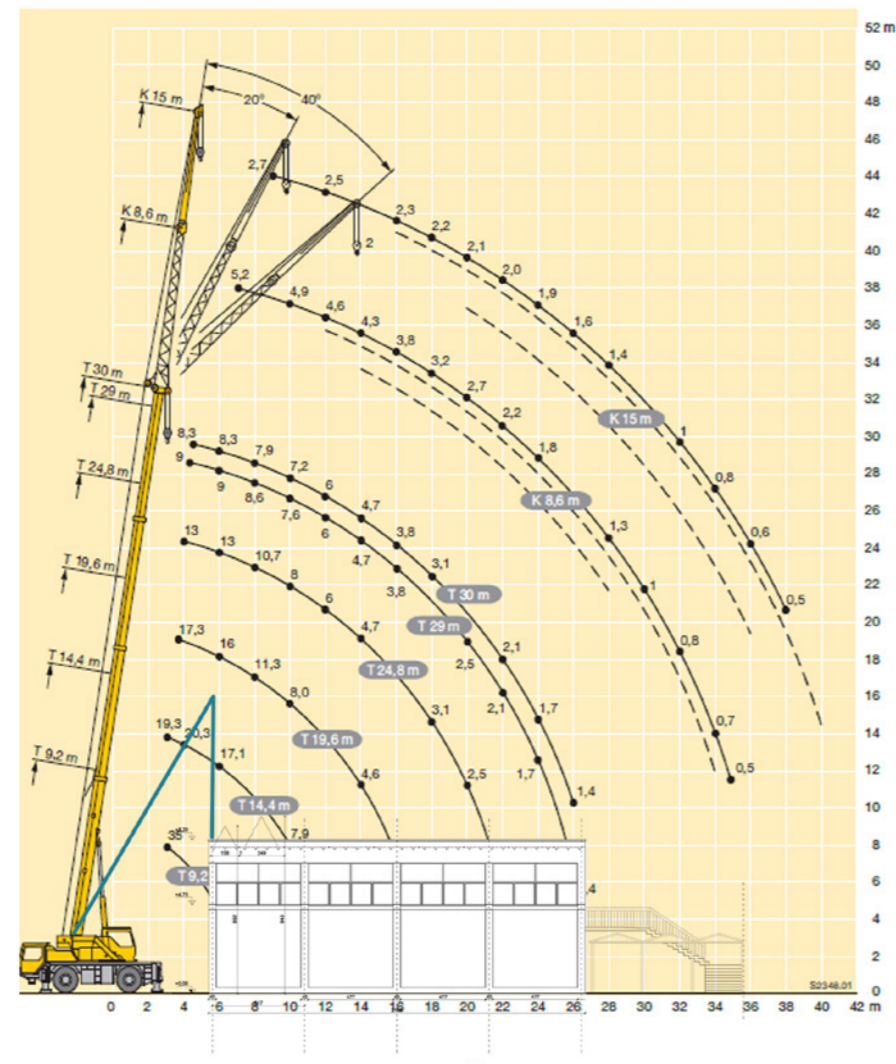
**Figura 9.25** Schema di aggancio dei conci di trave

Prima di effettuare i tagli strutturali è necessario mettere in leggera tensione le funi per evitare che la trave effettui movimenti incontrollati una volta svincolata. Una volta messi in tensione i cavi, prima di effettuare i tagli, controllare accuratamente che la trave sia ben imbrigliata e che le funi siano tese in maniera uniforme, per prevenire rotazioni indesiderate dopo il taglio.

Una volta effettuati i tagli e svincolata la trave, sollevare dolcemente senza strattoni per 30-40 cm ed effettuare una brevissima sosta per consentire un controllo visivo dell'integrità della trave e un ulteriore controllo sulle funi. Successivamente proseguire con la movimentazione, facendo rispettare al personale le distanze di sicurezza dal carico sospeso e vietando nella maniera più assoluta lo stazionamento al di sotto di esso.

In Figura 9.26 si riporta lo schema delle altezze e dei carichi di sollevamento in base al posizionamento dell'autogru.

Tutte le operazioni devono essere eseguite con velocità adeguate ai mezzi utilizzati, senza imprimere strappi e/o accelerazioni che ne possano pregiudicare l'integrità o comprometterne la sicurezza o la stabilità.



**Figura 9.26** Rimozione trave di coronamento: schema delle portate di sollevamento di un'autogru da 35 t

Le operazioni devono essere annullate o interrotte nel caso in cui le condizioni ambientali (vento, nebbia, grandine, ect) non permettano di movimentare le travi in assoluta sicurezza.

L'autogru deve essere posizionata in luogo piano e dotato di portata sufficiente a sostenere il carico del mezzo. In caso il terreno non disponga di qualità sufficienti sarà necessario utilizzare piastre di ripartimento del carico per aumentare la superficie di appoggio sul terreno.

#### Macerie derivanti da demolizioni

Le macerie derivanti dalle demolizioni di tamponamento in laterizio, trave intermedia, pilastri e cordolo di basamento vengono movimentate con escavatore munito di benna e caricate direttamente su autocarro scarrabile da 18 mc.

L'operazione può essere eseguita dal medesimo escavatore utilizzato per la demolizione, poiché grazie al sistema di attacco rapido è possibile cambiare lo strumento montato in maniera veloce.

#### 9.5.1.4 Stoccaggio/deposito

Tutti gli elementi rimossi o demoliti vengono caricati direttamente sui mezzi con i quali verranno trasportati in discarica (autoarticolati e autocarri ribaltabili), pertanto non si prevede stoccaggio in cantiere.

#### 9.5.1.5 Dismissione

È stato scelto di non suddividere le macerie tra calcestruzzo e acciaio in cantiere, operazione che avrebbe richiesto largo utilizzo di martelli demolitori e pinze idrauliche, per evitare di produrre inquinamento acustico e polveri, data la prossimità di strutture scolastiche e del parco Precampel. Tale scelta comporta maggiori oneri di smaltimento in discarica, ma anche un risparmio sulle lavorazioni di separazione da eseguire in cantiere.

#### Elementi rimossi (trave di coronamento)

Tutti gli elementi rimossi attraverso tagli strutturali (conci della trave di coronamento) hanno lunghezza massima di 10,15 m e peso 6,3 t (totale: 6,3t x 3 travi = 18,9 t); la dismissione avviene dunque su di un solo autoarticolato a 3 assi (portata massima consentita da C. d. S. 30 t).

**Elementi demoliti (trave intermedia, pilastri, tamponamento in laterizio e cordolo di basamento)**

Gli elementi soggetti a demolizione (tamponamento in laterizio, trave intermedia, pilastri e cordolo di basamento) vengono invece dismessi a bordo di autocarri con cassone scarrabile da 18 mc (portata 40t).

Considerando che il volume totale degli elementi da demolire è di 54,75 m<sup>3</sup> (al lordo dell'intercapedine presente nel tamponamento in laterizio) e adottando un fattore di rigonfiamento pari al 25%, si ottiene un volume totale di macerie da smaltire pari a 68,2 m<sup>3</sup>. Saranno dunque necessari 4 autocarri con cassone scarrabile da 18 m<sup>3</sup> per smaltire tutte le macerie.

**9.5.2 ANALISI PREZZI**

In questa sezione sono riportate due diverse tipologie di tabelle: in primo luogo si riportano quelle utili per i calcoli dei singoli prezzi (tabelle con layout verticale), mentre successivamente quelle riepilogative dei costi trovati (tabelle con layout orizzontale). Le tabelle qui riportate derivano da fogli Excel che tramite l'utilizzo di diverse formule hanno semplificato il calcolo dei prezzi.

DEMOLIZIONE CV_01 CHIUSURA VERTICALE NORD		
Calcolo durata e prezzo		
Volume singola campata chiusura verticale	1,04	mc
Volume 5 campate chiusura verticale	4,29	mc
Peso a mc	2,80	t
Peso totale	12,01	t
Durata demolizione a mc	20,00	min
Posizionamento escavatore sulla seconda campata	3,00	min
Durata totale demolizione con martello demolitore	1,92	h
ESCAVATORE IDRAULICO CINGOLATO		
Si considera che l'escavatore inizi a raccogliere le macerie 20 minuti dopo l'inizio della demolizione, quando il martello demolitore starà demolendo la seconda campata, in modo da non creare interferenza, e di conseguenza il lavoro terminerà 20 minuti dopo la fine della demolizione. Per tutta la durata della lavorazione sarà presente un autocarro che verrà riempito con il materiale demolito, e viene computato per mezz'ora in più per il trasporto macerie in discarica.		

**Tabella 9.18** Calcoli per la determinazione del costo della demolizione della chiusura verticale Nord

TAGLI STRUTTURALI TRAVI		
PIATTAFORMA AEREA		
velocità massima di salita	0,20	m/s
velocità massima di traslazione	0,70	m/s
velocità massima di traslazione in quota	0,10	m/s
Tempo di salita e aggancio	4,00	min
Spostamento alla seconda trave	7,14	s
Tempo totale per una trave di colmo	4,12	min
TAGLIAMURI A FILO DIAMANTATO		
Costo per ogni taglio	150,00	€
Numero di tagli	9,00	
Gruppo elettrogeno	150,00	€/giorno
Costo totale	1500,00	€
Durata lavorazione per ogni trave (3 tagli)	2,40	h
AUTOARTICOLATO (portata 25 mc)		
Volume trave	2,57	mc
Volume totale travi	7,70	mc
Peso a trave	6,42	t
Peso totale	19,26	t
Calcolo durata e prezzo		
Posizionamento autogru	10,00	min
Aggancio di una trave con piattaforma elevatrice	4,12	min
Taglio strutturale in 3 punti	432,00	min
Durata lavorazione per ogni trave	7,44	h
Durata totale lavorazione	21,972	h

**Tabella 9.19** Calcoli per la determinazione del costo dei tagli strutturali per rimuovere la trave di coronamento

DEMOLIZIONI STRUTTURE		
PINZA		
Tempo di apertura	1	s
Tempo di chiusura	1,9	s
Durata totale di un ciclo	10,9	s
Volume asportato ogni ciclo	0,016	mc
<b>VOLUME TRAVE INTERMEDIA</b>	0,588	mc
Peso	1,47	t
Numero totale di cicli	37	
Durata demolizione di una trave	6,68	min
Numero di travi	7	
Volume totale	4,116	mc
Durata demolizione di tutte le travi	46,73	min
<b>VOLUME PILASTRO</b>	1,0736	mc
Peso	2,684	t
Numero totale di cicli	67	
Durata demolizione di un pilastro	12,19	min
Numero di pilastri	5	
Volume totale	5,368	mc
Durata demolizione di tutti i pilastri	60,95	min
<b>VOLUME CORDOLO DI BASE</b>	3,168	mc
Peso a mc	2,5	t
Numero totale di cicli a mc	63	
Durata demolizione di 1 mc	11,354	min
Durata demolizione di tutto il cordolo	35,97	min
Peso totale	7,92	t

**Tabella 9.20** Calcoli per la determinazione del costo della demolizione con pinza idraulica demolitrice delle strutture

DEMOLIZIONE TAMPONAMENTO IN LATERIZIO						
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A MC	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A MC [€]	PREZZO TOTALE [€]
<b>Opere compiute</b>						
A.02.04.002	Demolizione parziale di strutture di fabbricati fuori terra effettuata con mezzi meccanici, valutata per la cubatura effettiva, compreso abbassamento e trasporto delle macerie alle discariche entro 10 km di distanza, escluse le opere di presidio, e gli eventuali corrispettivi per diritti di discarica: in mattoni	mc	1,00	124,00	124,00	4,29 531,98
<b>Manodopera</b>						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,02	41,65	Compreso in A.02.04.002	0,13 Compreso in A.02.04.002
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,33	38,05		
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,33	38,05		
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,33	38,05		
<b>Noli</b>						
Tractor Service SRL	Nolo di escavatore con impianto idraulico martello/pinza a freddo	h	0,33	157,00	Compreso in A.02.04.002	1,92 Compreso in A.02.04.002
N04023	Nolo di escavatore idraulico cingolato da 12.000 kg, capacità benna 0,9 mc: a caldo	h	0,33	55,45		
N04002	Autocarro ribaltabile: da 15 mc: a caldo	h	0,83	119,14		
	Prezzo lavorazione [€]			161,80		694,14
	Costo lavorazione [€]			127,91		548,73
	Spese generali (15%) [€]			19,19		82,31
	Utile d'impresa (10%) [€]			14,71		63,10
	Incidenza % Manodopera			24		24
	Costo Manodopera [€]			30,81		132,18
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>			<b>195,69</b>		<b>839,56</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>			<b>0,33</b>		<b>1,92</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]			0,04		0,24
	Decremento % della durata in condizioni ottimistiche			1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]			0,04		0,24
	Incremento % della durata in condizioni pessimistiche			50%		50%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]			0,06		0,36
	Durata MEDIANA [giorni]			1		1

Tabella 9.21 Analisi prezzi: demolizione tamponamento in laterizio

RIMOZIONE TRAVI DI CORONAMENTO						
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A MC	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A TRAVE [€]	PREZZO TOTALE [€]
<b>Opere compiute</b>						
Calcestruzzitaglio	Taglio travi con sega a filo diamantato, con utilizzo di gruppo elettrogeno	cad	3	300	600	9 1500,00
A.01.02.075	Nolo di autogru telescopica, compreso l'addetto alla manovra, carburante, lubrificante, data a nolo funzionante, nella durata del nolo è compreso il tempo di trasporto al e dal cantiere (durata minima del nolo un giorno di otto ore): portata 35t	h	7,44	129,00	959,16	21,97 2834,47
<b>Manodopera</b>						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,50	41,65	20,65	1,46 61,01
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	7,44	38,05	282,91	21,97 836,06
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	7,44	38,05	282,91	21,97 836,06
<b>Noli</b>						
N04008	Autoarticolato portata 40 tonnellate	h	7,94	152,03	1206,41	22,47 3416,51
A.02.04.053	Oneri di discarica per rifiuti inerti (ex IIA): rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione non contaminati. Codice CER 17 09 04	t	6,42	13,50	86,67	19,26 260,01
	Prezzo lavorazione [€]				3438,71	9744,12
	Costo lavorazione [€]				2718,34	7702,86
	Spese generali (15%) [€]				407,75	1155,43
	Utile d'impresa (10%) [€]				312,61	885,83
	Incidenza % Manodopera				17	17
	Costo Manodopera [€]				463,62	1370,06
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>				<b>4159,07</b>	<b>11785,37</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>				<b>7,44</b>	<b>21,97</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]				0,93	2,75
	Decremento % della durata in condizioni ottimistiche				1%	1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]				0,92	2,72
	Incremento % della durata in condizioni pessimistiche				100%	100%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]				1,86	5,49
	Durata MEDIANA [giorni]				2	4

Tabella 9.22 Analisi prezzi: rimozione travi di coronamento

DEMOLIZIONE TRAVI INTERMEDIE							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A TRAVE [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Opere compiute</b>							
A.02.04.002	Demolizione parziale di strutture di fabbricati fuori terra con mezzi meccanici, valutata per cubatura effettiva, compreso abbassamento e trasporto macerie alle discariche entro 10 km, escluse le opere di presidio, e i corrispettivi per diritti di discarica: in cemento armato	mc	0,59	371,00	218,15	4,116	1527,036
<b>Manodopera</b>							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	0,31	0,05	2,16
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,11	38,05	4,23	0,78	29,64
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,11	38,05	4,23	0,78	29,64
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,11	38,05	4,23	0,78	29,64
<b>Noli</b>							
Tractor Service SRL	Nolo di escavatore con impianto idraulico martello/pinza a freddo	h	0,11	157,00	Compreso in A.02.04.002	0,78	Compreso in A.02.04.002
N04023	Nolo di escavatore idraulico cingolato da 12.000 kg, capacità benna 0,9 mc: a caldo	h	0,11	55,45		0,78	
N04001	Autocarri ribaltabile: portata 10.000 kg: a caldo	h	0,61	81,41		1,28	
A.02.04.053	Oneri di discarica per rifiuti inerti (ex IIA): rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione non contaminati. Codice CER 17 09 04	†	1,47	13,50	19,845	10,29	138,92
	Prezzo lavorazione [€]				251,00		1757,02
	Costo lavorazione [€]				198,42		1388,95
	Spese generali (15%) [€]				29,76		208,34
	Utile d'impresa (10%) [€]				22,82		159,73
	Incidenza % Manodopera				5		5
	Costo Manodopera [€]				10,29		72,00
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>				<b>303,59</b>		<b>2125,10</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>				<b>0,11</b>		<b>0,78</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]				0,01		0,10
	Decremento % della durata in condizioni ottimistiche				1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]				0,01		0,10
	Increment % in cond pessimistiche				50%		50%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]				0,02		0,15
	Durata MEDIANA [giorni]				1		1

Tabella 9.23 Analisi prezzi: demolizione travi intermedie

DEMOLIZIONE PILASTRI							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A PILASTRO [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Opere compiute</b>							
A.02.04.002	Demolizione parziale di strutture di fabbricati fuori terra effettuata con mezzi meccanici, valutata per la cubatura effettiva, compreso abbassamento e trasporto delle macerie alle discariche entro 10 km di distanza, escluse le eventuali opere di presidio, e gli eventuali corrispettivi per diritti di discarica: in cemento armato	mc	1,07	371,00	398,31	5,368	1991,528
<b>Manodopera</b>							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	0,56	0,07	2,82
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,20	38,05	7,73	1,02	38,65
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,20	38,05	7,73	1,02	38,65
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,20	38,05	7,73	1,02	38,65
<b>Noli</b>							
Tractor Service SRL	Nolo di escavatore con impianto idraulico martello/pinza a freddo	h	0,20	157,00	Compreso in A.02.04.002	1,02	Compreso in A.02.04.002
N04023	Nolo di escavatore idraulico cingolato da 12.000 kg, capacità benna 0,9 mc: a caldo	h	0,20	55,45		1,02	
N04001	Autocarri ribaltabile: portata 10.000 kg: a caldo	h	0,70	81,41		1,52	
A.02.04.053	Oneri di discarica per rifiuti inerti (ex IIA): rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione non contaminati. Codice CER 17 09 04	†	2,68	13,50	36,234	13,42	181,17
	Prezzo lavorazione [€]				458,29		2291,47
	Costo lavorazione [€]				362,29		1811,44
	Spese generali (15%) [€]				54,34		271,72
	Utile d'impresa (10%) [€]				41,66		208,32
	Incidenza % Manodopera				5		5
	Costo Manodopera [€]				18,78		93,89
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>				<b>554,30</b>		<b>2771,51</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>				<b>0,20</b>		<b>1,02</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]				0,03		0,13
	Decremento % della durata in condizioni ottimistiche				1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]				0,03		0,13
	Increment % in cond pessimistiche				50%		50%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]				0,04		0,19
	Durata MEDIANA [giorni]				1		1

Tabella 9.24 Analisi prezzi: demolizione pilastri

DEMOLIZIONE CORDOLO DI BASE							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA'	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A MC [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Opere compiute</b>							
A.02.04.002	Demolizione parziale di strutture di fabbricati fuori terra effettuata con mezzi meccanici, valutata per la cubatura effettiva, compreso abbassamento e trasporto delle macerie alle discariche entro 10 km di distanza, escluse le eventuali opere di presidio, e gli eventuali corrispettivi per diritti di discarica: in cemento armato	mc	1,00	371,00	371,00	3,168	1175,328
<b>Manodopera</b>							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	0,53	0,04	1,66
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,19	38,05	7,20	0,60	22,81
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,19	38,05	7,20	0,60	22,81
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,19	38,05	7,20	0,60	22,81
<b>Noli</b>							
Tractor Service SRL	Nolo di escavatore con impianto idraulico martello/pinza a freddo	h	0,19	157,00	Compreso in A.02.04.002	0,60	Compreso in A.02.04.002
N04023	Nolo di escavatore idraulico cingolato da 12.000 kg, capacità benna 0,9 mc: a caldo	h	0,19	55,45		0,60	
N04001	Autocarro ribaltabile: portata 10.000 kg: a caldo	h	0,69	81,41		1,10	
A.02.04.053	Oneri di discarica per rifiuti inerti (ex IIA): rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione non contaminati. Codice CER 17 09 04	†	2,50	13,50	33,75	7,92	106,92
				Prezzo lavorazione [€]	426,88		1352,35
				Costo lavorazione [€]	337,45		1069,05
				Spese generali (15%) [€]	50,62		160,36
				Utile d'impresa (10%) [€]	38,81		122,94
				Incidenza % Manodopera	5		5
				Costo Manodopera [€]	17,49		55,41
				<b>COSTO TOTALE [€]</b>	<b>516,30</b>		<b>1635,64</b>
				<b>DURATA TOTALE [ore]</b>	<b>0,19</b>		<b>0,60</b>
				Durata "NORMALE" [giorni]	0,02		0,07
				Decremento % in cond ottimistiche	1%		1%
				Durata OTTIMISTICA [giorni]	0,02		0,07
				Incremento % in cond pessimistiche	50%		50%
				Durata PESSIMISTICA [giorni]	0,04		0,11
				Durata MEDIANA [giorni]	1		1
				<b>Costo totale manodopera [€]</b>			<b>5616,19</b>
				<b>Costo totale lavorazione [€]</b>			<b>19145,11</b>

Tabella 9.25 Analisi prezzi: demolizione pilastri

Tabella 9.26 Tabella riassuntiva del costo totale della lavorazione

### 9.5.3 GANTT

Attraverso il software Microsoft Project è stata analizzata la rimozione del sistema di copertura nelle diverse lavorazioni che la compongono e si è in tal modo potuto procedere alla realizzazione di un GANTT al

fine di mettere in evidenza la contemporaneità tra le lavorazioni e i giorni necessari per poterle portare a compimento (Figura 9.26).



Figura 9.27 GANTT della demolizione della chiusura verticale Nord CV\_01





**Figura 9.28** Inghisaggio delle barre: un passaggio della lavorazione

## 9.6 CONSOLIDAMENTO DEI PILASTRI ESISTENTI IN CA

### 9.6.1 SCHEDE ERGOTECNICA

#### 9.6.1.1 Descrizione della lavorazione

Foratura del pilastro esistente per l'inghisaggio di armature in acciaio B450C conformi al D.M. 14/01/2008 e alle norme UNI EN 10025, UNI EN 10210 e UNI EN 10219-1, inghisate nel pilastro in CA esistente con ancorante chimico, previo lavaggio per la rimozione di detriti e polveri dovuti alla rimozione dell'intonaco e alla foratura.

La lavorazione si sviluppa secondo il seguente ordine:

- Foratura del pilastro a bordo di piattaforma elevatrice (da 7,5 m a 1,5 m)

- Foratura del pilastro (da 1,5 a 0 m)
- Pulitura dei fori a bordo di piattaforma elevatrice (da 7,5 m a 1,5 m)
- Inghisaggio delle barre a bordo di piattaforma elevatrice (da 7,5 m a 1,5 m)
- Pulitura dei fori (da 1,5 m a 0,5 m)
- Inghisaggio delle barre (da 1,5 m a 0,5 m)
- Foratura del pilastro (da 0 m a -1,2 m, in seguito allo scavo)
- Pulitura dei fori (da 0,5 m a -1,2 m)
- Inghisaggio delle barre (da 0,5 m a -1,2 m)
- Pulitura dell'intera superficie del pilastro con idropulitrice prima del getto

Materiali necessari:

- Resina epossidica bicomponente:
  - caratteristiche di adesione a 7 giorni cls-acciaio (UNI EN 12615) > 20 MPa
  - caratteristiche a trazione diretta a 7 giorni: resistenza > 15 MPa
- Barre di armatura in acciaio B450C ad aderenza migliorata conformi al D.M. 14/01/2008 e alle norme UNI EN 10025, UNI EN 10210, UNI EN 10219-1

- funghi di protezione in polipropilene di colore rosso o giallo ad alta visibilità

Macchinari necessari:

- Trapano con punte da calcestruzzo
- Piattaforma elevatrice
- Macchina trancia-piega ferri
- Spazzole e compressore
- Idropulitrice

Lavorazioni con precedenza:

- Tracciamento per l'individuazione dei punti in cui eseguire i fori

Lavorazioni complementari:

- Scavo di sbancamento intorno al pilastro per inghisaggio al pilastro sotto quota 0 e alla trave di fondazione

#### 9.6.1.2 Approvvigionamento

##### Barre di armatura

Le barre di armatura vengono trasportate in cantiere in fasci di luce 6 m dal peso di 1,6 t per mezzo di

autoarticolato. Le barre sono caricate sul mezzo lungo la direzione longitudinale del piano di carico; ogni fascio di barre è tenuto insieme da 4 legature semplici (con filo di ferro  $\phi$  5,2 mm) e 2 legature doppie (con filo di ferro  $\phi$  7 mm).

I fasci possono essere caricati gli uni sugli altri, ma è necessario utilizzare funi adeguate alla massima sollecitazione prevista (peso proprio incrementato tenendo conto degli effetti dinamici) e ganci con dispositivi di chiusura di sicurezza dell'imbocco al fine di impedirne lo sganciamento. Le funi utilizzate non devono essere metalliche per evitare danni alle barre. Ogni fascio deve essere accompagnato da etichette sulle quali viene indicato:

- stabilimento di produzione
- loghi Certificazioni di Prodotto
- numero di colata / lotto
- qualità
- diametro
- lunghezza
- data di laminazione
- codice a barre

**Resina epossidica**

La resina epossidica viene fornita in confezioni da 5 kg, divise in due secchi per le due diverse componenti, da 4+1 kg. Il prodotto arriva in cantiere a bordo di un autocarro.

Le condizioni di fornitura non prevedono una quantità minima, ma il produttore si riserva di applicare prezzi diversi per piccole o grandi quantità (soglia: 50 kg).

**9.6.1.3 Movimentazione****Barre di armatura**

Le barre di armatura vengono movimentate per mezzo di gru di cantiere dall'autoarticolato fino al sito di stoccaggio. Per la movimentazione utilizzare brache in poliestere, assicurate in due punti al fascio di barre, rispettivamente a un terzo e due terzi del fascio, in maniera tale che il triangolo formato dalle brache in poliestere e le barre sia isoscele con due angoli di 60°, nel quale i due lati uguali sono costituiti dalle brache in poliestere.

Le singole barre possono essere movimentate manualmente per la lavorazione e la posa.

Per il trasporto dal luogo di lavorazione al luogo di posa

di elementi brevi (es: barre da inghisare) può essere utilizzato un mezzo di movimentazione meccanizzata manuale.

**Resina epossidica**

Le confezioni di resina epossidica possono movimentate manualmente, in quanto di poco contenuto. È ammesso il trasporto di diverse confezioni per volta impilate a bordo di carriole o carrelli.

**9.6.1.4 Stoccaggio****Barre di armatura**

La zona di stoccaggio delle barre di armatura deve essere adiacente alla zona di lavorazione delle stesse e ad una zona adibita allo stoccaggio per le barre post-lavorazione. Le barre possono essere stoccate anche all'aperto, purchè non a diretto contatto con il terreno: è necessario in tal caso predisporre uno stocchetto in legno ogni metro per l'appoggio delle barre. Non stoccare impilando in altezza più di tre file di fasci.

**Resina epossidica**

La resina epossidica deve essere stoccata in luogo

coperto, fresco ed asciutto (10-30 °C), lontano dal contatto diretto con sole, fuoco e fiamme libere. Qualora la temperatura scendesse al di sotto dei 10 °C la resina potrebbe presentare un aumento della viscosità e la formazione di grumi. In questo caso prima di utilizzarla scaldare la confezione ancora chiusa immergendo parte della latta in acqua calda fino alla scomparsa dei grumi.

**9.6.1.5 Lavorazione****Barre di armatura**

Le barre di armatura vengono lavorate con una macchina trancia-piegaferri, con la quale si lavorano i tondini, tagliandoli, smussandoli e piegandoli. I tronconi di scarto devono essere accumulati in un apposito spazio in attesa di essere smaltiti.

Durante le operazioni di sagomatura e taglio dei ferri si devono predisporre schermi o adottare altre misure atte ad evitare che le materie proiettate possano produrre danno alle persone.

**Resina epossidica**

Miscelazione della resina epossidica: omogeneizzare il

componente B mediante efficace agitazione manuale del barattolo con cui viene fornito. Aggiungere il componente B al componente A e miscelare il tutto con trapano a frusta a bassa velocità (200 giri/minuto circa) per circa 1 minuto sino ad ottenere un composto di tonalità grigia uniforme. Per applicazioni in spessore superiore a 1 cm circa aggiungere, in ragione non superiore del 20%, una sabbia perfettamente asciutta e ben pulita, avente diametro minimo e massimo rispettivamente pari a 0,1 e 0,3 mm.

**9.6.1.6 Messa in opera****Foratura del pilastro**

La foratura dei pilastri esistenti in CA avviene per mezzo di asportazione eseguita per abrasione di una corona circolare di materiale tramite foratore combinato. Il foro deve essere di diametro maggiore rispetto alla barra da inghisare di almeno 4 mm e deve avere una inclinazione rispetto all'orizzontale di 15 gradi, in maniera tale che la resina epossidica una volta colata nei fori non fuoriesca, grazie alla gravità.

La foratura, per limitare al massimo il deposito di polveri e piccoli detriti nei fori, deve essere eseguita nel

seguinte ordine:

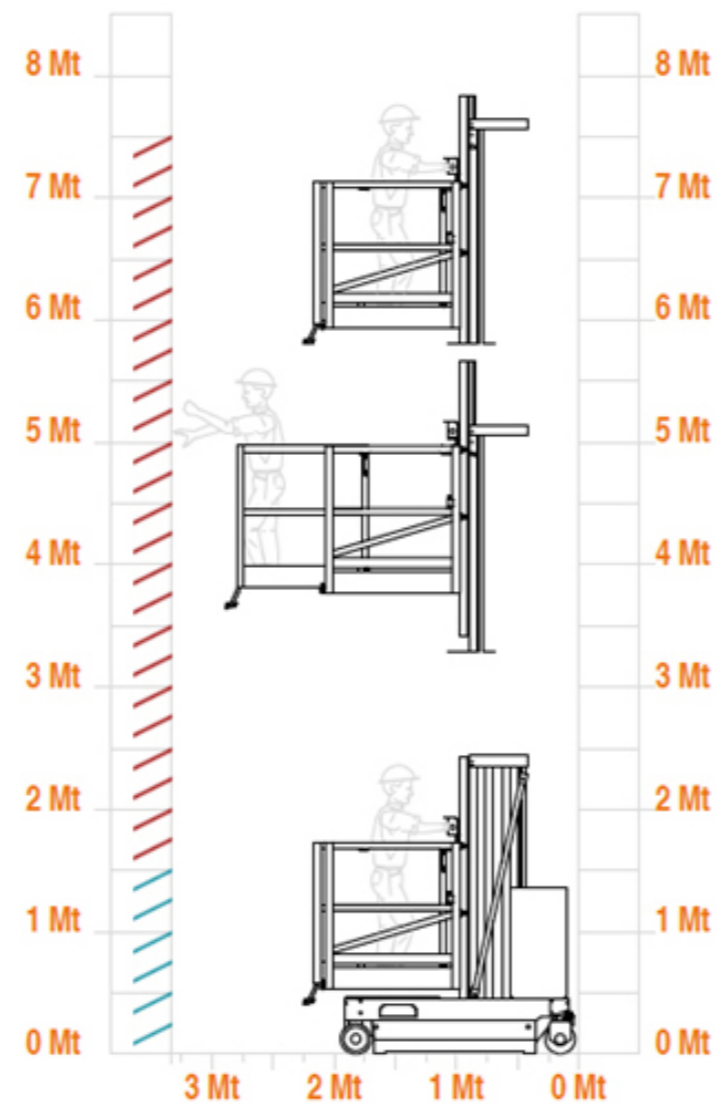
- fori da 7,5 m a 1,5 m, con operatore a bordo di piattaforma elevatrice. I fori devono essere effettuati dal punto a quota maggiore (7,5 m) scendendo fino al punto a quota minore (1,5 m). In tal modo si evita che effettuando i nuovi fori il materiale prodotto dalla lavorazione cada all'interno dei fori già effettuati.
- fori da 1,5 m a 0 m: i fori vengono effettuati dall'operatore a terra, seguendo il principio descritto sopra: dal punto a quota maggiore a quello a quota minore
- fori da 0 m a -1,2 m: previa effettuazione dello scavo, si effettuano i fori con le medesime modalità descritte in precedenza.

In Figura 9.27 si riporta lo schema per l'effettuazione dei fori al di sopra di quota 1,5 m.

Avvertenze e norme per l'utilizzo della piattaforma elevatrice:

- Il lavoratore deve indossare casco, scarpe di sicurezza, guanti e imbragatura di sicurezza

**Figura 9.29** Schema per la foratura dei pilastri esistenti da 0 a 8 metri di quota



collegata al cestello; la fune di trattenuta va dunque regolata e deve essere in tensione per tutta la durata della lavorazione

- Al fine di evitare la caduta di attrezzi o utensili dall'alto, questi devono sempre essere legati con un cordino alla cintura dell'operatore
- Nella torretta deve essere collocata una cassetta porta attrezzi: nessun attrezzo o materiale deve essere collocato sul pavimento della torretta

#### Pulitura dei fori

Prima del colaggio della resina il foro dovrà essere perfettamente pulito e depolverato (con aria compressa e spazzola meccanica) per garantire la corretta presa attraverso le seguenti operazioni da eseguire in serie:

- operazioni di soffiatura con aria compressa, ognuna della durata di 5 secondi partendo dal fondo del foro (Figura 9.30).



**Figura 9.30** Metodologia per le operazioni di soffiaggio da eseguire sui fori

- operazioni di spazzolatura: prima di effettuare l'operazione pulire la spazzola e verificarne il diametro. Partendo dal fondo del foro spostarsi verso l'esterno fino a raggiungere la sommità, quindi ripetere nuovamente l'operazione per almeno tre volte sempre procedendo dal fondo alla sommità (Figura 9.31).



**Figura 9.31** Metodologia per le operazioni di spazzolatura da eseguire sui fori

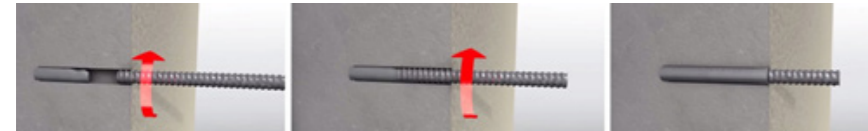
Ripetere le operazioni di soffiatura e spazzolatura per almeno 3 volte prima di procedere all'inghisaggio.

#### Inghisaggio delle barre di armatura

L'operazione di inghisaggio non deve essere effettuata qualora la temperatura sia al di sotto dei 5 °C, in quanto il tempo di polimerizzazione risulterebbe estremamente allungato e non è garantito lo sviluppo della resistenza meccanica dichiarata.

Colare la resina epossidica nei fori riempiendone i 2/3 del volume e successivamente inserire le barre di

armatura nei fori facendole ruotare in maniera tale da assicurare una corretta distribuzione della resina su tutta la superficie, come illustrato in Figura 9.32:



**Figura 9.32** Metodologia per le operazioni di inghisaggio delle barre di acciaio inox nei fori

La resina indurisce dopo 1 ora dalla applicazione (a 20° C) e raggiunge le caratteristiche meccaniche desiderate in 2/3 giorni.

Dopo aver inghisato le barre coprirne l'estremità sporgente con un fungo di protezione in polipropilene di colore rosso o giallo ad alta visibilità per evitare infortuni durante le lavorazioni successive (Figura 9.33).



**Figura 9.33** fungo di protezione ferri in propilene rosso ad alta visibilità

Le lavorazioni al di sopra di 1,7 m dal piano di scavo verranno effettuate con ausilio di piattaforma elevatrice, posta a bordo scavo, rispettando le norme dettate in precedenza.

### Lavaggio con idropulitrice

Prima di effettuare il getto di calcestruzzo è necessario lavare l'intera superficie del pilastro con idropulitrice, per rimuovere ed asportare eventuali residui di polvere e/o detriti rimasti sulla superficie che possono pregiudicare la corretta adesione del nuovo getto. Tali operazioni possono essere svolti alle varie quote come precedentemente indicato, ovvero:

- da 0,5 a 7,5 m a bordo di piattaforma elevatrice
- da -1,2 m a 0,5 m dall'operatore a terra

### 9.6.2 ANALISI PREZZI

In questa sezione sono riportate due diverse tipologie di tabelle: in primo luogo si riportano quelle utili per i calcoli dei singoli prezzi (tabelle con layout verticale), mentre successivamente quelle riepilogative dei costi trovati (tabelle con layout orizzontale). Le tabelle qui riportate derivano da fogli Excel che tramite l'utilizzo di diverse formule hanno semplificato il calcolo dei prezzi.

FORATURA PILASTRI		
<b>PERFORATORE</b>		
Costo	2331	€
Costo all'ora (si ipotizza un utilizzo per 3 anni)	1,12	€
Capacità di perforazione	175,00	cm <sup>3</sup> /min
Diametro perforatore	3,20	cm
Area da perforare	8,04	cm <sup>2</sup>
Tempo impiegato per una perforazione	11,00	min
<b>Fascia A</b>		
Numero di perforazioni da 0 a 1,5m	12,00	
Tempo di perforazioni da 0 a 1,5 m	2,20	h
Tempo di posizionamento perforatore	120,00	s
<b>Fascia B</b>		
Numero di perforazioni da 0 a -1,4m	10,00	
Tempo di perforazioni da 0 a -1,4 m	1,83	h
Tempo di posizionamento perforatore	100,00	s
<b>Fascia C</b>		
Numero di perforazioni da 1,5 a 7,5m	48,00	
Tempo di perforazioni da 1,5 a 7,5 m	8,80	h
Tempo di posizionamento perforatore	480,00	s
<b>PIATTAFORMA ELEVATRICE - Fascia C</b>		
velocità massima di salita	0,20	m/s
velocità massima di traslazione	0,70	m/s
Tempo di movimentazione verticale (h = 6 m)	30,00	s
Tempo di movimentazione orizzontale (spostamento di 5,28 m verso la seconda campata)	7,54	s
Tempo di posizionamento piattaforma	10,00	min
Tempo di utilizzo piattaforma (posizionamento, salita fino a 6 m, tempo di perforazione, discesa fino a 1,5 m, spostamento verso la seconda campata)	8,99	h

Calcolo durata e prezzo		
<b>Fascia A</b>		
Tempo di perforazione Fascia A di un pilastro (perforazioni+posizionamento)	2,23	h
<b>Fascia B</b>		
Tempo di perforazione Fascia B di un pilastro (perforazioni+posizionamento)	1,86	h
<b>Fascia C</b>		
Tempo di perforazione di un pilastro in Fascia C (posizionamento piattaforma +perforazioni + movimentazione piattaforma+posizionamento perforatore)	27,92	h

**Tabella 9.27** Calcoli per la determinazione del costo della foratura dei pilastri

PULITURA PILASTRI		
<b>Fascia A</b>		
Numero di perforazioni da 0 a 1,5m	12,00	
Tempo di pulitura di un foro	1,00	min
Tempo posizionamento + azionamento compressore	30,00	s
Tempo di pulitura totale	18,00	min
<b>Fascia B</b>		
Numero di perforazioni da 0 a -1,4m	10,00	
Tempo di pulitura di un foro	2,00	min
Tempo posizionamento + azionamento compressore	30,00	s
Tempo di pulitura totale	25,00	min
<b>Fascia C</b>		
Numero di perforazioni da 1,5 a 7,5m	48,00	
Tempo di pulitura di un foro	2,00	min
Tempo posizionamento + azionamento compressore	30,00	s
Tempo di pulitura totale	120,00	min
Tempo di pulitura totale (con piattaforma)	2,19	h

**Tabella 9.28** Calcoli per la determinazione del costo della pulitura dei pilastri

INGHISAGGIO BARRE		
<b>BARRE DI ARMATURA</b>		
Dimensione barra φ 30, 70 cm	281,34	cm <sup>3</sup>
Peso acciaio	7800	kg/mc
Peso di ogni barra	2,1944832	kg
<b>RESINA</b>		
Volume foro da riempire (2/3 del volume totale)	0,19	dm <sup>3</sup>
Fornitura di resina: 1 secchio da 4 kg (componente A) e 1 secchio da 1 kg (componente B)		
Consumo di resina	1,40	kg/dm <sup>3</sup>
Uso resina per ogni foro	0,26	kg
Costo resina	21,88	€/dm <sup>3</sup>
Costo resina per ogni foro	4,10	€
Applicazione della pasta epossidica per foro	2,4	min
Tempo di inserimento barra	2	min
Calcolo durata e prezzo		
<b>Fascia A</b>		
Numero di perforazioni da 0 a 1,5m	12,00	
Quantità di acciaio necessaria	26,33	kg
Costo resina a pilastro	49,25	€
Consumo di resina a pilastro	3,15	kg
Tempo di applicazione pasta e inserimento barra	0,88	h
<b>Fascia B</b>		
Numero di perforazioni da 0 a -1,4m	10,00	
Quantità di acciaio necessaria	21,94	kg
Costo resina a pilastro	41,04	€
Consumo di resina a pilastro	2,63	kg
Tempo di applicazione pasta e inserimento barra	0,73	h

Fascia C		
Numero di perforazioni da 1,5 a 7,5m	48,00	
Quantità di acciaio necessaria	105,34	kg
Costo resina a pilastro	196,99	€
Consumo di resina a pilastro	12,60	kg
Tempo di applicazione pasta e inserimento barra	3,52	h
Tempo di pulitura totale (con utilizzo piattaforma)	3,71	h

**Tabella 9.29** Calcoli per la determinazione del costo di inghisaggio delle barre di armatura

PULITURA SUPERFICIE PILASTRI		
Calcolo durata e prezzo		
<b>Fascia A</b>		
Area da pulire	0,60	m <sup>2</sup>
Resa per area	40	m <sup>2</sup> /h
Posizionamento idropulitrice	5,00	min
Tempo di pulitura di un pilastro	5,90	min
<b>Fascia B</b>		
Area da pulire	0,56	m <sup>2</sup>
Resa per area	40	m <sup>2</sup> /h
Posizionamento idropulitrice	5,00	min
Tempo di pulitura di un pilastro	5,84	min
<b>Fascia C</b>		
Area da pulire	2,40	m <sup>2</sup>
Resa per area	40	m <sup>2</sup> /h
Posizionamento idropulitrice	5,00	min
Tempo di pulitura di un pilastro	8,60	min
Tempo di pulitura totale (con piattaforma)	19,73	min

**Tabella 9.30** Calcoli per la determinazione del costo della pulitura della superficie dei pilastri

FORATURA DEI PILASTRI IN CA ESISTENTI							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A PILASTRO	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A PILASTRO [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
Manodopera							
<b>FASCIA A</b> (da 0 m a 1,5 m di quota)							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,15	41,65	6,20	0,74	31,01
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	2,23	38,05	84,98	11,17	424,89
<b>FASCIA B</b> (da 0 m a -1,4 m di quota)							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,12	41,65	5,17	0,62	25,84
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	1,86	38,05	70,82	9,31	354,08
<b>FASCIA C</b> (da 1,5 m a 7,5 m di quota)							
A.01.01.005	Caposquadra	h	1,86	41,65	77,52	9,31	387,61
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	27,92	38,05	1062,31	139,59	5311,54
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	27,92	38,05	1062,31	139,59	5311,54
Noli							
<b>FASCIA C</b> (da 1,5 m a 7,5 m di quota)							
N04056	Piattaforma semovente con braccio telescopico altezza 18m	h	27,92	13,40	374,11	139,59	1870,56
Materiali							
Hilti	Martello perforatore combinato TE 80-ATC/AVR 230V (per le 3 fasce)	h	32,01	11,00	84,39	160,07	12,51
Prezzo lavorazione [€]					2827,81		14139,05
Costo lavorazione [€]					2235,42		11177,11
Spese generali (15%) [€]					335,31		1676,57
Utile d'impresa (10%) [€]					257,07		1285,37
Incidenza % Manodopera					84		84
Costo Manodopera [€]					1872,97		9364,83
<b>COSTO TOTALE [€]</b>					<b>3420,20</b>		<b>17100,98</b>
<b>DURATA TOTALE [ore]</b>					<b>32,01</b>		<b>160,07</b>
Durata "NORMALE" [giorni]					4,00		20,01
Decremento % in cond ottimistiche					1%		1%
Durata OTTIMISTICA [giorni]					3,96		19,81
Incremento % della durata in condizioni pessimistiche					50%		50%
Durata PESSIMISTICA [giorni]					6,00		30,01
Durata MEDIANA [giorni]					5		22

**Tabella 9.31** Analisi prezzi: foratura dei pilastri in CA esistenti

PULITURA DEI FORI PER L'INGHISAGGIO						
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A PILASTRO	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A PILASTRO [€]	PREZZO TOTALE [€]
<b>Manodopera</b>						
<b>FASCIA A</b> (da 0 m a 1,5 m di quota)						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,02	41,65	0,83	4,17
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,30	38,05	11,42	57,08
<b>FASCIA B</b> (da 0 m a -1,4 m di quota)						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,03	41,65	1,16	5,78
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,42	38,05	15,85	79,27
<b>FASCIA C</b> (da 1,5 m a 7,5 m di quota)						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,15	41,65	6,07	30,34
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	2,19	38,05	83,16	415,78
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	2,19	38,05	83,16	415,78
<b>Noli</b>						
A.01.02.116	Compressore funzionante con motore elettrico o a scoppio, potenza 1500 litri (per tutte e 3 le fasce)	h	2,91	9,90	28,74	143,66
N04056	Piattaforma semovente con braccio telescopico, h 18m (Fascia C)	h	2,19	13,40	29,28	146,42
	Prezzo lavorazione [€]			259,65		1298,27
	Costo lavorazione [€]			205,26		1026,30
	Spese generali (15%) [€]			30,79		153,95
	Utile d'impresa (10%) [€]			23,60		118,02
	Incidenza % Manodopera			78		78
	Costo Manodopera [€]			159,40		796,99
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>			<b>314,05</b>		<b>1570,24</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>			<b>2,90</b>		<b>14,51</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]			0,36		1,81
	Decrem % in cond ottimistiche			1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]			0,36		1,80
	Increment % in cond pessimistiche			50%		50%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]			0,54		2,72
	Durata MEDIANA [giorni]			1		2

Tabella 9.32 Analisi prezzi: pulitura dei fori per l'inghisaggio

PULITURA DELLA SUPERFICIE DEL PILASTRO						
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A PILASTRO	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A PILASTRO [€]	PREZZO TOTALE [€]
<b>Manodopera</b>						
<b>FASCIA A</b> (da 0 m a 1,5 m di quota)						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	0,27	1,37
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,10	32,00	3,15	15,73
<b>FASCIA B</b> (da 0 m a -1,4 m di quota)						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,01	41,65	0,27	1,35
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,10	32,00	3,11	15,57
<b>FASCIA C</b> (da 1,5 m a 7,5 m di quota)						
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,02	41,65	0,91	4,56
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,33	38,05	12,51	62,55
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,33	32,00	10,52	52,60
<b>Noli</b>						
D15077	Pulitura di superfici intonacate, in pietra o in laterizio mediante uso di idropulitrice con pressione pari a 20 ÷ 30 atm (per le 3 fasce)	mq	2,40	14,38	34,51	172,56
N04056	Piattaforma semovente con braccio telescopico, h 18m (Fascia C)	h	0,33	13,40	4,41	22,03
	Prezzo lavorazione [€]			86,35		431,73
	Costo lavorazione [€]			68,26		341,29
	Spese generali (15%) [€]			8,87		44,37
	Utile d'impresa (10%) [€]			7,71		38,57
	Incidenza % Manodopera			36		36
	Costo Manodopera [€]			24,31		121,53
	<b>COSTO TOTALE [€]</b>			<b>102,93</b>		<b>514,66</b>
	<b>DURATA TOTALE [ore]</b>			<b>0,52</b>		<b>2,62</b>
	Durata "NORMALE" [giorni]			0,07		0,33
	Decrem % in cond ottimistiche			1%		1%
	Durata OTTIMISTICA [giorni]			0,06		0,32
	Increment % in cond pessimistiche			50%		50%
	Durata PESSIMISTICA [giorni]			0,10		0,49
	Durata MEDIANA [giorni]			1		1

Tabella 9.33 Analisi prezzi: pulitura della superficie del pilastro

INGHISAGGIO DELLE BARRE DI ARMATURA NEI PILASTRI ESISTENTI IN CA							
COD PREZZARIO	DESCRIZIONE	UDM	QUANTITA' A PILASTRO	PREZZO UNITARIO [€]	PREZZO A PILASTRO [€]	QUANTITA' TOTALE	PREZZO TOTALE [€]
<b>Manodopera</b>							
<b>FASCIA A</b> (da 0 m a 1,5 m di quota)							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,06	41,65	2,44	0,29	12,22
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,88	38,05	33,48	4,40	167,42
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,88	32,00	28,16	4,40	140,80
<b>FASCIA B</b> (da 0 m a -1,4 m di quota)							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,05	41,65	2,04	0,24	10,18
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	0,73	38,05	27,90	3,67	139,52
A.01.01.020	Operaio comune	h	0,73	32,00	23,47	3,67	117,33
<b>FASCIA C</b> (da 1,5 m a 7,5 m di quota)							
A.01.01.005	Caposquadra	h	0,25	41,65	10,29	1,24	51,44
A.01.01.010	Operaio specializzato	h	3,71	38,05	140,99	18,53	704,96
A.01.01.020	Operaio comune	h	3,71	32,00	118,57	18,53	592,87
<b>Noli</b>							
<b>FASCIA C</b> (da 1,5 m a 7,5 m di quota)							
N04056	Piattaforma semovente con braccio telescopico altezza 18m	h	3,71	13,40	49,65	18,53	248,26
<b>Materiali</b>							
<b>FASCIA A</b> (da 0 m a 1,5 m di quota)							
A35023	Acciaio in barre del tipo B450C prodotto da azienda in possesso di Attestato di Qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP per armature di conglomerato cementizio, prelaborato e pretagliato a misura, sagomato e posto in opera a regola d'arte, compreso ogni sfrido, legatura nonchè tutti gli oneri relativi a controlli di legge: diametro 30 mm	kg	26,33	1,35	35,55	131,67	177,75
Ruredil Resinfix	Fornitura e posa in opera di resine epossidiche tixotropiche bicomponenti, per ancoraggi e fissaggio di barre e profilati in acciaio su tutti i tipi di calcestruzzo e muratura. Sono inclusi nel prezzo il trasporto a discarica dei detriti e degli imballi e la posa in opera della resina	kg	3,15	15,63	49,25	15,76	246,23
<b>FASCIA B</b> (da 0 m a -1,4 m di quota)							
A35023	Acciaio in barre del tipo B450C prodotto da azienda in possesso di Attestato di Qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP per armature di conglomerato cementizio, prelaborato e pretagliato a misura, sagomato e posto in opera a regola d'arte, compreso ogni sfrido, legatura nonchè tutti gli oneri relativi a controlli di legge: diametro 30 mm	kg	21,94	1,35	29,63	109,72	148,13

Ruredil Resinfix	Fornitura e posa in opera di resine epossidiche tixotropiche bicomponenti, per ancoraggi e fissaggio di barre e profilati in acciaio su tutti i tipi di calcestruzzo e muratura. Sono inclusi nel prezzo il trasporto a discarica dei detriti e degli imballi e la posa in opera della resina	kg	2,63	15,63	41,04	13,13	205,19
<b>FASCIA C</b> (da 1,5 m a 7,5 m di quota)							
A35023	Acciaio in barre del tipo B450C prodotto da azienda in possesso di Attestato di Qualificazione rilasciato dal Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP per armature di conglomerato cementizio, prelaborato e pretagliato a misura, sagomato e posto in opera a regola d'arte, compreso ogni sfrido, legatura nonchè tutti gli oneri relativi a controlli di legge: diametro 30 mm	kg	105,34	1,35	142,20	526,68	711,01
Ruredil Resinfix	Fornitura e posa in opera di resine epossidiche tixotropiche bicomponenti, per ancoraggi e fissaggio di barre e profilati in acciaio su tutti i tipi di calcestruzzo e muratura. Sono inclusi nel prezzo il trasporto a discarica dei detriti e degli imballi e la posa in opera della resina	kg	12,60	15,63	196,99	63,02	984,93
Prezzo lavorazione [€]					931,65	4658,25	
Costo lavorazione [€]					736,48	3682,41	
Spese generali (15%) [€]					110,47	552,36	
Utile d'impresa (10%) [€]					84,70	423,48	
Incidenza % Manodopera					42	42	
Costo Manodopera [€]					306,20	1531,02	
<b>COSTO TOTALE [€]</b>					<b>1126,82</b>	<b>5634,09</b>	
<b>DURATA TOTALE [ore]</b>					<b>5,32</b>	<b>26,59</b>	
Durata "NORMALE" [giorni]					0,66	3,32	
Decremento % in cond ottimistiche					1%	1%	
Durata OTTIMISTICA [giorni]					0,66	3,29	
Incremento % della durata in condizioni pessimistiche					50%	50%	
Durata PESSIMISTICA [giorni]					1,00	4,99	
Durata MEDIANA [giorni]					1	4	

**Tabella 9.34** Analisi prezzi: inghisaggio delle bare di armatura nei pilastri esistenti in CA

**Tabella 9.35** Tabella riassuntiva del costo totale della lavorazione

<b>Costo totale manodopera [€]</b>	<b>11814,37</b>
<b>Costo totale lavorazione [€]</b>	<b>24819,97</b>

### 9.6.3 GANTT

La durata della lavorazione viene ottimizzata raddoppiando la risorsa perforatore e impiegando due squadre operative. Analizzando la lavorazione si è osservato che in alcuni momenti non vengono sfruttate al massimo alcune risorse: ad esempio la piattaforma elevatrice non viene utilizzata per le lavorazioni da 0 a 1,5 m di quota; dunque forare, inghisare e pulire un pilastro alla volta implica uno spreco di risorse.

È stato invece ipotizzato di dividere i pilastri in fasce di tre diverse altezze a seconda delle risorse utili: ad esempio la fascia C richiede gesti costruttivi a bordo di piattaforma elevatrice, mentre la fascia A può essere

effettuata da terra (Figura 9.34).

Un'ulteriore ottimizzazione è possibile raddoppiando la squadra operativa ed il perforatore (che ha un costo poco influente sul costo totale della lavorazione) e facendo procedere una squadra sulla fascia C con piattaforma e una squadra a terra sulla fascia A.

È stata prestata attenzione al fatto che le due squadre operative non avessero interferenze e conseguentemente è stato fatto in modo che ogni squadra operativa lavorasse su campate diverse, con una distanza minima tra esse di 5 m.

In questo modo vi è una netta riduzione della durata della lavorazione, che viene ridotta da 42 giorni a 35.

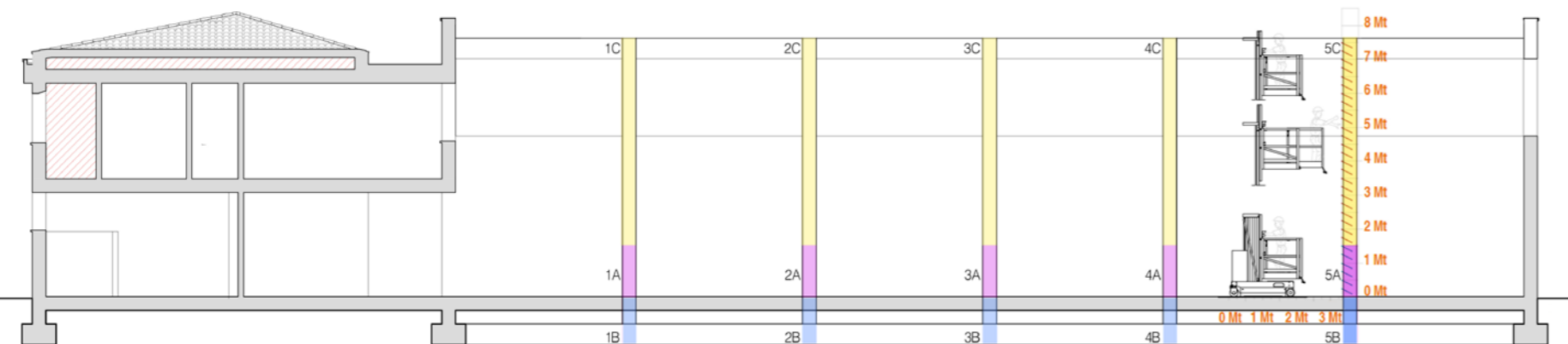


Figura 9.34 Divisione dei pilastri in 3 fasce: A (centrale), B (inferiore), C (superiore).

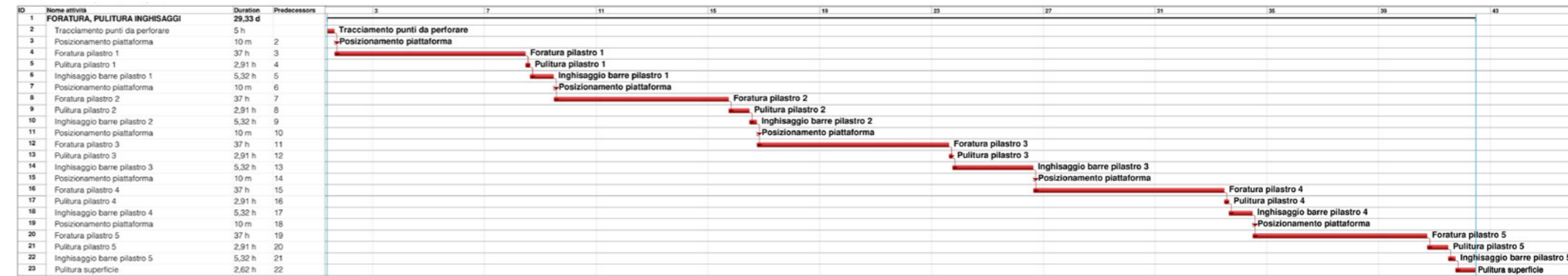


Figura 9.35 GANTT per lavorazioni eseguite pilastro per pilastro



Figura 9.36 GANTT per lavorazioni eseguite per fasce: 1 piattaforma elevatrice, 1 squadra operativa, 1 perforatore

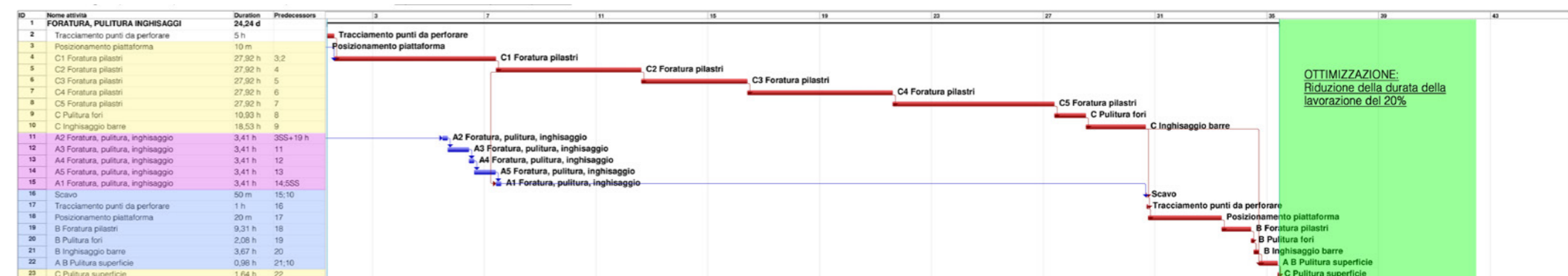


Figura 9.37 GANTT per lavorazioni eseguite per fasce: 1 piattaforma elevatrice, 2 squadre operative, 2 perforatori

OTTIMIZZAZIONE:  
Riduzione della durata della lavorazione del 20%



## 9.7 ANALISI DEL CONTESTO

### 9.7.1 CARATTERISTICHE INTRINSECHE DELL'AREA

#### 9.7.1.1 Descrizione e ubicazione dei lavori

Il progetto consiste nel recupero ed ampliamento della palestra comunale di Bosisio Parini (LC), sita in via Andrea Appiani 2, in prossimità della scuola elementare e del parco comunale denominato PreCampèl.

Il lotto, di forma irregolare, come illustrato in Figura 9.34, confina a Nord con Casa Francesco, edificio disabitato di proprietà comunale e parte del progetto di riqualificazione urbanistica, dotato di recinzione metallica permeabile alla vista con basamento in calcestruzzo in ottimo stato di conservazione con accesso da via A. Appiani. La recinzione di Casa Francesco la separa dal parco PreCampèl, sul lato opposto della casa rispetto alla palestra. Casa Francesco ha un'altezza massima al colmo di 9,38 m.

A Est confina con via Andrea Appiani, strada a senso unico (nella direzione da Nord a Sud) e singola corsia

di marcia, affiancata da posteggi in linea posti sulla destra rispetto al senso di percorrenza. La via, dotata di marciapiede solo dal lato verso la palestra, ha una larghezza di 4,50 m nel suo punto più stretto e può essere imboccata da via San Gaetano o da via Parini. Dopo l'incrocio con via Roma la via Appiani diventa a doppio senso di marcia con larghezza minima della carreggiata pari a 6 m e conduce fino alla frazione di Garbagnate Rota. L'accesso a via San Gaetano è vietato ai mezzi di portata superiore alle 3,5 t a causa di un vincolo di sottosuolo (villetti interrati), inoltre in via Roma (che permette l'ingresso a via Appiani tramite via San Gaetano) è vietato il transito ai mezzi più lunghi di 8 m più alti di 3,3 m, a causa della presenza di aggetti sulla strada (balconi). Il transito su via Parini è invece vietato ai mezzi più alti di 3,50 m e più larghi di 2,3 m. Dunque via Appiani è raggiungibile attraverso la viabilità ordinaria solo da mezzi di altezza inferiore a 3,3 m e di peso inferiore a 3,5 t. È importante notare che i vincoli di percorrenza su via Appiani non dipendono da caratteristiche peculiari della via stessa, ma da quelle delle vie attraverso le quali vi si accede con la viabilità ordinaria. Su via Appiani inoltre vi è l'accesso

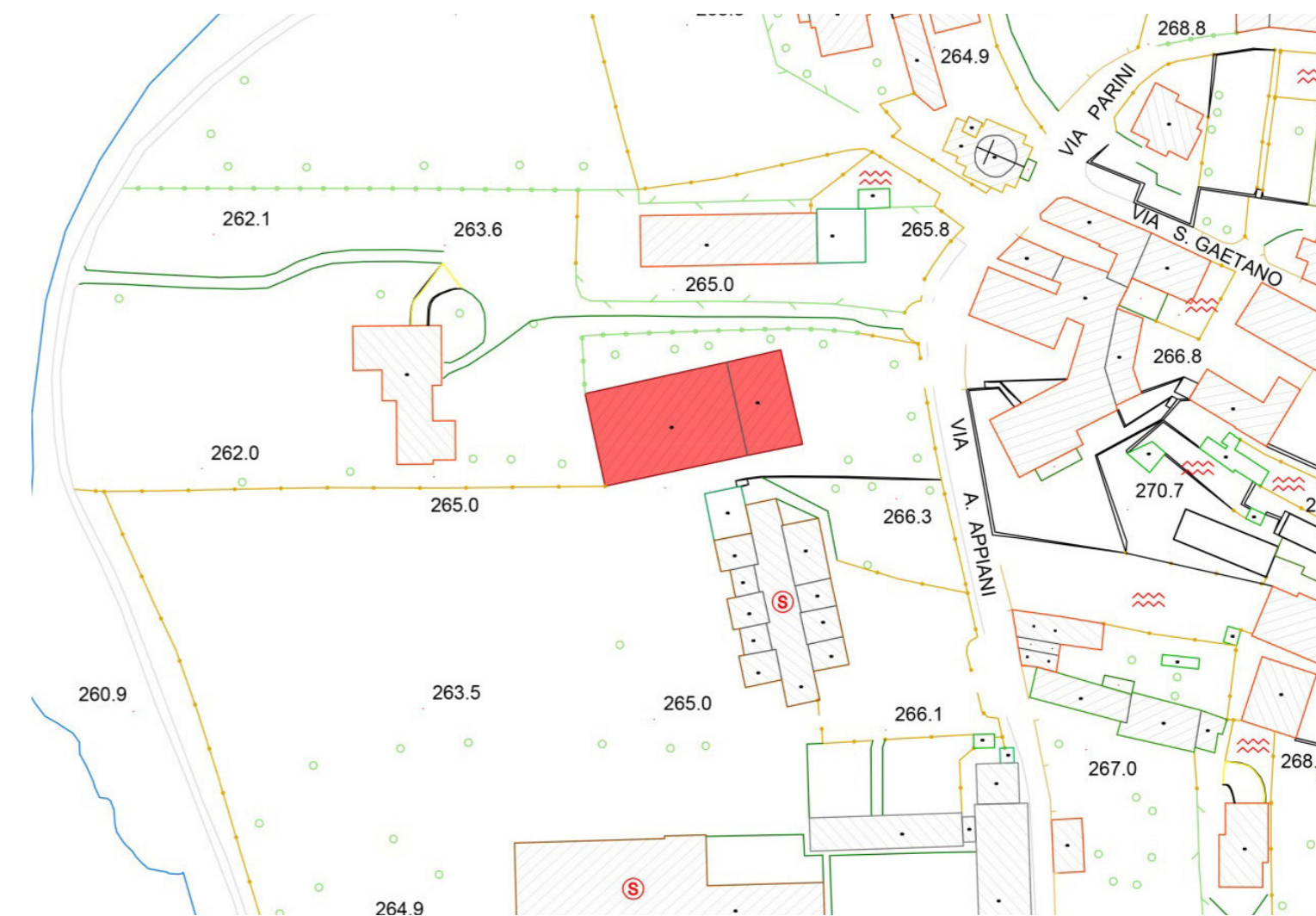


Figura 9.38 Estratto da PGT: inquadramento del contesto in cui è sito il cantiere

al parcheggio del parco Precampel e della scuola elementare. Il parcheggio del parco è utilizzato principalmente durante l'estate, mentre il parcheggio scolastico è utilizzato con regolarità da settembre a metà giugno.

A Sud confina con la scuola elementare, il cui fabbricato dista 10 m dal fabbricato della palestra esistente e raggiunge un'altezza massima di 10 m. La pertinenza della scuola si estende sia tra il fabbricato e la via Appiani (dove si trova un campo da gioco con fondo in cemento) che alle spalle del fabbricato, verso il lago, dove vi è una vasta area verde che si collega anche all'edificio della scuola media. Dai diversi sopralluoghi effettuati, anche in presenza della preside della scuola, è emerso che il campo da gioco in cemento posto tra la scuola e la via Appiani è molto più utilizzato dello spazio verde presente sul retro durante gli intervalli, in quanto risulta più facile da presidiare da parte degli insegnanti. Il fronte Nord della scuola, ovvero quello posto di fronte al fabbricato della palestra, è un fronte cieco: nella parte centrale vi è il blocco scale, mentre ai due lati le pareti laterali delle

aule didattiche. Sul fronte Ovest invece le finestre delle aule sono poste all'altezza di 4 m da terra. Gli orari di ingresso ed uscita dalle scuole sono: 8:00-9:30, 12:30-14:00, 16:30-18:00. In tali orari, dato l'ingente traffico veicolare e la presenza di molti bambini e ragazzi in strada, sarà vietato l'accesso e l'uscita dal cantiere a tutti i mezzi pesanti.

A Ovest il cantiere confina con la zona di pertinenza della scuola, per la quale vale la descrizione di cui al punto precedente, e Villa Rosa, edificio di proprietà comunale attualmente disabitato e parte integrante del progetto di riqualificazione urbanistica, che raggiunge un'altezza massima di 5,95 m. L'edificio di Villa Rosa è recintato con un recinzione metallica permeabile alla vista con basamento in calcestruzzo, che gode di ottimo stato di conservazione. La recinzione divide la villa, ergo l'area di cantiere, dal Precampel e si ricongiunge con la recinzione di Casa Francesco.

### 9.7.1.2 Caratteristiche geomorfologiche del terreno, vincoli di sottosuolo e sottoservizi impiantistici

L'area di intervento è classificata dal PGT, nella "Tavola di sintesi vincoli geologici", come "Area con caratteristiche geotecniche scadenti (aree di possibile ristagno delle acque o con limitata capacità portante)". Da una analisi storica risulta infatti che tutta la zona

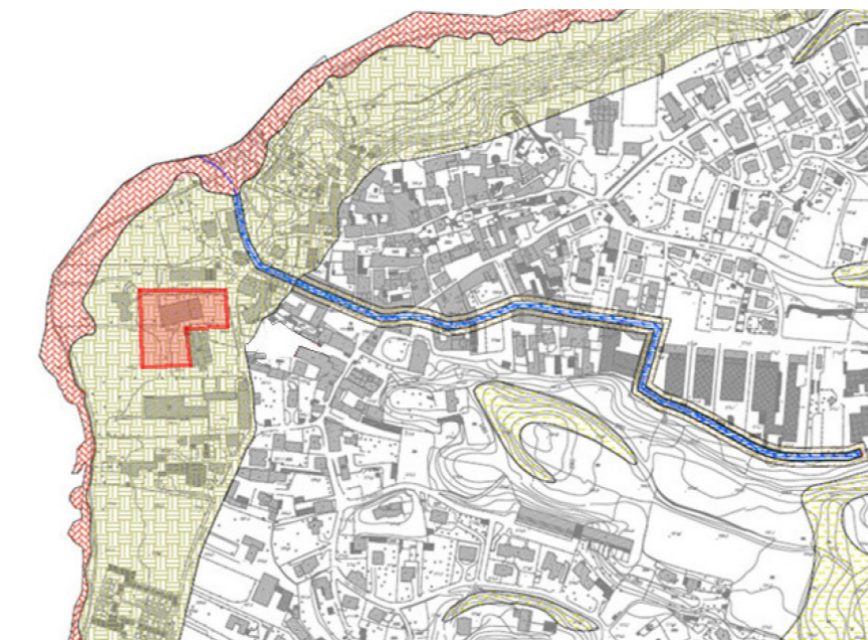


Figura 9.39 Estratto da PGT: caratteristiche del terreno

costiera fosse in passato una zona paludosa, strappata al lago artificialmente e bonificata, anche con utilizzo di materiale di riempimento. Da questo e dalle analisi storiche eseguite sullo sviluppo dell'edificato si evince che il lotto non risulta essere mai stato occupato da costruzioni, fino alla edificazione della scuola e della palestra tuttora presenti.

L'area di intervento non presenta vincoli di sottosuolo, ma va segnalata la presenza di un vincolo presente a pochi metri di distanza, ovvero in via San Gaetano, a causa del fiume intubato che corre sotto la strada. Si riporta in Figura 9.39 un estratto dal PGT, dove l'area di intervento è campita in rosso.

### 9.7.1.3 Vincoli di superficie inamovibili e preesistenze

All'interno del lotto di cantiere sono presenti alcuni vincoli di superficie e preesistenze, ovvero:

- Recinzioni di Casa Francesco e di Villa Rosa, a Nord e a Ovest del lotto: nel progetto tutte le recinzioni sono da rimuovere, quindi è possibile procedere alla rimozione delle parti necessarie per perimetrare l'area di cantiere.
- Alberature: le alberature presenti vengono

rimosse, in quanto nel progetto è prevista la piantumazione lungo la fascia costiera di un nuovo albero ogni albero rimosso.

- Tettoia ingresso di servizio scuola: la tettoia viene rimossa in quanto non più necessaria.

#### 9.7.1.4 Vincoli aerei

Sul percorso carrabile che porta al cantiere non ci sono vincoli aerei che impediscano l'arrivo dei mezzi (escludendo quelli già trattati e commentati in precedenza nella "Descrizione e ubicazione dei lavori" su via Roma). Infatti il punto in cui vi è un ostacolo ad altezza inferiore è rappresentato dal cavo elettrico per le luminarie di via Appiani il quale, trovandosi a un'altezza superiore ai 4,5 m, non costituisce un problema per l'arrivo dei mezzi in cantiere (Figura 9.40).



Figura 9.40 Vincoli aerei nei pressi del cantiere

Nell'area di cantiere invece i vincoli sono rappresentati dalle alberature, per le quali tuttavia vale quanto esplicitato al punto precedente (vincoli di superficie inamovibili e preesistenze).

Altri vincoli aerei nelle immediate vicinanze del cantiere sono gli edifici della scuola elementare (altezza massima 10 m), di Villa Rosa (altezza massima 5,95 m) e di Casa Francesco (altezza massima 9,38 m). Questi edifici devono essere presi in considerazione per la disposizione e l'area di movimentazione dei carichi sospesi di gru e autogru.

#### 9.7.1.5 Proiezione e cadute di masse verso l'interno del cantiere

Non viene rilevato alcun rischio di proiezione o caduta di masse verso l'interno del cantiere, in quanto questo confina su due lati con pertinenze di edifici non abitati, su un lato con parete cieca della scuola ed il suo cortile e sull'ultimo lato è chiusa con recinzione che corre parallela a via Appiani, distaccata dalla carreggiata dalla larghezza del marciapiede e distante da qualsiasi edificio.

#### 9.7.1.6 Emissione di agenti inquinanti dall'ambiente verso il cantiere

Non vengono rilevati possibili agenti inquinanti nei pressi del cantiere, trovandosi questo a ridosso di un parco. Via Appiani risulta essere mediamente trafficata nelle ore di punta scolastiche, ma il traffico è intenso principalmente nei pressi del cancello d'ingresso alla scuola: il numero di vetture presenti, considerata anche la distanza tra il cancello della scuola e l'area di cantiere, non costituisce una fonte preoccupante di agenti inquinanti.

### 9.7.2 IMPATTO AMBIENTALE DEL CANTIERE

#### 9.7.2.1 Proiezione e cadute di masse all'esterno del cantiere

Il rischio di cadute di masse all'esterno del cantiere, data l'altezza dell'edificio in costruzione e la distanza dalle recinzioni, è legato solamente alla movimentazione aerea di materiale attraverso la gru di cantiere, il cui raggio intercetta Villa Rosa, l'edificio della scuola e il suo cortile. Pertanto l'area di movimentazione aerea dei carichi deve essere

limitata, proibendo nella maniera più assoluta la movimentazione dei carichi al di fuori delle recinzioni di cantiere o al di sopra degli edifici limitrofi.

#### 9.7.2.2 Emissione di agenti inquinanti dal cantiere verso l'ambiente circostante

L'inquinamento ambientale verso l'esterno è provocato da diverse fonti.

#### Rumore

Considerata la presenza nelle immediate vicinanze di una scuola elementare e, poco più distante, di una scuola media, oltre alla presenza del parco comunale Precampel, è assolutamente necessario stilare una relazione tecnica con lo scopo di verificare l'entità dell'inquinamento acustico ambientale provocato dalle diverse lavorazioni presso il ricevitore sensibile. I valori di rumorosità formulati e valutati nella relazione dovranno essere conformi a quanto prescritto dalla normativa vigente. È auspicabile, ove possibile, eseguire i lavori di demolizione, particolarmente rumorosi, durante il periodo estivo, quando la scuola non è in attività.

**Polveri**

Qualora per alcune lavorazioni le recinzioni di cantiere installate non fossero sufficiente a schermare l'intorno del cantiere dalle polveri prodotte, sarà necessario un intervento di mitigazione volto a ridurre la quantità di polveri prodotta dalle lavorazioni. In particolare, durante la fase di demolizione, si raccomanda di bagnare gli elementi in demolizione per limitare il quantitativo di polvere prodotto e bloccandone la diffusione nell'aria.

**Vibrazioni**

In riferimento alle lavorazioni analizzate non si ritiene particolarmente rilevante questo tipo di inquinante. Infatti, per quanto riguarda le demolizioni, è stato prescritto di effettuare demolizioni controllate (attraverso lo smontaggio degli elementi, piuttosto che la demolizione vera e propria) per gli elementi a quota maggiore, in maniera tale che non vi siano cadute di elementi tali da provocare ingenti vibrazioni. Gli elementi demoliti attraverso pinza demolitrice si trovano a meno di 5 metri di altezza e sono di dimensioni contenute.

**9.7.3 INTERFERENZE CON LE CONDIZIONI DI ESERCIZIO DELL'AREA****9.7.3.1 Interferenze con edifici limitrofi e viabilità al contorno**

Sono state riscontrate interferenze significative con la viabilità veicolare di via Appiani, come esposto al punto "Descrizione e ubicazione dei lavori". Dalle analisi effettuate si evince che l'unica modalità possibile per raggiungere il cantiere per mezzi da oltre 3,5 t è percorrendo contromano il pezzo di via Appiani compreso tra l'incrocio con via Roma e l'ingresso del cantiere. A tale scopo deve essere predisposto un semaforo temporaneo di cantiere, azionabile all'arrivo dei mezzi pesanti. È stato inoltre vietato ai mezzi pesanti l'arrivo o la partenza dal cantiere durante gli orari di punta della scuola (8:00-9:30, 12:30-14:00, 16:30-18:00), durante i quali il semaforo sarà spento per non gravare sul normale traffico veicolare. Si rimanda al paragrafo "Accessi al cantiere" per informazioni più dettagliate al riguardo.

**9.8 PROGETTAZIONE, ORGANIZZAZIONE E GESTIONE DEL CANTIERE****9.8.1 RECINZIONI E DELIMITAZIONI DELLE AREE ESTERNE ED INTERNE DEL CANTIERE**

Sulla base delle analisi e delle osservazioni effettuate sul contesto nel quale il cantiere verrà allestito è stato scelto di utilizzare tipologie diverse di recinzioni in base alle peculiarità di ciascun punto. L'area di cantiere verrà quindi delimitata secondo le seguenti modalità:

**Lato Sud e Ovest** (lungo il confine con giardino di pertinenza scolastica)

La recinzione deve essere cieca, di altezza minima pari a 2 m; sul lato Ovest deve essere disposta parallelamente al fabbricato di Villa Rosa ad una distanza massima di 1,50 m, minima 1,20 m e deve essere controventata alla base con cordoli in calcestruzzo prefabbricati tipo new jersey o altre soluzioni, che comunque non prevedano la disposizione di saette in quanto intralcerrebbero la viabilità interna di cantiere, ma assicurino la resistenza e ne impediscano il ribaltamento e lo spostamento. Sul lato Sud la

recinzione continuerà in direzione ortogonale a quella del lato Ovest, andando a culminare nello spigolo dell'edificio scolastico come indicato in pianta e con le stesse caratteristiche descritte sopra per il lato Ovest. La recinzione non deve presentare varchi di alcun tipo, né verticali né orizzontali. La recinzione non deve inoltre presentare gradini, appigli, sporgenze o simili elementi che possano permettere ai bambini di arrampicarvisi. L'edificio della scuola delimita il cantiere nella parte Sud-Est, senza bisogno di ulteriori barriere, in quanto il prospetto Ovest della scuola presenta finestre a partire dai 4 m di altezza e quindi non vi sono pericoli di interferenza; inoltre il regolamento scolastico per la scuola elementare di Bosisio prevede che i bambini non possano aprire le finestre autonomamente, ma che lo possa fare soltanto il personale docente dotato della apposita chiave, prestando attenzione alle condizioni esterne. Sul prospetto Nord la scuola invece presenta solamente muri ciechi in CA e dunque la vicinanza con il cantiere non comporta alcun rischio. La stessa tipologia di recinzione è da adottare nel tratto che va dal fabbricato della scuola a via Appiani, partendo dallo spigolo del blocco scale dell'edificio

scolastico e proseguendo in linea con questo, fino a raccordarsi in maniera smussata con la via, per garantire lo spazio di manovra ai mezzi in entrata o uscita dal cantiere, ovvero garantendo un raggio di sterzata di 5,30 m.

#### **Lato Est** (confine con via Appiani)

La recinzione lungo la strada deve essere cieca, di altezza non minore di 2 m e deve essere posizionata lungo il confine del lotto. La necessità di una recinzione cieca è dettata dal fatto che la strada è spesso trafficata, in leggera curva, presenta diversi passi carrai e l'accesso alle scuole e al parcheggio del parco Precampel: è dunque necessario evitare possibili distrazioni per i conducenti. La recinzione non deve presentare aperture o varchi né in orizzontale né in verticale, deve garantire stabilità contro il ribaltamento e lo spostamento.

Il cantiere deve essere segnalato con apposito cartello di lavori in corso con sfondo giallo a una distanza di almeno 100 m; inoltre la segnaletica orizzontale nel tratto di strada interessato dai lavori deve essere pitturata di giallo al fine di segnalare la presenza dei

lavori e in quel tratto la velocità massima di percorrenza deve essere limitata a massimo 30 km/h con apposito cartello su sfondo giallo.

Agli angoli della recinzione, che segnano i punti di inizio e fine dell'area di cantiere, devono essere predisposte luci di segnalazione, da mantenere in buone condizioni estetiche e funzionali, senza alterazioni tali da comprometterne l'efficacia, sia di giorno che di notte. L'impresa è tenuta a provvedere autonomamente alla sostituzione di qualsiasi elemento segnaletico divenuto di scarsa percettibilità e interpretabilità per l'utenza. La recinzione deve rientrare rispetto alla sede stradale in corrispondenza dell'ingresso del cantiere di minimo 10,5 m e massimo 12 m, in maniera da garantire lo stazionamento dei mezzi in attesa di entrare nel cantiere, senza che il traffico veicolare su via Appiani venga rallentato o bloccato. Il cancello di ingresso al cantiere deve essere scorrevole e cieco, di larghezza compresa tra 5,10 m e 7 m, e di altezza minima 2 m. Per tutta la durata del cantiere vigerà il divieto di sosta nei parcheggi in linea di via Appiani (dietro presentazione di richiesta al comando dei vigili urbani per occupazione di suolo pubblico), per permettere ai

mezzi di cantiere di eseguire la manovra di ingresso.

L'ingresso pedonale deve essere invece posizionato sulla parte di recinzione ortogonale al cancello carrabile e deve avere larghezza minima 1,20 m, massima 2 m.

Durante i lavori di allestimento della recinzione lungo il fronte stradale gli operatori dovranno indossare dispositivi di protezione individuali ad alta visibilità che forniscano protezione dal rischio di investimento. Nessuna attività di lavoro inerente l'allestimento della recinzione su strada potrà essere svolta in caso di scarsa visibilità, nebbia, pioggia, neve, ghiaccio o qualsiasi altra condizione possa ridurre la visibilità e l'aderenza al fondo stradale. Prima del montaggio della recinzione definitiva dovrà essere segnalata la zona con cavalletti, paletti e catenelle al fine di delimitare la zona di lavoro, prestando attenzione a installare come prima cosa il cartello di lavori in corso.

#### **Lato Nord e Ovest** (in corrispondenza delle pertinenze di Villa Rosa e Casa Francesco)

Lungo questi lati la recinzione di cantiere può essere permeabile alla vista e di tipologia più leggera, in

quanto sia Casa Francesco che Villa Rosa sono di proprietà comunale, sono disabitate e sono parte integrante del progetto di riqualificazione dell'area e sono altresì dotate di recinzioni metalliche permeabili alla vista, infisse su cordolo in cemento, solide e in ottimo stato di conservazione che separano la pertinenza degli edifici dal parco comunale Precampel e dalla strada. Le pertinenze di questi due fabbricati fungono dunque da filtro, da recinzione più vasta, e quindi la recinzione di cantiere su questi lati, date le premesse, può essere più leggera. È necessario installare una recinzione che abbia i seguenti requisiti: altezza minimo 2 m, in rete elettrosaldata integrata con fogli di rete plastificata stirata rossa per aumentarne la visibilità, retta alla base da blocchi prefabbricati in cemento adatti a impedire il ribaltamento e lo spostamento, rivestiti di plastica ad alta visibilità. Le diverse maglie di reti metallica devono essere collegate l'una all'altra attraverso un minimo di due legature con fil di ferro, prestando attenzione che il filo venga ripiegato in maniera tale che in caso di urto accidentale contro la recinzione non provochi danni al soggetto esposto. La recinzione lungo il confine Nord deve essere posta

parallelamente al corpo di Casa Francesco, a una distanza minima da questo pari a 3 m e massima di 5 m, raccordata al cancello di ingresso di Casa Francesco su via Appiani; a ovest invece la recinzione deve essere posta in prosecuzione della recinzione di divisione dal cortile della scuola precedentemente descritta, attenendosi alle medesime distanze e direzioni, fino a incontrare la recinzione sul confine Nord in maniera ortogonale.

#### Recinzioni interne al cantiere

Gli scavi dovranno essere protetti, qualora la profondità sia maggiore di 50 cm, con recinzione di altezza minima 1 m, posta ad almeno 50 cm dal ciglio di scavo, composta da corrente superiore, corrente intermedio e tavola fermapiede. Qualora gli scavi abbiano profondità inferiore ai 50 cm è sufficiente segnalarli con banda rossa e bianca posta su paletti infissi nel terreno o comunque resi stabili da contrappesi adeguati alla base.

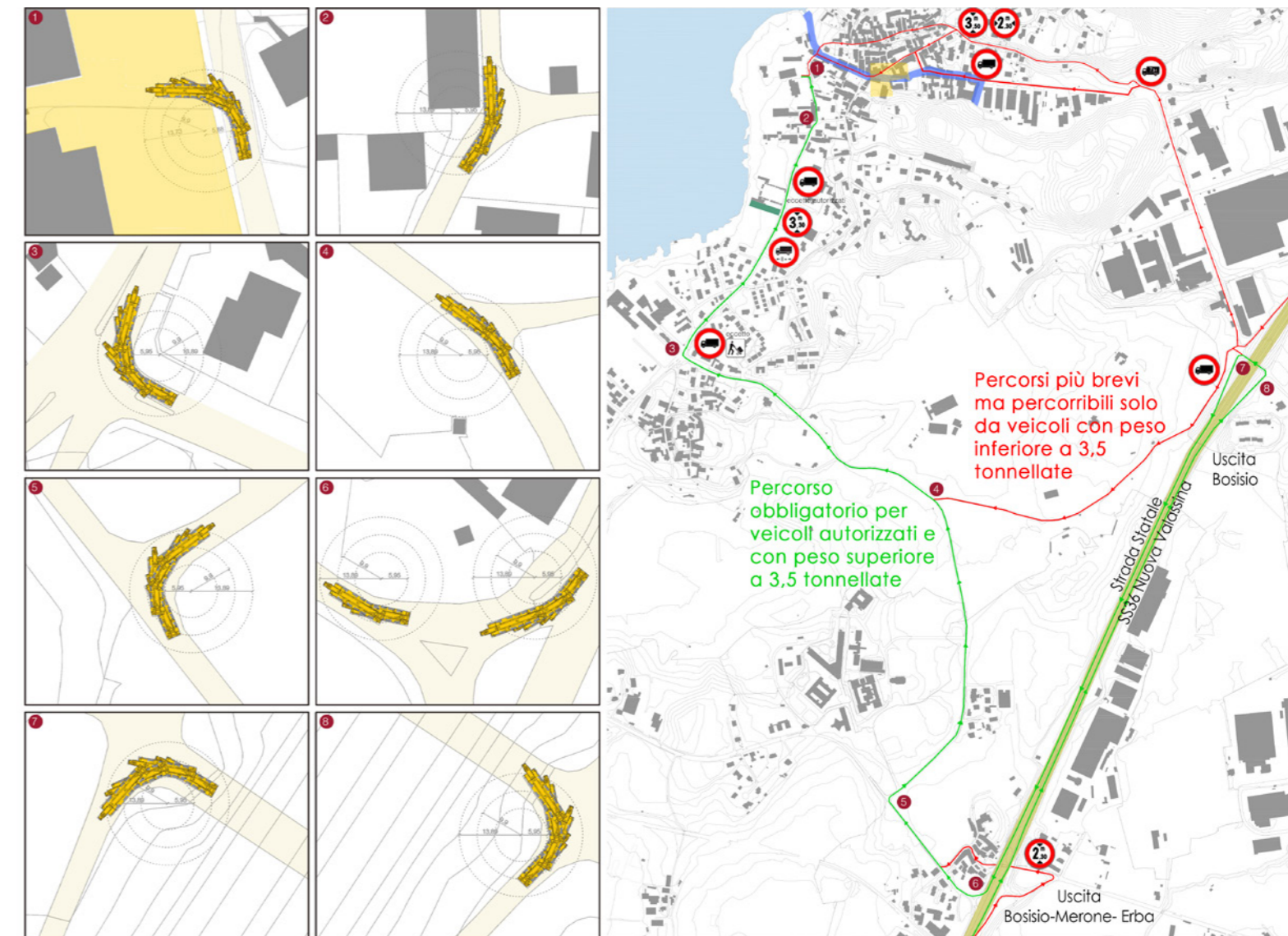
#### 9.8.2 ACCESSI AL CANTIERE

L'accesso al cantiere è sito in via Andrea Appiani 2, Bosisio Parini (LC).

I mezzi al di sotto delle 3,5 tonnellate e di altezza inferiore ai 3,30 m possono raggiungere e lasciare il cantiere utilizzando tutte le strade della viabilità ordinaria e senza restrizioni di orario.

I mezzi al di sopra delle 3,5 t o di altezza superiore ai 3,30 m o di lunghezza maggiore di 8 m devono invece raggiungere l'area di cantiere percorrendo la SP47 da Garbagnate Rota verso Bosisio Parini; arrivati al parcheggio del cimitero vi possono sostare per chiamare telefonicamente in cantiere e annunciare il loro arrivo: dal cantiere azioneranno il timer per far scattare il semaforo temporaneo di cantiere posto all'inizio di via Appiani, in maniera tale da bloccare il traffico nel tratto di via Appiani compreso tra l'ingresso del cantiere e l'incrocio con via Roma. In tal modo i mezzi pesanti potranno percorrere quel tratto di via in contromano, procedendo a passo d'uomo in totale sicurezza ed accedere al cantiere.

Per arrivare sul luogo del cantiere i mezzi di lunghezza superiore ai 10 m che arrivano dalla SS36 Nuova



Valassina devono obbligatoriamente prendere l'uscita "Bosisio Merone Erba" in direzione Milano (nel caso arrivassero da Milano devono uscire a "Bosisio Parini", riprendere la SS36 in direzione Milano per un'uscita e prendere l'uscita fissata), e successivamente percorrere la SP47 e seguire la procedura sopra descritta. Questo percorso si rende necessario poiché prevede curve più ampie ed è quindi l'unico percorribile agilmente con questo tipo di veicoli.

Per tutti i mezzi che devono accedere al cantiere percorrendo via Appiani in contromano vige il divieto di raggiungere o lasciare il cantiere durante gli orari di punta della scuola, ovvero nelle seguenti fasce orarie (nei giorni da Lunedì a Venerdì compresi): 8:00-9:30, 12:30-14:00, 16:30-18:00.

L'accesso carraio è arretrato rispetto al fronte stradale di una distanza di minimo 10,5 m e massimo 12 m, per permettere ai mezzi in ingresso di aspettare l'apertura del cancello senza ostacolare il traffico veicolare di via Appiani. Inoltre per tutta la durata del cantiere vigerà il divieto di sosta nei parcheggi in linea di via Appiani (dietro presentazione di richiesta al comando dei vigili urbani per occupazione di suolo pubblico), per

permettere ai mezzi di cantiere di eseguire la manovra di ingresso.

Il cancello di ingresso carrabile al cantiere è scorrevole, di lunghezza compresa tra i 5,10 m ed i 7 m.

L'accesso pedonale è posizionato nel tratto di recinzione ortogonale al cancello carrabile ed ha larghezza non inferiore a 1,2 m.

I cancelli di cantiere devono essere normalmente chiusi con lucchetto e le chiavi devono essere distribuite dall'appaltatore solo ai soggetti competenti. L'accesso, durante le ore di lavoro, deve essere chiuso dall'interno con dispositivo di apertura rapida per permettere un rapido evacuamento in caso di emergenza.

Per l'immissione di grandi mezzi dovrà essere sempre presente un addetto che aiuti il conducente nelle manovre.

In prossimità dell'accesso devono essere collocate opportune e idonee segnalazioni di interdizione ai non addetti e cartellonistica di cantiere riportante i rischi a cui si è esposti all'interno e i dpi da adottare per ridurli, da aggiornare costantemente al progredire delle lavorazioni.

### 9.8.3 VIABILITÀ, PERCORSI, SPAZI DI CIRCOLAZIONE E SOSTA DI CANTIERE

La viabilità di cantiere è stata pensata in maniera tale che qualsiasi mezzo abilitato a circolare su strada, caratterizzato dunque secondo il C.d.S. da raggio interno di curvatura pari a 5,30 m e raggio esterno pari a 12,5 m, possa entrare e far manovra agilmente nelle aree di manovra predisposte. Le aree di manovra sono adiacenti ai punti di stoccaggio, in maniera tale che i mezzi che trasportano i materiali in cantiere possano scaricare, fare manovra e lasciare il cantiere. Con la disposizione delle aree di manovra progettata è possibile raggiungere con qualsiasi mezzo abilitato a circolare su strada tutti i prospetti dell'edificio di nuova costruzione, eccezion fatta per quello Ovest, mentre il prospetto Nord sarà raggiungibile in retromarcia dopo aver fatto manovra nell'area di manovra posta nell'angolo Nord-Est del cantiere. I mezzi più comuni invece (come autopompe, autobetoniere, autobetonpompe, autogru, autocarri scarrabili) possono raggiungere tutti i prospetti dell'edificio, girandogli intorno senza dover effettuare manovre o retromarcia, utilizzando la viabilità di cantiere durante

tutte le fasi del cantiere.

Le aree di manovra e i punti in cui la viabilità di cantiere prevede delle curve sono ricoperti da uno strato di ghiaia, che evita la formazione di avvallamenti, pozze, fango e buche all'interno del cantiere, mantenendolo ordinato e pulito.

All'interno del cantiere vige l'obbligo di marcia a passo d'uomo per tutti i mezzi.

All'ingresso sono stati predisposti tre posti auto interni al cantiere.

In prossimità del cancello di accesso al cantiere è stato predisposto un punto acqua per il lavaggio delle gomme dei mezzi in uscita, per evitare di sporcare e rendere impraticabile la pubblica via.

### 9.8.4 SERVIZI DI CANTIERE

Le caratteristiche dei locali ad ufficio ed i servizi devono essere quelle previste dal D.M. 19.03.56, n. 303. Il testo della suddetta norma si ritiene interamente ed integralmente richiamato ed avente valore prescrittivo. I baraccamenti devono essere posati su un o strato di ghiaia, o comunque su fondo resistente e che possa evitare la formazione eccessiva di umidità fungendo

da vespaio, e devono comprendere:

- Wc in numero adeguato al numero degli operai presenti (1 ogni 10 operai); si prescrive di riservare un wc per le donne qualora ne sia prevista la presenza in cantiere. È inoltre necessario predisporre
- 1 lavabo ogni 5 operai e 1 doccia ogni 10. Si raccomanda la presenza di questi dispositivi sin dalla prima fase del cantiere.
- Due baracche in grado di rispondere alle seguenti esigenze: ufficio tecnico, direzione lavori, infermeria, spogliatoio; dotazione comprendente estintore e cassetta pronto soccorso.
- Guardiola d'ingresso

Qualora l'appaltatore decidesse di disporre le baracche sotto il raggio d'azione della gru di cantiere queste devono essere protette da opportuna copertura dotata della resistenza meccanica necessaria a resistere alla caduta di materiale dall'alto.

### 9.8.5 APPARECCHI DI MOVIMENTAZIONE AEREA

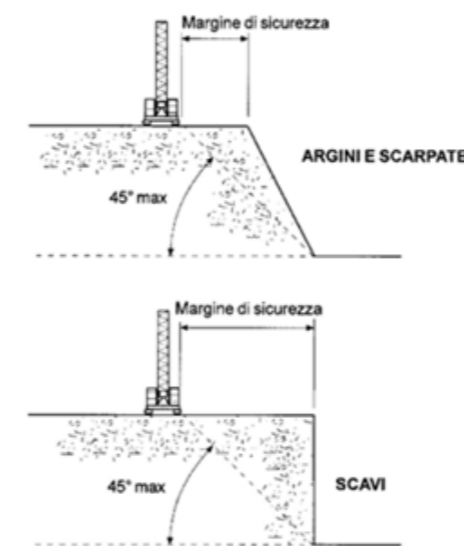
La gru di cantiere deve essere scelta e posizionata tenendo conto dei vincoli aerei e del posizionamento

delle aree di stoccaggio e lavorazione, in modo che possano essere servite dalla gru. Nella scelta bisogna porre dunque attenzione ai seguenti elementi:

- Altezza sotto il carico appeso al bozzello della gru, che dovrà essere più alto di 2,5 m rispetto al punto più alto del fabbricato in costruzione (pari a 13 m), compresi i parapetti sulla copertura e i terminali impiantistici
- Al di fuori dell'area di cantiere, dove non è permesso sollevare carichi, l'altezza sottogancio di ogni gru scelta dovrà essere superiore di 2,5 m rispetto all'altezza dell'elemento più alto che costituisce vincolo o preesistenza (fabbricato scuola, altezza 10 m)
- I carichi sollevati dovranno avere una distanza orizzontale di almeno 1,5 m da ogni vincolo fisso

Si raccomanda l'utilizzo di una sola gru, con sbraccio di 46 m, posta in corrispondenza del secondo pilastro del prospetto Sud esistente, in maniera tale da servire tutta l'area di edificazione, l'area di stoccaggio Sud e ottimizzare le dimensioni della gru, evitando di doverne disporre più di una con i relativi problemi di interferenza. La gru deve essere inoltre posizionata su terreno solido,

resistente e non a ridosso di pendii di scavi seguendo le indicazioni riportate nell'immagine seguente:



A tal proposito si consiglia la realizzazione di una piccola platea a fondo scavo al livello delle fondazioni consolidate sulla quale poggiare la gru. Tale impostazione rende consigliabile l'utilizzo di una gru a torre a rotazione in alto, in quanto non necessita di un'area recintata a terra per consentire la rotazione del contrappeso.

### 9.8.6 AREE DI DEPOSITO E STOCCAGGIO E POSTAZIONI FISSE DI LAVORO

I luoghi adibiti a deposito e stoccaggio devono essere preventivamente verificati per quanto concerne la idoneità statica e la stabilità.

Le zone di stoccaggio devono essere servite nelle immediate vicinanze da un punto acqua e dalla rete elettrica di cantiere.

Si raccomanda di porre le zone di stoccaggio di ferro e legno in prossimità delle zone di lavorazione degli stessi e di predisporre nei pressi delle zone di lavorazione delle aree per il deposito dei materiali post lavorazione, nell'attesa che vengano movimentati per la messa in opera. È inoltre raccomandabile che le aree di stoccaggio e lavorazione siano poste entro il raggio di azione della gru di cantiere. Qualora questa eventualità sia messa in atto, è necessario predisporre delle coperture per le aree di lavorazione dotate della resistenza meccanica necessaria a proteggerle dalla accidentale caduta di carichi durante le movimentazioni aeree.

Si prescrive inoltre di lasciare un passaggio tra le diverse aree di stoccaggio e di lavorazione pari a un minimo di



1,2 m, in modo da consentire il passaggio pedonale tra di esse, anche trasportando degli elementi.

Per le fasi di cantiere analizzate è necessario predisporre le seguenti aree di stoccaggio e lavorazione:

- Area stoccaggio ferri di armatura: dimensione minima 12x4,5 m, posta in prossimità dell'area di lavorazione
- Area stoccaggio ferri di armatura post lavorazione (es: gabbie di armatura): dimensione minima 12x4,5 m, posta in prossimità dell'area di lavorazione del ferro.
- Area di stoccaggio terreno di riporto: altezza massima del cumulo pari a 2,5 m, pendenza dei declivi pari a 45°. Può essere posizionata anche in una zona non servita dalla gru di cantiere in quanto il terreno viene generalmente movimentato con altre modalità
- Area di stoccaggio legno e casseri: dimensioni minime 12x6 m, posta in prossimità dell'area di lavorazione del legno.
- Area di stoccaggio resina epossidica e materiali elettrici: dimensione minima 3x5 m, può essere posta all'interno del corpo spogliatoi della

palestra esistente, in quanto luogo fresco e asciutto, protetto da intemperie.

- Area di lavorazione del ferro: dimensioni minime 8x5 m e dotata di macchina trancia-piega ferri.
- Area di lavorazione del legno: dimensioni minime 6x5 m. Postazione predisposta per la lavorazione di casseri per il getto di strutture in CA, dotata di sega circolare da tavolo.

#### 9.8.7 RETI IMPIANTISTICHE

Gli impianti da allestire in cantiere risultano essere i seguenti:

- impianto elettrico: l'allacciamento alla rete elettrica avviene attraverso la centralina a media tensione situata in via Appiani. È necessario installare un quadro elettrico generale, preferibilmente presso l'ingresso del cantiere, per la fornitura di corrente alternata a voltaggio variabile (220 V e 380 V), e due dispersori: uno presso le postazioni di lavoro ed uno presso la gru di cantiere. I cavi di collegamento tra i diversi quadri devono essere interrati ad una profondità di almeno 80 cm.

- Impianto idrico, che connette lo scarico dei baraccamenti con la rete idrica comunale posta lungo Via Appiani, realizzato con tubi in pvc collocati ad una profondità minima di 1,00 in modo da evitare i possibili affioramenti dei tubi in seguito al passaggio di mezzi o a fasi di lavorazione.
- Impianto di illuminazione: è prevista l'installazione di due far di potenza 50W: uno per l'illuminazione dell'ingresso del cantiere ed uno posizionato sulla gru.
- Impianto di riscaldamento acqua sanitaria: uno scaldabagno alimentato elettricamente fornisce l'acqua calda per i servizi dei baraccamenti.
- Impianto di messa a terra della gru di cantiere

## 9.9 LAYOUT DI CANTIERE

Una buona organizzazione del cantiere, sia da un punto di vista organizzativo che spaziale, è fondamentale per l'ottimizzazione della produzione poiché permette di evitare spreco di tempo, risorse, disturbo arrecato alle zone limitrofe e, soprattutto, infortuni ai lavoratori. Gli schemi grafici che rappresentano l'organizzazione del cantiere vengono detti layout e sono solitamente rappresentati a partire dalle planimetrie o dalle sezioni del lotto dell'intervento. Tali disegni devono contenere tutte le prescrizioni ed i dettagli che il progettista richiede di rispettare, in riferimento alla normativa vigente e alle norme di buona pratica.

Nel presente capitolo vengono riportate le planimetrie riguardanti le lavorazioni precedentemente analizzate dal punto di vista di schede ergotecniche, analisi prezzi e GANTT, con lo scopo di definire anche spazialmente sul lotto di progetto quanto già ampiamente descritto in precedenza.

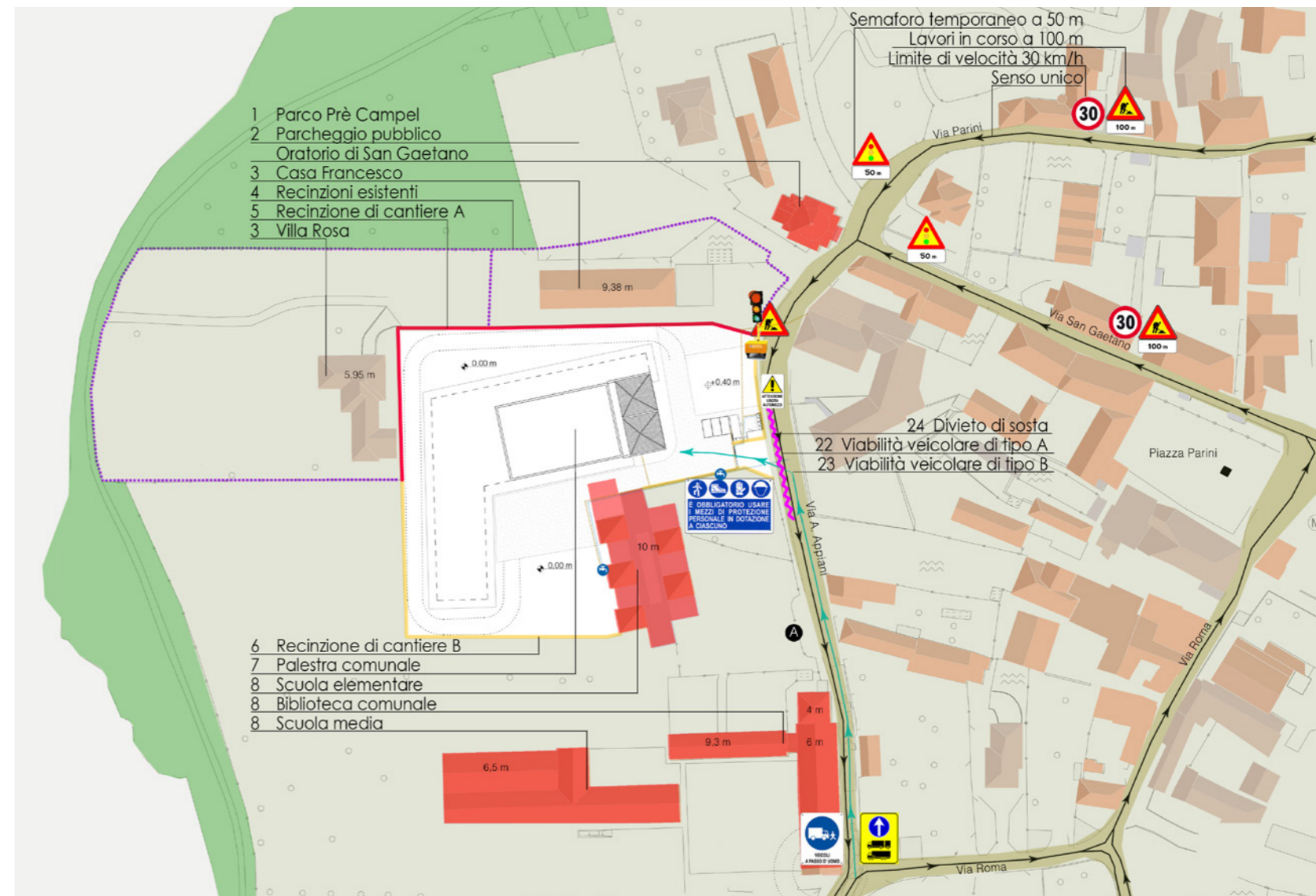
Ulteriori layout di cantiere e tavole di approfondimento, corredate da sezioni ed estratti dei relativi diagrammi GANTT vengono riportate nel book di tavole che accompagna questo elaborato di tesi.

### 9.9.1 LAYOUT GENERALE CONTESTUALIZZATO

1. Parco Prè Campel: molto frequentato anche da bambini, protezione dal cantiere garantita da recinzioni esistenti;
2. Parcheggio pubblico: molto frequentato, rappresenta l'unico accesso carrabile al parco, protezione dal cantiere garantita da recinzioni esistenti
3. Casa Francesco e Villa Rosa: edifici di proprietà comunale disabitati e parte del progetto urbanistico;
4. Recinzioni esistenti che non permettono l'avvicinamento al cantiere da parte di non autorizzati;
5. Recinzione di cantiere di tipo A realizzata con pannelli con tamponamento in rete elettrosaldata, integrata con fogli di rete plastificata stirata rossa, di altezza minimo 2 m; i pannelli di rete elettrosaldata sono uniti tramite collari doppi e sono sostenuti da plinti in calcestruzzo;
6. Recinzione di cantiere di tipo B cieca, di altezza minimo 2 m, con pannelli in lamiera grecata

sovrapposti e fissati alla base a new jersey;

7. Edificio oggetto di intervento: palestra comunale;
8. Scuola elementare, biblioteca comunale e scuola media: edifici sensibili mantenuti attivi durante i lavori, accesso all'area nel punto A esistente;
22. Viabilità veicolare di tipo A esistente: il centro storico di Bosisio Parini è caratterizzato da una viabilità garantita da sensi unici, che causano traffico soprattutto in concomitanza con l'ingresso al parcheggio pubblico e l'ingresso al polo scolastico
23. Viabilità veicolare di tipo B permessa solo a veicoli autorizzati e con un peso superiore alle 3,5 tonnellate; i veicoli possono accedere all'area solo a passo d'uomo e quando il semaforo di via Appiani viene attivato; inoltre l'accesso a tali mezzi è vietato negli orari: 8.00-9.30, 12.30-14.00, 16.30-18.00;
24. Divieto di sosta in alcuni parcheggi di via Appiani per permettere una agevole entrata nell'area di cantiere

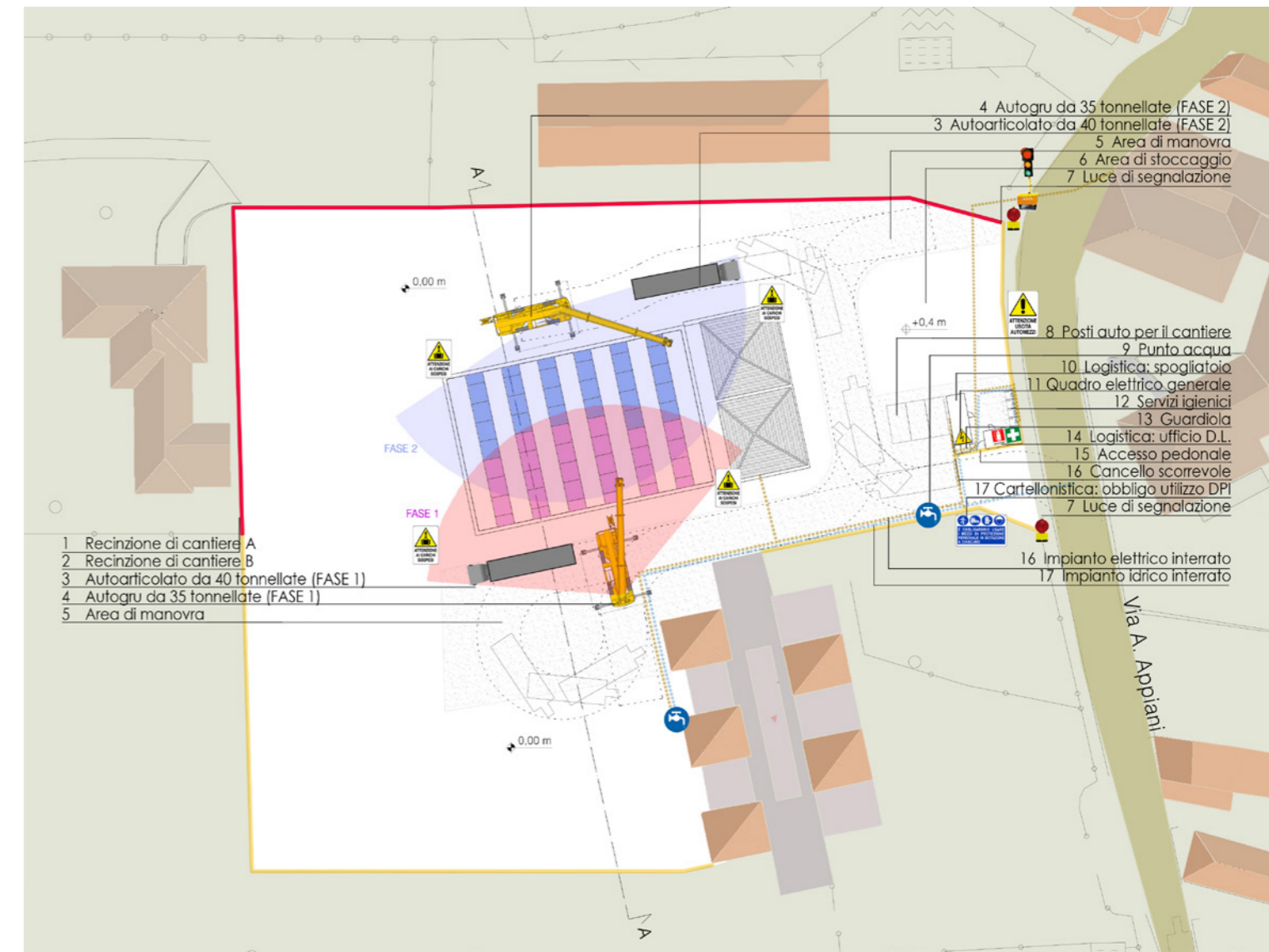


### 9.9.2 LAYOUT DI RIMOZIONE DELLE COPPELLE NERVATE

1. Recinzione di cantiere di tipo A realizzata con pannelli con tamponamento in rete elettrosaldata, integrata con fogli di rete plastificata stirata rossa, di altezza minimo 2 m; i pannelli di rete elettrosaldata sono uniti tramite collari doppi e sono sostenuti da plinti in calcestruzzo;
2. Recinzione di cantiere di tipo B cieca, di altezza minimo 2 m, con pannelli in lamiera grecata sovrapposti e fissati alla base a new jersey;
3. Autoarticolato da 40 tonnellate per il trasporto delle cospelle nervate;
4. Autogru da 35 tonnellate per la movimentazione delle cospelle nervate;
5. Area di manovra realizzata con fondo solido e resistente al transito dei mezzi di cantiere realizzato con ghiaione;
6. Area di stoccaggio;
7. Luce di segnalazione a batteria;
8. Posti auto per il cantiere;
9. Punto acqua per lavaggio ruote;
10. Logistica di cantiere: baracche prefabbricate

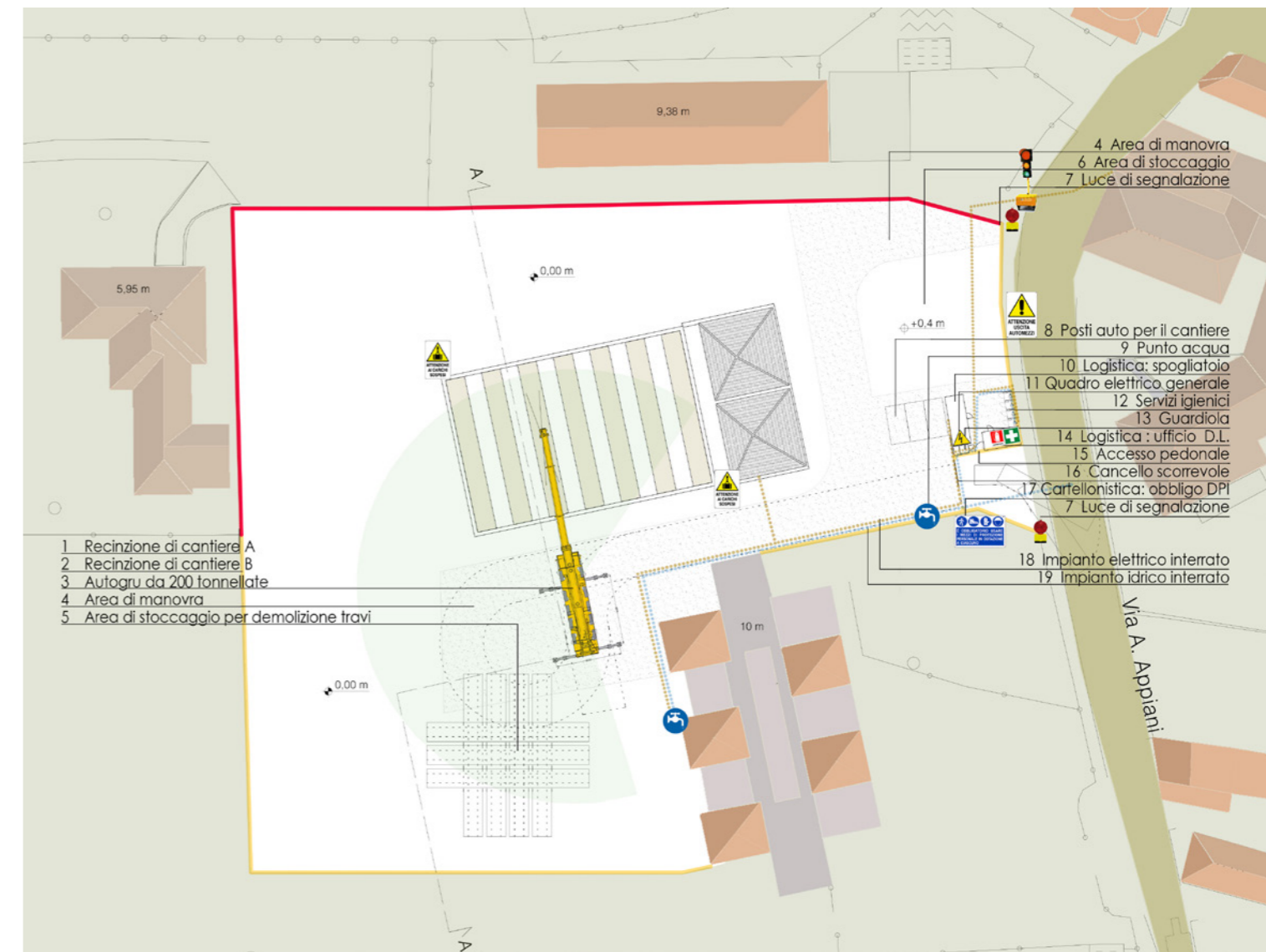
monoblocco con vespaio areato, in grado di rispondere alle seguenti esigenze: spogliatoio;

11. Quadro elettrico generale di distribuzione di cantiere che fornisce corrente alternata a voltaggi distinti (220 V, 380 V);
12. Servizi igienici dotati di turca in lamiera smaltata, lavandino e acqua corrente calda e fredda;
13. Guardiola;
14. Logistica di cantiere: baracche prefabbricate monoblocco con vespaio areato, in grado di rispondere alle seguenti esigenze: ufficio tecnico Direzione Lavori, infermeria;
15. Accesso pedonale: cancello pedonale cieco, larghezza minima 1,20 m;
16. Accesso carrabile: cancello di ingresso cieco scorrevole, larghezza minima 5,10 m, massima 7 m, altezza minima 2 m, realizzato con montanti in metallo e tamponatura realizzata con pannelli in lamiera grecata;
17. Cartellonistica di cantiere riportante: divieto di accesso ai non addetti e obbligo d'uso DPI



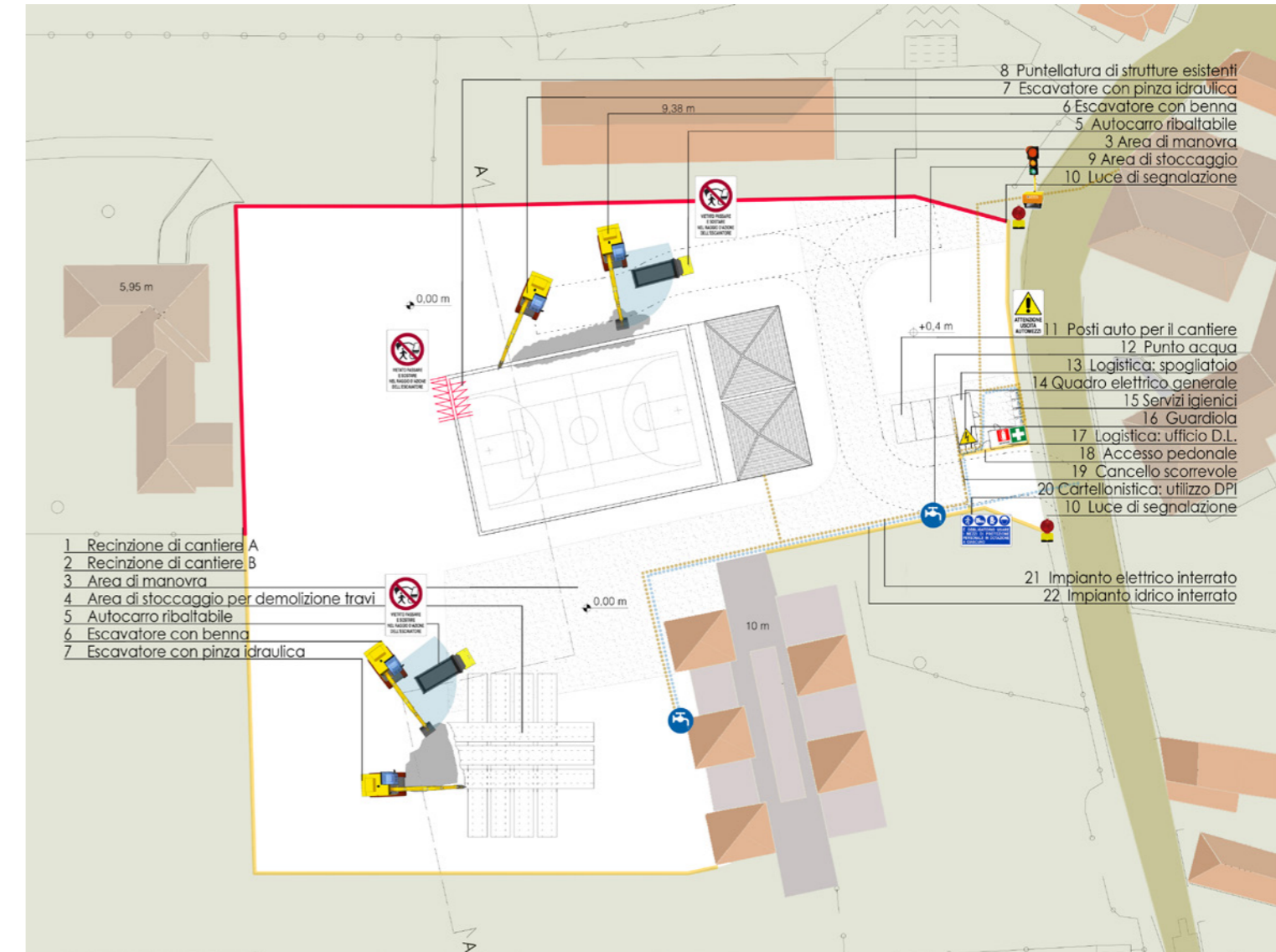
### 9.9.3 LAYOUT DI RIMOZIONE TRAVI DI COPERTURA

1. Recinzione di cantiere di tipo A realizzata con pannelli con tamponamento in rete elettrosaldata, integrata con fogli di rete plastificata stirata rossa, di altezza minimo 2 m; i pannelli di rete elettrosaldata sono uniti tramite collari doppi e sono sostenuti da plinti in calcestruzzo;
2. Recinzione di cantiere di tipo B cieca, di altezza minimo 2 m, con pannelli in lamiera grecata sovrapposti e fissati alla base a new jersey;
3. Autogru da 200 tonnellate per la rimozione delle travi prefabbricate di copertura;
4. Area di manovra realizzata con fondo solido e resistente al transito dei mezzi di cantiere realizzato con ghiaione;
5. Area di stoccaggio e deposito temporaneo delle travi prefabbricate di copertura, utilizzata anche per la loro demolizione, dim minima 20x20 m;
6. Area di stoccaggio terreno di riporto;
7. Luce di segnalazione a batteria;
8. Posti auto per il cantiere;
9. Punto acqua per lavaggio ruote;
10. Logistica di cantiere: baracche prefabbricate monoblocco con vespaio areato, in grado di rispondere alle seguenti esigenze: spogliatoio con docce, dim minima 15 mq (1,5 mq/addetto);
11. Quadro elettrico generale di distribuzione di cantiere che fornisce corrente alternata a voltaggi distinti (220 V, 380 V);
12. Servizi igienici dotati di turca in lamiera smaltata, lavandino e acqua corrente calda e fredda, dim minima 1,2x1,2 m;
13. Guardiola, dim minima 1,2x1,2 m;
14. Logistica di cantiere: baracche prefabbricate monoblocco con vespaio areato, in grado di rispondere alle seguenti esigenze: ufficio tecnico Direzione Lavori, infermeria;
15. Accesso pedonale: cancello pedonale cieco, larghezza minima 1,20 m;
16. Accesso carrabile: cancello di ingresso cieco scorrevole, larghezza minima 5,10 m, massima 7 m, altezza minima 2 m, realizzato con montanti in metallo e tamponatura realizzata con pannelli in lamiera grecata;



### 9.9.4 LAYOUT DI DEMOLIZIONE DELLA CHIUSURA VERTICALE NORD

1. Recinzione di cantiere di tipo A realizzata con pannelli con tamponamento in rete elettrosaldata, integrata con fogli di rete plastificata stirata rossa, di altezza minimo 2 m; i pannelli di rete elettrosaldata sono uniti tramite collari doppi e sono sostenuti da plinti in calcestruzzo;
2. Recinzione di cantiere di tipo B cieca, di altezza minimo 2 m, con pannelli in lamiera grecata sovrapposti e fissati alla base a new jersey;
3. Area di manovra realizzata con fondo solido e resistente al transito dei mezzi di cantiere realizzato con ghiaione;
4. Area di stoccaggio e deposito temporaneo delle travi prefabbricate di copertura, utilizzata anche per la loro demolizione, dim minima 20x20 m;
5. Autocarri ribaltabile da 40 tonnellate per il trasporto di materiale da demolizione;
6. Escavatore (capacità benna 0,9 mc) per la raccolta di materiale da demolizione;
7. Escavatore con pinza idraulica per la frantumazione del calcestruzzo armato;
8. Puntellatura di strutture esistenti per non trasmettere vibrazioni durante i tagli strutturali;
9. Area di stoccaggio terreno di riporto;
10. Luce di segnalazione a batteria;
11. Posti auto per il cantiere;
12. Punto acqua per lavaggio ruote;
13. Logistica di cantiere: baracche prefabbricate, in grado ospitare: spogliatoio con docce, dim minima 15 mq (1,5 mq/addetto);
14. Quadro elettrico generale di distribuzione di cantiere che fornisce corrente alternata a voltaggi distinti (220 V, 380 V);
15. Servizi igienici dotati di turca, lavandino e acqua corrente calda e fredda, dim minima 1,2x1,2 m;
16. Guardiola, dim minima 1,2x1,2 m;
17. Logistica di cantiere: baracche prefabbricate, in grado ospitare: ufficio Direzione Lavori, infermeria;
18. Accesso pedonale: cancello pedonale cieco, larghezza minima 1,20 m;
19. Accesso carrabile: cancello di ingresso cieco scorrevole, larghezza minima 5,10 m, massima 7 m, altezza minima 2 m



# 10

---

CONCLUSIONI

La redazione di questo capitolo non coincide solamente con il punto di arrivo dell'iter progettuale, ma anche con la conclusione di un intenso percorso di formazione il cui carattere primario è certamente la commistione tra le scienze, Architettura ed Ingegneria, dimensioni complementari eppur spesso in contrasto. Ripercorrendo dal principio i passi del percorso intrapreso, sia nel progetto di tesi che nell'intero percorso di studi, emerge chiaramente come il filo conduttore sia stato proprio la ricerca di un'armoniosa comunione tra gli aspetti compositivi e quelli tecnici, in accordo con quanto già espresso, proprio alle origini, da Vitruvio<sup>1</sup>:

*"Tutte queste costruzioni devono avere requisiti di solidità, utilità e bellezza. Avranno solidità quando le fondamenta, costruite con materiali scelti con cura e senza avarizia, poggeranno profondamente e saldamente sul terreno sottostante; utilità, quando la distribuzione dello spazio interno di ciascun edificio di qualsiasi genere sarà corretta e pratica all'uso; bellezza, infine quando l'aspetto dell'opera sarà piacevole per l'armoniosa proporzione delle parti che si ottiene con l'avveduto calcolo delle simmetrie."*

<sup>1</sup> .....  
 1 Marco Vitruvio Pollicione, *De Architectura*, liber I

I concetti espressi da Vitruvio sono stati brillantemente sintetizzati da Claude Perrault nella cosiddetta triade vitruviana, secondo cui l'architettura deve soddisfare tre categorie: Firmitas, Utilitas e Venustas, ovvero solidità, funzionalità e bellezza.

Il progetto illustrato in questa tesi è stato ispirato proprio a questi tre criteri, ricercando una positiva interazione tra armonia delle forme, funzionalità ed aspetti tecnici. La progettazione è infatti avvenuta considerando simultaneamente tematiche architettoniche ed ingegneristiche: tale approccio alla progettazione si è rivelato vincente, in quanto ambito compositivo e strutturale si fondono perfettamente in un unicum, dove gli elementi portanti divengono caratteristiche connotanti del disegno architettonico dell'edificio. Architettura ed Ingegneria si combinano in sinergia, formando dunque un connubio perfetto.

Il percorso di tesi ha affrontato inoltre altre due problematiche interdisciplinari: l'interazione tra progetto alla scala urbana ed alla scala edilizia e l'intervento sull'esistente, dove interagiscono rilievo, consolidamento e nuova costruzione.

La tematica del rapporto tra le diverse scale di progettazione è stata implementata con l'obiettivo di dare risposta alle richieste concorsuali, che mettevano in luce la problematica della connessione tra l'area affacciata sul lago ed il centro del paese. È risultato subito evidente come anche il migliore dei progetti per la zona del lago, in mancanza di una solida connessione con il centro storico, non sarebbe risultato efficace ed avrebbe anzi incrementato la distanza tra i due contesti, acuendo così il problema.

Il progetto dunque è stato sviluppato a partire dalla scala urbana, per poi scendere alla scala del l'edificio. La palestra progettata ha tuttavia la pretesa di lavorare a scala più ampia grazie alla peculiarità delle funzioni ospitate, fortemente connesse al territorio. Dal punto di vista dell'intervento sull'esistente è stato verificato come un adeguato rilievo dell'oggetto possa contribuire in maniera significativa all'individuazione della corretta metodologia di intervento. Una profonda conoscenza del bene infatti permette di eseguire gli interventi di consolidamento in maniera efficace e di sfruttare al meglio le potenzialità dell'edificio esistente nel progetto di recupero, valorizzando le prestazioni

residue ed incrementandole in maniera mirata, sulla base delle informazioni reperite. Un rilievo accurato permette inoltre di eseguire gli interventi di rinforzo strutturale, sia a livello globale che locale, con soluzioni specifiche e ben proporzionate alle reali necessità dell'edificio, permettendo così un risparmio economico sui lavori di consolidamento. Investire più risorse nella fase di conoscenza genera dunque un risparmio nelle fasi successive di realizzazione.

Sebbene gli interventi di recupero su organismi edilizi di queste dimensioni e tipologie difficilmente possono contribuire a raggiungere prestazioni energetiche paragonabili a quelle di edifici nuovi, lo studio energetico ha dimostrato come il fabbisogno può essere drasticamente diminuito, rendendo l'intervento di riqualificazione e la successiva gestione economicamente sostenibili.

La tesi ha dimostrato ancora una volta come, nel panorama odierno, sia imprescindibile un processo di progettazione integrato che tenga conto di tutte le discipline che intervengono sull'edificio.

# BIBLIOGRAFIA

Barbisan U., Laner F., *Le guide PETER COX: risanamento delle murature*, FLAP editore, Verona, 2006.

Brandizzi G., Carbone E. (a cura di), *Edilizia per lo sport: Palestre, Piscine, Palasport, Stadi, Complessi polisportivi, Centri fitness, Impianti all'aperto, Impianti specialistici*, UTET Scienze tecniche editore, Torino, 2004.

Bursi O. S., Pucinotti R., Zanon G., *Progettazione di giunzioni e strutture tubolari in acciaio : secondo gli Eurocodici e le norme tecniche per le costruzioni*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

Calvino I., *Le città invisibili*, Einaudi, 1972

Campanella C., *Capitolato speciale d'appalto per opere di conservazione e restauro*, Il sole 24 ore, Milano, 2000.

Campbell J., *Il mattone e la sua storia: 8000 anni di architettura*, Bolis, Marzo 2013.

Catta, G. *Sperimentazione su travi reticolari in scala ridotta: un ausilio alla didattica*, Milano: Scuola di Architettura e Società, Corso di Laurea in Architettura, Politecnico di Milano, A.A. 2013/2014.

Cherubini A., *Manuale di rilievo e documentazione grafica delle strutture architettoniche e archeologiche*, Roma, 2008.

Corradi V., AA VV, *Nuove società urbane, Trasformazioni della città tra Europa e Asia*, Franco Angeli editore, 2013.

ERTAG, *Tecnica e pratica del recupero edilizio*, ALINEA editrice, Firenze, 1986.

Franco G. (a cura di), AA VV, *Atlante della riqualificazione degli edifici*, UTET Scienze tecniche editore, Torino, 2009.

Gelsomino L. (a cura di), AA VV, *Recupero edilizio, Abitare il recupero: trasformazione degli spazi interni e adeguamento tecnologico*, ALINEA editrice, Firenze, 1990.

Gheri A. (a cura di), *Costruire con l'acciaio*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2007.

Gottfreid A (a cura di), *L' edilizia per lo sport e lo spettacolo*, Hoepli editore, Milano, 2004.

Gottfreid A., Di Giuda G. M., *Ergotecnica Edile*, Esculapio, Bologna, 2011.

Gottfreid A., *Ergotecnica edile. Progettazione e programmazione operativa ed economica. Direzione dei lavori, contabilità e collaudi. Scelta delle macchine*, Hoepli editore, Milano, 2013.

Gottfreid A., *Progettazione e gestione della sicurezza nei cantieri edili*, Utet Scienze Tecniche, Settembre 2011.



Grecchi M., Malighetti L. E., *Ripensare il costruito: il progetto di recupero e rifunzionalizzazione degli edifici*, Maggioli editore, Rimini, 2008.

Hegger. AA VV, *Atlante della sostenibilità*, UTET Scienze tecniche editore, Torino, 2009.

Lynch K., *L'immagine della città*, Marsilio, 1969.

Malighetti L. E., *Recupero edilizio e sostenibilità. Il contributo delle tecnologie bioclimatiche alla riqualificazione funzionale degli edifici residenziali collettivi*, Il Sole 24 Ore Norme & Tributi, Milano, Gennaio 2004.

Malighetti L. E., *Recupero edilizio: strategie per il riuso e tecnologie costruttive*, I libri di Archetipo, il Sole 24 ore, Milano, 2011.

Niemeyer O., *Il mondo è ingiusto*, Mondadori, 2012.

Pagliari F., *Nuova sede Probat Trockenbau & Ausbau GMBH*, In The Plan.

Pellegrini P., *Recupero ex fornace di Riccione*, In The Plan, 2015

Pizzuto M., *Music school in Induno Olona, Italy*, In Archetipo, il Sole 24 ore, n° 57: *Recupero*, Ottobre 2011.

Quattordio G., *Sostegni tubolari di acciaio : Ingegneria applicativa, elementi di progettazione e verifica*, Pitagora, Bologna, 1997.

Ruta M., *Macro - museo di arte contemporanea in Rome, Italy*, In Archetipo, il Sole 24 ore, n° 77: *Recupero*, Ottobre 2013.

Ruta M., *Milstein Hall in Ithaca, USA, Oma*, In Archetipo, il Sole 24 ore, n° 57: *Recupero*, Ottobre 2011.

Ridolfi M., *Manuale dell'architetto*, 1985.

Ridolfi M., *Manuale delle tecniche tradizionali del costruito*, Milano 1997.

Stefani S., *Elementi di Matematica Finanziaria e cenni di Programmazione Lineare*, G. Giappichelli Editore, Torino, 2011.

Turchini G., *Nuove ricerche per le riqualificazioni*, In "Archetipo, il Sole 24 ore", n° 57: *Recupero*, Ottobre 2011.

Zevi L., *Il nuovissimo manuale dell'architetto*, Mancosu Editore, 2003.

# APPENDICE - PLASTICO E STAMPA 3D

Esperienza di notevole interesse è stata quella della realizzazione di un plastico del progetto con la tecnologia della stampa 3D a deposizione di filamento (FFF: Fused Filament Fabrication). I vantaggi offerti da questa innovativa e rivoluzionaria tecnica sono quelli di poter creare oggetti con precisione al decimo di millimetro in tempi brevi, potendo così maneggiare fisicamente gli elementi progettati. Consentono dunque di realizzare una prototipazione rapida.

Gli oggetti da stampare devono rispettare caratteristiche e tolleranze relazionate alle caratteristiche della macchina con cui vengono prodotti e alla tecnica di stampa impiegata, in questo caso la FFF. Si è reso dunque necessario produrre un apposito modello tridimensionale finalizzato alla stampa.

Il flusso di lavoro prevede la creazione del modello virtuale su di un software di modellazione 3D. Questo deve essere poi esportato in estensione .stl (STereo Lithography interface format) e importato

in un apposito programma che lo elabora per la stampa, generando come output un file .gcode, che la stampante 3D è in grado di leggere. Questo file contiene sostanzialmente le direttive sulle movimentazioni nei tre assi x, y e z che la stampante dovrà effettuare per creare l'oggetto desiderato.

Il materiale impiegato per la stampa è stato un polimero, il PLA, un materiale plastico dotato di buona resistenza meccanica e rigidità una volta solidificato.

Il modello dell'edificio è stato realizzato in scala 1:100 e le dimensioni totali sono di circa 90x80 cm. Proprio le dimensioni del plastico sono state la sfida più grande, poiché le stampanti 3D in commercio hanno generalmente aree di stampa molto più ridotte. Da qui è nata la collaborazione con Sharebot, azienda italiana leader nel settore della stampa 3D, che stava proprio in quel periodo sviluppando una nuova stampante per la creazione di oggetti di grandi formati, Sharebot XXL.



Sharebot

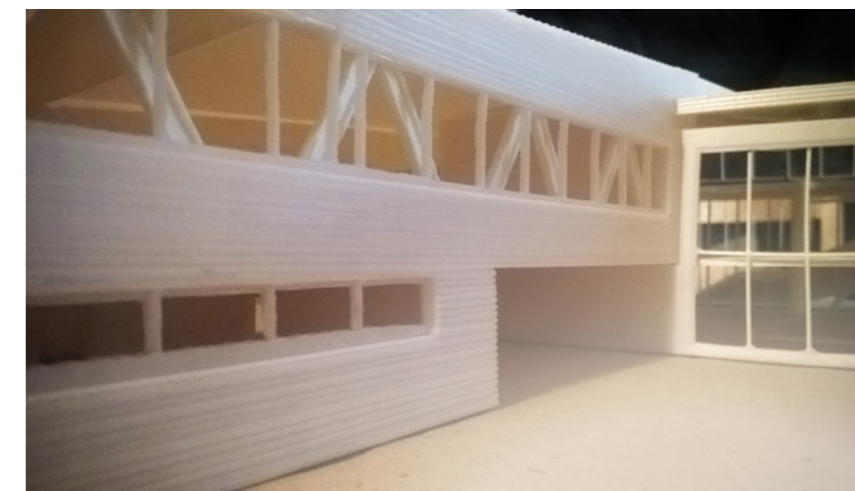
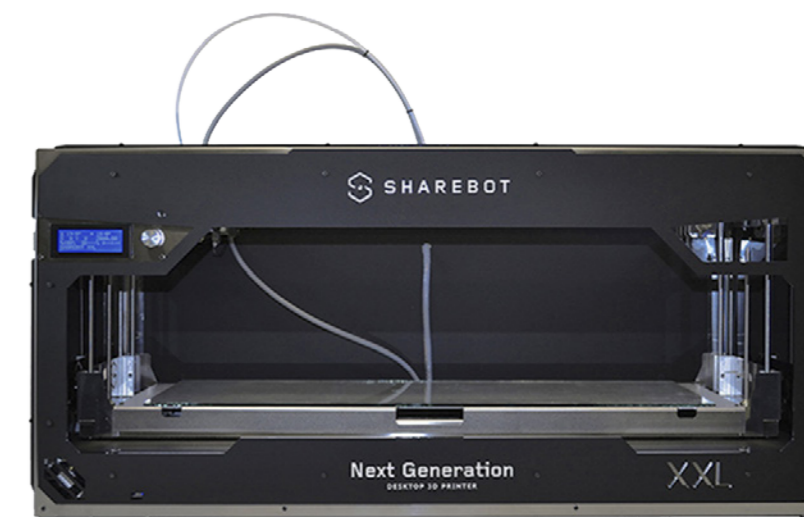
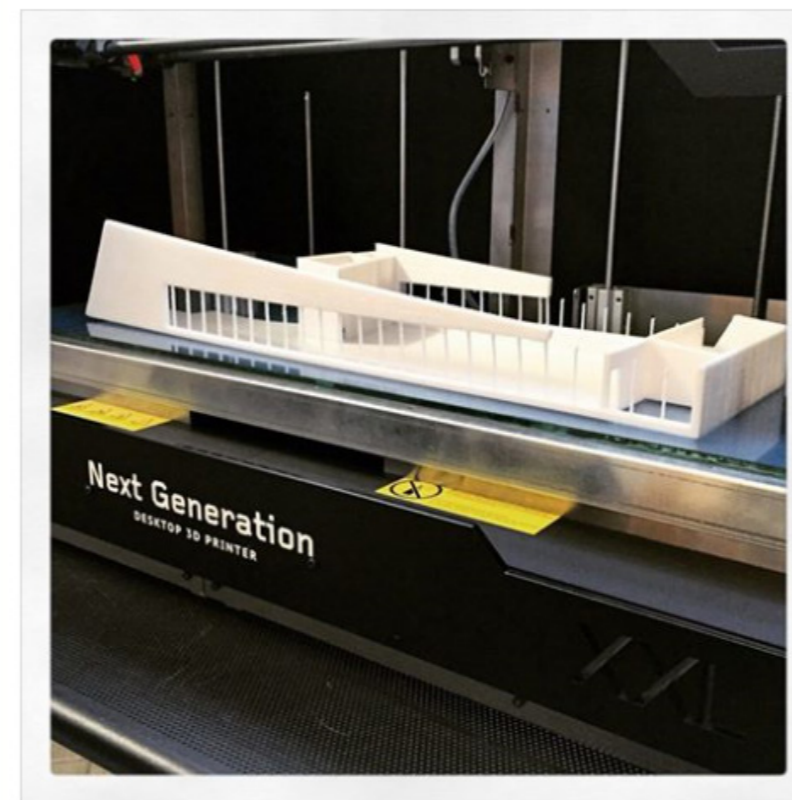
24 gennaio 2015 · 🌐

La #stampa3D in Sharebot non si ferma mai!

In questa foto potete un modello architettonico realizzato con Sharebot XXL con un'eccellente qualità e alta definizione!

Even on saturday we're testing our #3dprinters to give you the best results!

This is a big object for #architecture printed with #SharebotXXL.



Questa stampante, unica nel suo genere, è dotata di un'area di stampa di ben 700x250x200 mm ed ha dunque permesso di realizzare il plastico dividendolo in un numero di pezzi decisamente ridotto rispetto a quanto si sarebbe dovuto fare con stampanti 3D comuni.

L'azienda aveva la necessità di testare la XXL, pensata proprio per i modelli di architettura, per affinarne i parametri e ottimizzarne le prestazioni prima di metterla in produzione e ha dunque messo a disposizione macchine e filamenti per la realizzazione del modello.

Il risultato è stato notevole: il plastico, pensato per essere totalmente apribile per poter visionare gli ambienti interni, è stato uno tra i primi modelli ad essere realizzato e l'azienda ha voluto conservarlo nella propria sede per lasciarlo in esposizione.

Il modello ha riscosso molto successo ed è stato dunque esposto in numerose mostre di architettura e di stampa 3D e portato da Sharebot in numerose fiere del settore.

La realizzazione del modello fisico è stata molto utile a livello progettuale, in quanto la materializzazione

del progetto permette innanzitutto di prendere pienamente coscienza degli spazi progettati, verificarne dal vivo i rapporti e l'armonia; in secondo luogo, in fase di modellazione e realizzazione, permette di trovare punti critici, incongruenze e falle all'interno del progetto: la creazione del plastico ha quindi aiutato a risolvere alcuni collegamenti critici tra le diverse parti, analizzare e modificare alcuni ambienti che non si raccordavano in maniera ottimale e cambiare in alcuni punti la disposizione interna per renderla più funzionale.

In conclusione la stampa 3D si presenta come un nuovo e potente strumento per la progettazione a disposizione di ingegneri e architetti, pur essendo entrata da poco nel settore delle costruzioni. La tecnologia è in rapidissimo sviluppo e può certamente offrire nel medio lungo periodo elementi di novità per il settore edile, non solo nella realizzazione di modelli ma anche, in uno scenario ormai non così lontano, per la produzione di elementi da costruzione con caratteristiche di grande eterogeneità e varietà di applicazione.



Sharebot

30 gennaio 2015 · 🌐

Un grande progetto realizzato con [#sharebotXXL](#) da Giuliano Grossi, studente di [#Architettura](#) al [Politecnico di Milano](#)!

A big project realized by Giuliano Grossi, Politecnico di Milano [#architecture](#) student, with Sharebot XXL!



# INDICE DELLE FIGURE

## INTRODUZIONE

- Figura 1.1 Premiazione del concorso.....27  
Figura 1.2 Plastico stampato in 3D esposto al concorso .....27  
Figura 1.3 Plastico della proposta presentata dal comune .....27  
Figura 1.4 Presentazione del progetto per il Precampel.....27

## ANALISI DEL CONTESTO

- Figura 2.1 Sopra: il sistema dei laghi briantei .....30  
Figura 2.2 Sotto: gli elementi che disegnano il paesaggio naturale .....30  
Figura 2.3 Vista dall'alto del parco regionale della Valle del Lambro e del lago di Pusiano 32  
Figura 2.4 Sopra: Chiesa di Sant'Anna Nuova .....37  
Figura 2.5 A sinistra: Chiesa di Sant'Anna Vecchia.37  
Figura 2.6 Riproduzione scultorea rilevata in piazza Parini della zona agricola tra il lungolago e il centro storico.....39

- Figura 2.9 Accesso alla casa museo Parini (anni '50-2015) .....41  
Figura 2.8 Piazza Parini (anni '60-2015) .....41  
Figura 2.7 Veduta su Pusiano (anni '50-2015) .....41  
Figura 2.10 Casa museo Parini (anni '50-2015) .....41  
Figura 2.11 Veduta su Pusiano e la cava (anni '50-2015) .....41  
Figura 2.12 Veduta su Garbagnate Rota (anni '50-2015) .....42  
Figura 2.13 Chiesa e oratorio San Gaetano (anni '30-2015) .....42  
Figura 2.14 Vista da Garbagnate Rota su Bosisio (incisione-2015) .....42  
Figura 2.16 Villa Appiani Banfi Cantù.....43  
Figura 2.15 Aerofoto e legenda di Ville e corti principali .....43  
Figura 2.17 Villa Arnaboldi.....44  
Figura 2.18 Corte in via Pospagliaro .....44  
Figura 2.19 Passaggio verso casa Parini .....44  
Figura 2.20 A sinistra: G. Segantini, Ave Maria a

trasbordo, olio su tela, 1882. ....46

- Figura 2.21 Vista verso il Resegone .....48  
Figura 2.22 Vista da Garbagnate Rota su Bosisio ..48  
Figura 2.23 Vista panoramica dal parco Precampel in direzione nord-est (Pusiano) .....49  
Figura 2.24 Vista panoramica da Bosisio Parini in direzione sud-est .....49  
Figura 2.25 Recinzioni proprietà private dell'area Precampel.....50  
**Figura 2.25 - 2.26** ..... Fotografie del canneto sulla vista lago .....50  
Figura 2.27 Le dolci ondulazioni del terreno nel paese .....52  
Figura 2.28 Le leggere pendenze nel parco Precampel.....53  
Figura 2.29 Area Precampel a ridosso del lago ....54  
Figura 2.30 La difficile percezione del lago dal paese e l'indirizzo di nuovo intervento 56  
Figura 2.31 Situazione attuale.....56  
Figura 2.32 Indirizzo di nuovo intervento .....56

## UN PROGETTO PER IL PRECAMPEL

- Figura 3.1 L'involuzione del tessuto storico .....65  
Figura 3.2 Le problematiche legate alla mobilità .66  
Figura 3.3 La frammentarietà dell'area .....66  
Figura 3.5 L'attività sportiva del canottaggio dal Parco Precampel .....67  
Figura 3.4 A sinistra: aerofotogrammetrico dell'area e relative problematiche.....67  
Figura 3.7 Area di intervento ed edifici di progetto 68  
Figura 3.6 Casa Francesco e il parcheggio antistante .....68  
Figura 3.8 Palestra comunale .....69  
Figura 3.9 Villa Alba .....69  
Figura 3.10 Definizione di un'area di intervento unitaria.....70  
Figura 3.11 Soluzioni proposte per la mobilità .....71  
Figura 3.12 Il nuovo volume della palestra .....72  
Figura 3.13 Un atleta che pratica il wakeboard ....73  
Figura 3.14 Connessioni funzionali nell'area .....75  
**Figura 4.16** A destra e nella pagina a fianco:

	legenda e indicazioni complessive dell'intervento.....76	Figura 3.25 Riferimento progettuale .....84				
Figura 3.15	Le funzioni e i servizi offerti dall'area....76	Figura 3.26 Riferimento progettuale .....84		Figura 5.3	Il disegno della nuova tessitura in acciaio..... 160	
Figura 3.17	Nella pagina che precede: le destinazioni funzionali prevalenti nelle diverse aree .....79	Figura 3.27 Riferimento progettuale .....84		Figura 5.4	Il disegno della struttura esistente in CA 160	
Figura 3.19	Sopra: i tratti distintivi del disegno di masterplan, con una marcata connotazione funzionale.....79	Figura 3.28 Renzo Piano, Auditorium Pagaini, Parma 86		Figura 5.5	Nella pagina successiva: recupero della ex-Fornace di Riccione, Pietro Carlo Pellegrini ..... 160	
Figura 3.18	Sotto: il disegno degli spazi verdi e il loro flusso dal centro del paese fino alla grande apertura verso il lago .....79	Figura 3.29 High Trestle Trail Bridge, Central Iowa, USA .....86		Figura 5.6	Banca Popolare di Lodi, Renzo Piano . 162	
Figura 3.20	Sezione ambientale con funzioni e servizi 81	Figura 3.30 Pianta piano terra con indicazione di demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi) .....88		Figura 5.7	Banca Popolare di Lodi, Renzo Piano . 162	
Figura 3.21	Nella pagina successiva: il masterplan81	Figura 3.31 Pianta piano terra con indicazione di demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi) .....92		Figura 5.8	Biblioteca di Greve in Chianti, MDU... 163	
Figura 3.22	Sopra: riferimento per il disegno del verde nel parco.....84			Figura 5.9	Biblioteca di Greve in Chianti, MDU... 163	
Figura 3.23	Nella pagina che precede: riferimento progettuale per le panchine per gli skater; The High Line Park, New York....84			Figura 5.10	Court House Complex, Abu Dhabi..... 163	
Figura 3.24	A destra: riferimento progettuale per le sedute; supporto all'illuminazione notturna.....84			Figura 5.11	Headquarter Campari, Milano, Mario Botta..... 163	
		STATO DI FATTO		Figura 5.10	A destra: riferimento progettuale per le sedute; supporto all'illuminazione notturna..... 172	
		Figura 4.1 Nella pagina successiva: legenda delle schede di rilievo e sezione orizzontale con posizione delle camere e direzione dei coni ottici .....98		Figura 5.12	A destra: riferimento progettuale per le sedute; supporto all'illuminazione notturna ..... 172	
		IL PROGETTO ARCHITETTONICO		Figura 5.11	A destra: riferimento progettuale per le sedute; supporto all'illuminazione notturna..... 172	
		Figura 5.1 Nuova sede Probat Trockenbau & Ausbau, Ingolstadt, Germania ..... 158				
		Figura 5.2 Milstein Hall in Ithaca, USA, Oma..... 158				
					Figura 5.14	Pianta piano terra con indicazione demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi)..... 175
					Figura 5.13	Pianta piano primo con indicazione demolizioni e nuove costruzioni (gialli e rossi) ..... 175
					Figura 5.15	A destra: layout funzionale e relativa legenda ..... 189
					Figura 5.16	Sezione prospettica longitudinale..... 191
					Figura 5.17	Sezione prospettica trasversale ..... 193
						IL PROGETTO TECNOLOGICO
					Figura 6.1	Schema funzionamento delle lamelle in cotto .....216
					Figura 6.2	Biblioteca di Greve in Chianti, MDU Architetti .....217
					Figura 6.3	Esplso assonometrico delle parti che compongono le lamelle.....218
					Figura 6.4	Schema posizionamento dell'isolante..... 220
					Figura 6.5	Rappresentazione della stratigrafia di copertura .....221

Figura 6.6	Rappresentazione della stratigrafia in mattoni .....221	Figura 7.9	Schizzo con identificata la chiusura orizzontale CO_03 .....257	Figura 7.21	Impostazione delle stratigrafie in TRNBuild .....273	zone termiche con diversi valori di scambi d'aria.....284	
Figura 6.7	Rappresentazione della stratigrafia controterra .....222	Figura 7.10	Schizzo con identificata la chiusura orizzontale CO_04 .....257	Figura 7.22	Impostazione della presenza di persone in palestra .....274	Figura 7.36	Temperature operative nelle quattro zone termiche il 19 Luglio .....285
Figura 6.8	Composizione degli isolanti Celenit ...223	Figura 7.11	Grafico di comparazione dei risultati delle verifiche.....258	Figura 7.23	Impostazione della presenza di persone a scuola .....274	Figura 7.35	Temperature operative nelle quattro zone termiche il 16 Dicembre .....285
Figura 6.9	Isolanti utilizzati .....225	Figura 7.12	Modello dell'edificio nel software velux. Si notino le finestre da tetto sopra al campo da gioco.....262	Figura 7.24	Impostazione dei carichi interni in TRNBuild .....276	Figura 7.37	Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: la ventilazione.....288
<b>IL PROGETTO ENERGETICO</b>							
Figura 7.1	Schema procedimento di ottimizzazione dell'involucro .....245	Figura 7.13	Schema frangisole delle finestre da tetto d = interasse tra le lamelle .....264	Figura 7.25	Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: i carichi interni.....277	Figura 7.38	Analisi delle temperature con o senza ventilazione .....289
Figura 7.2	Schema casi studio .....249	Figura 7.14	Dalla sezione si nota la corretta illuminazione anche sul piano verticale 266	Figura 7.26	Impostazione dei serramenti in TRNBuild 278	Figura 7.39	Analisi delle temperature con o senza ventilazione in estate .....289
Figura 7.3	Schizzo con identificata la chiusura verticale CV_02 .....251	Figura 7.15	Schema parametri che possono essere studiati mediante le analisi dinamiche .267	Figura 7.27	Schermature scelte lato nord-est .....279	Figura 7.40	Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: gli impianti.....291
Figura 7.4	Schizzo con identificate le chiusure verticali CV_02 e CV_03 .....251	Figura 7.16	Piante piano terra, primo e secondo 269	Figura 7.28	Schermature e finestre scelte lato sud-ovest .....279	Figura 7.41	Impostazione dell'impianto di riscaldamento in TRNBuild .....292
Figura 7.5	Schizzo con identificata la chiusura verticale CV_04 .....253	Figura 7.18	Vista nord-est del modello 3d realizzato in Google SketchUp .....270	Figura 7.29	Impostazione delle schermature in TRNBuild .....280	Figura 7.42	Impostazione dell'impianto di raffrescamento in TRNBuild .....292
Figura 7.6	Schizzo con identificate le chiusure verticali CV_04 e CV_05 .....253	Figura 7.17	Vista sud-ovest del modello 3d realizzato in Google SketchUp .....270	Figura 7.30	Impostazione delle infiltrazioni in TRNBuild.281	Figura 7.43	Analisi delle temperature con o senza l'attivazione degli impianti .....293
Figura 7.7	Schizzo con identificate le chiusure orizzontali CO_01 e CO_02.....255	Figura 7.19	Impostazione di Trnsys con i types preimpostati .....271	Figura 7.31	Analisi delle temperature operative .282	Figura 7.44	Impostazione di Trnsys con in evidenza i parametri utilizzati: lo scambiatore di calore.....295
Figura 7.8	Schizzo con identificate le chiusure orizzontali CO_01 e CO_02.....255	Figura 7.20	Impostazione di TRNBuild.....272	Figura 7.32	Sezione trasversale con zone termiche indicate .....283		
				Figura 7.33	Sezione trasversale con scambi d'aria indicati .....284		
				Figura 7.34	Temperature operative nelle quattro		

Figura 7.45	Posizionamento delle tubazioni dello scambiatore di calore .....	297
Figura 7.46	Costo isolante nei casi studio.....	300
Figura 7.47	Fabbisogno di energia nei casi studio	300
Figura 7.48	Costo dell'energia nel tempo .....	302
Figura 7.49	Costo isolante+energia nei casi studio in 20 anni .....	303
Figura 7.50	Cash flow .....	303
Figura 7.51	Risparmio rispetto al CASO 0 (esistente).	304
Figura 7.52	Costo complessivo dell'intervento e dell'energia nella vita utile dell'edificio	305
Figura 7.53	Schema dell'impianto tecnologico ..	307
Figura 7.54	Caldaia a condensazione .....	309
Figura 7.55	Struttura dei pannelli solari sottovuoto	310
Figura 7.56	Schema di funzionamento dei pannelli solari .....	311
Figura 7.57	Funzionamento del serbatoio di accumulo .....	312
Figura 7.58	Schema e fotografia di un destratificatore .....	314
Figura 7.59	Schema di una unità di trattamento dell'aria .....	316
Figura 7.60	Esempio di fotovoltaico su copertura	

	piana .....	317
Figura 7.61	Pianta piano terra con evidenziati gli spogliatoi .....	324
IL PROGETTO STRUTTURALE		
Figura 8.1	A pagina seguente: piante strutturali esistenti. In alto: piano terra; in basso: piano primo.....	334
Figura 8.2	Sviluppo del sistema strutturale illustrato per passi progressivi, dalla struttura esistente al progetto finito.....	337
Figura 8.3	Sopra: Sezione strutturale DD. La campitura grigia indica strutture esistenti, quella nera la nuova costruzione .....	338
Figura 8.4	A pagina seguente: Pianta strutturale del piano terra. ....	338
Figura 8.5	Sopra: Sezione strutturale AA .....	340
Figura 8.6	A pagina seguente: Pianta strutturale del piano primo .....	340
Figura 8.7	Sopra: vista tridimensionale renderizzata della struttura di collegamento tra la palestra ed il complesso scolastico,	

	composta da due travi reticolari Warren affiancate e collegate da profili IPE ..	342
Figura 8.8	A pagina seguente: Pianta strutturale del piano secondo. Viene evidenziata la struttura, realizzata con travi reticolari tipo Warren, nel tratto di collegamento in quota tra la palestra e l'edificio scolastico.....	342
Figura 8.9	Spaghetti bridge, Peter Sándor .....	344
Figura 8.10	Sezione prospettica in cui è possibile apprezzare la posizione delle travi reticolari.....	345
Figura 8.11	Vista del sistema strutturale di copertura	345
Figura 8.12	Trave reticolare tipo Pratt.....	346
Figura 8.13	Vista laterale della vecchia disposizione di montanti e diagonali (scala 1:200) .	346
Figura 8.14	Vista laterale della nuova disposizione di montanti e diagonali (scala 1:200) ....	346
Figura 8.15	Base di appoggio in legno (misure in cm, profondità 24,9 cm) .....	347
Figura 8.16	Vista laterale della geometria. In nero la geometria della trave, in rosso gli appoggi.....	348

Figura 8.17	La struttura completa in una vista 3d. In nero la geometria della trave reticolare, in rosso gli appoggi. Si notino l'orditura secondaria tra i correnti superiori e i controventi tra quelli inferiori .....	349
Figura 8.18	Esploso semplificato della geometria adottata. In nero la geometria della trave, in rosso gli appoggi. ....	350
Figura 8.19	Fase 1: assemblaggio dei correnti .....	352
Figura 8.20	Fase 2: unione dei correnti.....	352
Figura 8.21	Fase 4: montaggio di montanti e diagonali .....	353
Figura 8.22	Fase 7: unione delle due travi.....	353
Figura 8.23	Sistema di aggancio dell'estremo a quota inferiore .....	356
Figura 8.24	Vista 2d da Sap2000: schema dei vincoli.....	357
Figura 8.25	Vista 3d da Sap2000: schema dei vincoli.....	357
Figura 8.26	Pannello Proprietà del materiale, Sap2000. Specifiche del materiale pasta utilizzato .....	358

Figura 8.27	Rappresentazione 3d del cuneo per la posa delle piastre di carico sulla struttura reticolare .....360	reticolare .....379
Figura 8.28	Il cuneo stampato in 3D: vista laterale. Si noti lo strato morbido incollato nella parte inferiore .....361	Figura 8.40
Figura 8.29	Il cuneo stampato in 3D: vista dall'alto.361	Sopra: inquadra il QR code con la fotocamera con apposita App per vedere il video .....380
Figura 8.30	Il cuneo stampato in 3D: vista dal basso361	Figura 8.41
Figura 8.31	Il cuneo durante il processo di stampa 3D .....361	A destra: Locandina del concorso Spaghetti and Structures 2015/2016 ..380
Figura 8.32	La prova di carico: il cuneo sostiene le piastre .....361	Figura 8.42
Figura 8.33	Sap2000 : deformata per un carico di 3000 g .....362	CO_02 Abaco di copertura .....383
Figura 8.34	Sap2000: azioni interne per un carico di 3000 g. ....362	Figura 8.43
Figura 8.35	A sinistra, sopra: esecuzione della prova.....373	Azione della neve per coperture a una falda.....385
Figura 8.36	A sinistra, sotto: la trave dopo il collasso.373	Figura 8.44
Figura 8.37	Errore geometrico nel calcolo del carico critico .....375	Il sistema reticolare di copertura, con l'orditura secondaria in evidenza .....387
Figura 8.38	La cerimonia di premiazione .....379	Figura 8.45
Figura 8.39	Il gruppo di tesi con la struttura	Schema di carico orditura secondaria.387
		Figura 8.46
		La sezione scelta per l'orditura secondaria .....388
		Figura 8.47
		Classificazione delle sezioni: estratto della Tabella 4.2.III del D.M 14/01/2008..389
		Figura 8.48
		Aree di influenza. A=travi secondarie, B=nodo con secondarie, C=nodo semplice .....392
		Figura 8.49
		Punti di applicazione dei carichi .....392
		Figura 8.50
		La geometria del modello di trave importato in Sap2000 da AutoCad, composta intermanente da elementi

	frame.....393	Sud; sotto: Prospetto Nord.....413
Figura 8.51	Vista estrusa esportata da Sap2000, nella quale sono visibili le diverse sezioni degli elementi .....394	Figura 9.4
Figura 8.52	Pannello proprietà del materiale: Acciaio s275 .....394	Disarticolazione spaziale: A sinistra: disarticolazione spaziale della palestra esistente A destra: disarticolazione spaziale della nuova palestra.....417
Figura 8.53	Diagramma delle azioni interne in Sap2000, giallo = trazione, rosso = compressione.....396	Figura 9.5
Figura 8.54	Identificazione degli elementi della trave reticolare: c = correnti; d = diagonali; m = montanti.....397	Vista d'insieme del sistema di copertura 421
Figura 8.55	Fattore di imperfezione: estratto da Tabella 4.2.VI del D.M 14/01/2008 ..... 400	Figura 9.6
Figura 8.56	Esempio di unione saldata: nodo a N402	Vista di dettaglio del sistema di copertura .....421
IL PROGETTO ERGOTECNICO		
Figura 9.1	Rappresentazione grafica WBS: palastra esistente, piano terra .....412	Figura 9.7
Figura 9.2	Rappresentazione grafica WBS: palastra esistente, piano primo .....412	Sistema di copertura prefabbricato Larco System: viste ortogonali delle travi tipo pi greco .....422
Figura 9.3	Rappresentazione grafica WBS: palastra esistente, sopra: Prospett	Figura 9.8
		Coppella nervata Q1, estratto da disegno esecutivo del sistema Larco System (Magnetti) .....423
		Figura 9.9
		Coppella nervata Q2, estratto da disegno esecutivo del sistema Larco System (Magnetti) .....423
		Figura 9.10
		Raggio operativo dell'escavatore munito di pinza idraulica da demolizione.....424
		Figura 9.11
		Parapetto di Classe A secondo la norma UNI EN 795, dettaglio costruttivo .....425



Figura 9.12	Logica di rimozione delle coppelle nervate della copertura .....427	prospetto Nord della palestra esistente 444	
Figura 9.13	Rimozione delle coppelle nervate: schema delle portate di sollevamento di un'autogru da 35 t.....429	Figura 9.22	Schema per il puntellamento della muratura.....445
Figura 9.14	Schema di aggancio per la movimentazione aerea delle coppelle nervate ( $\alpha < 30^\circ$ ) .....430	Figura 9.23	Ordine e disposizione dei tagli strutturali da effettuare per rimuovere la trave di coronamento.....446
Figura 9.15	Schema di aggancio per la movimentazione aerea delle travi tipo pi greco .....430	Figura 9.24	Raggi operativi di un escavatore munito di braccio triplice e pinza demolitrice...447
Figura 9.16	Rimozione delle travi tipo pi greco: schema delle portate di sollevamento di un'autogru da 220 t.....431	Figura 9.25	Schema di aggancio dei conci di trave 449
Figura 9.17	Modalità di disposizione delle travi tipo pi greco per lo stoccaggio temporaneo in cantiere .....433	Figura 9.26	Rimozione trave di coronamento: schema delle portate di sollevamento di un'autogru da 35 t.....450
Figura 9.18	GANTT della rimozione del sistema di copertura .....442	Figura 9.27	GANTT della demolizione della chiusura verticale Nord CV_01 .....459
Figura 9.19	Vista della chiusura verticale CV 01...443	Figura 9.28	Inghisaggio delle barre: un passaggio della lavorazione .....460
Figura 9.20	Fotoraddrizzamento della chiusura verticale.....443	Figura 9.29	Schema per la foratura dei pilastri esistenti da 0 a 8 metri di quota .....464
Figura 9.21	Disarticolazione tecnologica WBS del	Figura 9.30	Metodologia per le operazioni di soffaggio da eseguire sui fori .....465

Figura 9.32	Metodologia per le operazioni di	inghisaggio delle barre di acciaio inox nei fori .....466	
Figura 9.33	fungo di protezione ferri in propilene rosso ad alta visibilità .....466	Figura 9.34	Divisione dei pilastri in 3 fasce: A (centrale), B (inferiore), C (superiore).474
Figura 9.35	GANTT per lavorazioni eseguite pilastro per pilastro.....475	Figura 9.35	GANTT per lavorazioni eseguite per fasce: 1 piattaforma elevatrice, 1 squadra operativa, 1 perforatore .....475
Figura 9.36	GANTT per lavorazioni eseguite per fasce: 1 piattaforma elevatrice, 1 squadra operativa, 1 perforatore .....475	Figura 9.36	GANTT per lavorazioni eseguite per fasce: 1 piattaforma elevatrice, 2 squadre operative, 2 perforatori .....475
Figura 9.37	GANTT per lavorazioni eseguite per fasce: 1 piattaforma elevatrice, 2 squadre operative, 2 perforatori .....475	Figura 9.37	GANTT per lavorazioni eseguite per fasce: 1 piattaforma elevatrice, 2 squadre operative, 2 perforatori .....475
Figura 9.38	Estratto da PGT: inquadramento del contesto in cui è sito il cantiere .....477	Figura 9.38	Estratto da PGT: inquadramento del contesto in cui è sito il cantiere .....477
Figura 9.39	Estratto da PGT: caratteristiche del terreno .....479	Figura 9.39	Estratto da PGT: caratteristiche del terreno .....479
Figura 9.40	Vincoli aerei nei pressi del cantiere ...480	Figura 9.40	Vincoli aerei nei pressi del cantiere ...480

# INDICE DELLE TABELLE

INTRODUZIONE.....	23	scelta di tre casi studio .....	250	analisi illuminotecniche svolte sui due modelli, a confronto con i valori richiesti da normativa. Verde = valore accettabile Rosso = valore non accettabile.....	266	IL PROGETTO STRUTTURALE .....	331
ANALISI DEL CONTESTO .....	29	Tabella 7.4 Analisi statiche sulla chiusura CV_04 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio .....	252	Tabella 7.11 Impostazione dei carichi interni.....	275	Tabella 8.1 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 3000 g...364	
UN PROGETTO PER IL PRECAMPEL .....	63	Tabella 7.5 Analisi statiche sulla chiusura CV_05 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio .....	252	Tabella 7.12 Caratteristiche dei serramenti scelti...	278	Tabella 8.2 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 4000 g...366	
STATO DI FATTO.....	97	Tabella 7.6 Analisi statiche sulla chiusura CO_01 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio .....	254	Tabella 7.13 Caratteristiche ambientali dei locali..	286	Tabella 8.3 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 5000 g...366	
IL PROGETTO ARCHITETTONICO .....	153	Tabella 7.7 Analisi statiche sulla chiusura CO_02 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio .....	254	Tabella 7.14 Analisi di fabbisogno e costo dell'isolante nei diversi casi studio.....	300	Tabella 8.4 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 6000 g...366	
IL PROGETTO TECNOLOGICO .....	203	Tabella 7.8 Analisi statiche sulla chiusura CO_03 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio .....	256	Tabella 7.15 Risparmio rispetto al CASO 0 (esistente)..	304	Tabella 8.5 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 7000 g...367	
IL PROGETTO ENERGETICO .....	243	Tabella 7.9 Analisi statiche sulla chiusura CO_04 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio .....	256	Tabella 7.16 Costo complessivo di intervento e energia .....	305	Tabella 8.6 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 8000 g...367	
Tabella 7.1 Verifica prestazioni da DM 26/06/2009 ...	248	Tabella 7.10 Riepilogo dei risultati ottenuti dalle		Tabella 7.17 Caso studio 1 combinazione di isolanti scelti .....	306	Tabella 8.7 Carico critico euleriano su diversi	
Tabella 7.2 Analisi statiche sulla chiusura CV_02 cambiando lo spessore dell'isolante e scelta di tre casi studio .....	250			Tabella 7.18 Calcolo del fabbisogno per il riscaldamento e il raffrescamento, calcolato in modo statico.....	323		
Tabella 7.3 Analisi statiche sulla chiusura CV_03 cambiando lo spessore dell'isolante e							

elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 9000 g...367	CO_02.....383
Tabella 8.8 Confronto tra le prestazioni attese da progetto e quelle raggiunte durante la prova di carico .....374	Tabella 8.15 Combinazioni di carico agli stati limite .... 386
Tabella 8.9 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con valori di L corretti (si osservino i valori indicati in cosivo) e carico applicato pari a 7000 g. ....376	Tabella 8.16 Valori da normativa dei coefficienti $\Psi$ .... 386
Tabella 8.10 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 8000 g...377	Tabella 8.17 Valori da normativa dei coefficienti $\gamma_{F,386}$
Tabella 8.11 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 9000 g...377	Tabella 8.18 Dati e risultati della verifica dell'orditura secondaria allo SLE .....389
Tabella 8.12 Carico critico euleriano su diversi elementi per diverse tipologie di vincolo, con carico applicato pari a 10 000 g 377	Tabella 8.19 Carichi agenti sui nodi della trave reticolare .....393
Tabella 8.13 Estratto degli esiti del concorso Spaghetti & Structures 2015/2016.....378	Tabella 8.20 I risultati numerici della verifica a trazione sui correnti della reticolare, profilo $\Phi$ 193,7/5 .....398
Tabella 8.14 Calcolo dei carichi permanenti indotti dal pacchetto tecnologico di copertura	Tabella 8.21 I risultati numerici della verifica a trazione sui diagonali della reticolare, profilo $\Phi$ 88,9/3,2 .....398
	Tabella 8.22 Parametri calcolati ai fini della verifica di stabilità dei profili.....401
	Tabella 8.23 Verifica di stabilità dei correnti compressi .....401
	Tabella 8.24 Verifica di stabilità dei montanti compressi .....401

IL PROGETTO ERGOTECNICO .....405	436
Tabella 9.1 Disarticolazione tecnologica WBS della palestra comunale esistente allo stato di fatto.....411	Tabella 9.11 Calcoli per la determinazione del costo della rimozione delle coppelle nervate .. 436
Tabella 9.3 WBS: piano terra palestra esistente....412	Tabella 9.12 Analisi prezzi: demolizione cordolo di coronamento in CA .....437
Tabella 9.4 WBS: piano primo palestra esistente ..412	Tabella 9.13 Analisi prezzi: rimozione finitura in ghiaietto .....438
Tabella 9.5 WBS: Prospetti palestra esistente .....413	Tabella 9.14 Analisi prezzi: rimozione manto impermeabilizzante .....439
Tabella 9.2 Disarticolazione tecnologica WBS della palestra di progetto. NB: per le rappresentazioni grafiche cfr. tavole 416	Tabella 9.15 Analisi prezzi: rimozione coppelle nervate .....440
Tabella 9.6 Disarticolazione spaziale .....417	Tabella 9.16 Analisi prezzi: rimozione travi tipo pi greco .....441
Tabella 9.7 Calcoli per la determinazione del costo della demolizione del cordolo di coronamento in CA .....434	Tabella 9.17 Tabella riassuntiva del costo totale della lavorazione.....441
Tabella 9.8 Calcoli per la determinazione del costo della rimozione della finitura in ghiaietto (pagina seguente, colonna sinistra) ..434	Tabella 9.18 Calcoli per la determinazione del costo della demolizione della chiusura verticale Nord .....452
Tabella 9.9 Calcoli per la determinazione del costo della rimozione del manto impermeabilizzante (pagina seguente, colonna destra) .....434	Tabella 9.19 Calcoli per la determinazione del costo dei tagli strutturali per rimuovere la trave di coronamento .....453
Tabella 9.10 Calcoli per la determinazione del costo della rimozione delle travi tipo pi greco..	Tabella 9.20 Calcoli per la determinazione del costo

della demolizione con pinza idraulica demolitrice delle strutture.....	453	esistenti .....	469
Tabella 9.21 Analisi prezzi: demolizione tamponamento in laterizio.....	454	Tabella 9.32 Analisi prezzi: pulitura dei fori per l'inghisaggio .....	470
Tabella 9.22 Analisi prezzi: rimozione travi di coronamento.....	455	Tabella 9.33 Analisi prezzi: pulitura della superficie del pilastro .....	471
Tabella 9.23 Analisi prezzi: demolizione travi intermedie .....	456	Tabella 9.34 Analisi prezzi: inghisaggio delle bare di armatura nei pilastri esistenti in CA ....	473
Tabella 9.24 Analisi prezzi: demolizione pilastri .....	457	Tabella 9.35 Tabella riassuntiva del costo totale della lavorazione.....	473
Tabella 9.25 Analisi prezzi: demolizione pilastri .....	458	CONCLUSIONI.....	503
Tabella 9.26 Tabella riassuntiva del costo totale della lavorazione.....	458	BIBLIOGRAFIA.....	506
Tabella 9.27 Calcoli per la determinazione del costo della foratura dei pilastri.....	467	APPENDICE - PLASTICO E STAMPA 3D .....	510
Tabella 9.28 Calcoli per la determinazione del costo della pulitura dei pilastri.....	467	INDICE DELLE FIGURE.....	514
Tabella 9.29 Calcoli per la determinazione del costo di inghisaggio delle barre di armatura ....	468	INDICE DELLE TABELLE .....	528
Tabella 9.30 Calcoli per la determinazione del costo della pulitura della superficie dei pilastri .	468	INDICE DELLE TAVOLE .....	540
Tabella 9.31 Analisi prezzi: foratura dei pilastri in CA		RINGRAZIAMENTI .....	542

# INDICE DELLE TAVOLE

## ANALISI

### IL TERRITORIO

- A01 Inquadramento territoriale
- A02 Parchi naturali
- A03 Connessioni

### LA STORIA

- A04 Evoluzione del costruito
- A05 La conservazione dell'immagine storica
- A06 Caratteri del tessuto storico Ville e corti
- A07 Caratteri del tessuto storico Pieni e vuoti
- A08 La memoria culturale e artistica

### IL PAESAGGIO

- A09 La carta dei vincoli
- A10 La zona costiera
- A11 Il canneto e il parco Precampel
- A12 L'abitato
- A13 Le ondulazioni del terreno

- A14 I paesaggi rurali
- A15 Gli indirizzi di gestione del paesaggio

### PERCORSI E SERVIZI

- A16 Analisi di Lynch
- A17 Servizi, eventi ed attività sportive e culturali
- A18 Mobilità interna

## RILIEVO

- R01 Rilievo metrico materico pianta piano terra
- R02 Rilievo metrico materico pianta piano primo
- R03 Rilievo metrico materico pianta piano secondo
- R04 Rilievo metrico prospetti nord e sud
- R05 Rilievo metrico prospetti est e ovest
- R06 Rilievo metrico sezioni AA' BB' CC'
- R07 Rilievo materico prospetti nord e sud
- R08 Rilievo materico prospetti est e ovest
- R09 Rilievo del degrado prospetti nord e sud

- R10 Rilievo del degrado prospetti est e ovest

### SCHEDE TECNICHE

- T01 Catalogazione del degrado
- T02 Albero degli errori
- T03 Catalogazione del degrado
- T04 Albero degli errori
- T05 Albero degli errori
- T06 Catalogazione del degrado
- T07 Albero degli errori
- T08 Albero degli errori
- T09 Catalogazione del degrado
- T10 Albero degli errori
- T11 Albero degli errori
- T12 Catalogazione del degrado
- T13 Albero degli errori

## RILIEVO TECNOLOGICO

- T14 Sezione trasversale AA
- T15 Sezione Longitudinale BB
- T16 Sezione trasversale AA
- T17 Sezione Longitudinale BB

## SCHEDE DI INTERVENTO

- I01 Scheda di intervento
- I02 Scheda di intervento
- I03 Scheda di intervento
- I04 Scheda di intervento
- I05 Scheda di intervento

**PROGETTO ARCHITETTONICO**

- P01 Strategia di intervento
- P02 Masterplan
- P03 Pianta piano terra
- P04 Pianta piano primo
- P05 Pianta piano secondo
- P06 Prospetti e sezioni
- P07 Rendering
- P08 Prospetti e sezioni
- P09 Rendering
- P10 Prospetti e sezioni
- P11 Rendering

**VERIFICHE NORMATIVE**

- V01 Verifiche accessibilità piano terra
- V02 Verifiche accessibilità piano primo
- V03 Verifiche accessibilità piano secondo
- V04 Verifiche antincendio piano terra
- V05 Verifiche antincendio piano primo
- V06 Verifiche antincendio piano secondo

**PROGETTO TECNOLOGICO**

- T18 Verifiche prestazionali chiusure orizzontali
- T19 Verifiche prestazionali chiusure orizzontali
- T20 Verifiche prestazionali chiusure e partizioni orizzontali
- T21 Verifiche prestazionali chiusure verticali
- T22 Verifiche prestazionali chiusure verticali
- T23 Verifiche prestazionali chiusure verticali
- T24 Verifiche prestazionali partizioni verticali
- T25 Blow up prospetto sud
- T26 Nodo 1 Blow up sud
- T27 Nodo 2 Blow up sud
- T28 Sezione esistente e di nuova costruzione
- T29 Blow up prospetto ovest
- T30 Nodo 3 Blow up ovest
- T31 Nodo 4 Blow up ovest
- T32 Schematic design
- T33 Schema impiantistico
- T34 Analisi illuminotecniche
- T35 Strutturale palestra edificio esistente
- T36 Strutturale palestra sviluppo progettuale
- T37 Strutturale palestra piano terra

- T38 Strutturale palestra piano primo
- T39 Strutturale palestra piano secondo
- T40 Strutturale palestra sezioni e dettagli
- T41 Accessibilità al cantiere e vincoli sul percorso
- T42 Vincoli di contesto
- T43 Layout di cantiere interazione con il centro urbano
- T44 Layout di cantiere rimozione strutture di copertura
- T45 Layout di cantiere rimozione strutture di copertura
- T46 Layout di cantiere demolizione chiusura verticale nord
- T47 Layout di cantiere scavi fase 1
- T48 Layout di cantiere scavi fase 2

