

# POLITECNICO DI MILANO

Polo Regionale di Lecco



**Scuola di Ingegneria Edile – Architettura**  
**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile – Architettura**

## CENTRO SPORTIVO GARLATESE

*Proposta di riqualificazione del Centro Sportivo Pratogrande e dell'area urbana  
circostante*

Relatore: Prof. Arturo MONTANELLI  
Co-Relatori: Prof. Matteo COLOMBO  
Dott. Ing. Amalia VIVIAN

Tesi di Laurea di:  
Roberto ZANZANI Matr. 669415  
Monica ZEMA Matr. 669018

Anno Accademico 2011-2012



# INDICE GENERALE

CAPITOLO 1 - INTRODUZIONE .....	pag.	1
CAPITOLO 2 - ANALISI DELL'AREA .....	pag.	9
2.1 Parametri urbanistici e vincoli .....	pag.	9
2.2 Dati climatici .....	pag.	10
2.3 Funzioni simili .....	pag.	13
2.4 Viabilità .....	pag.	17
2.5 Verde .....	pag.	23
2.6 Uso del suolo .....	pag.	31
2.7 Soglie storiche di edificazione .....	pag.	37
2.8 Viste e contesto paesaggistico .....	pag.	41
CAPITOLO 3 - STATO DI FATTO .....	pag.	45
3.1 Storia .....	pag.	45
3.2 Rilievi .....	pag.	55
3.2.1 Rilievo fotografico .....	pag.	55
3.2.2 Rilievo geometrico-materico .....	pag.	59
3.2.3 Rilievo tecnologico .....	pag.	89
3.2.4 Rilievo del degrado .....	pag.	107
3.3 Strumenti diagnostici .....	pag.	131
3.3.1 Alberto degli errori .....	pag.	131
3.3.2 Albero diagnostico .....	pag.	143
3.3.3 Scheda di prediagnosi .....	pag.	153
3.3.4 Scheda tecnica d'intervento .....	pag.	165
CAPITOLO 4 - ARCHITETTONICO .....	pag.	173
4.1 Scelte architettoniche e compositive .....	pag.	173
4.2 Scelte funzionali e spaziali .....	pag.	183
4.3 Accessibilità ai diversamente abili .....	pag.	227
4.4 Sicurezza al fuoco .....	pag.	233



CAPITOLO 5 - TECNOLOGICO .....	pag. 243
5.1 Pacchetti tecnici: descrizione e verifica delle prestazioni .....	pag. 243
5.2 Sezioni tecnologiche .....	pag. 271
CAPITOLO 6 - STRUTTURALE .....	pag. 287
6.1 Introduzione .....	pag. 287
6.2 Azioni sulla costruzione .....	pag. 287
6.2.1 Carichi permanenti non strutturali [g <sub>2</sub> ,k] .....	pag. 287
6.2.2 Carichi variabili [q <sub>k</sub> ] .....	pag. 291
6.2.3 Azione sismica .....	pag. 292
6.2.4 Azione del vento .....	pag. 293
6.2.5 Azione della neve .....	pag. 298
6.3 Dimensionamento elementi caratteristici .....	pag. 300
6.3.1 Dimensionamento solaio in lamiera grecata interpiano .....	pag. 301
6.3.2 Dimensionamento dei profili di orditura secondaria .....	pag. 302
6.3.2.1 Verifiche agli stati limite di esercizio .....	pag. 304
6.3.2.2 Verifiche agli stati limite ultimi .....	pag. 306
6.3.3 Dimensionamento dei profili di orditura primaria .....	pag. 310
6.3.3.1 Verifiche agli stati limite di esercizio .....	pag. 311
6.3.3.2 Verifiche agli stati limite ultimi .....	pag. 312
6.3.4 Dimensionamento degli elementi di copertura .....	pag. 313
6.3.5 Dimensionamento pilastro centrato .....	pag. 313
6.3.5.1 Verifiche agli stati limite ultimi .....	pag. 315
6.3.6 Dimensionamento trave reticolare di copertura .....	pag. 317
6.3.6.1 Verifiche di resistenza .....	pag. 318
6.3.6.2 Verifiche di deformazione .....	pag. 318
6.3.7 Dimensionamento elementi di copertura in legno lamellare .....	pag. 319
6.3.8 Dimensionamento copertura esterna in TRC .....	pag. 321
6.3.8.1 Matrice Cementizia .....	pag. 323
6.3.8.2 Fibre .....	pag. 324
6.3.8.3 Interfaccia Fibra-Matrice .....	pag. 329
6.3.8.4 Meccanica della frattura del <i>FRC</i> .....	pag. 330
6.3.8.5 Meccanismi di rottura .....	pag. 332
6.3.8.6 Comportamento Meccanico del <i>FRC</i> .....	pag. 335
6.3.8.7 Normative di riferimento e modelli costitutivi .....	pag. 338



6.3.8.8 <i>Textile reinforced concrete (TRC)</i> .....	pag. 352
6.3.8.8.1 Reti di fibre ( <i>Textile</i> ) .....	pag. 353
6.3.8.8.2 Matrice cementizia .....	pag. 354
6.3.8.8.3 Comportamento fessurativo e meccanico del <i>TRC</i> .....	pag. 355
6.3.8.8.4 Durabilità .....	pag. 360
6.3.8.9 Analisi agli Elementi Finiti .....	pag. 363
6.4 Connessioni con le strutture esistenti .....	pag. 381
6.5 Considerazioni ergotecniche sulla realizzazione delle strutture .....	pag. 383
CAPITOLO 7 - IMPIANTISTICO .....	pag. 389
7.1 Stima degli apporti di calore .....	pag. 389
7.1.1 Carico termico invernale .....	pag. 389
7.1.1.1 Stima dispersioni di calore per trasmissione .....	pag. 390
7.1.1.2 Stima dispersioni di calore per ventilazione .....	pag. 391
7.1.2 Carico termico estivo .....	pag. 400
7.1.2.1 Carico termico per irraggiamento .....	pag. 401
7.1.2.2 Carico termico trasmissione .....	pag. 402
7.1.2.3 Carico termico per ventilazione .....	pag. 403
7.1.2.4 Carichi interni .....	pag. 403
7.2 Dimensionamento dei sottosistemi impiantistici .....	pag. 407
7.2.1 Impianto climatizzazione tutt'aria .....	pag. 407
7.2.1.1 Dimensionamento nel periodo invernale .....	pag. 408
7.2.1.2 Dimensionamento nel periodo estivo .....	pag. 409
7.2.1.3 Terminali di distribuzione dell'aria .....	pag. 424
7.2.2 Calcolo del fabbisogno termico delle vasche .....	pag. 425
7.3 Produzione del calore e conclusioni .....	pag. 427
CONCLUSIONI .....	pag. 433
BIBLIOGRAFIA .....	pag. 435
INDICE DEGLI ELABORATI .....	pag. 437
RINGRAZIAMENTI .....	pag. 441



# ABSTRACT

Il tema di questa Tesi di Laurea, scaturito dal bando di concorso uscito nell'A.A. 2009/10, nell'ambito del Corso di Recupero e Conservazione degli edifici, è quello di proporre un'ipotesi progettuale per l'ampliamento e la riqualificazione del Centro sportivo Pratogrande, oltre che dell'adiacente parco comunale, comprendente una palestra di uso pubblico.

L'obiettivo è stato quello di cercare di creare un complesso il più possibile rispettoso, in tutti i suoi aspetti (formali, funzionali, tecnologici), e ben inserito rispetto alla circostante area verde. L'orizzonte si è poi esteso a tutta l'area limitrofa, proponendo una risistemazione dell'intorno urbano nel suo complesso.

La tesi si articola in tre macro sezioni: la prima di tipo introduttivo - analitico, in cui ad un'iniziale parte preliminare, comprendente anche la descrizione del bando di concorso (cap. 1), segue una sezione di indagini, dove vengono dapprima studiati gli aspetti ambientali, antropici ed urbanistici del sito di progetto (cap. 2) e, quindi, sono analizzati, al fine di prenderne completa coscienza, tutti gli edifici ed i fabbricati presenti sul luogo (cap. 3).

La seconda sezione di tesi, contenente il progetto vero e proprio, nasce dalla sintesi critica giunta alla fine della prima, consentendo, successivamente, di formulare le prime ipotesi progettuali, approdando ad un progetto architettonico compiuto (cap. 4). In particolar modo, in questo stadio, sono state esplicitate e concretizzate tutte le istanze funzionali e, soprattutto, formali che hanno costituito le linee guida per il prosieguo della tesi. Dalla volontà di andare a creare un'identità attraverso un segno grafico forte e riconoscibile -che trova forma in una copertura dal profilo organico e curvilineo- sono scaturite poi tutte le successive fasi di analisi ed approfondimento, necessarie a conseguire tale obiettivo.

Di seguito al progetto architettonico è stato sviluppato (cap. 5) quello tecnologico: in quest'ambito, nell'ottica di alta efficienza energetica e basso impatto ambientale, oltre che nel rispetto della normativa vigente, sono state definite ed adottate tutte le soluzioni conformi per gli elementi tecnici che compongono gli edifici di progetto, esplicitate attraverso la definizione delle stratigrafie di chiusure e partizioni. Sono stati poi definiti ed analizzati nel dettaglio i particolari costruttivi e le sezioni tecnologiche di maggior interesse.



La terza ed ultima sezione consiste nello sviluppo degli approfondimenti degli aspetti ritenuti di maggior interesse. In particolar modo il capitolo 6, riguardante gli elementi strutturali del progetto, rappresenta il vero e proprio *core* di questa tesi; successivamente ad una prima parte, dove, a seguito della definizione dei carichi agenti, vengono dimensionate e verificate le varie tipologie di elementi strutturali presenti nell'edificio (pilastri, travi, solai, etc.), segue una sezione in cui viene prospettata una soluzione tipologica innovativa per l'esecuzione della copertura curvilinea di cui sopra: successivamente ad una serie di ricerche ed indagini si è scelto di realizzarla in *Textile Reinforced Concrete* (TRC). Vengono quindi descritte proprietà fisiche e comportamento meccanico di questo materiale, le normative cui fa riferimento ed i suoi modelli costitutivi. Di seguito si è poi passati, attraverso l'ausilio di un software per l'analisi ad elementi finiti (F.E.A.), al dimensionamento vero e proprio della copertura, giungendo, nel dettaglio, alla caratterizzazione -ovvero alla definizione della sua classe- del calcestruzzo utilizzato. Da ultimo sono state condotte tutte le necessarie verifiche.

Infine, il capitolo 7 è dedicato all'aspetto impiantistico: dopo aver preventivamente determinato analiticamente (sia per la fase invernale che per quella estiva) i carichi termici presenti nelle varie parti dell'edificio, si è passati, in seguito ad opportune considerazioni e scelte progettuali, al dimensionamento delle unità di trattamento dell'aria necessarie al riscaldamento/climatizzazione dell'edificio.

Viene, infine, prospettata un'ipotesi, nell'ottica del rispetto ambientale e del risparmio energetico, sulla modalità di produzione del calore necessario al funzionamento di tali impianti.



# ABSTRACT

The theme of this thesis, emerged from the announcement came out in AY 2009/10, as part of the Recupero e Conservazione degli edifici Course, is to propose a hypothesis for the expansion project and the redevelopment of the Pratogrande Sports Centre, as well as the adjacent city park, including a gym for public use .

The aim was to try to create a complex of buildings as respectful as possible, in all its aspects (formal, functional, technological), to the surrounding green area. The horizon has then been extended to the entire neighbouring area, proposing a reorganization of the surrounding city context.

The thesis is divided into three main sections: the first is introductory and analytical: there is an initial preliminary part, including the description of the competition (Chapter 1), followed by a section of investigations, where first environmental, anthropogenic and urban aspects of the project site are studied (Chapter 2) and, therefore, are analyzed, in order to take full consciousness, all buildings and buildings on the site (Chapter 3).

The second section of the thesis, containing the main project, follows from the critical synthesis reached at the end of the first, allowing then to give initial design assumptions, arriving at a completed architectural project (Chapter 4). In particular, at this stage, all the functional and, above all, formal instances, which constituted the guidelines for the remainder of the thesis, have been spelled out and implemented. The desire to create a strong identity through a graphic and recognizable form -finding consistency in the curvilinear roofing- has resulted in all successive stages of processing and investigation, necessary to achieve this objective.

Below the architectural design the technological (Chapter 5) was developed: in this context, with the aim of high energy efficiency and low environmental impact, as well as in accordance with local regulations, all the solutions for the technical elements that make up the buildings of the project have been developed and adopted, explained through the definition of stratigraphic closures and partitions. The construction details and the most interesting technological sections were then defined and analyzed in detail.

The third and final section is the development of deepening of the aspects of major interest. Chapter 6 in particular, concerning the structural elements of the project, represents the real core of this thesis; after a first part, where, following the definition of



the loadings, the various types of structural elements in the building (columns, beams, floors, etc..) are dimensioned and verified, there is a section in which an innovative typological solution for the implementation of curvilinear roofing is proposed: after a series of researches and investigations it was decided to achieve it through Textile Reinforced Concrete (TRC). Then all physical properties and mechanical behaviour of this material, the regulations referred to and its constitutive models are described. After this, through the aid of a software for the finite element analysis (FEA), the dimensioning of the actual roofing is done, reaching, in detail, to the characterization - meaning the ascertain of its class- of the concrete being used. Finally were carried out any checks required.

Finally, Chapter 7 is devoted to the plant project: after having previously determined (both during the winter and for the summer) the heat loads in the various parts of the building, we moved, due to consideration and design choices , the dimensioning of the air handling units, which are necessary to heating / air-conditioning of the building.

A hypothesis, in perspective of environmental and energy conservation, of the mode of production of heat necessary for the operation of such facilities is finally proposed.





# CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE

*In questo capitolo viene introdotto per sommi capi il tema di questa Tesi di Laurea, il concorso da cui è scaturita l'idea (di cui, a margine, vengono riportati gli estratti più significativi del bando), le cui richieste sono state le linee guida in tutto il processo di analisi, progettazione ed approfondimento successivamente svolto.*

L'idea di questa tesi è scaturita da un progetto sviluppato durante il Corso di Recupero e Conservazione degli edifici tenuto dalla prof.ssa Elisabetta Laura Malighetti, durante il quale era stato sottoposto agli studenti un bando di concorso legato ad un premio studio denominato "Paolo Milani". Il tema recitava "Riqualificare Garlate – Area Pratogrande".

Si tratta di un concorso di architettura per la riqualificazione di una zona nel comune di Garlate, situato nella provincia di Lecco, a circa 40 km a Nord-Est di Milano, e un progetto di recupero per il centro sportivo *Pratogrande srl*, situato in tale zona, oltre che della limitrofa palestra comunale. A seguito della conclusione del corso abbiamo ritenuto opportuno, considerato l'interesse che nutrivamo per il progetto in questione, continuare a svilupparlo fino a renderlo l'oggetto della nostra Tesi di Laurea

Il Pratogrande Sport Center è una struttura sportiva che si trova sulle rive del lago di Garlate, in una zona privilegiata della città, immerso in un ampio parco verde con vista sulle circostanti catene montuose. Esso fornisce molte delle principali attività sportive per i cittadini di Garlate, oltre che delle zone limitrofe, quali nuoto, palestra, centro benessere, tennis, calcetto e alcune altre.

Scopo principale del concorso, oltre che di questa tesi, è quello di offrire un servizio migliore e una migliore struttura per lo sport, il tempo libero e il benessere agli utenti del centro, migliorando le condizioni in cui i servizi sono attualmente erogati alla cittadinanza e ai suoi fruitori in genere, oltre che all'aggiunta di nuove funzioni o del potenziamento di alcune di quelle già esistenti.

I motivi per cui il concorso è stato indetto sono i seguenti:

- la struttura del complesso sportivo, costruito nei primi anni '70, risulta attualmente obsoleta e danneggiata in alcune sue parti;



- l'inadeguatezza dimensionale del complesso in rapporto al numero crescente di clienti.

Insieme al recupero del Centro Pratogrande, il concorso richiedeva anche l'aggiornamento di una zona urbana di Garlate dove si trova il Centro Sportivo, al fine di migliorare i servizi pubblici offerti dal Comune di Garlate in quella zona, e per migliorare il rapporto tra il Centro e la zona stessa.

Infine, è stato richiesto, dall'Amministrazione di Garlate, di rivedere il progetto per la palestra comunale, situata in un'area immediatamente adiacente a quella del Centro Sportivo Pratogrande, dato che la palestra, allo stato attuale, è in pessime condizioni.

Nel tentativo di risolvere questi problemi, è stato proposto un ampliamento e ristrutturazione della palestra pubblica esistente e l'inserimento di nuovi sport e di svaghi intorno a quella zona, creando un nuovo complesso di sport e benessere pubblico collocato in un ampio parco verde.

Al fine di una migliore comprensione dell'oggetto di questa Tesi si riporta di seguito il testo integrale del bando di concorso di cui sopra, il cui contenuto è sempre stato il punto cardine di riferimento nello svolgimento di ogni aspetto del presente lavoro.

### **Premio di studio progetto Paolo Milani “RIQUALIFICARE GARLATE – AREA PRATOGRANDE”**

Finalità del progetto è la valorizzazione dell'area denominata Pratogrande sita nel Comune di Garlate, attraverso il recupero e rifunzionalizzazione delle strutture sportive “Centro sportivo Pratogrande”, della Società Pratogrande S.r.l., e dell'area a servizi di interesse pubblico e del Centro sportivo Comunale, per farne un centro all'avanguardia per lo sport, il benessere e salute. Il progetto dovrà dimostrare sensibilità verso il rapporto con il contesto e attenzione ai temi della sensibilità ambientale e della progettazione “accessibile a tutti”, sia per quanto riguarda le strutture sportive, che la riqualificazione degli spazi aperti.

Il progetto consisterà in:

- un masterplan complessivo dell'area di progetto, comprendente il “Centro sportivo Pratogrande” e l'area a servizi di interesse pubblico con il Centro sportivo Comunale;



- un progetto di recupero e ampliamento del “Centro sportivo Pratogrande”.

## **PROGRAMMA FUNZIONALE PER IL RECUPERO DEL “CENTRO SPORTIVO PRATOGRANDE”**

### **Lo stato di fatto:**

L’area interessata dal centro si estende per circa 12000 mq sulle rive del lago di Garlate in un contesto naturale di pregio circondato da una corona di montagne che parte dal Resegone a nord, fino ad arrivare al promontorio del Monte Barro.

Il complesso sportivo, risalente al 1970, è immerso in un parco ed è formato da:

- volume della piscina coperta: costruzione di calcestruzzo armato di due piani fuori terra e uno interrato comprendente n. 1 piscina regolamentare da 25 m; n. 1 piscina per bambini, palestra, spogliatoi, reception, bar;
- palazzina “ex custode”: costruzione in calcestruzzo armato di due piani fuori terra ubicata sulla Strada Statale 36 comprendente un centro estetico e una palestra pesi;
- strutture sportive all’aperto: n. 1 piscina esterna regolamentare da 25 m e n. 1 piscina esterna per bambini con annesso idromassaggio di recente ristrutturazione; n. 2 campi da tennis/calciotto, di cui uno chiudibile durante la stagione invernale; n. 1 campo gioco da pallavolo; n. 1 area gioco all’aperto.

La struttura sportiva è adiacente all’albergo Hotel Nuovo di recente ristrutturazione (dotato di 100 camere, ristorante, sala convegni) e confina con il Centro nautico Garlate, costruito all’inizio degli anni Settanta.

### **Il programma funzionale del progetto di recupero e ampliamento:**

Il programma funzionale prevede il recupero della struttura del volume della piscina coperta e l’ampliamento dell’offerta sport attraverso la costruzione di una nuova piscina coperta da 25 m con l’obiettivo di fornire una risposta adeguata alle esigenze del centro sportivo, con un ampliamento degli spazi benessere e dei servizi al bambino. La nuova struttura dovrà essere pensata per garantire continuità di erogazione dei servizi oggi offerti dal



centro sportivo durante i lavori di recupero e adeguamento della piscina esistente.

Il progetto del recupero-ampliamento dovrà essere messo a punto considerando la struttura dell'albergo Hotel Nuovo come complementare a quella del Centro sportivo pur prevedendo la necessaria autonomia funzionale e l'indipendenza degli accessi.

Il progetto di recupero potrà prevedere la demolizione della palazzina "ex custode" e considerare un collegamento con l'adiacente Centro Nautico. Esso dovrà garantire il controllo delle aree a pagamento e la possibilità di chiudere settori/attività che potrebbero seguire orari o giorni di apertura diversi in riferimento alle aree a pagamento e aperte al pubblico.

La struttura sportiva compresa di spazi recuperati e di nuova costruzione dovrà comprendere:

- Area reception: la reception dovrà garantire le mansioni di informazione, vendita, gestione ingressi-iscrizioni e avere il controllo visivo degli ingressi alle strutture sportive a pagamento di piscine e palestra.
- Area ristorazione: superficie complessiva di circa 200 mq comprensiva di cucina, servizi e sala espandibile durante la stagione estiva (circa 100 mq - 50 coperti), dotata di spazio esterno (l'area ristorazione dovrà essere accessibile anche al pubblico esterno che non usufruisce dei servizio a pagamento offerti dal centro sportivo)
- N. 2 piscine coperte da 25 m, di cui una con caratteristiche di "piscina-tempo libero" dotata di area ludica.
- N. 2 piscine ludiche per bambini ad altezza variabile, di cui una ad uso polivalente dotata di spazio acqua per riabilitazione.
- N. 1 palestra: palestra attrezzata con attrezzature cardiotoniche e isotoniche di circa 500 mq comprese n. 2 sale fitness da 50 mq. La palestra essere in stretto collegamento con la palestra di riabilitazione.
- N. 1 palestra di riabilitazione: spazio di circa 100 mq, comprensivo di n. 4 stanze mediche (9 mq ciascuna), collegato alla palestra principale.
- N. 1 campo da tennis/calciotto chiudibile nella stagione invernale.



- Spogliatoi: gli spogliatoi (circa 250 mq) saranno comuni alle funzioni piscina, palestra. Uno spogliatoio dedicato e indipendente dovrà essere per gli utenti del tennis/calciotto.
- Centro estetico: spazio di circa 100-150 mq comprendente n. 4/6 stanze per trattamenti estetici/massaggi (9 mq ciascuna), 1 sauna, 1 idromassaggio, 1 bagno turco.
- Ludoteca: spazio di circa 100-150 mq comprensivo di servizi igienici.

Gli spazi all'aperto immersi nel parco dovranno comprendere:

- N. 1 piscina all'aperto da 25 m (esistente)
- N. 1 piscina per bambini all'aperto (esistente)
- Area giochi per bambini all'aperto
- N. 1 campo per gioco pallavolo

### **PROGRAMMA FUNZIONALE PER LA PROGETTAZIONE DELL'AREA A SERVIZI DI INTERESSE PUBBLICO CON IL CENTRO SPORTIVO COMUNALE**

L'Amministrazione Comunale, nel proprio strumento urbanistico, ha destinato un'ampia area, in località Pratogrande sulla sponda del lago di Garlate (individuata nel Piano Regolatore Generale vigente come Area VS1 - opere di urbanizzazione secondaria esistenti e di previsione), a servizi per la collettività a prevalente

orientamento sportivo. L'area è già parzialmente utilizzata per attività sportive, stante la presenza di una palestra realizzata qualche decina di anni fa.

Il comune di Garlate, in un più generale disegno di riqualificazione della zona e completamento delle previsioni del PRG ha affidato l'incarico ad un professionista per la ristrutturazione della palestra, l'individuazione di spazi per attività ricreative e sportive all'aperto, nonché per formazione di parcheggi a servizio della struttura. Tale sviluppo dell'area, che i partecipanti troveranno nel materiale allegato al presente bando, di fatto non completa l'area destinata a servizi nel PRG poiché allo stato attuale essa non è interamente di proprietà pubblica.

I concorrenti, nell'ambito della loro attività di progettazione e ri-progettazione dell'intera area, potranno assumere le indicazioni contenute



nei progetti dell'Amministrazione comunale, relativi alla palestra e agli spazi immediatamente esterni, o proporre soluzioni alternative (anche relativamente alla configurazione della palestra) se le ritengono più adeguate e più adatte al contesto esistente e di progetto.

L'amministrazione di Garlate ritiene di grande importanza che l'area a servizi sia sviluppata nella sua totalità e integrata con le funzioni a carattere sportivo e ricreativo (pubbliche e private) limitrofe o connesse all'area. Nello specifico, è intenzione dell'amministrazione comunale ottenere idee volte a ricercare un completamento dell'area integrato con l'intero comparto composto dal centro sportivo Pratogrande, dall'Hotel e dal Centro Nautico, nonché con le infrastrutture pubbliche di collegamento pedonale e ciclabile. L'obiettivo generale, auspicato dall'amministrazione, è di realizzare un centro di aggregazione dedicato allo sport, al turismo, alla cultura e all'ambiente aperto.

A tale scopo l'Amministrazione Comunale individua le seguenti funzioni e spazi di prevalente interesse da collocare nell'area:

- pontile per attracco canoe a servizio del campo di gara di canottaggio Pescate - Garlate;
- pista per biciclette BMX;
- pista ciclopedonale da collegare all'esistente;
- spazi e attrezzature all'aperto per rappresentazioni culturali e per attività ricreative e sportive ad utilizzo della comunità locale.

Al fine di realizzare e completare lo sviluppo dell'area comunale, integrata con le funzioni e le attività sportive private, esistenti e previste, l'Amministrazione Comunale auspica l'individuazione di un disegno che riguardi l'intera area prevista nel PRG.

A tale scopo, per favorire e sollecitare l'interesse dei privati proprietari delle aree comprese nell'ambito a servizi (Area VS1 - opere di urbanizzazione secondaria esistenti e di previsione) i concorrenti potranno prevedere la realizzazione di unità residenziali da collocarsi preferibilmente nella parte settentrionale e/o nella fascia orientale dell'area. Tali residenze, che non potranno complessivamente superare i 1000 mq di SLP, dovranno rispettare le altezze e gli altri parametri urbanistici previsti nelle zone limitrofe. Anche la tipologia dovrà adeguarsi a quelle presenti nelle zone limitrofe, anche se, a fini di studio, i concorrenti potranno proporre e



suggerire altre soluzioni tipologiche che ritengano più adeguate anche a fini del risparmio energetico e dell'uso di materiali e tecnologie attente ai consumi di risorse naturali non rinnovabili.

I concorrenti dovranno prestare attenzione, nella elaborazione delle configurazioni progettuali riguardanti l'intera area:

- alle connessioni e ai collegamenti viabilistico e ciclo-pedonali per garantire flussi di traffico e di mobilità adeguati alle funzioni previste e ai volumi di traffico che si potranno ingenerare, nonché alla sicurezza e alla garanzia di accessibilità per tutti;
- al mantenimento, per quanto possibile, delle piante esistenti, e in particolare di quelle ritenute di valore, e alla loro integrazione in un disegno di verde e spazi pubblici adeguati alle funzioni e alla rilevanza del luogo.

## CAPITOLO 2 – ANALISI DELL'AREA

*Prima di intraprendere la fase progettuale vera e propria, si è reso necessario operare un lavoro preliminare di analisi del sito di progetto, al fine di meglio comprenderne gli aspetti caratterizzanti, siano essi in senso positivo che negativo.*

*In questo capitolo vengono riportate queste analisi, la loro lettura critica e la relativa sintesi, effettuata nell'ottica del successivo processo di progettazione.*

### 2.1 Parametri urbanistici e vincoli

L'area di progetto nel Piano di Governo del Territorio del Comune di Garlate, appartiene alle *Aree per attrezzature pubbliche o di interesse pubblico o generale*.

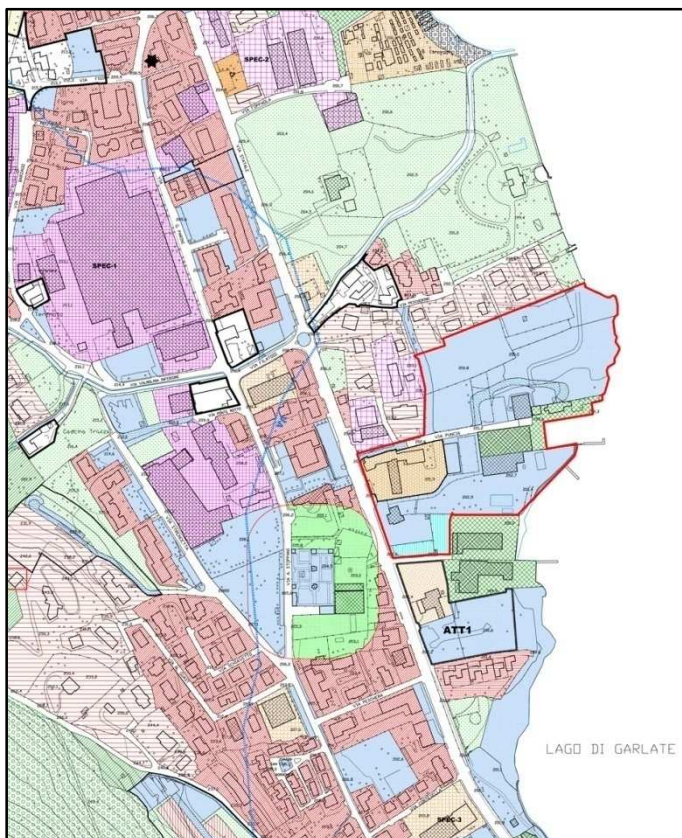


Fig. 2.1 – Estratto della "Carta disciplina delle aree e delle prescrizioni sovraordinate"

Più nello specifico, il terreno di proprietà della Pratogrande s.r.l. fa capo all'art. 6.9 delle Norme di Attuazione del Piano dei Servizi, *Aree verdi attrezzate per il gioco, lo sport ed*





*il tempo libero esistenti di proprietà privata. Di seguito si riporta il testo dell'articolo in questione.*

*Questi ambiti sono destinati ad accogliere servizi ed attrezzature sportive e per il tempo libero di interesse collettivo, pur se di proprietà privata e/o gestiti da società private.*

*Questi servizi concorrono al soddisfacimento della dotazione complessiva di attrezzature e servizi richiesti dal PGT.*

*Sono ammessi interventi di manutenzione, ristrutturazione, ampliamento e nuova costruzione subordinatamente ad un permesso di costruire convenzionato che definisca le modalità di accesso del pubblico alla struttura, le destinazioni funzionali delle aree oggetto di intervento, le volumetrie necessarie e tutti gli interventi di mitigazione indispensabili per un corretto inserimento delle nuove opere nel contesto paesaggistico.*

Il testo dell'articolo è piuttosto "aperto" e lascia ampio margine e possibilità di azione, sia sul fronte degli interventi sul patrimonio esistente (manutenzione, ristrutturazione, ampliamento), sia sul fronte della nuova costruzione. L'unica prescrizione indicata dalle norme di attuazione –oltre all'ovvia conformità del progetto alla normativa– è di indicare tutti gli interventi previsti in fase di progetto atti ad un adeguato inserimento nel contesto paesaggistico. Considerato, a maggior ragione, il grande valore dell'ambito naturalistico specifico della nostra area di progetto, si è tenuto in grande considerazione, in sede progettuale, questa linea guida tracciata nel P.G.T.

## **2.2 Dati climatici**

Questa sezione considera i diversi aspetti del clima: temperature medie (massima e minima), umidità media, media delle precipitazioni, la forza media del vento, ecc. A seguire vengono riportati i grafici e le considerazioni per ogni analisi, in particolare in relazione al centro sportivo e alla zona di Pratogrande.

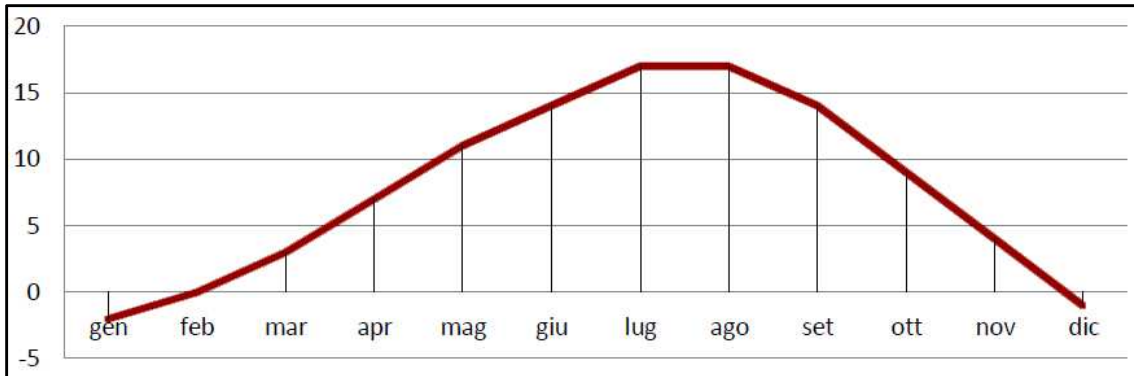


Fig. 2.2 – Temperature minime nell’arco dell’anno [°C]

L’analisi delle temperature minime dimostra che il sito del progetto si trova in un ambito non troppo rigido in inverno e relativamente caldo in estate.

Infatti, le temperature variano tra i -2°C in gennaio e 17°C in luglio/agosto. In ogni caso, le temperature minime in genere vengono raggiunte nelle ore notturne e sono di rilevanza inferiore rispetto ad altri dati di progetto.



Fig. 2.3 – Temperature massime nell’arco dell’anno [°C]

L’analisi delle temperature massime, come nel caso precedente, mostra una curva pressoché priva di picchi. In particolare si può notare come, anche in relazione alla progettazione estiva, le temperature massime nell’arco dell’anno abbiano valori non eccessivamente elevati.

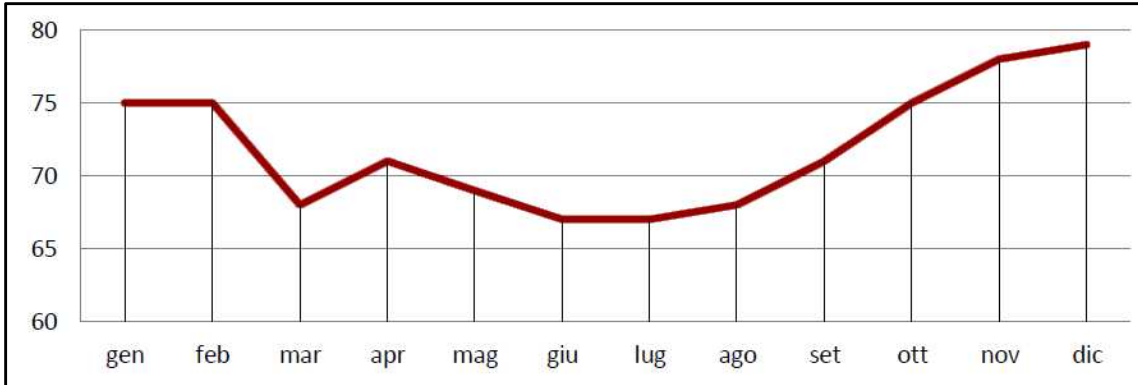


Fig. 2.4 – Umidità relativa nell'arco dell'anno [%]

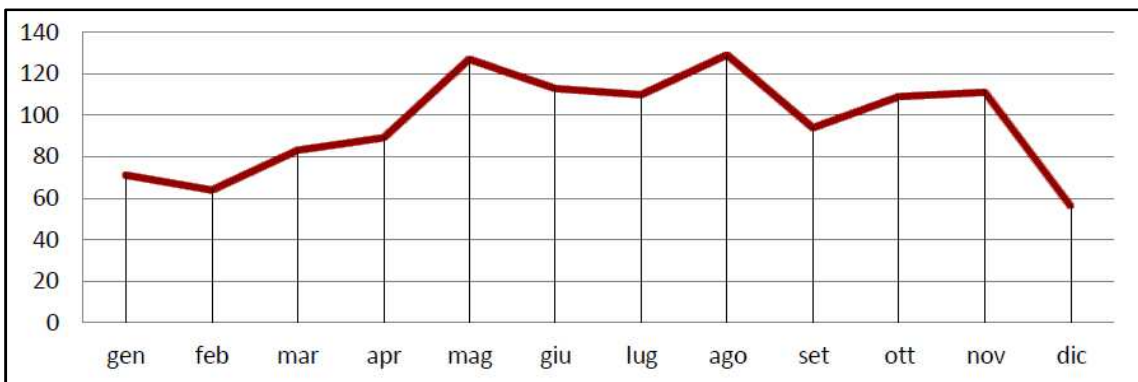


Fig. 2.5 – Precipitazioni nell'arco dell'anno [mm]

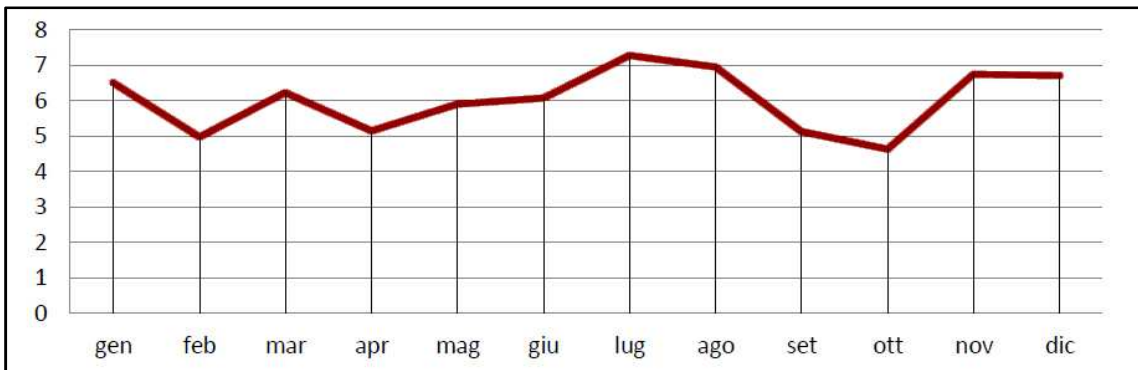


Fig. 2.6 – Velocità del vento nell'arco dell'anno [km/h]

I grafici delle figg. 3-4-5 forniscono ulteriori parametri climatici significativi dell'area di intervento. Dall'analisi dell'umidità relativa si può vedere come questa raggiunga valori relativamente elevati solo durante il periodo invernale, contrariamente a quanto avviene nel periodo estivo, durante il quale, tuttavia, si hanno i picchi più significativi di precipitazioni.



Infine si evince come la velocità del vento sia pressoché costante e modesta durante tutto l'arco dell'anno. Si ricorda, a tal proposito, che secondo la norma UNI 10349, i cui dettami vengono tenuti in considerazione nella successiva fase progettuale, il sito di progetto è ricompreso nella ZONA 1, regione di vento A.

### **2.3 Funzioni simili**

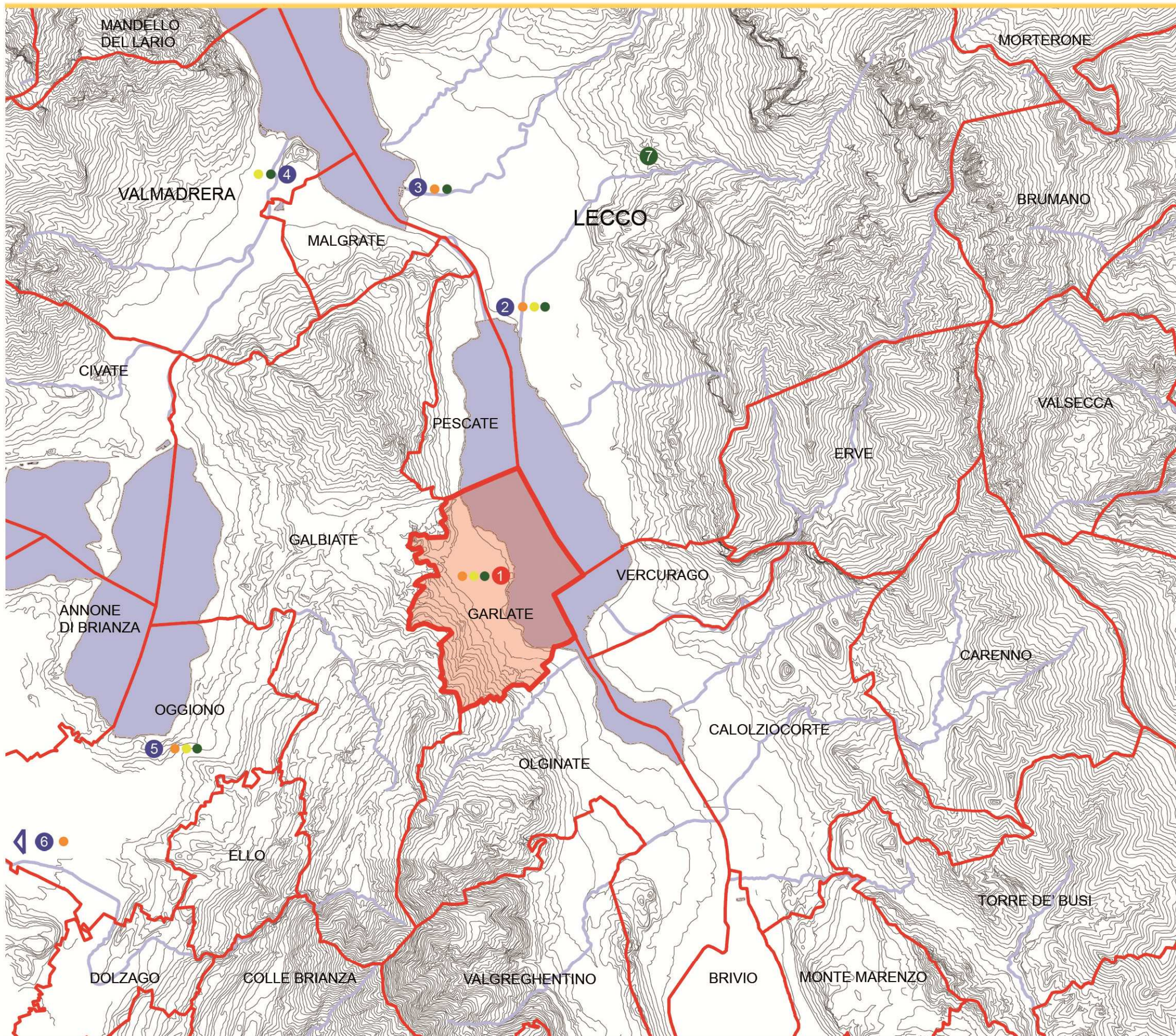
Per meglio comprendere il contesto in cui si va ad operare, è stata preliminarmente condotta anche un'indagine sulle funzioni simili (impianti sportivi e/o centri benessere) presenti nell'area circostante il sito di progetto, sia a livello dei servizi offerti sia a livello di bacino d'utenza.

Le strutture prese in considerazione in particolare sono:

- Centro Sportivo Bione – Lecco
- Canottieri Lecco – Lecco
- Centro Sportivo Rio Torto – Valmadrera
- Stendhal Sport Club – Oggiono
- Wet Life – Nibionno
- Monticello Spa & Fitness – Monticello Brianza

Dalla sintesi delle analisi effettuate il primo dato significativo è che il Centro sportivo Pratogrande è quello che maggiormente, rispetto agli altri impianti considerati, differenzia attualmente la propria offerta, pur non eccellendo, in nessuno dei servizi erogati, garantendo la presenza di attività in ambito sportivo, ricreativo e di benessere. Gli altri centri, infatti, tendono a concentrare, ottimizzando, la propria offerta su un aspetto o ambito specifico di quelli presi in considerazione.

È inoltre emerso che gli aspetti che lo rendono ancor oggi un impianto relativamente competitivo, nonostante la complessiva arretratezza e vetustà in cui attualmente si trovano gli edifici del Centro sportivo Pratogrande, è senz'altro la sua posizione di particolare pregio, l'inserimento in un contesto naturalistico di grande valore, che consente di godere di un'ambientazione e di panorami di grande valore.



### LEGENDA

Comune di Garlate

Confini Comunali

#### FUNZIONI SIMILI

- Impianti polisportivi
- Campi da tennis
- Campi da calcetto
- Piscina

- 1** Piscine Pratogrande\_Garlate  
campo da calcetto, da tennis, palestra, centro benessere, piscina copera, piscina scoperta, parco estivo con area relax.
- 2** Centro Sportivo Bione\_Lecco  
campi da calcio, da calcetto, da tennis, da rugby, palestra, palazzetto dello sport, pista di atletica, di pattinaggio, piscina coperta.
- 3** Canottieri\_Lecco  
campo da tennis, piscina scoperta, canottaggio.
- 4** Centro Sportivo Rio Torto\_Valmadrera  
campo da tennis, da calcetto, da calcio, parco estivo con area relax.
- 5** Stendhal Sport Club\_Oggiono  
campo da calcetto, centro fitness, palestra, piscina copera, piscina scoperta, parco estivo con area relax.
- 6** Wet life\_Nibionno  
area benessere, palestra, piscina coperta.
- 7** Tennis Club\_Lecco  
campo da tennis.



TAVOLA 01 - ANALISI FUNZIONI SIMILI  
scala 1:50000



## 2.4 Viabilità

Il trasporto su ruota, grazie alla presenza della SP 72, rappresenta la via principale per raggiungere e attraversare il comune di Garlate. La strada provinciale “del Lago di Como” è, infatti, un’importante arteria viabilistica, ed appartiene per la gran parte del suo sviluppo alla classificazione funzionale “R1 – Strada di interesse regionale”; con i suoi cinquanta chilometri circa, parte dall’alto Lario lecchese per scendere fino a Lecco, proseguendo poi il suo percorso lungo la sponda Ovest dei laghi di Garlate e Olginate e quindi del fiume Adda. La SP 72 conclude il suo percorso sfociando nell’altrettanto importante SP342 bis “Briantea” fino a giungere nell’alto circondario milanese.

Non sono solo le automobili ad usufruire di questa importante arteria stradale, ma anche il trasporto pubblico con due linee di bus. La linea VGL (Lecco-Valgreghentino) e la linea D50 (Lecco-Brivio-Lomagna) effettuano infatti tre fermate sul territorio comunale: la fermata delle piscine e quella del municipio, direttamente sulla provinciale, e la fermata delle scuole, site in via Stoppani, all’interno del Paese.

La viabilità comunale non vede la presenza di ulteriori direttrici di primaria importanza, ma si sviluppa in maniera piuttosto uniforme in tutto il territorio attraverso una rete di strade comunali di minore entità.

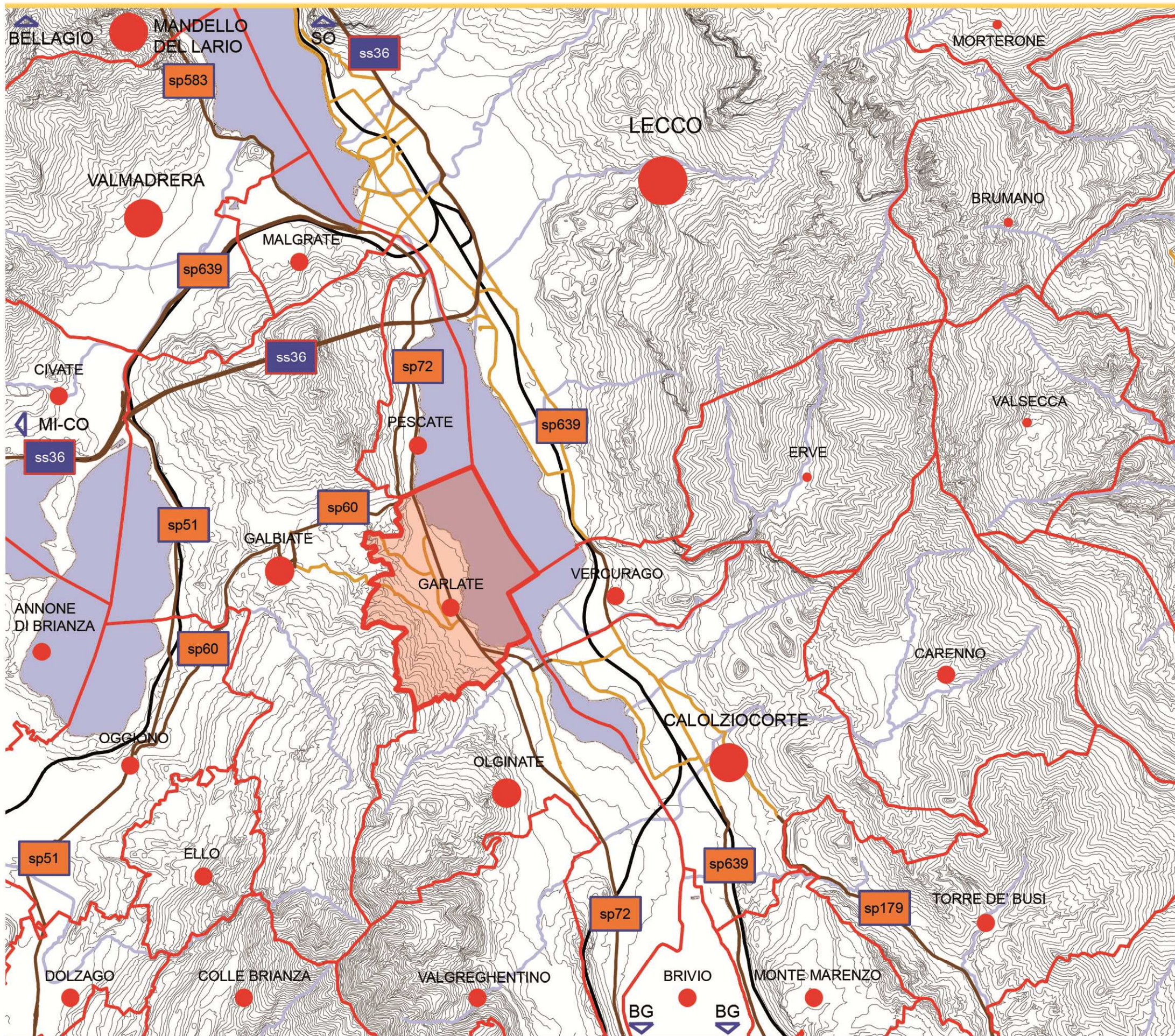
Di grande importanza è anche la pista ciclabile che da Lodi, anche in questo caso costeggiando il fiume Adda, giunge direttamente a Garlate per poi terminare in prossimità della città di Lecco (anche se è di primaria importanza specificare che i lavori per l’estensione della stessa sono già attualmente in corso e ne prevedono il prolungamento lungo la sponda orientale del Lago di Como). La pista ciclabile rappresenta un elemento significativo per chi vuole svolgere attività fisica o a scopo ricreativo, oltre che, anche se in misura molto minore, per la viabilità. Tuttavia, nei pressi di Garlate, numerose proprietà private provviste di uno sbocco direttamente sulla riva, impediscono la percorrenza del lungo fiume e causano un affiancamento della pista alla SP72, con evidenti problemi per la sicurezza. Inoltre, la coincidenza tra pista ciclabile e marciapiede, dal lato destro della carreggiata in direzione Lecco, causa un disagio dovuto alla possibile compresenza di pedoni e ciclisti in entrambi i sensi di percorrenza.

Da sottolineare, quale punto critico della viabilità garlatese, è la totale assenza del trasporto su rotaia, che costringe chi dovesse necessitare di prendere il treno (in questo senso si fa particolare riferimento ai lavoratori o studenti pendolari) a recarsi con altri mezzi di trasporto presso una delle più vicine stazioni ferroviarie.



Nella maggior parte dei casi, avviene verso quella di Calolziocorte, secondo comune più popoloso della provincia di Lecco (capoluogo escluso), situato a 3 km di distanza circa sull'opposta sponda dell'Adda e raggiungibile con mezzi pubblici, dato che rappresenta, nell'ambito lecchese, uno snodo ferroviario di discreta importanza, sia in direzione Milano, che in direzione Bergamo/Brescia.

È stata infine svolta un'indagine sulle aree destinate a parcheggio pubblico presenti sul territorio di Garlate, evidenziando una complessiva inadeguatezza e frammentarietà in questo senso. Sono presenti 5 macro-aree con questo scopo, tutte concentrate in una zona piuttosto circoscritta del comune, che vede poi la presenza di altri piccoli parcheggi sparsi. In particolar modo è stato evidenziato come i parcheggi di pertinenza dell'area di progetto siano già attualmente sottodimensionati rispetto a quelle che sono le esigenze e il bacino d'utenza. Anche alla luce dell'incremento dell'offerta di servizi previsto, in fase progettuale si è ampiamente tenuto conto di questo aspetto, prevedendo un sostanziale ampliamento dei posti a servizio degli impianti.



**LEGENDA**

- Comune di Garlate
  - Confini Comunali
  - RETI CINEMATICHE**
  - Ferrovia
  - Strada Principale
  - Strada Secondaria
- N. di ABITANTI**
- meno di 1.000
  - tra 1.000 e 5.000
  - tra 5.000 e 10.000
  - tra 10.000 e 20.000
  - tra 20.000 e 50.000

Percorso	Km di percorrenza	Tempo di percorrenza				
		7 - 9	9 - 12	12 - 14	14 - 17	17 - 19
LECCO-GARLATE	5,5					
MALGRATE-GARLATE	5,8	35'-40'	10'	15'-20'	10'	35'-40'
VALMADRERA-GARLATE	7,5					
OLGINATE-GARLATE	3,0					
CALOLZIOCORTE-GARLATE	3,7	15'-20'	5'	10'-15'	5'	15'-20'
GALBIATE-GARLATE	3,7					

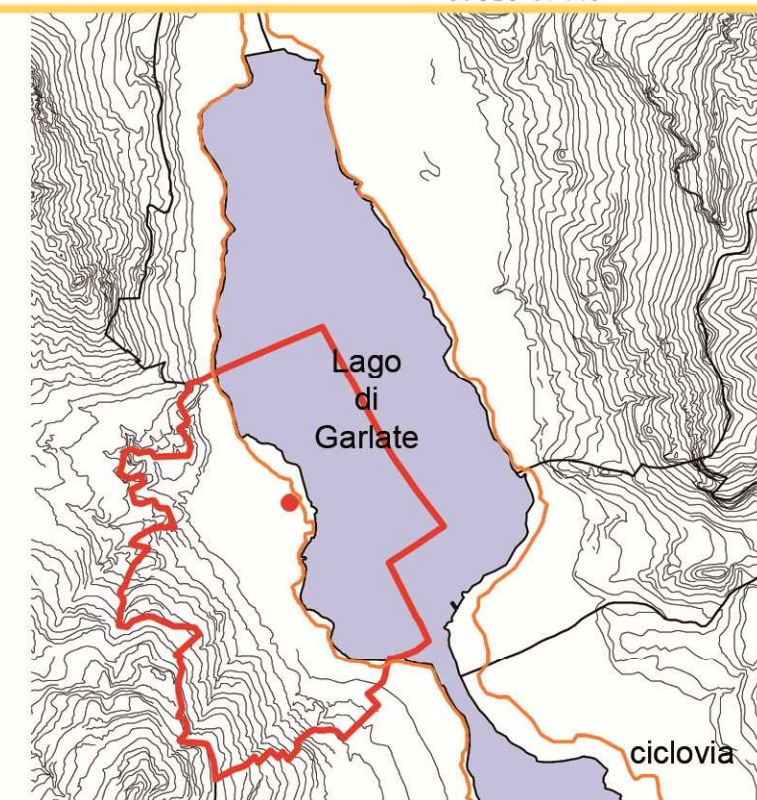
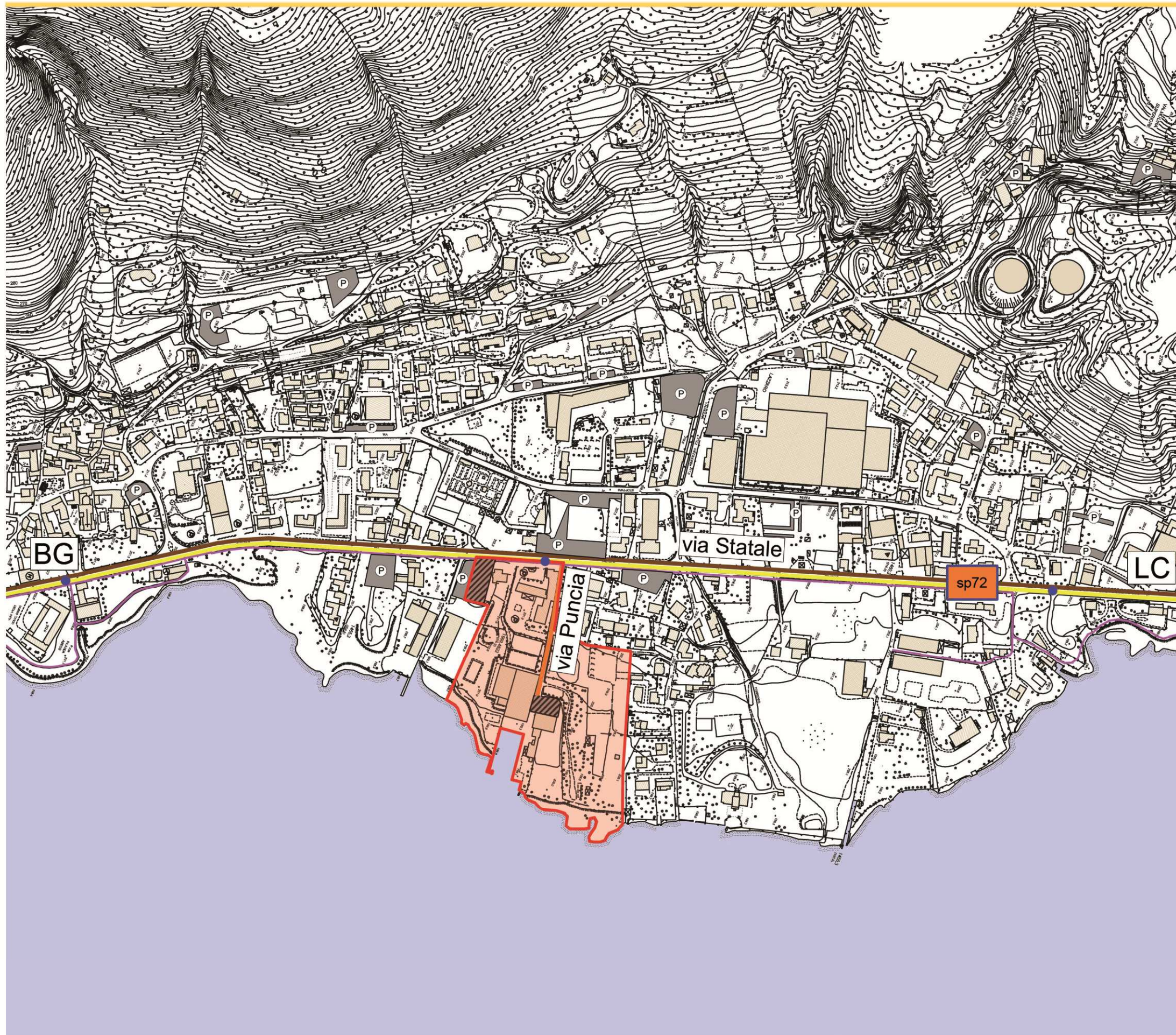
**NOTE**

considerando i comuni limitrofi che possono usufruire del Centro Sportivo Pratogrande, abbiamo determinato il tempo di percorrenza suddiviso per fasce orarie. Nelle ore di punta per raggiungere l'area occorrono dai 20 ai 40 minuti mentre nelle altre ore si può raggiungere il Centro in breve tempo.



**TAVOLA 02 - VIABILITA'**  
scala 1:50000





#### LEGENDA

-  Area di Progetto
-  Parcheggi Pubblici
-  Parcheggi dell'Area di Interesse
- RETI CINEMATICHE
-  Strada Principale
-  Strada di Pentrazione all'Area di Interesse
-  Percorso Ciclovia
-  Tragitto Bus
-  Fermata del Trasporto Pubblico

#### NOTE

Frequenza corse del trasporto pubblico  
-via Lecco-Galbiate-Valgrehentino  
le corse cominciano dalle 5.57 e terminano alle 20.27  
alternando ogni ora o mezzora; seguendo l'altro senso di  
percorrenza le corse iniziano alle 5.37 e terminano alle 21.17.  
-via Lecco-Imbersago-Brivio-Lomagna.  
Le corse sono meno frequenti distribuite nella prima mattinata  
dalle 6.57 alle 7.17, riprendono in tarda mattinata ogni ora poi  
il servizio si interrompe per riprendere come ultima corsa alle  
16.40; nell'altro senso di percorrenza le corse iniziano alle  
7.53 per terminare alle 17.23, nell'arco della giornata le corse  
si alternano nella prima mattinata e nel primo pomeriggio.



## 2.5 Verde

Il comune di Garlate appartiene per quasi un terzo del suo territorio al Parco Adda Nord, che con i suoi 5.650 m<sup>2</sup> risulta essere uno dei parchi più estesi della zona. Questa sua particolare collocazione condiziona la progettazione e gli interventi ricompresi nella sua area. Più nel dettaglio, il Parco Adda Nord si attiene alle Normative Nazionali, alle Normative Regionali e allo Statuto del Parco Adda Nord del 14.11.2005.

Dalla tavola dei vincoli del Piano di Governo del Territorio del Comune di Garlate si può vedere come l'area di progetto rientri nella zona *Parchi e riserve regionali – Parco fluviale Adda Nord*.

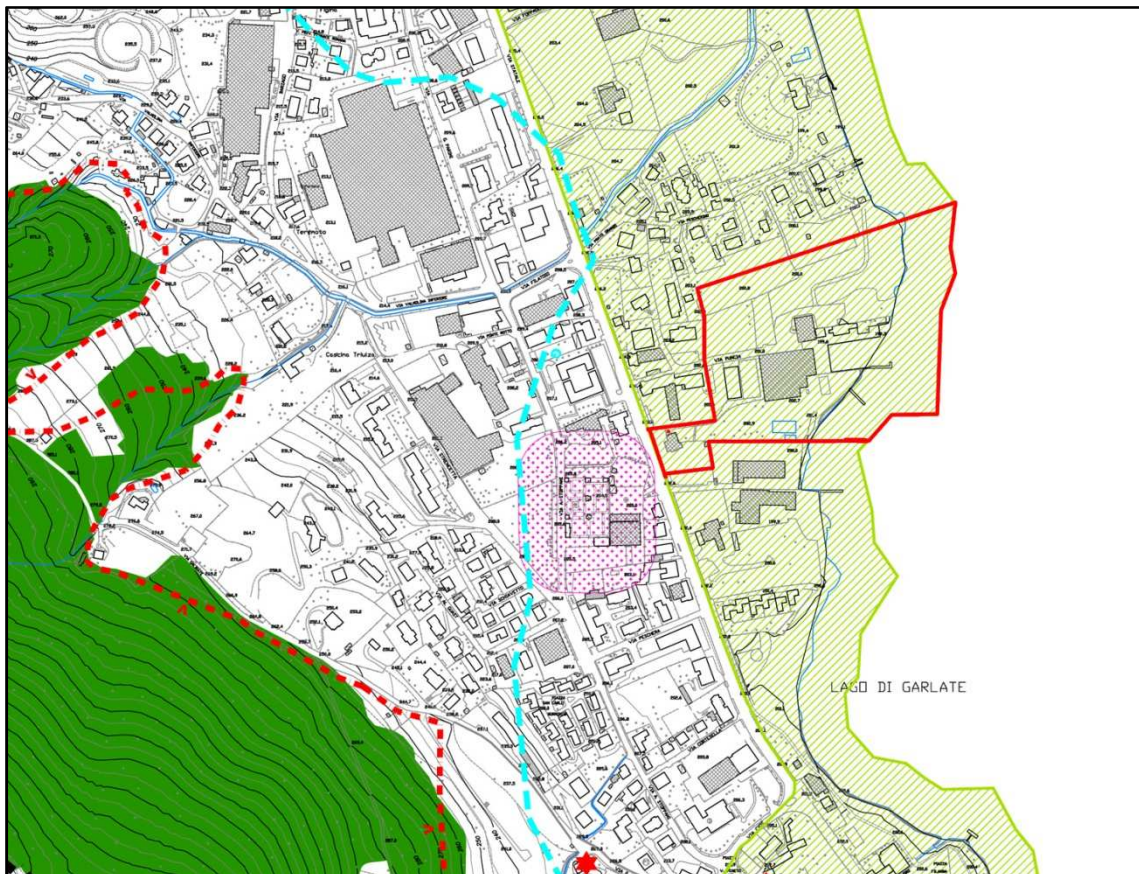


Fig. 2.7 – Estratto tavola dei vincoli Comune Di Garlate

Prima di iniziare l'ideazione e la progettazione sono state prese in considerazione tutte le limitazioni presenti riguardanti la regolazione degli interventi di edificazione e di urbanizzazione unitamente alle norme fornite dal Piano Regolatore Generale Comunale.

È stata inoltre svolta un'indagine sui parchi presenti nelle aree circostanti il sito di progetto, rappresentati nell'immagine

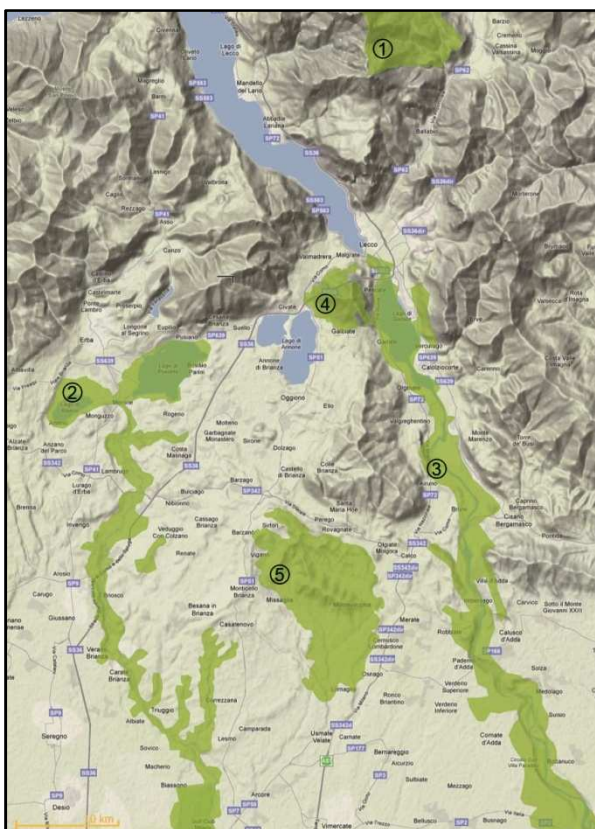


Fig. 2.8 – Parchi presenti nelle aree limitrofe

1. Parco della Grigna Settentrionale
2. Parco della Valle del Lambro
3. Parco Adda Nord
4. Parco del Monte Barro
5. Parco di Montevicchia e della Valle del Curone

I parchi 1 e 4 sono situati in zone montuose delle Prealpi lecchesi e sono di carattere prevalentemente escursionistico. Nello specifico il parco della Grigna Settentrionale è noto per, appunto, il gruppo montuoso delle Grigne, universalmente riconosciuto come una delle più ambite mete escursionistiche del lecchese, oltre che, soprattutto nel caso della “Grignetta”, vera e propria “palestra” per alpinisti provenienti da tutta Europa. Il Parco del Monte Barro, rilievo montuoso di ben più modesta entità e morfologia, presenta, invece, itinerari meno impegnativi, ma non per questo di minor pregio. Dalla sua vetta si possono, infatti, godere spettacolari viste panoramiche sui sottostanti laghetti briantei di Annone, Pusiano ed Alserio.



Il parco 2, analogamente al Parco Adda Nord, si sviluppa lungo le sponde di un fiume, in questo caso il Lambro, e *comprende un territorio che si estende da nord a sud per circa 25 km; [...]. Include numerose aree urbane, ma soprattutto zone boschive che affiorano lungo il Lambro. A nord del Parco regionale si trovano due laghi compresi per tutta la loro superficie all'interno parco: il lago di Alserio e il lago di Pusiano, nel quale il Lambro, prima si getta col nome di Lambrone, poi esce e continua il suo percorso fino ad incontrare il Po presso Orio Litta.*

(fonte: [http://it.wikipedia.org/wiki/Parco\\_regionale\\_della\\_Valle\\_del\\_Lambro](http://it.wikipedia.org/wiki/Parco_regionale_della_Valle_del_Lambro))

Infine il Parco della Valle del Curone *coincide con l'estremo lembo verde, o comunque ricco di elementi naturali, della Brianza sud-orientale, compenetrandosi con la pianura agricola ed industriale, ai bordi delle ultime propaggini della conurbazione metropolitana milanese* (fonte: <http://www.parcocurone.it/ambiente/index.html>).

L'appartenenza al Parco Adda Nord, pur sottoponendo il comune di Garlate a delle limitazioni, rende il suo territorio particolarmente ricco di aree verdi. Il verde ricompreso nel territorio garlatese risulta classificabile in tre macrocategorie

- aree boschive, nella parte Ovest del comune;
- giardini e spazi verdi privati;
- verde pubblico.

Sommando le aree verdi private si raggiunge una superficie maggiore di quella destinata al verde pubblico, quest'ultima costituita da piccoli spazi inutilizzati quali rotonde e spartitraffico, o da grandi lotti non fruibili perché non curati.

I due parchi pubblici comunali costituiscono in questo senso le uniche eccezioni. Il loro valore viene incrementato dalla fortunata posizione fronte lago che rende queste aree meta di gite fuoriporta, punto di ritrovo per amanti della natura e zona di relax.

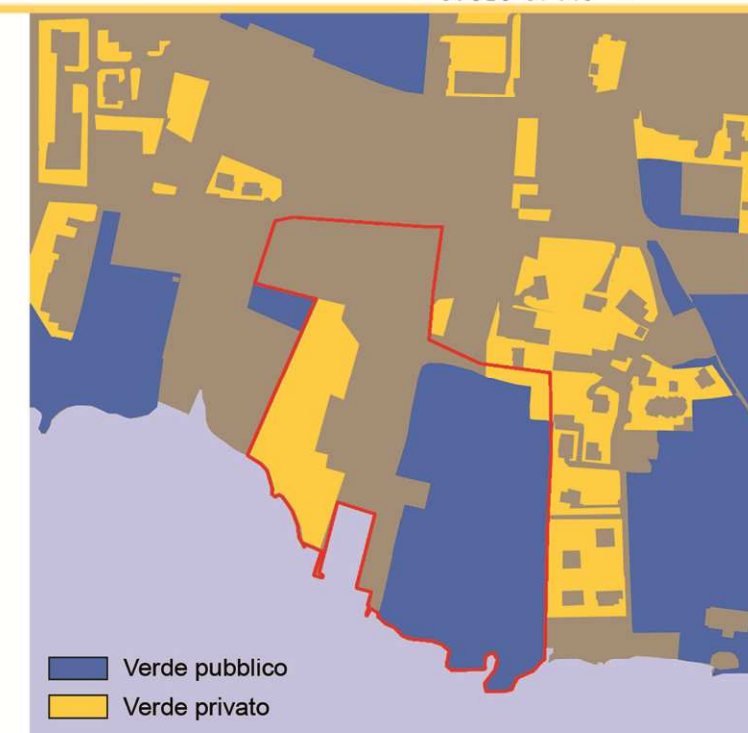
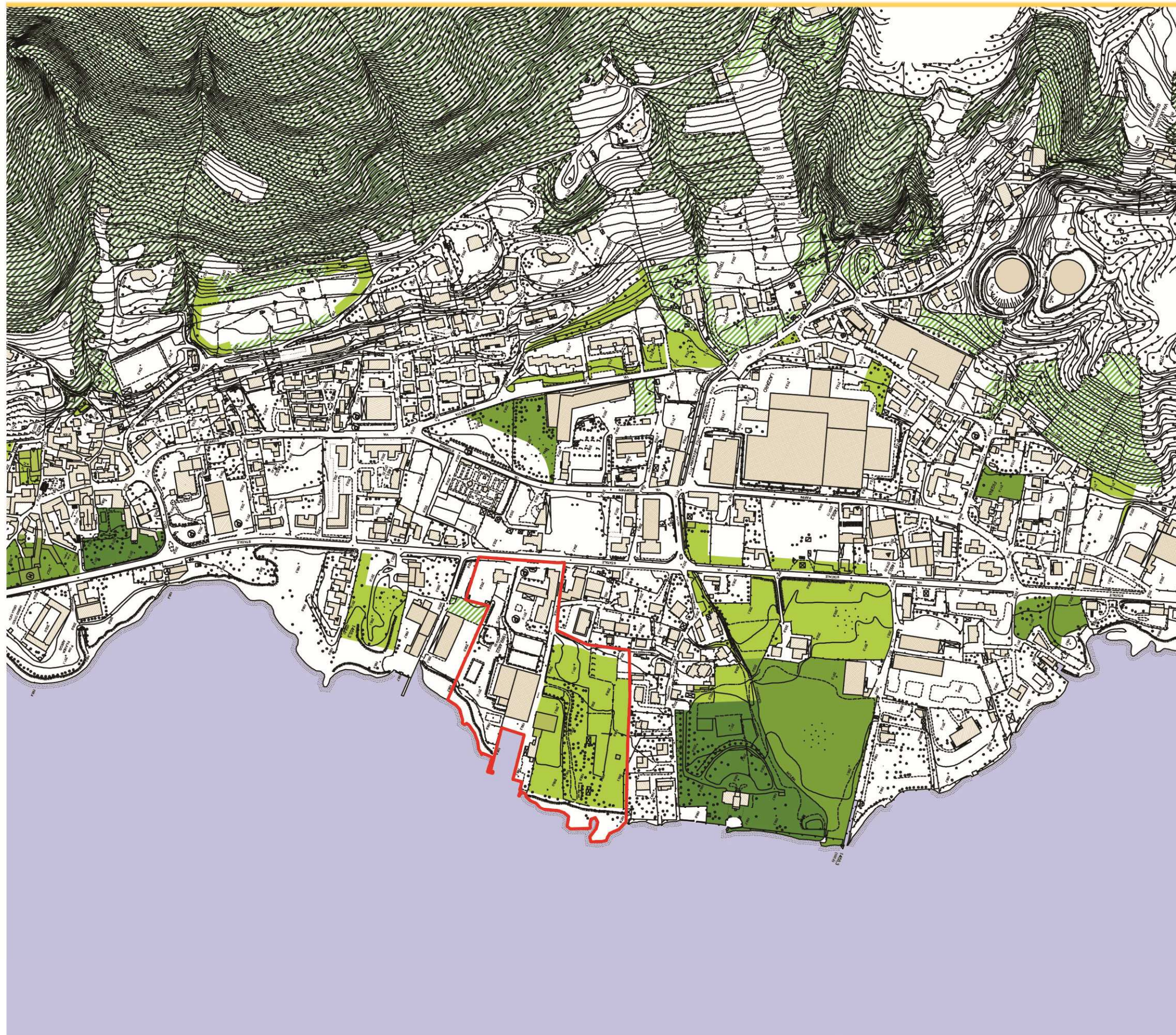
La grande utilità, sia sociale che urbana, di queste due oasi evidenzia come la comunità di Garlate, oltre che delle aree circostanti, necessiti di ulteriori spazi verdi di cui godere e fruire, istanza, quest'ultima, di cui si è tenuto conto nella fase di sviluppo progettuale.

Com'è intuibile dal nome, la superficie del Centro sportivo Pratogrande è per gran parte occupata da un parco. Da qui deriva la sua capacità di attirare clienti, nel periodo estivo anche villeggianti. La vegetazione, pur non essendo molto varia, contribuisce ad arricchire il parco. Si possono, infatti, trovare pini marittimi, piante sempreverdi, siepi e



piccoli cespugli che da un lato ombreggiano la distesa di prato e dall'altro valorizzano e arricchiscono l'aspetto prettamente naturalistico dell'area di progetto.

Per quanto riguarda l'area circostante l'attuale palestra comunale oltre che l'esistente pista per BMX (il cui andamento ha largamente influenzato la piantumazione degli alberi attualmente presenti), si ha la presenza di un insieme di alberi che crea una massa boschiva di notevole entità la quale rende l'area facilmente visibile anche dai retrostanti promontori e rilievi montuosi. Nel progetto si è cercato di proteggere e preservare le specie esistenti, le quali, pur non essendo particolarmente rilevanti dal punto di vista storico (le alberature attualmente presenti sono tutte relativamente recenti), rappresentano un patrimonio culturale e civico della cittadinanza.



Verde pubblico  
Verde privato

### LEGENDA

-  Area di Progetto
-  Verde Pubblico Non Attrezzato
-  Verde Pubblico Attrezzato
-  Parchi Storici esistenti o di valore paesaggistico-ambientale
-  Aree Boschive
-  Aree di Rimboschimento

### NOTE

il Comune di Garlarte è fortemente caratterizzato, per una massiccia presenza di verde, sia pubblico che privato. In particolare nella zona alte del territorio comunale, è presente un'area boscata di notevole estensione. Nel riquadro in altro a destra viene indicato il rapporto tra verde pubblico -in colore blu -e verde privato -in colore giallo -nell'immediato intorno dell'area di intervento; quest'analisi sarà successivamente approfondita in altri elaborati.





### LEGENDA TIPOLOGIE VERDE

- Area di Progetto
- Verde Privato
- Verde Pubblico Non Attrezzato
- Verde Pubblico Attrezzato
- Verde Boschivo

### LEGENDA DESTINAZIONI D'USO

- 1 Palestra Centro Sportivo Pratogrande
- 2 Albergo Ristorante Nuovo
- 3 Piscina coperta Centro Sportivo Pratogrande
- 4 Rimessaggio barche Circolo Nautico
- 5 Rimessaggio barche Circolo Nautico
- 6 Edifici Circolo Nautico
- 7 Palestra Comunale

### NOTE

l'area di intervento, come si può vedere dall'elaborato, è in gran parte caratterizzata dalla presenza di verde.

## 2.6 Uso del suolo

L'analisi dell'utilizzo del suolo è stata svolta su due fronti, uno di tipo quantitativo, l'altro, dualmente, da un punto di vista qualitativo.

Per quanto riguarda il primo aspetto (TAV. 6) si è andati ad effettuare un'indagine sul rapporto della porzione edificata di territorio comunale rispetto al totale dell'area "urbanizzata": come specificato nelle note della tavola grafica che sintetizza questa indagine, nel computo sono state trascurate, per non inficiare la validità dell'analisi nel suo complesso, le ampie aree boschive nella parte più alta del comune di Garlate.

Ne è emerso un territorio non eccessivamente edificato, con una buona presenza di aree "vuote".

Una distinzione può essere operata per quanto riguarda il territorio urbano che sta "a monte" (a Ovest) della SP 72 –principale arteria di scorrimento che attraversa l'intero territorio comunale– e quello che sta "a valle", verso le rive del lago dove è situata anche l'area di progetto. Si può vedere come quest'ultima macrozona del comune, oltre che quella di maggior pregio da un punto di vista naturalistico ed ambientale, sia sensibilmente meno densamente edificata rispetto a quella soprastante la SP 72, dove si concentra la maggior parte degli edifici residenziali e produttivi.

Per quanto concerne, invece, la qualità dell'edificato garlatese (TAV. 7) è stata condotta un'analisi sulle destinazioni d'uso di tutti gli edifici presenti sul territorio comunale. Ne sono emersi risultati che mostrano un tessuto tipicamente riconducibile all'urbanizzazione presente in gran parte dell'area della Brianza lecchese: oltre l'80% dell'edificato è costituito dalle sole residenze e industrie.

Gli insediamenti residenziali sono pressoché a carattere uniforme e diffuso in tutto il territorio di Garlate, mentre per quanto riguarda le più importanti funzioni di tipo pubblico si può evincere come queste ultime siano concentrate in pochi punti nevralgici del comune. In prossimità del centro storico si addensano in un'area piuttosto circoscritta il Municipio, le scuole materna ed elementare, la biblioteca civica, l'ufficio postale, la chiesa e la banca. Nelle immediate vicinanze, a valle della SP 72, ha sede anche il Civico Museo della Seta ABEGG, di grande importanza per l'attività culturale del comune. Un secondo punto focale per le funzioni di interesse pubblico si trova all'altezza del Centro sportivo Pratogrande, ad Ovest della Strada Provinciale del Lago di Como, dove trovano sede, all'interno di un unico edificio di rilevante entità, alcuni esercizi commerciali, negozi di alimentari, studi medici ed attività di ristoro.

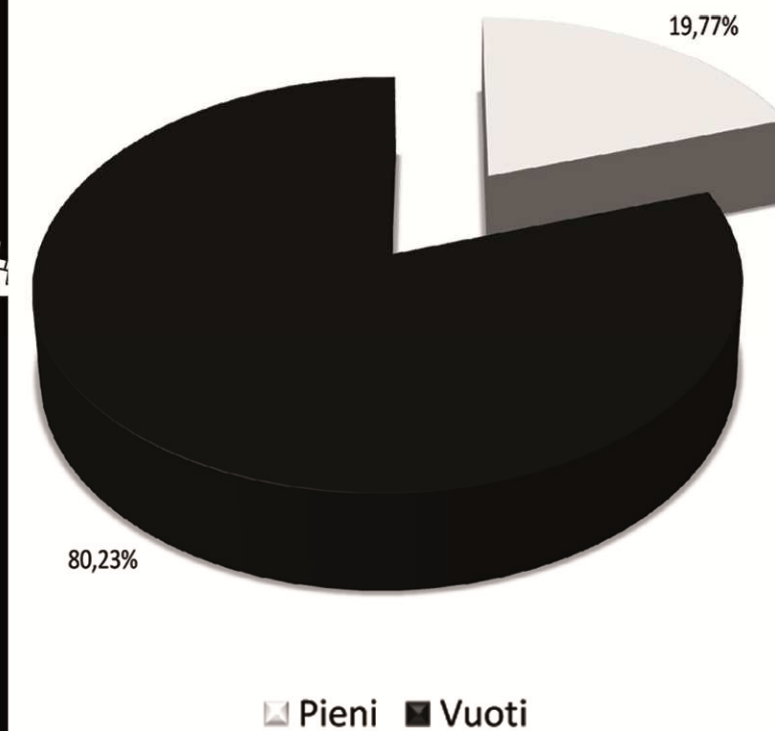
Pare opportuno far notare, da ultimo, con particolare riferimento alla tematica oggetto di questa tesi, come l'unico territorio di stampo sportivo (e anche ricettivo) a cui fa





---

riferimento l'intero territorio comunale sia proprio quello che vede la presenza del Centro sportivo Pratogrande, dove si trova anche l'unica struttura alberghiera di tutta Garlate, l'Hotel Nuovo, la cui presenza in prossimità dell'area di progetto è stata tenuta, in osservanza alle prescrizioni del bando, in considerazione in fase progettuale.



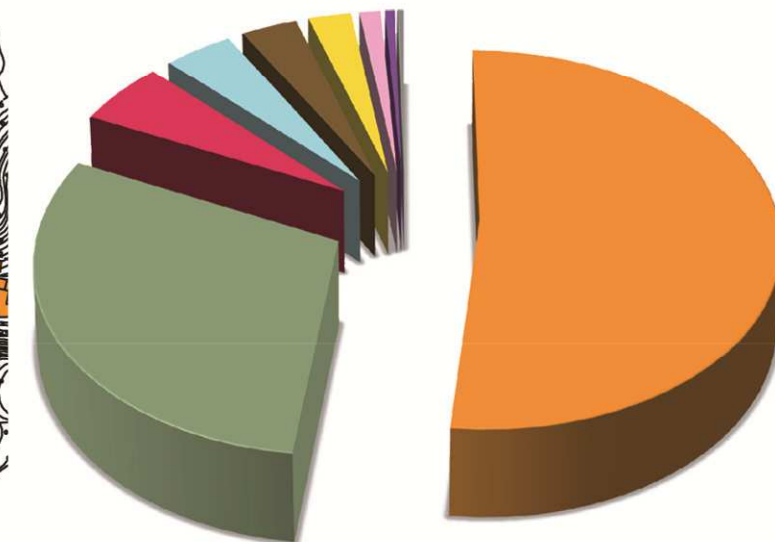
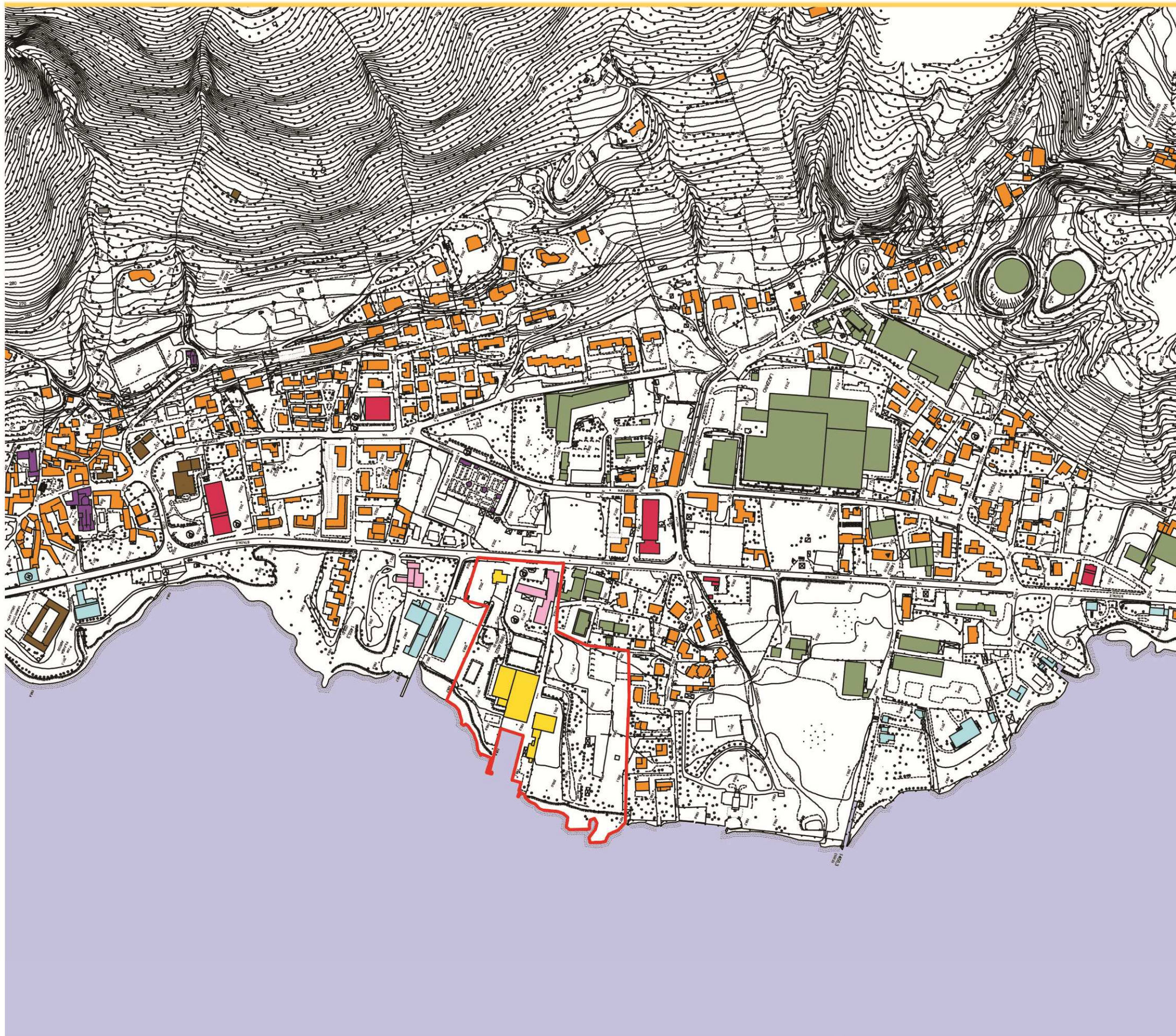
#### LEGENDA

- Area di Progetto
- Pieni
- Vuoti

#### NOTE

in alto viene riportato un grafico a torta che restituisce un'analisi del rapporto tra pieni e vuoti nel Comune di Garlate, riferito alla sola area urbanizzata del territorio. Viene infatti tralasciata tutta la parte boschiva nella parte alta del comune in quanto, in caso contrario, l'analisi perderebbe notevolmente di significato. I dati mostrano come ci sia una netta prevalenza dei vuoti sui pieni, a testimoniare un tessuto urbano con una densità edificatoria piuttosto ridotta e rada.





#### LEGENDA

- Area di Progetto
- Edifici Residenziali
- Impianti di Produzione Industriale
- Edifici Commerciali e/o Direzionali
- Servizi Pubblici
- Edifici di Istruzione e/o di Interesse Culturale
- Impianti Sportivi
- Impianti Turistico-Alberghieri
- Edifici di Interesse Religioso
- Impianti di Produzione Agricola

#### NOTE

si può evincere, sia dal grafico a torta che dalla rappresentazione grafica in tavola, come il Comune di Garlate presenti il tessuto urbano tipico della Brianza lecchese, dato da una netta prevalenza di insediamenti residenziali, unitamente ad una forte presenza di edifici per la produzione industriale. Queste due funzioni da sole costituiscono, infatti, oltre l'80% dell'intero edificato del territorio comunale.





## 2.7 Soglie storiche di edificazione

Un'ulteriore analisi svolta in fase preliminare, al fine di meglio conoscere e comprendere l'intorno urbano dell'area di progetto, è stata quella sulle soglie storiche di edificazione per quanto riguarda i più importanti fabbricati coinvolti in sito.

Sono state individuate tre macro-soglie significative in base ai periodi di realizzazione delle strutture in oggetto: anni 60, anni 70 e tempi relativamente recenti.

Al primo periodo risalgono l'albergo ristorante Hotel Nuovo (il quale ha però subito nel tempo, per ragioni di varia natura, vari interventi di adeguamento e ristrutturazione), il cui valore simbolico è molto forte per la cittadinanza garlatese, ed il primo dei due capannoni per rimessaggio imbarcazioni, attualmente situato a Nord del Centro sportivo Pratogrande.

Al secondo dei tre momenti storici individuati appartengono la realizzazione del Centro sportivo Pratogrande (all'epoca costituito da piscina coperta, piscina scoperta e palazzina del custode), della palestra comunale di Garlate (la cui vetustà ed inadeguatezza appaiono oggi più che evidenti), del Circolo Nautico e del secondo capannone per rimessaggio imbarcazioni, edificato in adiacenza al primo, già esistente.

Nell'ultimo decennio abbondanti sono da segnalare, infine, due interventi: la completa rivisitazione e risistemazione della piscina scoperta (che oggi costituisce senz'altro, tra i fabbricati del complesso, l'elemento di maggior pregio) e dell'area circostante; il cambiamento di destinazione d'uso, con conseguenti lavori di ristrutturazione e adeguamento, della ex palazzina del custode in centro estetico e palestra fitness. Al contrario di quanto detto per la piscina scoperta, nonostante i lavori effettuati in epoca relativamente recente, quest'ultimo intervento risulta evidentemente un "adattamento" forzato e mal riuscito e, ad oggi, questo edificio, per una moltitudine di fattori (estetico, funzionale, prestazionale, tecnologico, etc.), risulta senza alcun dubbio il più inadeguato e carente di tutto il Centro sportivo Pratogrande.



SOGLIA STORICA ANNI '00



SOGLIA STORICA ANNI '70



SOGLIA STORICA ANNI '60



**LEGENDA**

**SOGLIE STORICHE**

- Anni '60
- Anni '70
- Anni '00

**LEGENDA DESTINAZIONI D'USO**

- Palestra Centro Sportivo Pratogrande
- Albergo Ristorante Nuovo
- Piscina coperta Centro Sportivo Pratogrande
- Rimessaggio barche Circolo Nautico
- Rimessaggio barche Circolo Nautico
- Edifici Circolo Nautico
- Palestra Comunale

**NOTE**

Analisi soglie storiche  
 -anni 60':  
 realizzazione del primo Capannone del rimessaggio barche e dell'Albergo Ristorante Nuovo;  
 -anni 70':  
 realizzazione del Centro Sportivo Pratogrande, che comprendeva la Piscina Coperta, Scoperta e la Palazzina del custode; della Palestra Comunale; del Centro Nautico e del secondo Capannone del rimessaggio barche;  
 -anni 00':  
 sistemazione della Piscina Scoperta e cambiamento della destinazione d'uso della Palazzina del custode, che adesso comprende una Palestra e un Centro Estetico.





## **2.8 Viste e contesto paesaggistico**

L'ultima, ma non meno importante, analisi svolta è stata di tipo visivo. Ci è parso più che opportuno, infatti, indagare su più fronti cioè che da un lato contiene e dall'altro circonda il nostro ambito di progetto. La sintesi di questo lavoro è costituita da una tavola (TAV. 9) che contiene una selezione delle fotografie scattate in sito o, in alcuni casi, a delle ricostruzioni dei principali fronti dei fabbricati presenti in sito attraverso dei *photo stitching* effettuati con software specifici.

Si è cercato di esaminare sia ciò che dal centro sportivo viene percepito guardando verso l'esterno (ponendo particolare attenzione, in questo senso, alle circostanti catene montuose e al prospiciente Lago di Garlate con il suo canneto), sia come viene percepito dall'esterno (strada, rive del lago) il complesso del Centro sportivo Pratogrande inserito nel suo contesto naturale.

La riflessioni a cui hanno condotto queste analisi e considerazioni sono state decisive in quelle che poi sono state le principali e più importanti scelte formali, soprattutto in termini di "morfologia" e cromatismi, nel dipanarsi del processo progettuale vero e proprio.



FOTO 01



FOTO 02



FOTO 03



FOTO 04



FOTO 05



FOTO 06



FOTO 07



FOTO 08



FOTO 09



FOTO 10



FOTO 11



FOTO 12



LEGENDA

- Area di Progetto
- Cono Ottico

- FOTO 01\_vista fronte strada -Hotel Nuovo, Palestra e Centro Estetico-
- FOTO 02\_Palestra e Centro Estetico
- FOTO 03\_percorso interno che collega la Palestra con la Piscina del Centro Sportivo Pratogrande
- FOTO 04\_vista della via d'accesso -via Puncia-
- FOTO 05\_Palestra Comunale
- FOTO 06\_panoramica del Centro Nautico e dei Capannoni del rimessaggio barche
- FOTO 07\_panoramica del retro del Centro Nautico e della Palestra Comunale
- FOTO 08\_vista dall'altro del percorso interno del Centro Sportivo Pratogrande
- FOTO 09\_panoramica del parco che comprende il Centro Nautico e i Capannoni del rimessaggio barche
- FOTO 10\_panoramica del parco e della Piscina Coperta
- FOTO 11\_panoramica che racchiude la Piscina Coperta e Scoperta del Centro Sportivo Pratogrande
- FOTO 12\_Piscina del Centro Sportivo Pratogrande





## CAPITOLO 3 – STATO DI FATTO

*In questo capitolo sono stati analizzati gli edifici esistenti in sito. Partendo dallo studio della storia dei vari fabbricati, si è potuto comprendere, con l'ausilio di manuali architettonici dell'epoca e di disegni cartacei recuperati tramite il responsabile del Centro sportivo, le tecnologie costruttive utilizzate.*

*Si è poi passati ad effettuare una serie di rilievi, da quello fotografico a quello geometrico-materico e tecnologico, per concludere con quello del degrado. Tali rilievi hanno consentito di ampliare la conoscenza del complesso e di elaborare le schede delle anomalie, l'albero degli errori e quello diagnostico.*

*Grazie a questi strumenti sono state redatte le schede di prediagnosi, che riassumono tutte le informazioni utili individuate. L'ultima fase è stata quella di redigere le schede d'intervento, individuando il modo migliore di procedere per ripristinare l'efficienza dell'elemento costruttivo.*

### **3.1 Storia del Centro sportivo Pratogrande**

Il Centro sportivo Pratogrande viene costruito negli anni Settanta in un'area verde che, partendo dalla soprastante strada provinciale che si estende fino alla riva del lago di Garlate. L'area era quasi totalmente ineditata, con due sole eccezioni rappresentate dall'albergo/ristorante Nuovo e dal primo capannone del rimessaggio barche; risalenti ai primi anni Sessanta.

Durante gli anni Settanta sono stati costruiti il circolo nautico, il secondo capannone adiacente al primo, la palestra comunale e il complesso Pratogrande composto dai seguenti fabbricati: palazzina del custode, piscina e dai campi da tennis. Dopo l'ultimazione dei lavori risalente al 1973, il Centro sportivo non ha più subito modifiche, fatta salva la realizzazione della piscina esterna. (ved. Scheda CdFE 01-07)

È possibile accedere al complesso tramite il parcheggio adiacente all'ex palazzina del custode oppure percorrendo la via Poncia, che conduce alla palestra comunale.

La zona esterna del Centro sportivo, comprendente la piscina esterna esistente e il grande prato circostante, si può raggiungere dall'interno dell'edificio principale.

Entrando nell'edificio principale dalla reception, è possibile accedere agli spogliatoi interrati, oppure nella zona bar che si affaccia al locale vasche, diviso da quest'ultimo soltanto da una parete vetrata. Al piano superiore trovano spazio un piccolo ufficio e un'area relax utilizzata solitamente per feste di compleanno, riunioni, etc.





Al piano interrato si trovano una sorta di area ricreativa/relax costituita da un bagno turco, una sauna e una sala fitness, oltre che gli spogliatoi che danno accesso, attraverso una scala decisamente poco funzionale, all'area vasche del piano terra comprendente anche una piscina per bambini. Inoltre, sempre al piano interrato sono collocati tutti i locali tecnici a servizio del centro sportivo.

Per raggiungere la palestra comunale si deve percorrere interamente Via Poncia. L'edificio è costruito in adiacenza al centro nautico e dispone di due accessi principali, che permettono di raggiungere separatamente i due spogliatoi e il campo da gioco. Esternamente sono poste in modo speculare, due rampe di scale, una che permette di accedere all'ufficio e l'altra alla tribuna, posta proprio sopra la zona degli spogliatoi. Da ultimo, nell'edificio prospiciente la strada provinciale, destinato inizialmente ad ospitare l'alloggio del custode, trovano attualmente spazio una piccola palestra e un centro per trattamenti estetici.



*Fig. 3.1 – Ortofoto dell'area di progetto con indicati gli edifici in oggetto: l'ex palazzina del custode (1), l'albergo/ristorante Nuovo (2), il Centro sportivo Pratogrande composto dall'edificio principale della piscina, dai campi da gioco calcetto-tennis e dalla piscina esterna (nell'ordine: 3a, 3b e 3c). Infine i capannoni del rimessaggio barche (4 e 5), il centro nautico (6) e la palestra comunale (7).*

CATALOGAZIONE DEI FABBRICATI ESISTENTI

CODICE: CdFE 01

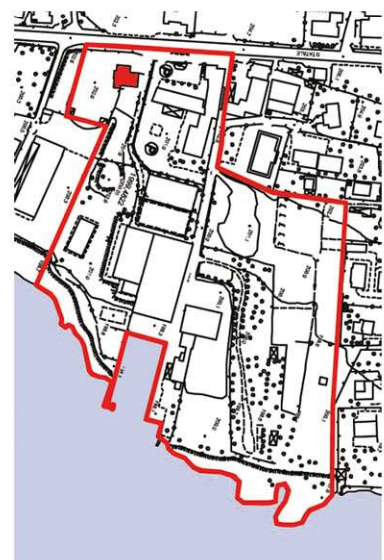
Edificio

Palestra

Rilievo Fotografico



Localizzazione in Pianta



Anno di Edificazione

Prima metà anni '70

Modifiche Successive

Cambio di destinazione d'uso - Anni '00

Destinazione d'Uso

Palestra e Centro Estetico

Tecnologia Costruttiva e Struttura

Edificio a 1 piano seminterrato e 1 fuori terra

- chiusure verticali: tamponamenti in laterizi intonacati al civile
- copertura: calcestruzzo armato
- partizioni verticali: tavolati in laterizi intonacati al civile
- partizioni orizzontali: solai in laterocemento
- serramenti: in alluminio vetro semplice

Dati Geometrici

Superficie Lorda: 230 mq  
 Altezza Media: 5,75 m  
 Volumetria: 1323 mc

Note



CATALOGAZIONE DEI FABBRICATI ESISTENTI

CODICE: CdFE 02

Edificio

Albergo Ristorante Nuovo

Rilievo Fotografico



Localizzazione in Pianta



Anno di Edificazione

Prima metà anni '60

Modifiche Successive

Adeguamenti tecnologici ed estetici - Anni '00

Destinazione d'Uso

Albergo Ristorante

Tecnologia Costruttiva e Struttura

- Edificio a 3 piani fuori terra
- chiusure verticali: tamponamenti in laterizi intonacati al civile
  - copertura: a falde in laterocemento con manto di copertura in tegole
  - partizioni verticali: tavolati in laterizi intonacati al civile
  - partizioni orizzontali: solai in laterocemento
  - serramenti: in legno con vetrocamera

Dati Geometrici

Superficie Lorda: 1235 mq  
Altezza Media: ca.9 m  
Volumetria: 11115 mc

Note

L'edificio in questione non è direttamente oggetto di intervento del progetto, ma si ritiene comunque opportuno catalogarlo in quanto strettamente relazionata con l'area.

CATALOGAZIONE DEI FABBRICATI ESISTENTI

CODICE: CdFE 03

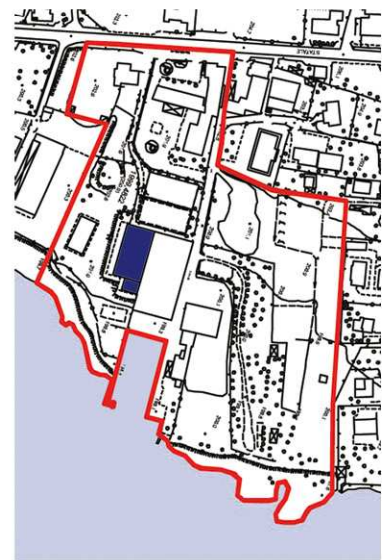
Edificio

Piscina

Rilievo Fotografico



Localizzazione in Pianta



Anno di Edificazione

Prima metà anni '70

Modifiche Successive

Ammodernamento piscina esterna - Anni '00

Destinazione d'Uso

Piscina coperta Centro Sportivo Pratogrande

Tecnologia Costruttiva e Struttura

- Edificio a 1 piano fuori terra e 1 piano interrato
- chiusure verticali: pareti in calcestruzzo armato e vetrate
  - copertura: calcestruzzo armato
  - partizioni verticali: tavolati in laterizio e pareti mobili in pannelli rivestiti
  - partizioni orizzontali: solai in laterocemento
  - serramenti: in alluminio con vetro semplice

Dati Geometrici

Superficie Lorda: 905 mq  
 Altezza Media: 7,55 m  
 Volumetria: 6833 mc

Note

L'edificio, per quanto conservi una sua dignità architettonica, presenta numerose inadeguatezze, sia da un punto di vista tecnologico che da un punto di vista delle barriere architettoniche



CATALOGAZIONE DEI FABBRICATI ESISTENTI

CODICE: CdFE 04

Edificio

Capannone 1

Rilievo Fotografico



Localizzazione in Pianta



Anno di Edificazione

Metà anni '60 ca.

Modifiche Successive

Destinazione d'Uso

Rimessaggio Barche Circolo Nautico

Tecnologia Costruttiva e Struttura

Edificio a 1 piano fuori terra  
- chiusure verticali: calcestruzzo armato e blocchi cavi in cls intonacate  
- copertura: a due falde di tipo industriale con struttura in acciaio  
- partizioni verticali: assenti  
- partizioni orizzontali: assenti  
- serramenti: in ferro con vetro semplice

Dati Geometrici

Superficie Lorda: 880 mq  
Altezza Media: ca. 8 m  
Volumetria: ca. 7000 mc

Note

CATALOGAZIONE DEI FABBRICATI ESISTENTI

CODICE: CdFE 05

Edificio

Capannone 2

Rilievo Fotografico



Localizzazione in Pianta



Anno di Edificazione

Metà anni '70 ca.

Modifiche Successive

Destinazione d'Uso

Rimessaggio Barche Circolo Nautico

Tecnologia Costruttiva e Struttura

- Edificio a 1 piano fuori terra
- chiusure verticali: lastre in cls prefabbricato e blocchi cavi in cls intonacate
  - copertura: a due falde di tipo industriale in cls prefabbricato
  - partizioni verticali: assenti
  - partizioni orizzontali: assenti
  - serramenti: in ferro con vetro semplice

Dati Geometrici

Superficie Lorda: 880 mq  
 Altezza Media: ca. 8 m  
 Volumetria: ca. 7000 mc

Note



CATALOGAZIONE DEI FABBRICATI ESISTENTI	CODICE: CdFE 06
--	-----------------

Edificio	Circolo Nautico
----------	-----------------

Rilievo Fotografico	Localizzazione in Pianta
	

Anno di Edificazione	Metà anni '70 ca.
----------------------	-------------------

Modifiche Successive	
----------------------	--

Destinazione d'Uso	Circolo Nautico, Bar, Appartamenti
--------------------	------------------------------------

Tecnologia Costruttiva e Struttura	Edificio a 2 piani fuori terra - chiusure verticali: tamponamenti in laterizi intonacati al civile - copertura: a falde con manto di copertura in tegole e praticabile - partizioni verticali: tavolati in laterizi intonacati al civile - partizioni orizzontali: solai in laterocemento - serramenti: alluminio con vetrocamera e avvolgibili in pvc
------------------------------------	---

Dati Geometrici	Superficie Lorda: 350 mq Altezza Media: ca. 7 m Volumetria: ca. 2400 mc
-----------------	---

Note	
------	--

CATALOGAZIONE DEI FABBRICATI ESISTENTI

CODICE: CdFE 07

Edificio

Palestra

Rilievo Fotografico



Localizzazione in Pianta



Anno di Edificazione

Metà anni '70 ca.

Modifiche Successive

Destinazione d'Uso

Palestra Comunale

Tecnologia Costruttiva e Struttura

- Edificio a 1 piano fuori terra
- chiusure verticali: calcestruzzo armato e blocchi cavi in cls intonacate
  - copertura: a due falde di tipo industriale in cls prefabbricato
  - partizioni verticali: tavolati in laterizi intonacati al civile
  - partizioni orizzontali: assenti
  - serramenti: in ferro con vetro semplice

Dati Geometrici

Superficie Lorda: 536 mq  
 Altezza Media: 8,8 m  
 Volumetria: 4700 mc

Note



### 3.2 Rilievi

Per ottenere una completa conoscenza del complesso sono stati eseguiti una serie di rilievi sul campo analizzando gli aspetti metrico-materici degli edifici. Questo passo ha permesso di conseguire una solida base conoscitiva di fondamentale importanza per affrontare al meglio le successive fasi progettuali.

#### 3.2.1 Rilievo fotografico

Il primo rilievo è stato quello fotografico, che ha consentito di eseguire una prima analisi visuale dell'esterno degli edifici. Tale rilievo ha permesso lo studio degli affacci, delle proporzioni nonché delle condizioni e dei tratti architettonici.



Fig. 3.2 – Coni ottici indicanti i punti di ripresa delle fotografie di seguito riportate.



*Fig. 3.3 – Prospetto sud-ovest (cono n.1) che cattura il fronte ingresso dell'edificio.*



*Fig. 3.4 – Prospetto sud-est (cono n.2) che mostra il fronte principale che caratterizza l'edificio.*



*Fig. 3.5 – Prospetto nord-est (cono n.3) che si affaccia a lago.*



Fig. 3.6 – Piscina esterna circondata dal verde (cono n.4).



Fig. 3.7 – Campo da calcetto affiancato da quello di tennis (cono n.5).



Fig. 3.8 – Ex palazzina del custode adiacente alla provinciale (cono n.6).



*Fig. 3.9 – Palestra comunale, fronte principale (cono n.7).*



### 3.2.2 Rilievo geometrico-materico

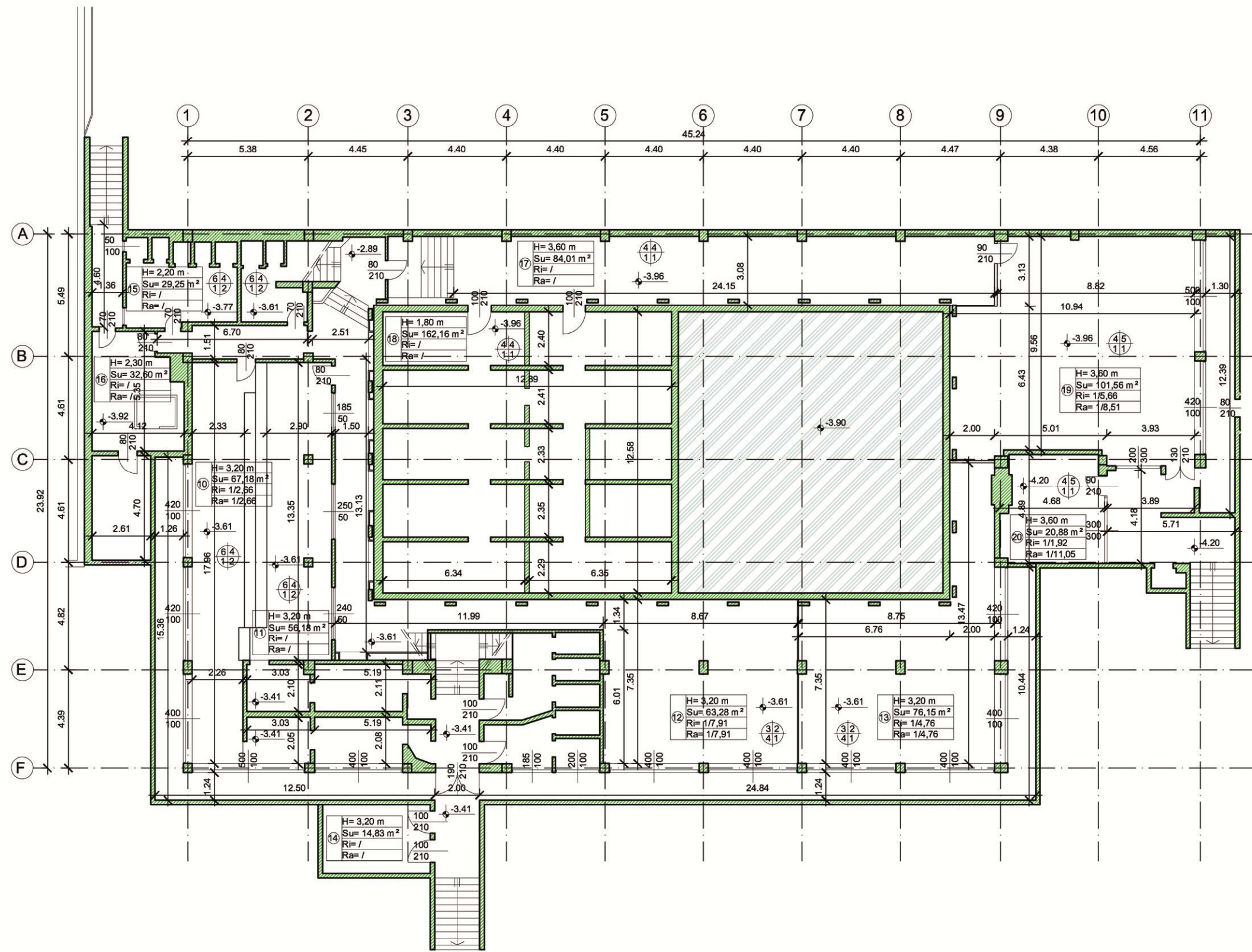
Il rilievo geometrico ha consentito la conoscenza dimensionale di ogni locale e di ogni suo elemento costituente; mentre il rilievo materico ha permesso di conoscere i materiali e le finiture utilizzati. Questi studi sono stati realizzati sul campo utilizzando come materiale di base i disegni d'archivio, i quali si sono rivelati essere piuttosto completi ed esaustivi, soprattutto da un punto di vista dimensionale.

Osservando criticamente la disposizione dei locali e i loro percorsi interni, si rileva immediatamente come gli spogliatoi, area fulcro di un impianto sportivo/natatorio, siano collocati in modo inadeguato; risultano, inoltre, sottodimensionati in rapporto all'utenza odierna. Nel tentativo di risolvere questo problema, nel corso degli anni sono state apportate modifiche per cercare di ampliarli andando però ad utilizzare zone non adatte e finendo così col creare ulteriori situazioni di disagio per gli utenti.

L'edificio della palestra comunale si compone di due piani fuori terra. Al piano terra ci sono gli spogliatoi, divisi per squadre, con due accessi separati posti ai lati opposti del fronte principale, i quali, a loro volta, danno accesso al campo da gioco. Sempre su questo piano troviamo i locali tecnici e i depositi per le attrezzature sportive. Al piano superiore, soprastante l'area degli spogliatoi, sono situati la tribuna e un piccolo ufficio, raggiungibili tramite due rampe di scale indipendenti.

L'ex palazzina del custode ha un piano fuori terra e un seminterrato raccordati da una rampa di scala comune. Anche in questo caso appare fin da subito evidente l'inadeguatezza, figlia degli inappropriati cambi di destinazioni d'uso nel corso degli anni, sia funzionale che spaziale, dei locali rispetto alle funzioni che ospitano.

Di seguito vengono riportate le tavole del rilievo geometrico-materico dei tre edifici, in ordine: la piscina, la palestra comunale e infine l'ex palazzina del custode. Le tavole rappresentano le piante, le sezioni e i prospetti.



**LEGENDA**

**DESTINAZIONE D'USO LOCALI**

- |                         |                    |
|-------------------------|--------------------|
| 10_ Spogliatoio donne   | 16_ Locale tecnico |
| 11_ Spogliatoio uomini  | 17_ Spogliatoio    |
| 12_ Sala fitness        | 18_ Locale tecnico |
| 13_ Bagno turco-sauna   | 19_ Locale tecnico |
| 14_ Magazzino           | 20_ Locale tecnico |
| 15_ Spogliatoi calcetto |                    |

**LEGENDA CAMPITURE MATERICHE**

- Muratura portante in cls armato
- Acqua piscine

**LETTURA DEI RIFERIMENTI**

destinazione d'uso  $\begin{matrix} H= \\ Su= \\ Ri= \\ Ra= \end{matrix}$   $\begin{matrix} \text{altezza netta} \\ \text{superficie utile} \\ \text{rapporto illuminante} \\ \text{rapporto aerante} \end{matrix}$

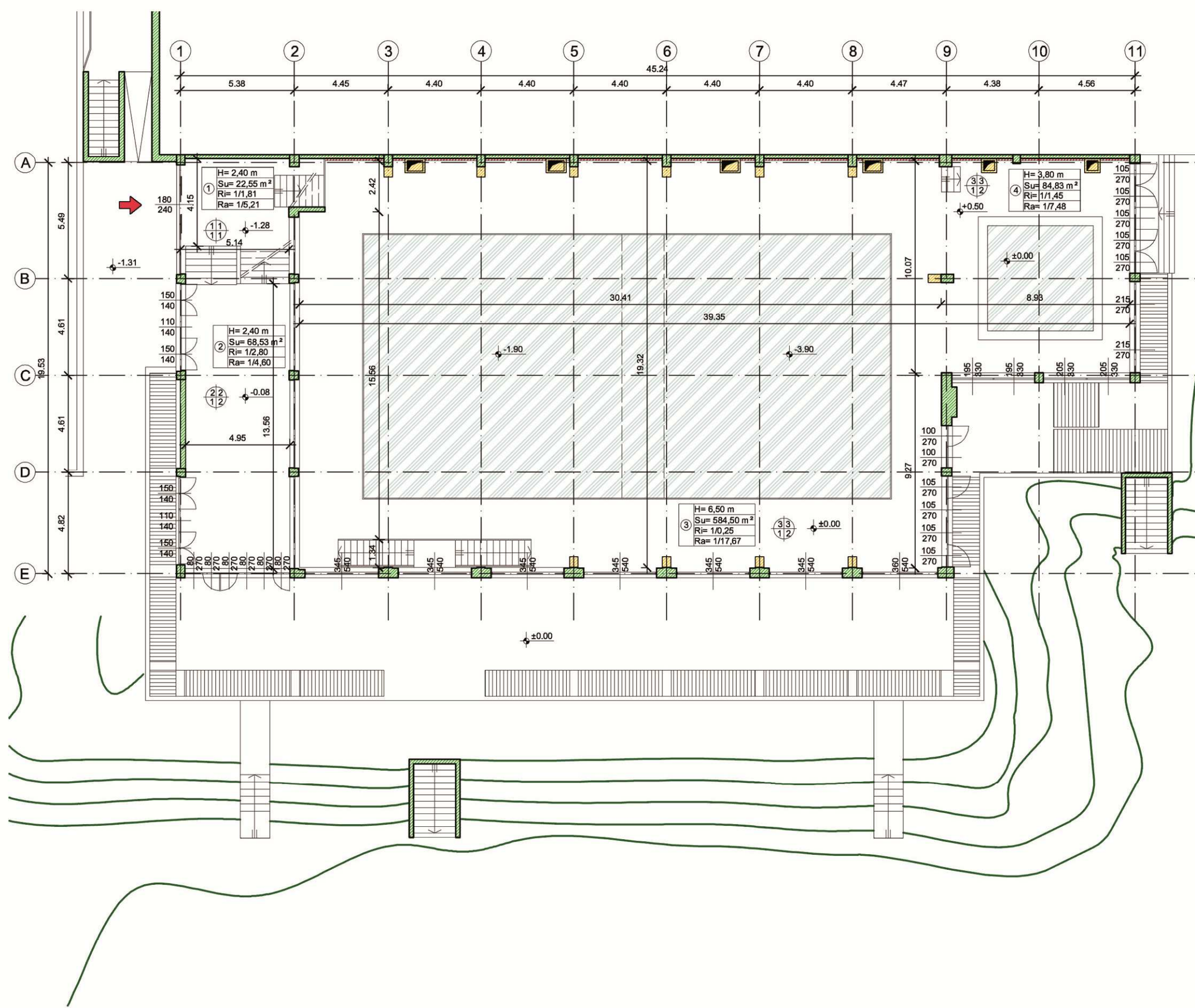
indicazione stato di finitura della parete  $\begin{matrix} 1 \\ 3 \end{matrix}$   $\begin{matrix} 2 \\ 4 \end{matrix}$   $\begin{matrix} 1 \\ 3 \\ 2 \\ 4 \end{matrix}$   $\begin{matrix} \text{tipologia di soffitto e} \\ \text{controsoffittatura} \\ \text{tipologia di zoccolino} \end{matrix}$

tipologia di pavimentazione  $\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix}$   $\begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix}$

**MATERIALI IN PIANTA**

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| <b>Stato di finitura parete:</b>                        | <b>Soffitto:</b>                 |
| 1. intonaco   | 1. intonaco                      |
| 2. rivestimento materiale plastico                      | 2. doghe microforate in plastica |
| 3. doghe microforate in plastica                        | 3. tegoli prefabbricati          |
| 4. cls tinteggiato                                      | 4. doghe in plastica             |
| 5. pannelli in truciolo rivestiti in materiale plastico | 5. cls tinteggiato               |
| 6. piastrelle   |                                  |
| <b>Pavimentazione:</b>                                  | <b>Zoccolino:</b>                |
| 1. piastrelle   | 1. assente                       |
| 2. rivestimento in materiale polimerico antiscivolo     | 2. piastrelle                    |
| 3. lastre in pietra artificiale                         |                                  |
| 4. lastre in finto legno                                |                                  |

**TAVOLA 10 - RILIEVO GEOM\_MATERICO PISCINA\_PIANTA LIVELLO -3.61 scala 1:200**



**LEGENDA**

**DESTINAZIONE D'USO LOCALI**

- 01\_ Receptions-ingresso
- 02\_ Bar
- 03\_ Piscina
- 04\_ Piscina per bambini

**LEGENDA CAMPITURE MATERICHE**

- Muratura portante in cls armato
- Rivestimento in doghe microforate in plastica
- Impianti di aerazione
- Acqua piscine

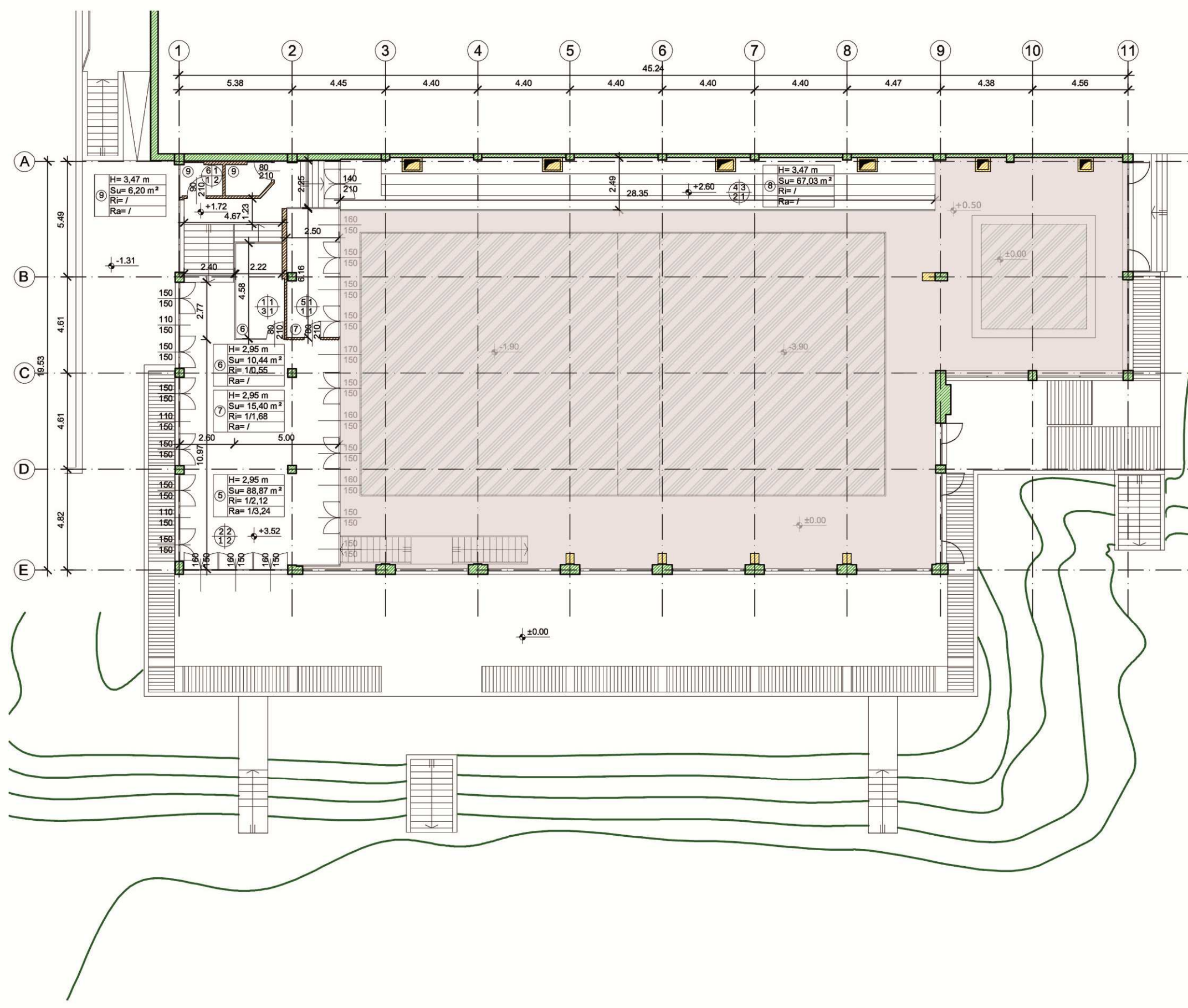
**LETTURA DEI RIFERIMENTI**

destinazione d'uso	H=	altezza netta
	Su=	superficie utile
	Ri=	rapporto illuminante
	Ra=	rapporto aerante
indicazione stato di finitura della parete	1 3	tipologia di soffitto e controsoffittatura
tipologia di pavimentazione	2 4	tipologia di zoccolino

**MATERIALI IN PIANTA**

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Stato di finitura parete:                                 | Soffitto:                        |
| 1. intonaco   | 1. intonaco                      |
| 2. rivestimento materiale plastico                        | 2. doghe microforate in plastica |
| 3. doghe microforate in plastica                          | 3. tegoli prefabbricati          |
| 4. cls tinteggiato  | 4. doghe in plastica             |
| 5. pannelli in truciolato rivestiti in materiale plastico | 5. cls tinteggiato               |
| 6. piastrelle   |                                  |
| Pavimentazione:   | Zoccolino:                       |
| 1. piastrelle   | 1. assente                       |
| 2. rivestimento in materiale polimerico antiscivolo       | 2. piastrelle                    |
| 3. lastre in pietra artificiale                           |                                  |
| 4. lastre in finto legno                                  |                                  |

**TAVOLA 11 - RILIEVO GEOM\_MATERICO**  
**PISCINA\_PIANTA LIVELLO +0.00**  
 scala 1:200



**LEGENDA**

**DESTINAZIONE D'USO LOCALI**

- 05\_ Sala relax
- 06\_ Ufficio
- 07\_ Cucina
- 08\_ Gradinata
- 09\_ Bagno handicappati

**LEGENDA CAMPITURE MATERICHE**

- Muratura portante in cls armato
- Pannelli in truciolo rivestito in materiale plastico
- Impianti di aerazione

**LETTURA DEI RIFERIMENTI**

destinazione d'uso	H=	altezza netta
	Su=	superficie utile
	Ri=	rapporto illuminante
	Ra=	rapporto aerante

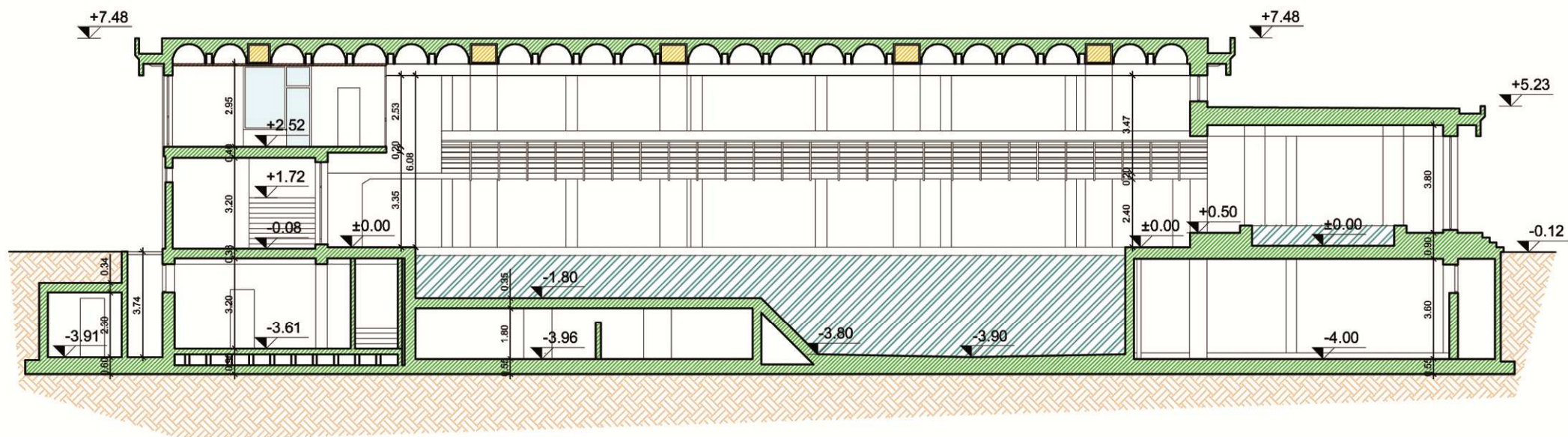
indicazione stato di finitura della parete	1 3	tipologia di soffitto e controsoffittatura
tipologia di pavimentazione	2 4	tipologia di zoccolino

**MATERIALI IN PIANTA**

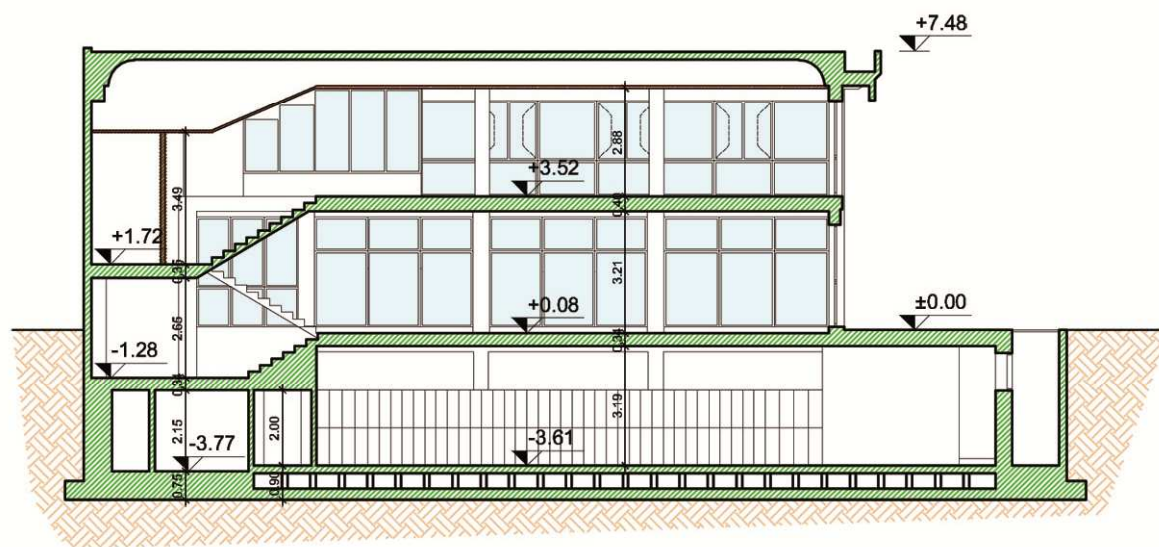
- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| <b>Stato di finitura parete:</b>                        | <b>Soffitto:</b>                 |
| 1. intonaco   | 1. intonaco                      |
| 2. rivestimento materiale plastico                      | 2. doghe microforate in plastica |
| 3. doghe microforate in plastica                        | 3. tegoli prefabbricati          |
| 4. cls tinteggiato                                      | 4. doghe in plastica             |
| 5. pannelli in truciolo rivestiti in materiale plastico | 5. cls tinteggiato               |
| 6. piastrelle   |                                  |
- 
- |   |                   |
|---|-------------------|
| <b>Pavimentazione:</b>                              | <b>Zoccolino:</b> |
| 1. piastrelle                                       | 1. assente        |
| 2. rivestimento in materiale polimerico antiscivolo | 2. piastrelle     |
| 3. lastre in pietra artificiale                     |                   |
| 4. lastre in finto legno                            |                   |

**TAVOLA 12 - RILIEVO GEOM\_MATERICO PISCINA\_PIANTA LIVELLO +3.52**  
scala 1:200

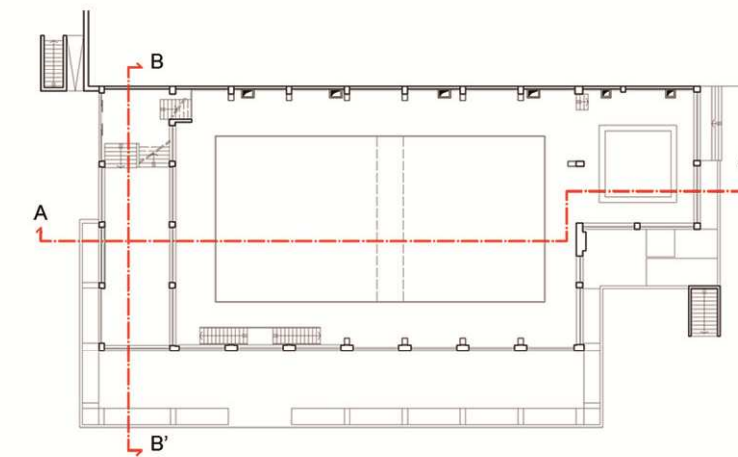




SEZIONE A-A'










SEZIONE B-B'

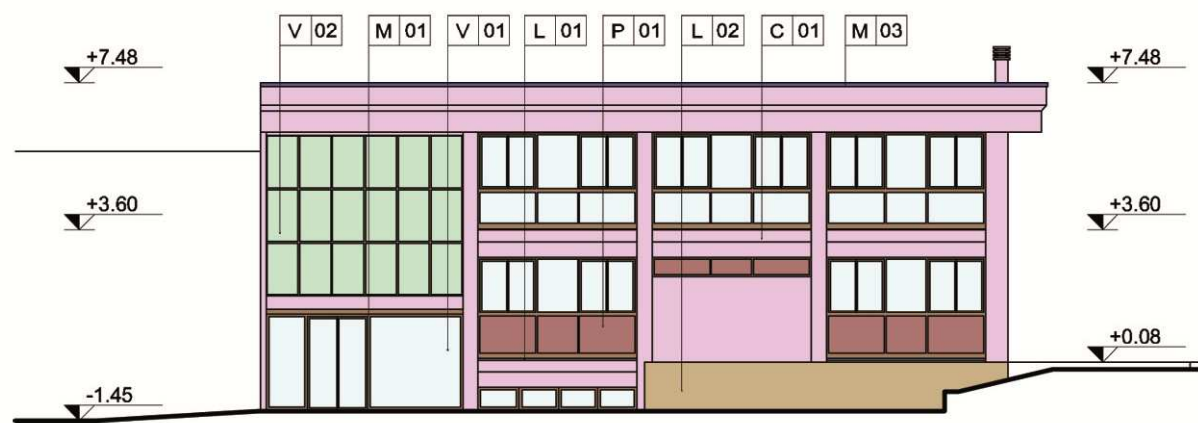


LEGENDA

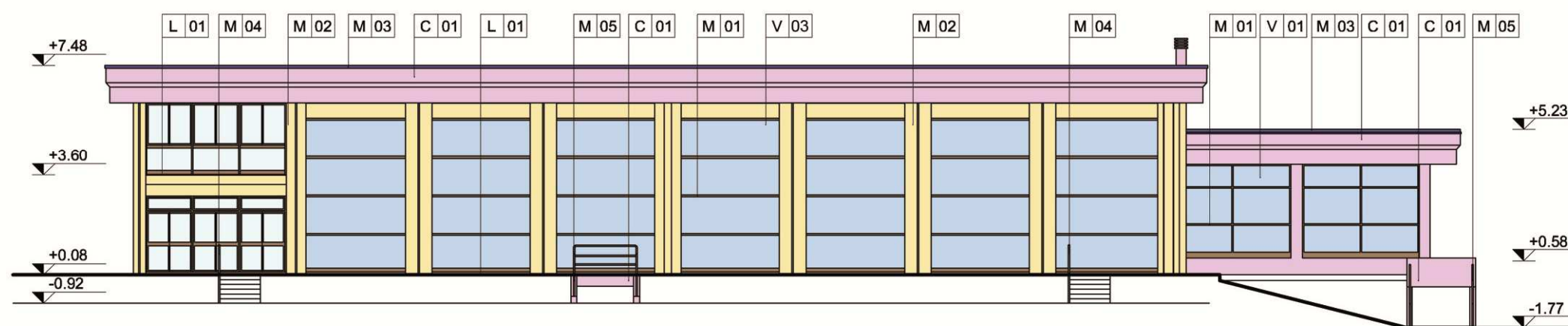
LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

-  Muratura portante in cls armato
-  Pannelli in truciolato rivestito in materiale plastico
-  Impianti di aerazione
-  Controsoffitto in doghe microforate in plastica
-  Acqua piscine
-  Vetro per serramenti
-  Terreno

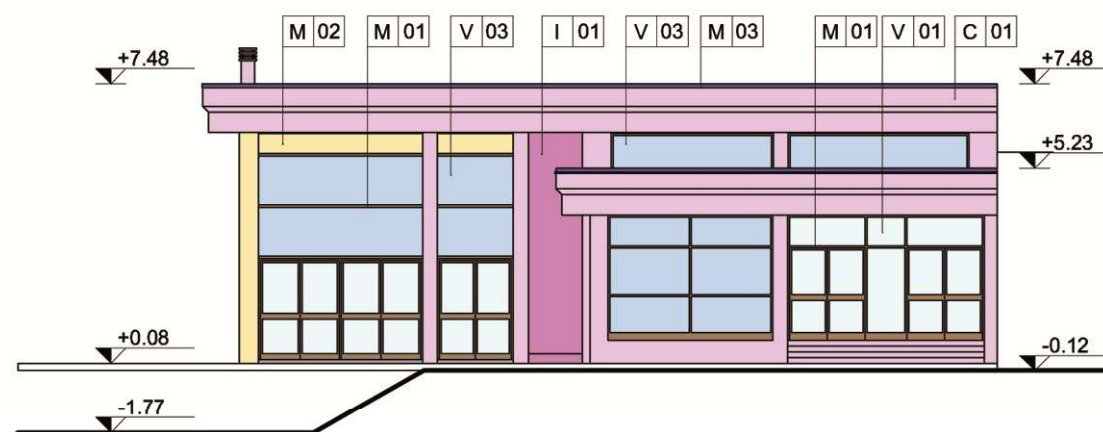




PROSPETTO SUD-OVEST



PROSPETTO SUD-EST



PROSPETTO NORD-EST



LEGENDA

LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

**Materiali metallici**

- M 01 Serramento in alluminio
- M 02 Rivestimento di facciata in alluminio
- M 03 Scossaline e lattoneria metallica
- M 04 Parapetti e corrimani in acciaio inox
- M 05 Parapetti e corrimani in acciaio verniciato

**Calcestruzzo**

- C 01 Calcestruzzo armato tinteggiato color grigio

**Vetro**

- V 01 Vetro semplice per serramento
- V 02 Pannello vetrato di facciata a specchio
- V 03 Vetrocamera per serramento

**Pietra**

- L 01 Soglie e davanzali in pietra locale
- L 02 Rivestimento in pietra locale a spacco

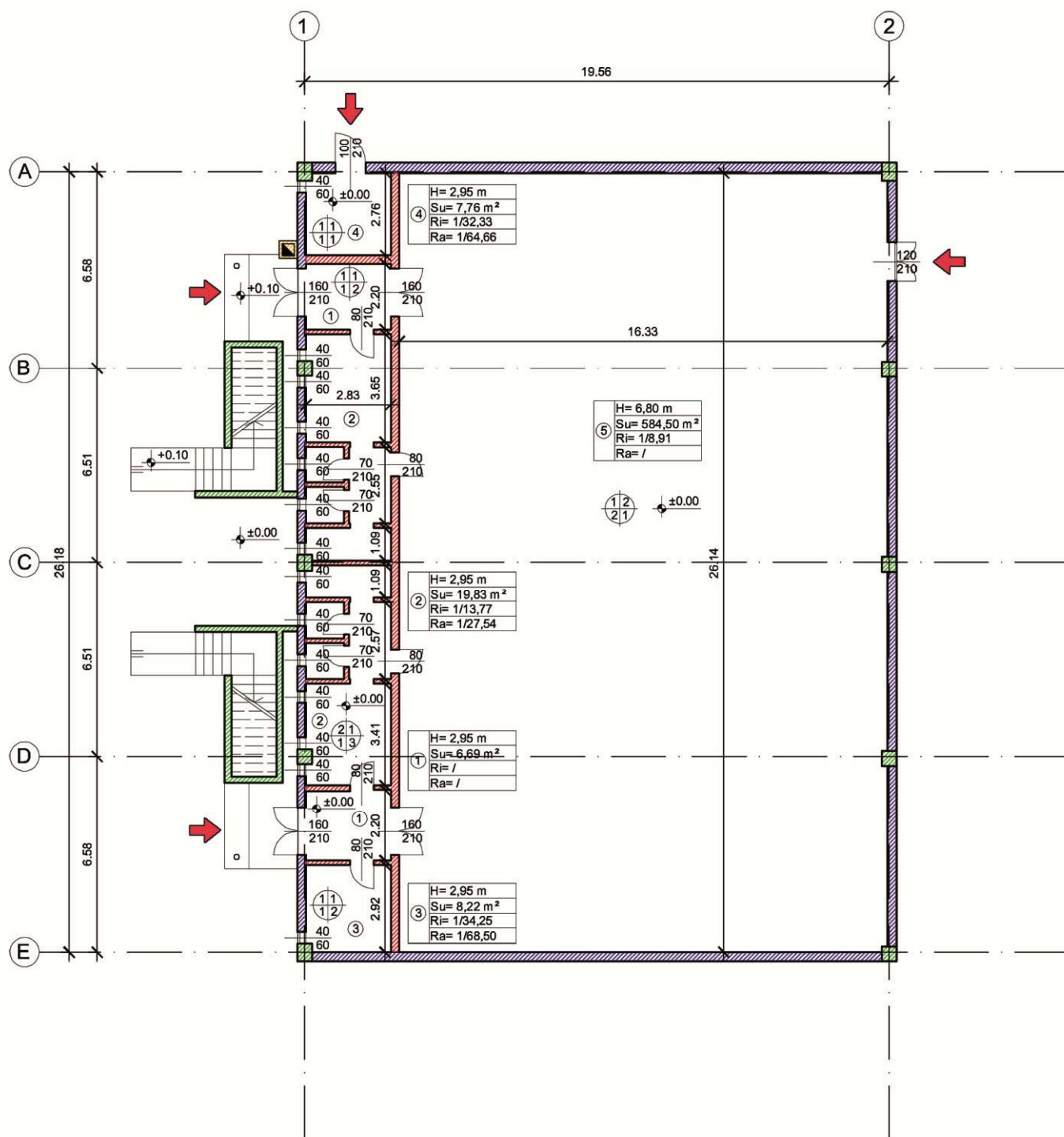
**Plastica**

- P 01 Pannelli in materiale plastico

**Intonaco**

- I 01 Intonaco al civile grigio chiaro





### LEGENDA

#### DESTINAZIONE D'USO LOCALI

- 01\_ Ingresso
- 02\_ Spogliatoi
- 03\_ Deposito attrezzi
- 04\_ Locale caldaia
- 05\_ Palestra

#### LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

- Muratura portante in cls armato
- Tamponamento in laterizio intonacato al civile
- Muratura in blocchi cavi in cls
- Impianto di riscaldamento

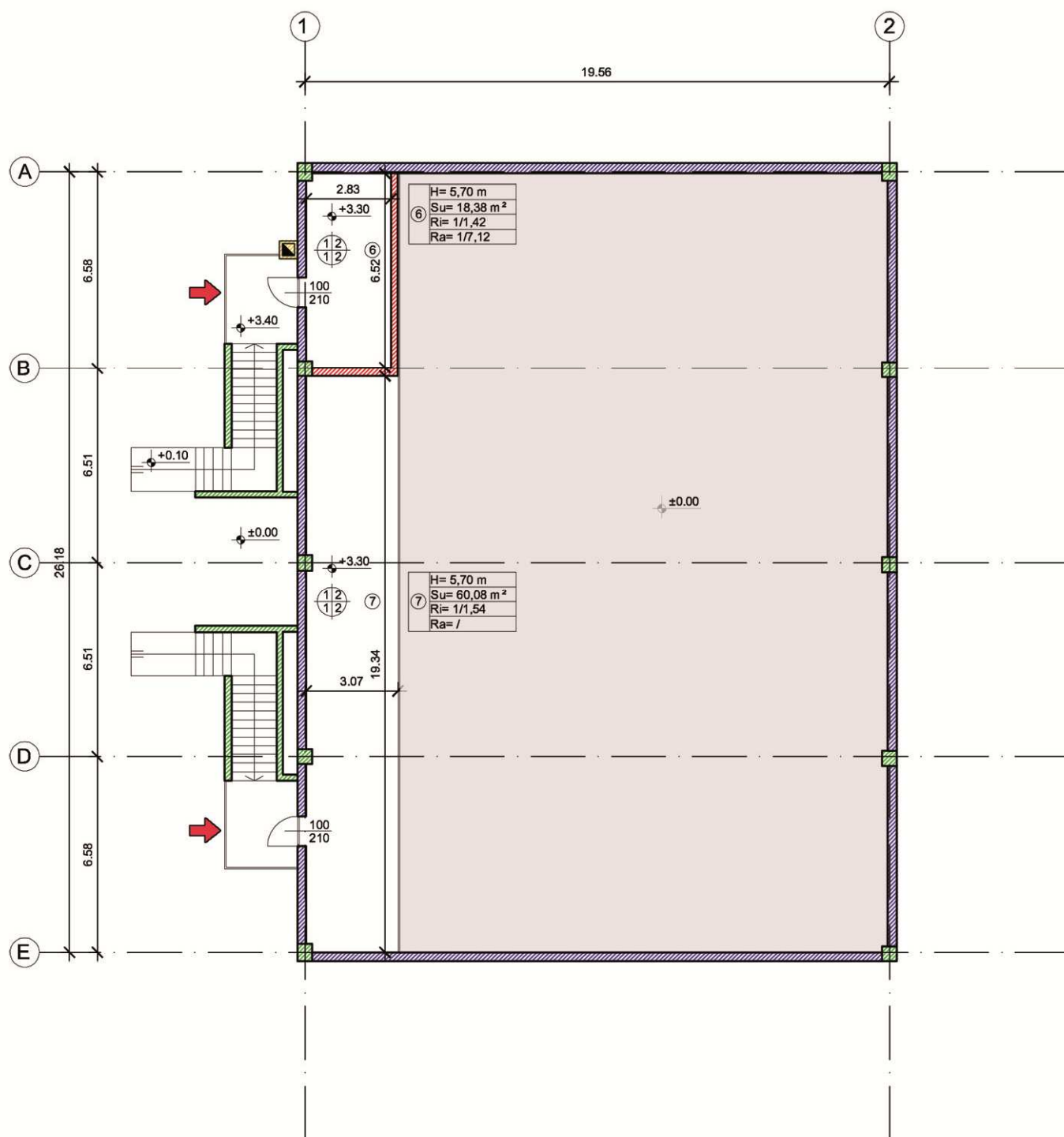
#### LETTURA DEI RIFERIMENTI

- |                    |     |                      |
|--------------------|-----|----------------------|
| destinazione d'uso | H=  | altezza netta        |
|                    | Su= | superficie utile     |
|                    | Ri= | rapporto illuminante |
|                    | Ra= | rapporto aerante     |
- 
- |  |     |  |
|--|-----|--|
| indicazione stato di finitura della parete | 1 3 | tipologia di soffitto e controsoffittatura |
| tipologia di pavimentazione                | 2 4 | tipologia di zoccolino                     |

#### MATERIALI IN PIANTA

- |                           |                                  |
|---------------------------|----------------------------------|
| Stato di finitura parete: | Soffitto:                        |
| 1. intonaco               | 1. intonaco                      |
| 2. piastrelle             | 2. pannelli in cls prefabbricato |
- 
- |   |               |
|---|---------------|
| Pavimentazione:                                     | Zoccolino:    |
| 1. piastrelle                                       | 1. assente    |
| 2. rivestimento in materiale polimerico antiscivolo | 2. piastrelle |
|   | 3. legno      |





### LEGENDA

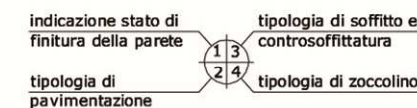
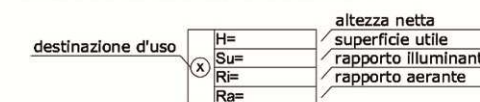
#### DESTINAZIONE D'USO LOCALI

- 06\_ Ufficio
- 07\_ Tribune

#### LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

- Muratura portante in cls armato
- Tamponamento in laterizio intonacato al civile
- Muratura in blocchi cavi in cls
- Impianto di riscaldamento

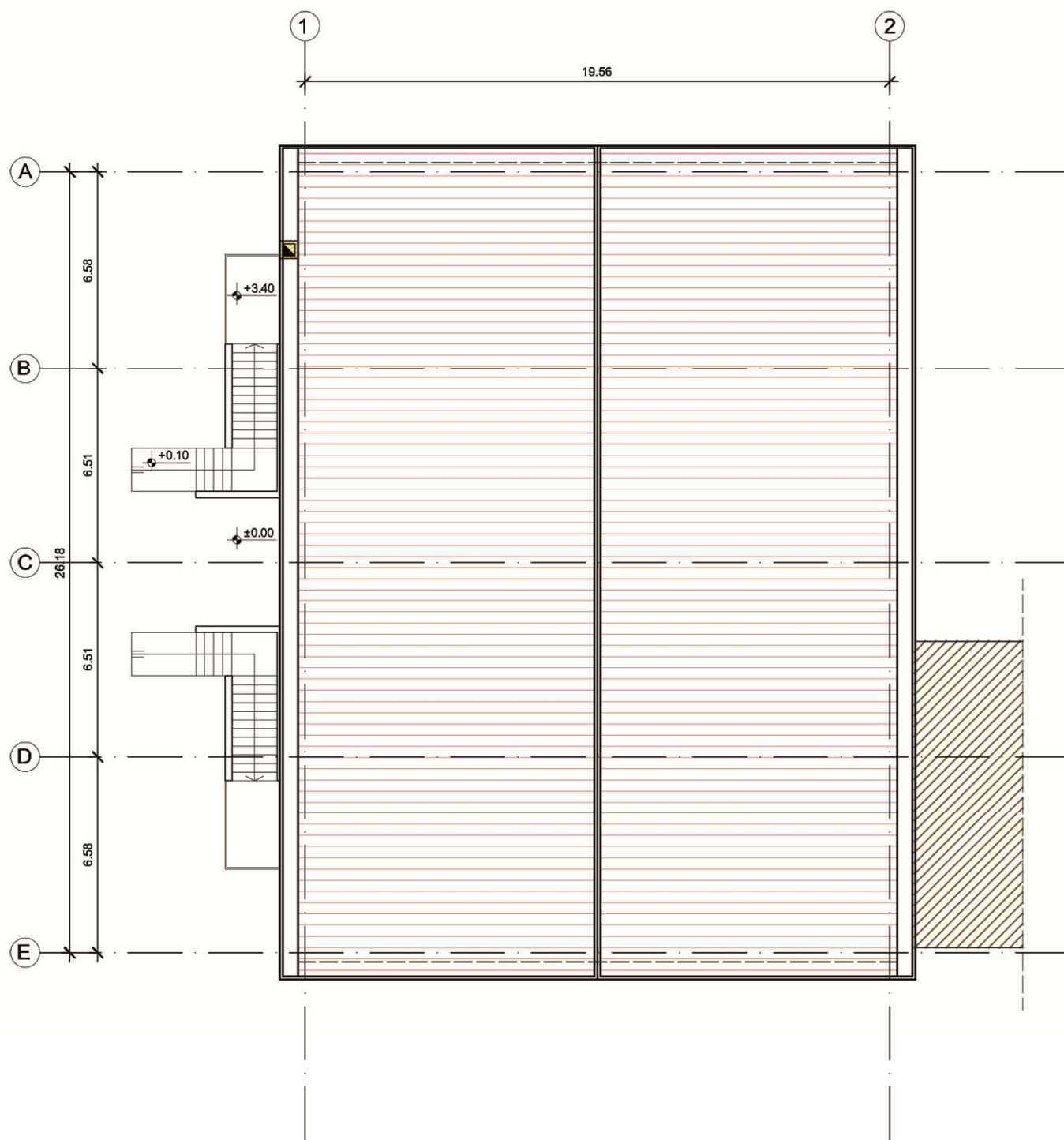
#### LETTURA DEI RIFERIMENTI



#### MATERIALI IN PIANTA




- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Stato di finitura parete:                           | Soffitto:                        |
| 1. intonaco   | 1. intonaco                      |
| 2. piastrelle                                       | 2. pannelli in cls prefabbricato |
| Pavimentazione:                                     | Zoccolino:                       |
| 1. piastrelle                                       | 1. assente                       |
| 2. rivestimento in materiale polimerico antiscivolo | 2. piastrelle                    |
|   | 3. legno                         |



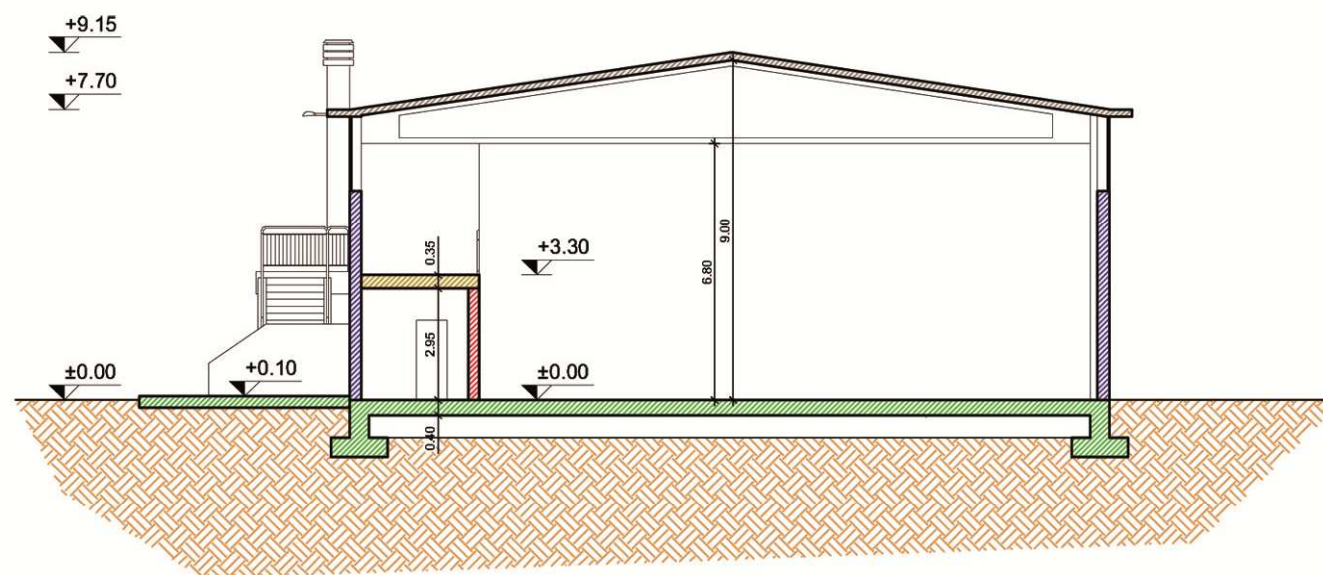


### LEGENDA

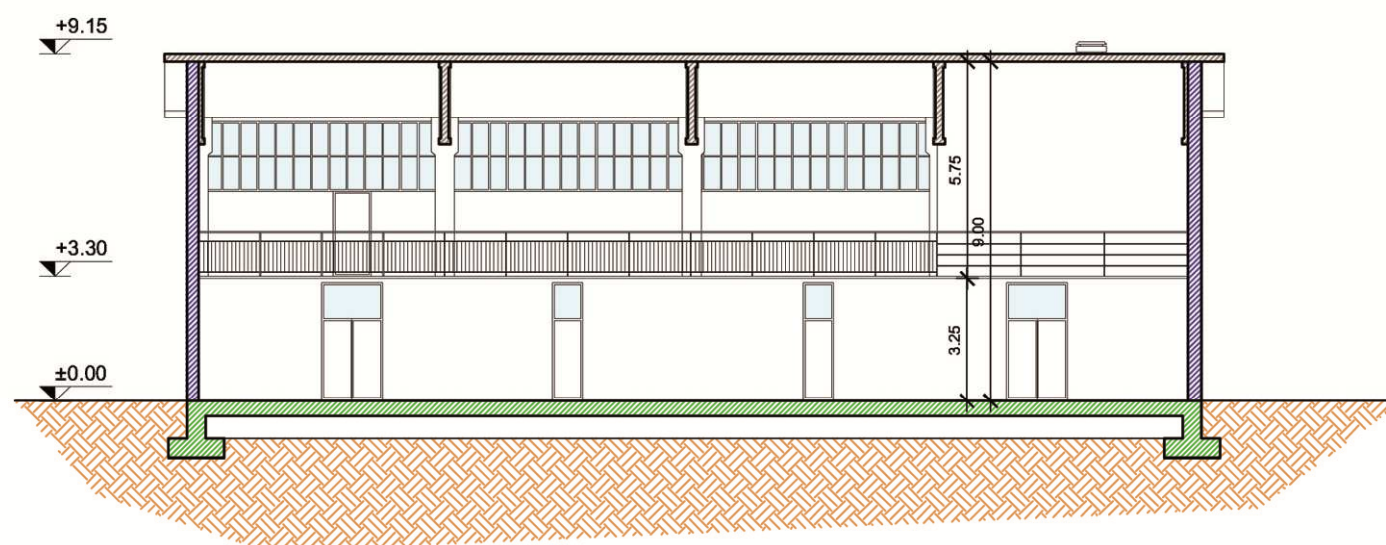
#### LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

-  Copertura prefabbricata
-  Altro edificio
-  Impianto di riscaldamento

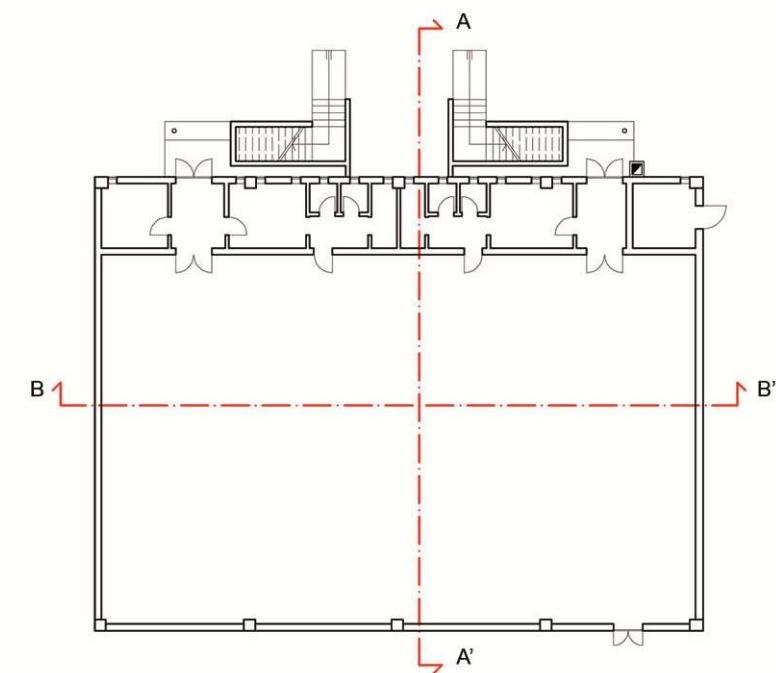




SEZIONE A-A'



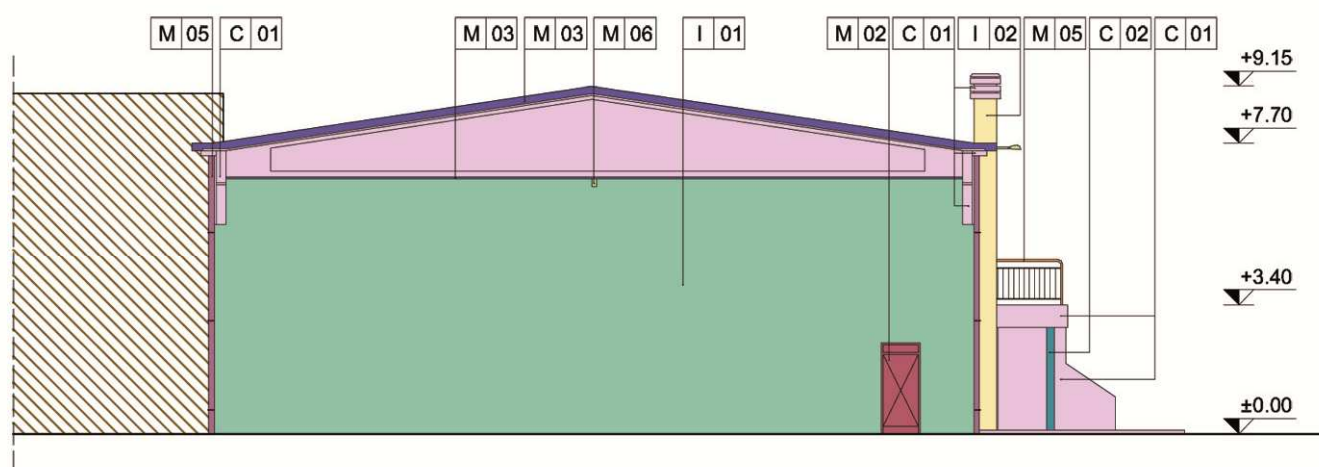
SEZIONE B-B'



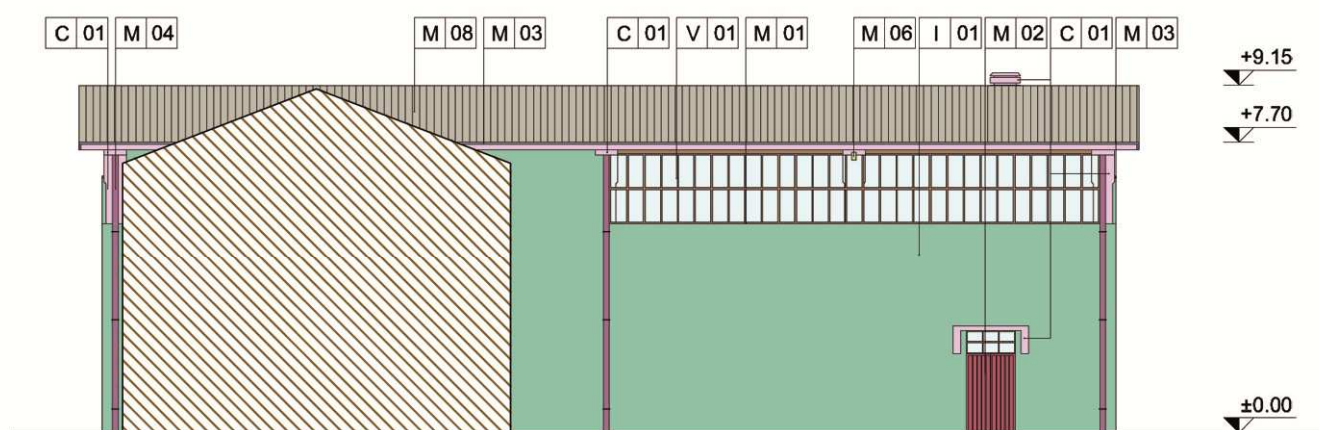
LEGENDA

LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

-  Muratura portante in cls armato
-  Tamponamento in laterizio intonacato al civile
-  Muratura in blocchi cavi in cls
-  Solaio in laterocemento
-  Copertura travi in cls prefabbricate
-  Vetro per serramenti
-  Terreno



PROSPETTO NORD



PROSPETTO EST



### LEGENDA

#### LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

##### Materiali metallici

- M 01** Serramenti in alluminio verniciati color blu
- M 02** Porte in materiale metallico verniciate color blu
- M 03** Scossaline e lattoneria metallica verniciate color blu
- M 04** Pluviali in rame verniciati color blu
- M 05** Parapetti e corrimani in acciaio verniciati color blu
- M 06** Lampione in materiale metallico
- M 07** Cassetta della posta in materiale metallico
- M 08** Lamiera metallica in materiale metallico

##### Calcestruzzo

- C 01** Calcestruzzo armato a vista
- C 02** Calcestruzzo armato tinteggiato color blu

##### Vetro

- V 01** Vetro semplice per serramento

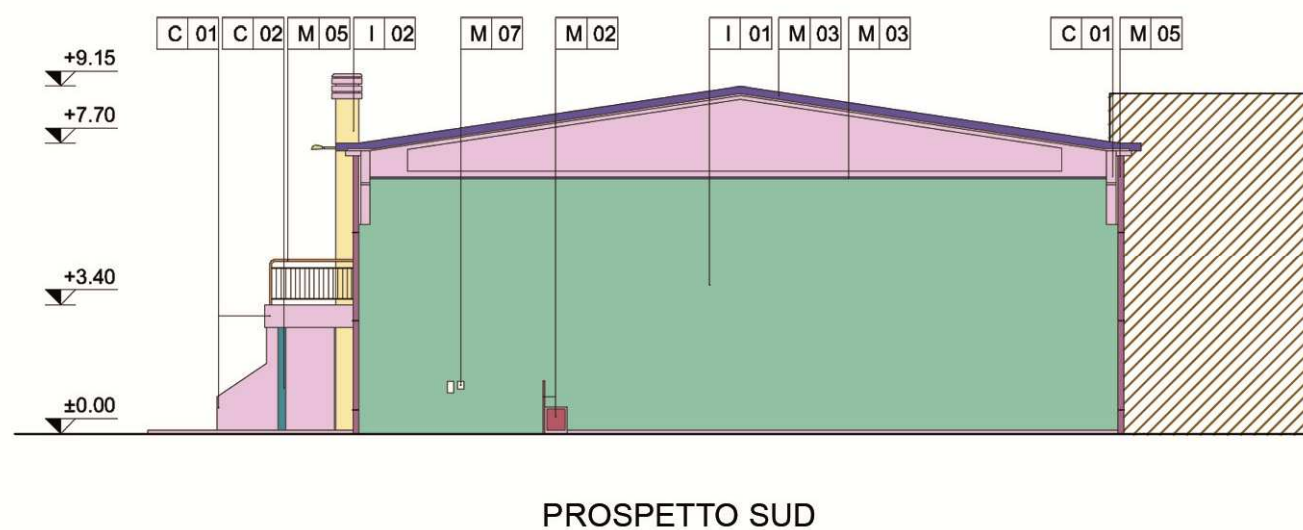
##### Pietra

- L 01** Soglie e davanzali in pietra locale

##### Intonaco

- I 01** Intonaco al civile color giallo
- I 02** Intonaco al civile color marrone





### LEGENDA

#### LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

##### Materiali metallici

- M 01 Serramenti in alluminio verniciati color blu
- M 02 Porte in materiale metallico verniciate color blu
- M 03 Scossaline e latteneria metallica verniciate color blu
- M 04 Pluviali in rame verniciati color blu
- M 05 Parapetti e corrimani in acciaio verniciati color blu
- M 06 Lampione in materiale metallico
- M 07 Cassetta della posta in materiale metallico
- M 08 Lamiera metallica in materiale metallico

##### Calcestruzzo

- C 01 Calcestruzzo armato a vista
- C 02 Calcestruzzo armato tinteggiato color blu

##### Vetro

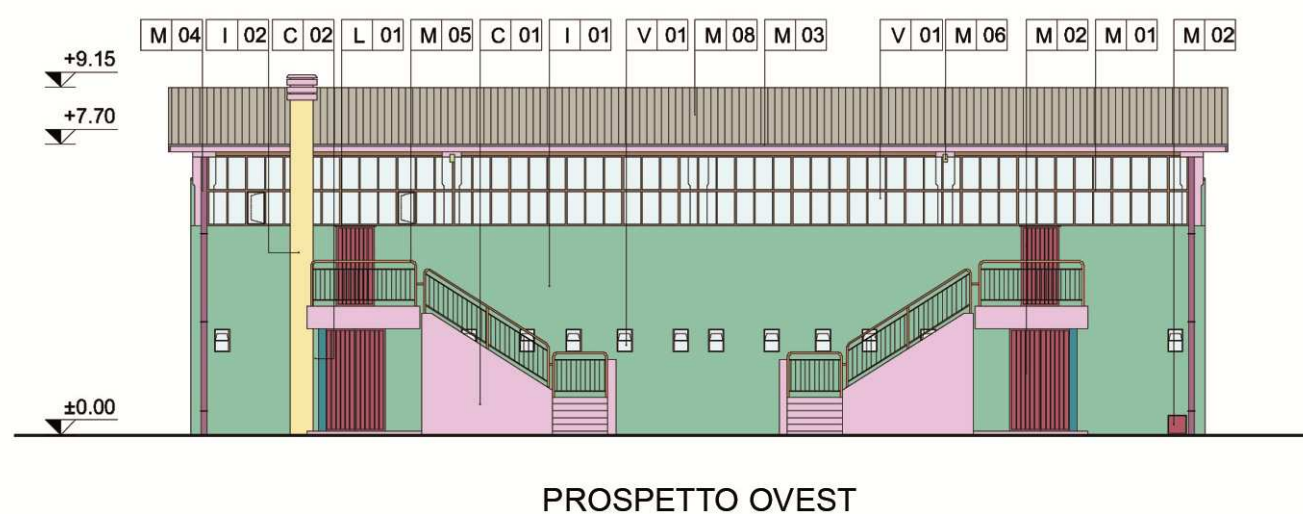
- V 01 Vetro semplice per serramento

##### Pietra

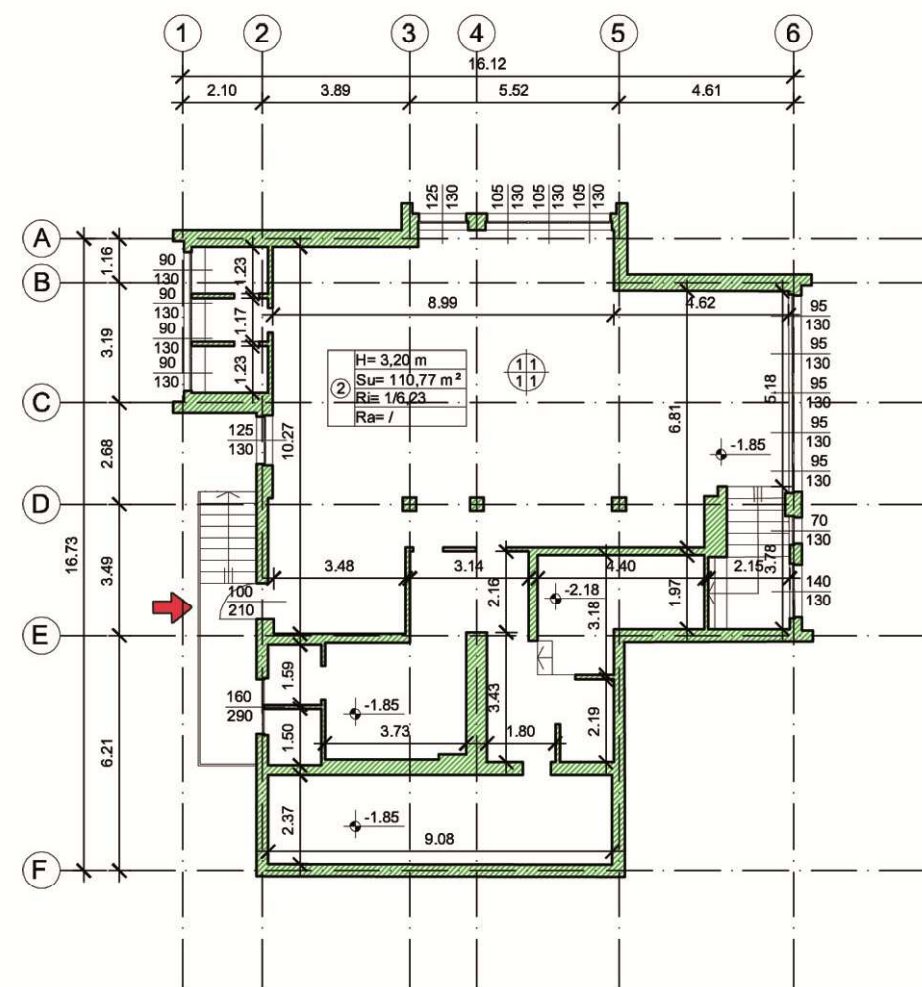
- L 01 Soglie e davanzali in pietra locale

##### Intonaco

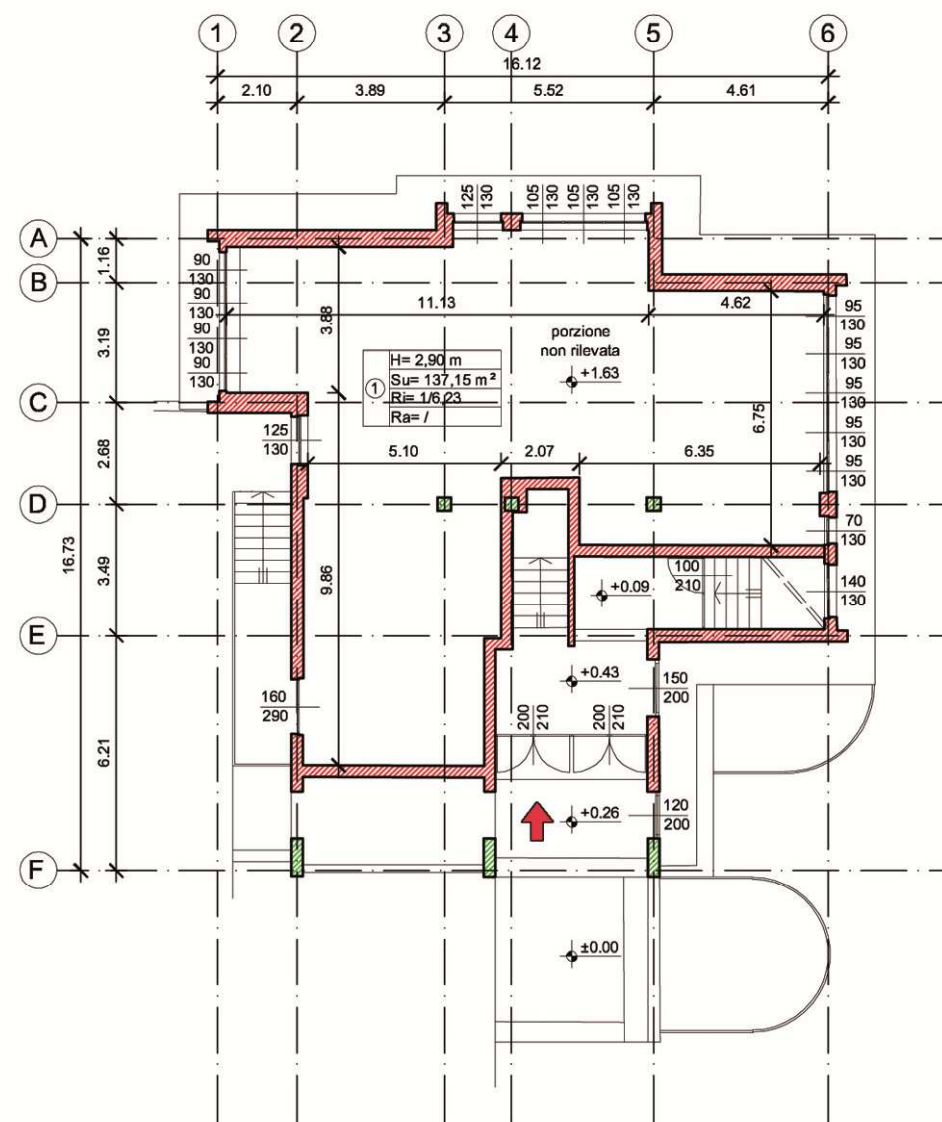
- I 01 Intonaco al civile color giallo
- I 02 Intonaco al civile color marrone



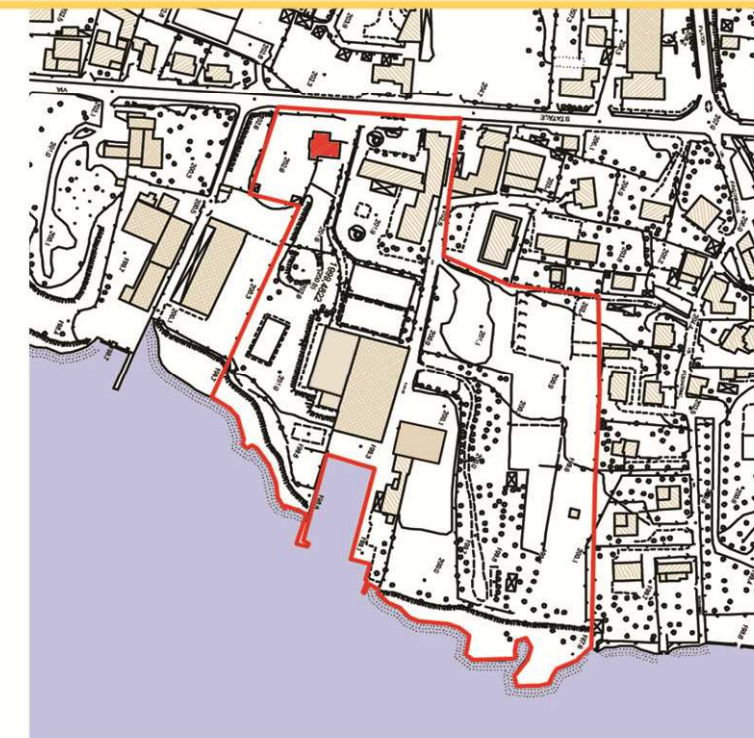




LIVELLO -1.85



LIVELLO ±0.00



LEGENDA

DESTINAZIONE D'USO LOCALI

- 01\_ Palestra
- 02\_ Centro Estetico

LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

- Muratura portante in cls armato
- Tamponamento in laterizio intonacato al civile

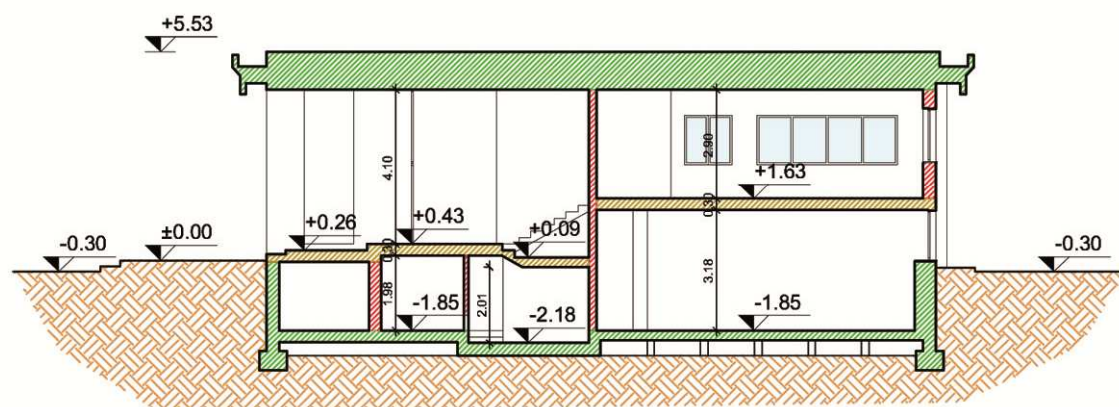
LETTURA DEI RIFERIMENTI

destinazione d'uso	H=	altezza netta
	Su=	superficie utile
	Ri=	rapporto illuminante
	Ra=	rapporto aerante
indicazione stato di finitura della parete	1/3	tipologia di soffitto e controsoffittatura
tipologia di pavimentazione	2/4	tipologia di zoccolino

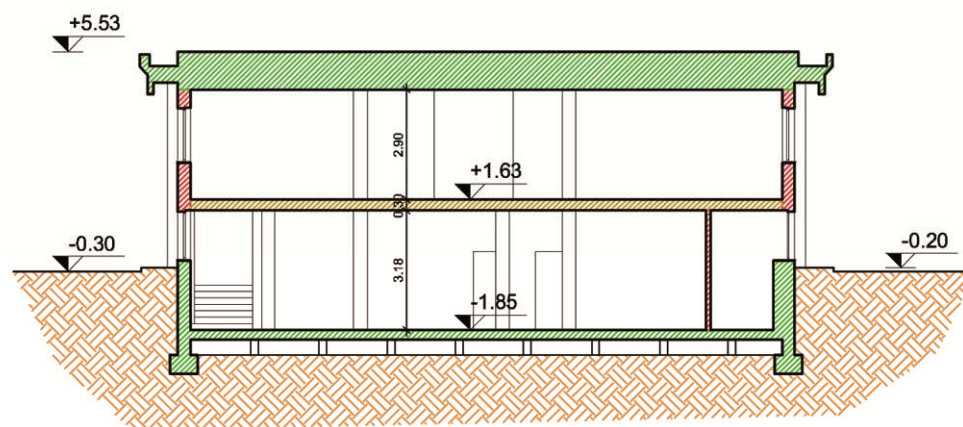
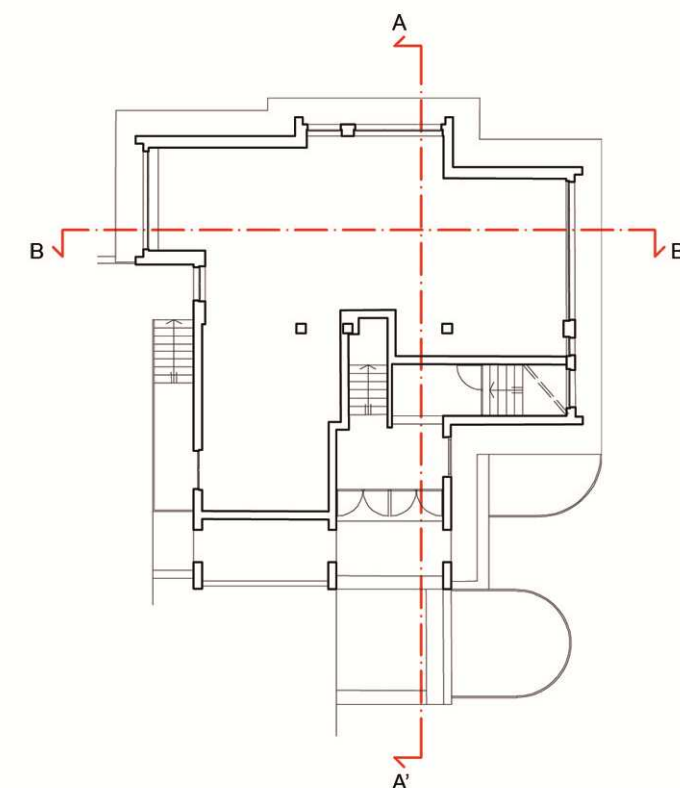
MATERIALI IN PIANTA

- |                           |               |
|---------------------------|---------------|
| Stato di finitura parete: | Soffitto:     |
| 1. intonaco               | 1. intonaco   |
| Pavimentazione:           | Zoccolino:    |
| 1. piastrelle             | 1. piastrelle |










SEZIONE A-A'



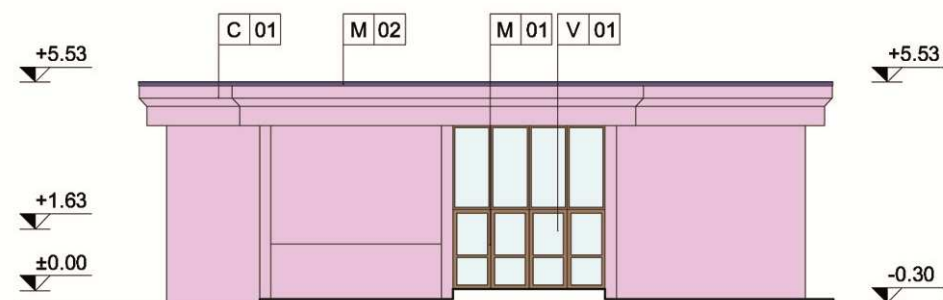
SEZIONE B-B'

LEGENDA

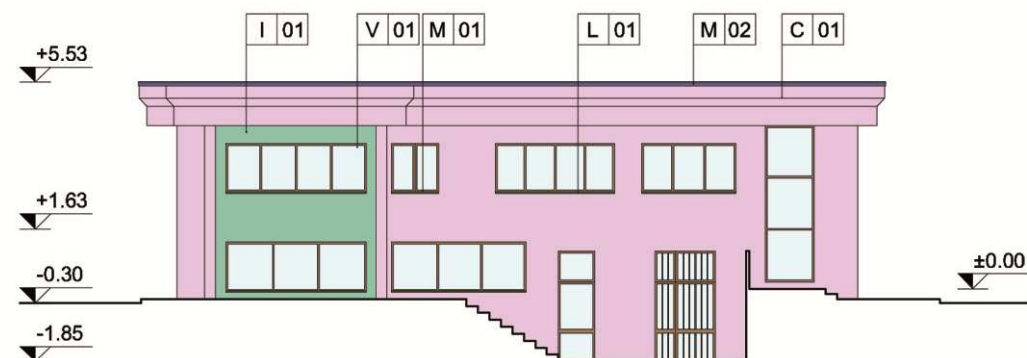
LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

-  Muratura portante in cls armato
-  Tamponamento in laterizio intonacato al civile
-  Solaio in laterocemento
-  Vetro per serramenti
-  Terreno





PROSPETTO NORD



PROSPETTO EST



### LEGENDA

#### LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

##### Materiali metallici

- M 01 Serramenti in alluminio
- M 02 Scossaline e lattoneria metallica

##### Calcestruzzo

- C 01 Calcestruzzo faccia a vista

##### Vetro

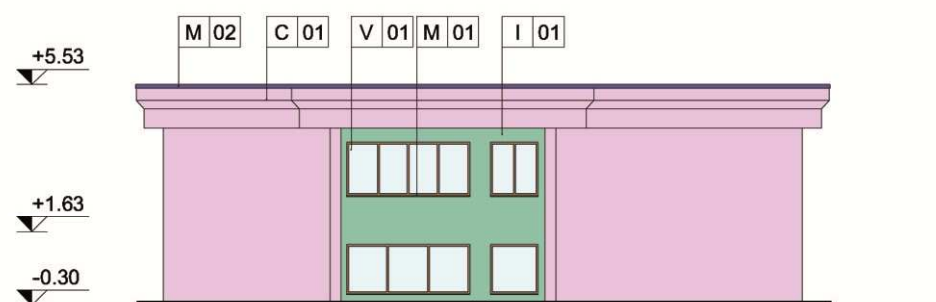
- V 01 Vetro semplice per serramento

##### Pietra

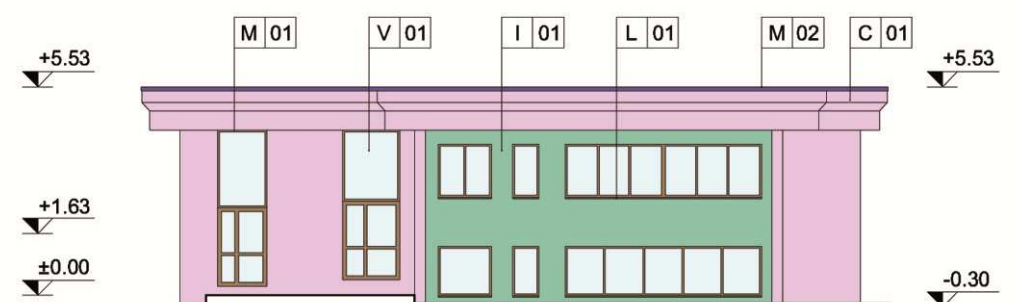
- L 01 Soglie e davanzali in pietra locale

##### Intonaco

- I 01 Intonaco al civile color marrone



PROSPETTO SUD



PROSPETTO OVEST





### 3.2.3 Rilievo tecnologico

Il rilievo tecnologico è stato condotto sui principali elementi tecnici che compongono gli edifici. Questo ha permesso di individuare le tecniche costruttive utilizzate e di valutarne l'efficienza e le risposte ai requisiti funzionali e prestazionali attualmente richiesti, in modo tale da capire dove intervenire e le strategie migliori da adottare.

L'edificio della piscina è realizzato interamente in calcestruzzo armato, partendo da fondazioni continue su cui poggia una struttura a telaio di travi e pilastri. La copertura piana è composta da elementi prefabbricati (tegoli posati sulle due travi di bordo che delimitano l'edificio) in calcestruzzo armato precompresso con getto collaborante rivestito con guaina bituminosa, mentre la copertura della porzione di edificio che ospita piscina dei bambini è composta da una semplice soletta in calcestruzzo armato rivestita da uno strato di tenuta costituito da una guaina bituminosa. Le partizioni interne sono realizzate anch'esse in calcestruzzo armato con diverse finiture a seconda del locale: per le vasche e gli spogliatoi sono presenti piastrelle in ceramica, la sala fitness e l'area comprendente sauna e bagno turco sono rivestiti con doghe microforate in materiale plastico, il bar ha come finitura un rivestimento in materiale plastico così come l'area relax al piano superiore, mentre i restanti ambienti sono rifiniti tramite intonacatura al civile.

La parete a Nord è in comune con il capannone del rimessaggio barche del centro nautico. Anche i corpi scala e i solai sono realizzati con calcestruzzo armato. Il vespaio aerato è stato costruito mediante l'uso di tavelloni appoggiati su muretti posti a breve distanza l'uno dall'altro, coperti tramite una cappa di cemento armato. Le chiusure verticali sono realizzate tutte con serramenti in alluminio con vetro semplice. Esternamente l'edificio è rifinito tramite tinteggiatura color grigio e presenta, in corrispondenza della facciata principale sud-est, elementi in alluminio che rivestono i pilastri, al fine di nascondere il profilo del serramento a ghigliottina.

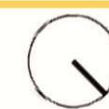
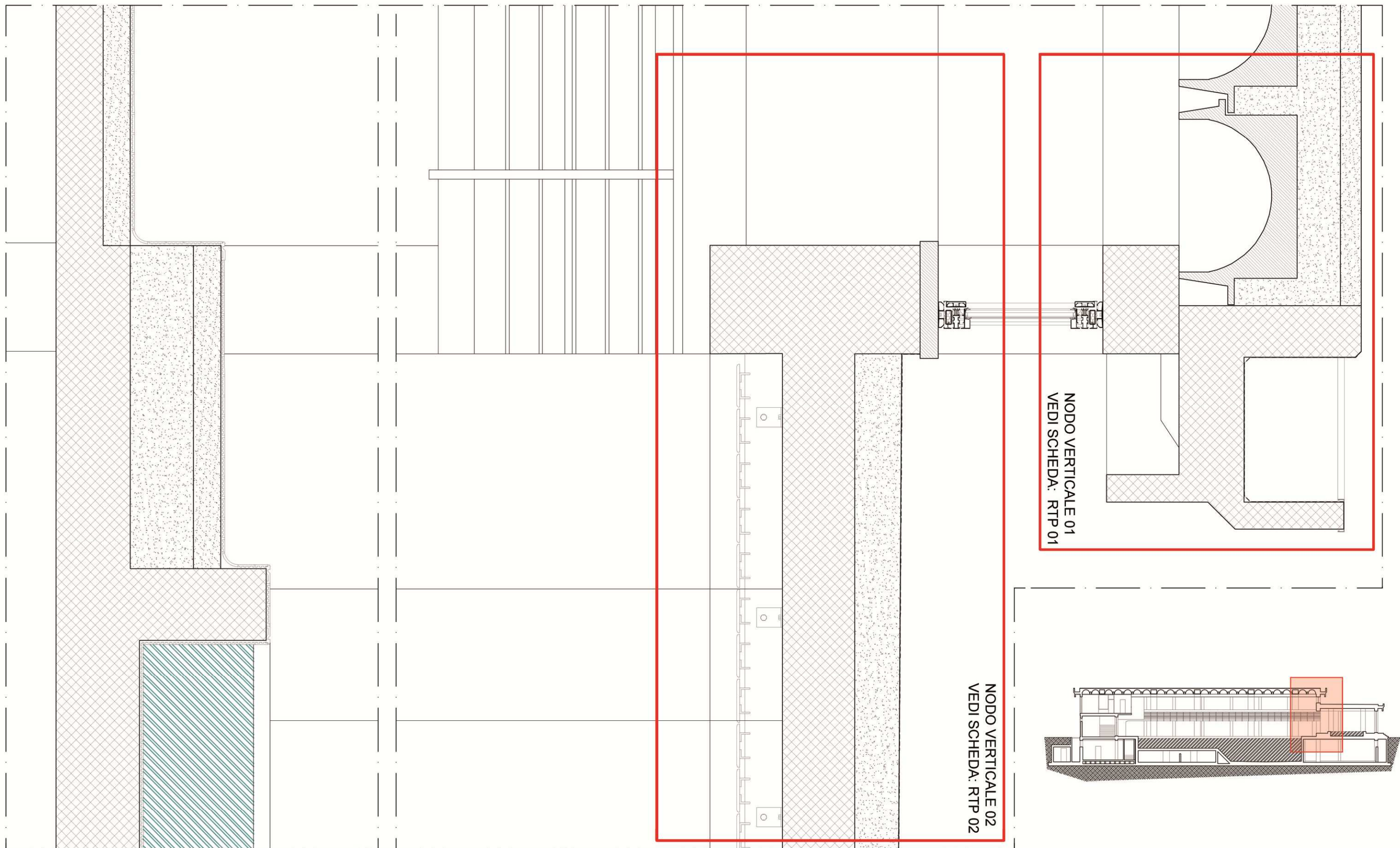
La palestra comunale ha la struttura formata da pilastri e travi in calcestruzzo armato mentre le chiusure verticali sono realizzate in blocchi cavi in calcestruzzo. I tamponamenti interni, invece, sono realizzati in laterizi con finitura esterna ad intonaco civile per tutti i locali, tranne che per gli spogliatoi, dove sono rivestiti con piastrelle in ceramica. Le due rampe di scale esterne sono anch'esse realizzate in calcestruzzo armato lasciato a vista. La copertura dell'edificio è a due falde realizzata interamente in calcestruzzo armato precompresso, costituita da lastre prefabbricate ad incastro assemblate in corso d'opera, sorrette da travi, a loro volta prefabbricate. Esternamente l'edificio presenta un taglio vetrato lungo tutta la facciata principale, immediatamente

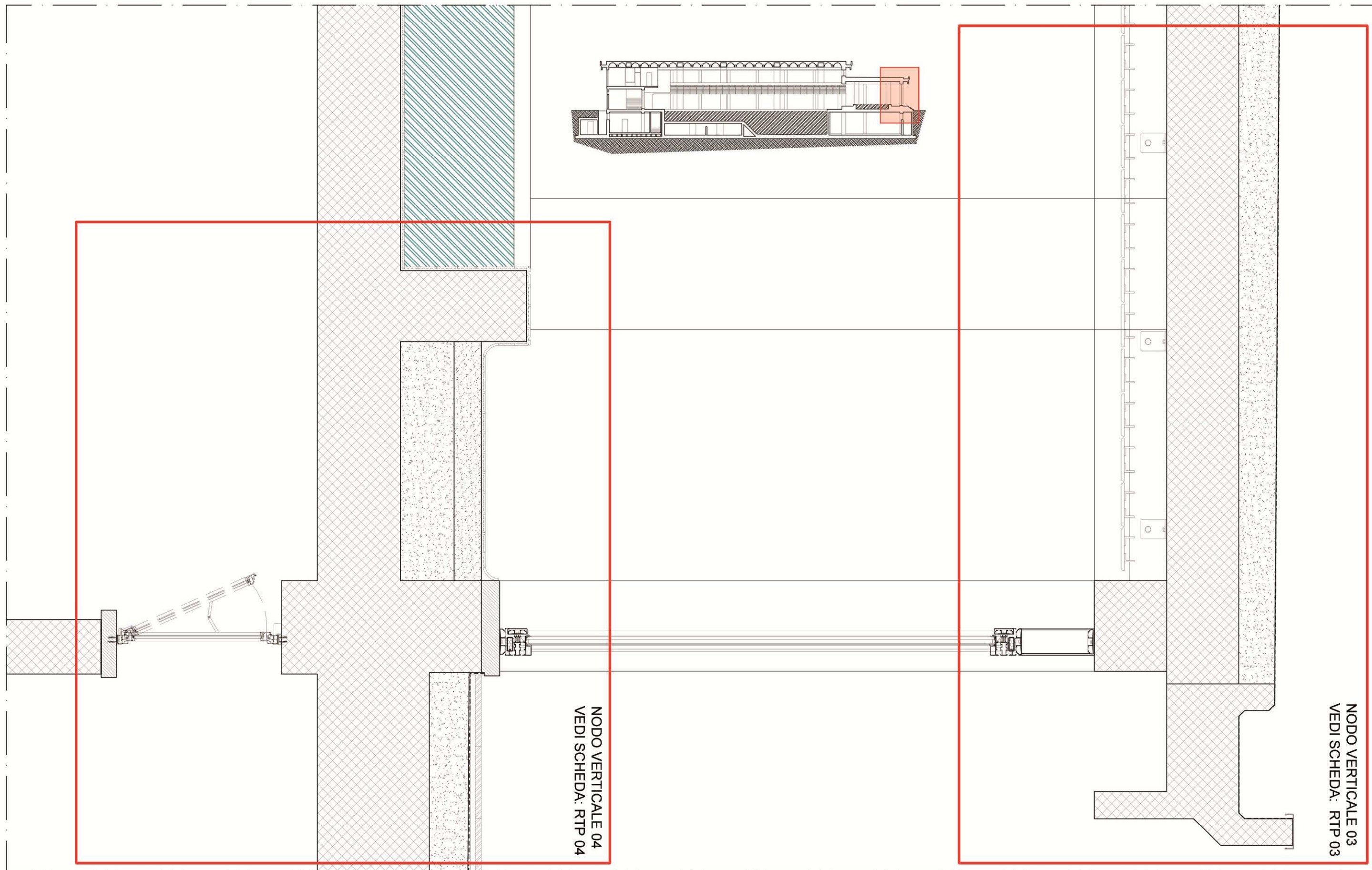


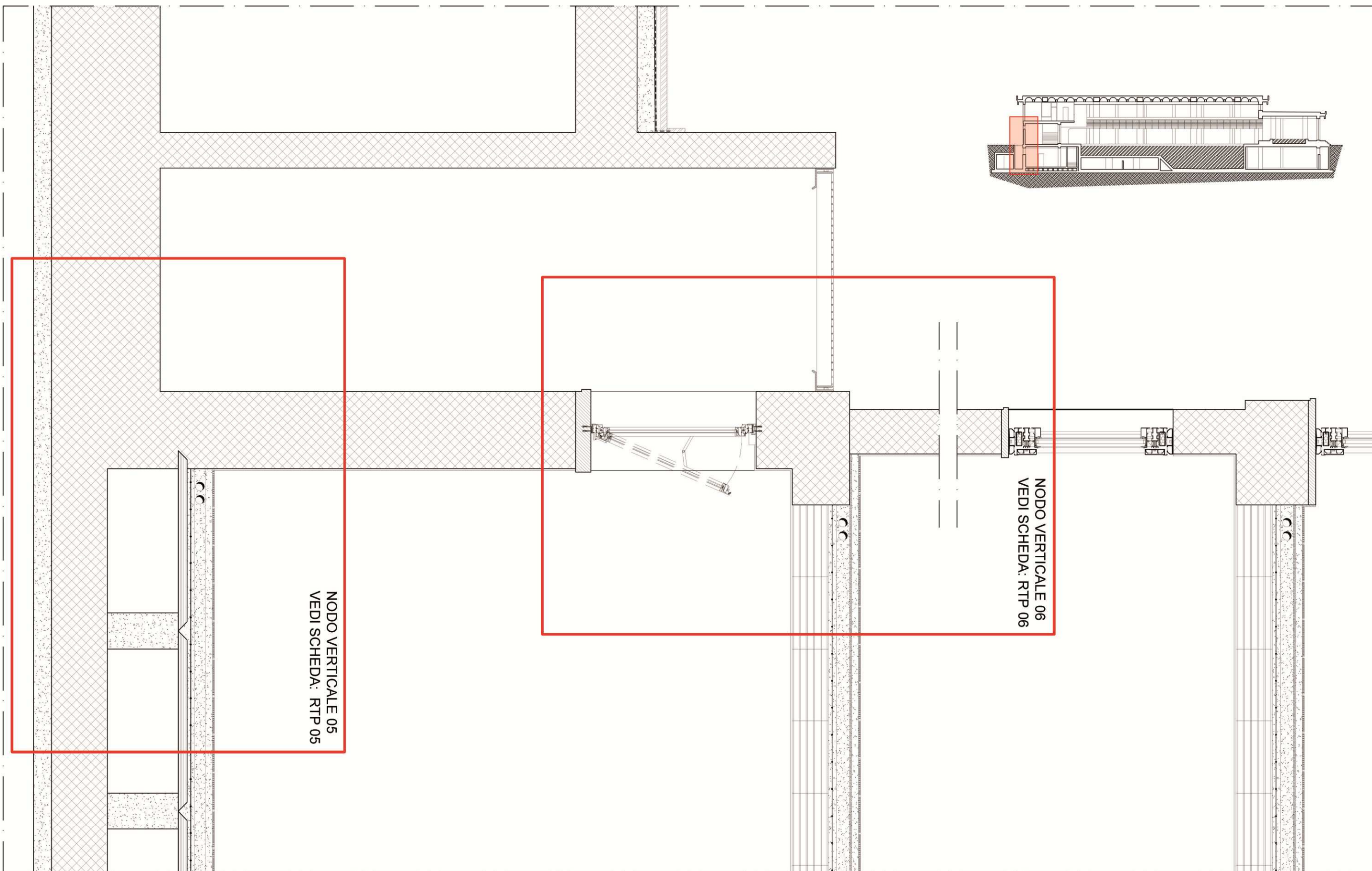
sottostante la gronda della copertura, che permette di illuminare il campo da gioco tramite la luce naturale. Le pareti dell'edificio risultano intonacate al civile e tinteggiate in giallo.

Venendo all'ex palazzina del custode, il piano seminterrato è realizzato interamente in calcestruzzo armato, così come la struttura portante che, come uso tradizionale dell'epoca, presenta un telaio di pilastri e travi. Il primo piano, invece, è realizzato con laterizi semplicemente intonacati al civile, mentre il solaio è in laterocemento. L'edificio presenta una copertura piana in calcestruzzo armato rivestita con una guaina bituminosa, stata sostituita in tempi recenti. La finitura esterna è in calcestruzzo faccia a vista, ad eccezione di alcuni tratti intonacati e tinteggiati in marrone. Sono presenti numerose aperture con serramenti in alluminio e vetro semplice.

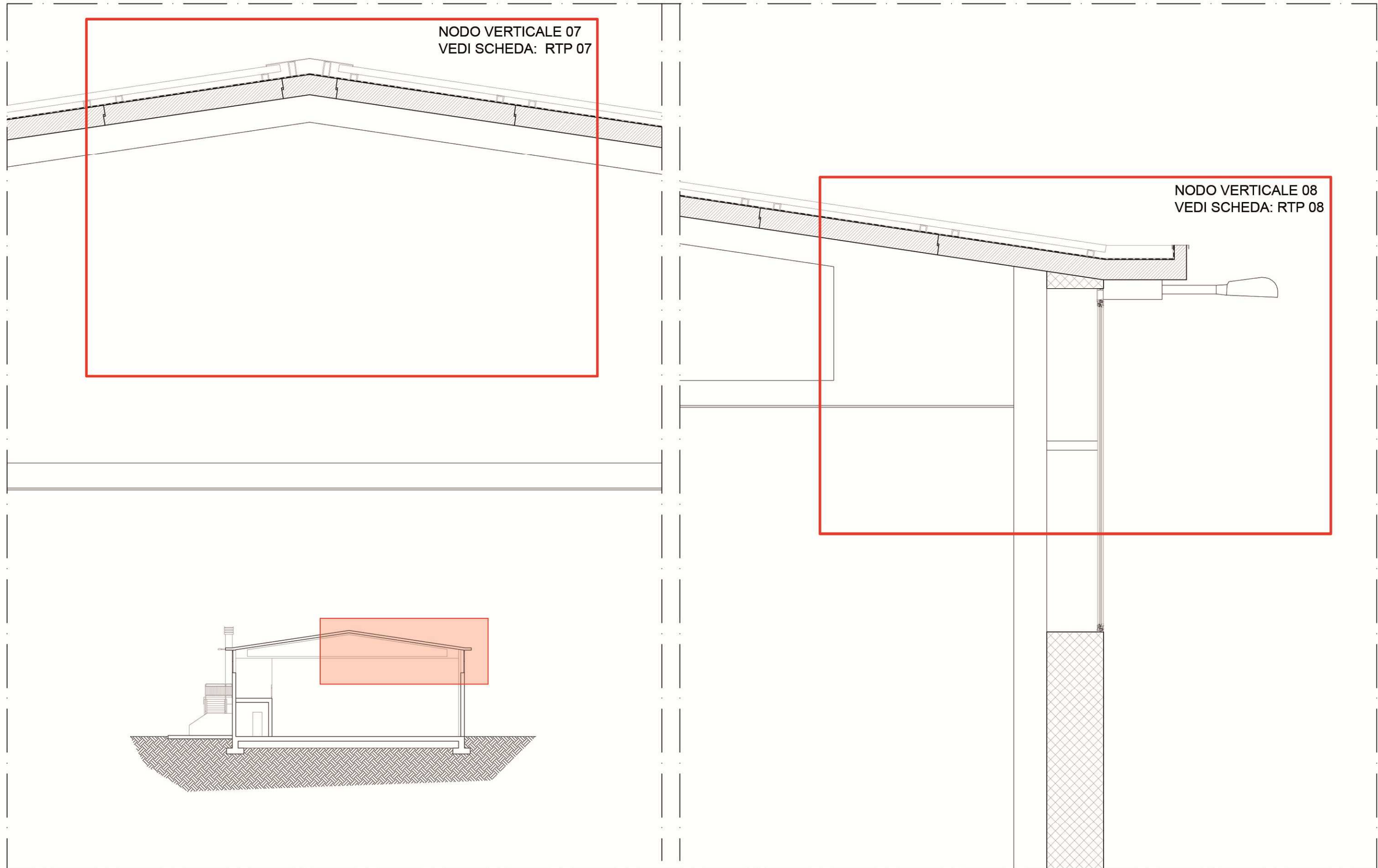
Di seguito vengono riportate le tavole raffiguranti le sezioni dettagliate di porzioni rilevanti dell'edificio che ospita la piscina e della palestra comunale, oltre che le relative schede del rilievo tecnologico particolare (ved. scheda RTP 01-07).






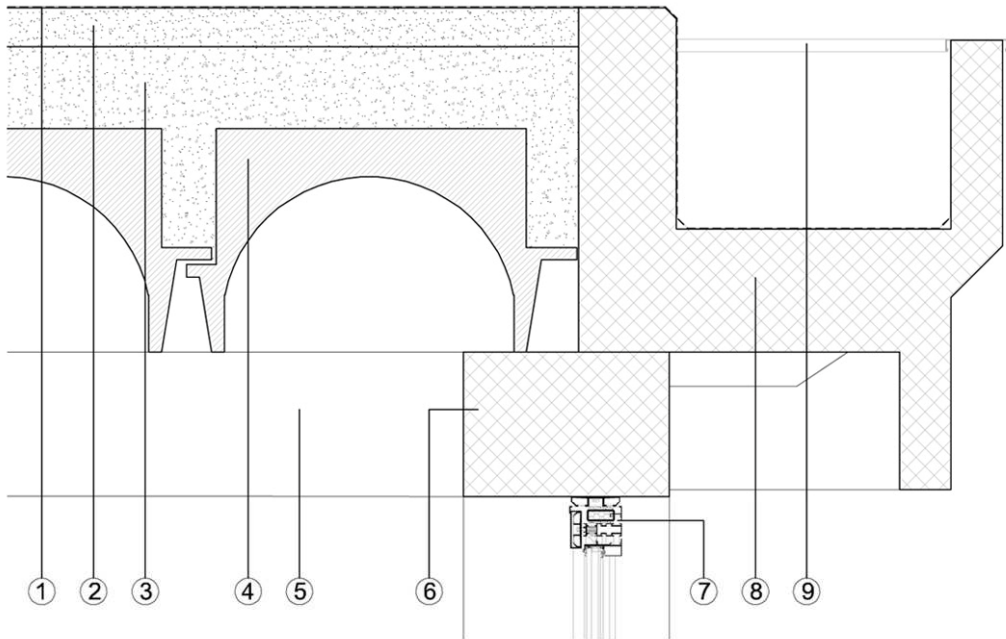






<b>RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE</b>	<b>CODICE: RTP 01</b>
Unità Tecnologica	Chiusura Orizzontale
Elemento Tecnico	Copertura

Immagine Fotografica / Illustrazione	Descrizione
	<p>La copertura è costituita da tegoli prefabbricati in cls armato precompresso che poggiano sulle due travi di bordo dell'edificio con luce di 19 m circa. Lo strato di tenuta è costituito da fogli bitumati posati a caldo.</p>

Dettaglio in sezione	SCALA: 1:20
	
<p>1_ guaina bituminosa impermeabilizzante  2_ massetto di pendenza sp. 8 cm  3_ getto di completamento  4_ tegoli prefabbricati in cls armato precompresso  5_ trave di bordo in cls armato a vista 60x40 cm  6_ trave di bordo in cls 60x40 cm  7_ serramento in alluminio  8_ gronda sagomata in cls armato  9_ scossalina in materiale metallico</p>	



## RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE

CODICE: RTP 02

Unità Tecnologica

Chiusura Orizzontale

Elemento Tecnico

Copertura

### Immagine Fotografica / Illustrazione

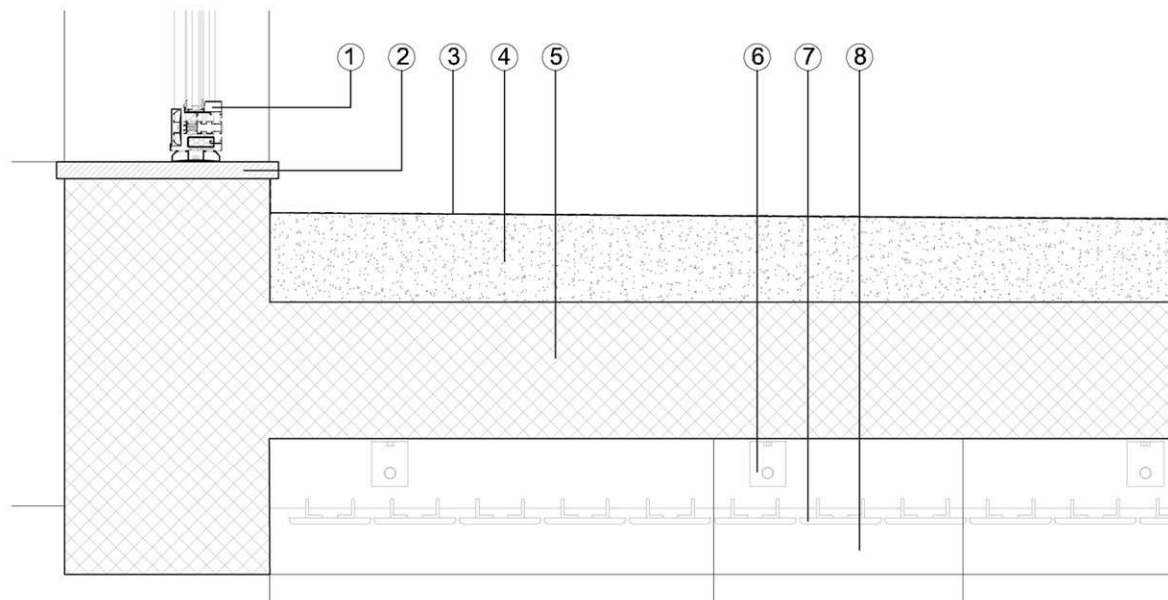


### Descrizione

La copertura è costituita da un massetto di pendenza rivestito da uno strato di tenuta costituito da fogli bitumati posati a caldo. Tutto ciò posa su una struttura in cls armato di spessore 40 cm a cui si aggrappa il controsoffitto costituito da moduli di lamiera microforata.


### Dettaglio in sezione

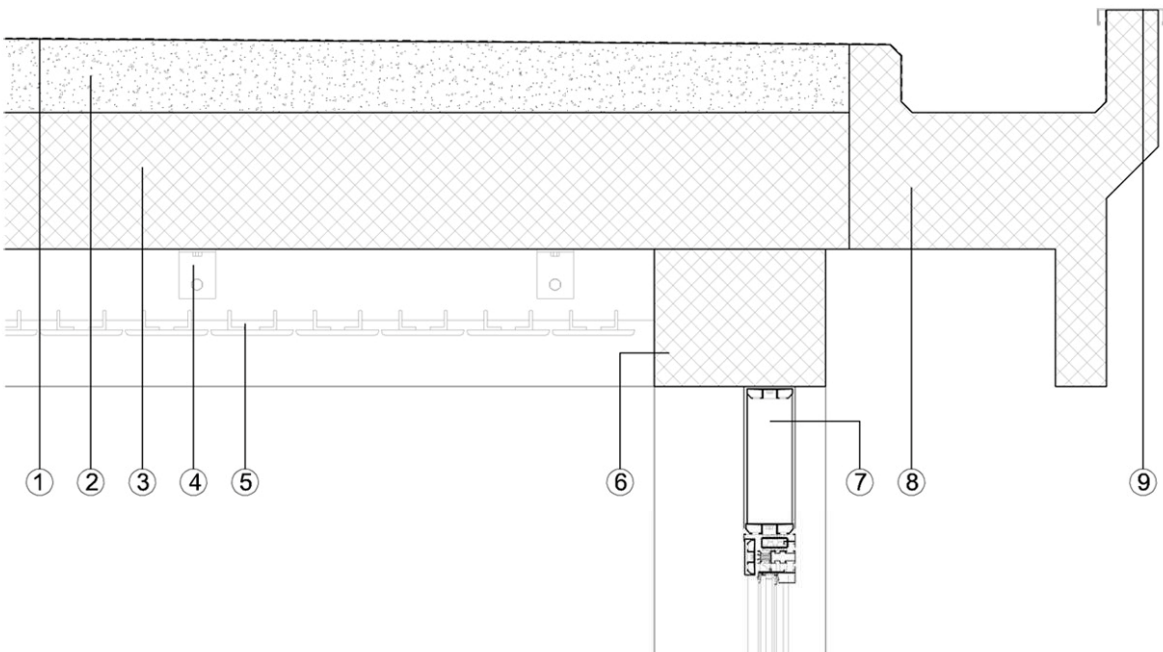
SCALA: 1:20



- 1\_ serramento in alluminio
- 2\_ davanzale in granito sp. 3 cm
- 3\_ guaina bituminosa impermeabilizzante
- 4\_ masseto di pendenza sp. 10 cm
- 5\_ solaio portante in cls armato sp. 40 cm
- 6\_ profili in alluminio per il fissaggio del controsoffitto
- 7\_ controsoffitto in lamiera microforata composta di moduli 10x2 cm
- 8\_ canale di climatizzazione a vista 70x40 cm

<b>RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE</b>	<b>CODICE: RTP 03</b>
Unità Tecnologica	Chiusura Orizzontale
Elemento Tecnico	Copertura

Immagine Fotografica / Illustrazione	Descrizione
	<p>La copertura è costituita da un massetto di pendenza rivestito da uno strato di tenuta costituito da fogli bitumati posati a caldo. Tutto ciò posa su una struttura in cls armato di spessore 40 cm a cui si aggrappa il controsoffitto costituito da moduli di lamiera microforata.</p>

Dettaglio in sezione	SCALA: 1:20
	
<p>1_ guaina bituminosa impermeabilizzante  2_ massetto di pendenza sp. 10 cm  3_ solaio portante in cls armato sp. 40 cm  4_ profili in alluminio per il fissaggio del controsoffitto  5_ controsoffitto in lamiera microforata 10x2 cm  6_ trave di bordo in cls 60x40 cm  7_ serramento in alluminio  8_ gronda sagomata in cls armato  9_ scossalina in materiale metallico</p>	



## RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE

CODICE: RTP 04

Unità Tecnologica

Chiusura Verticale - Partizione Orizzontale

Elemento Tecnico

Intersezione Chiusura Verticale e Partizione orizzontale

## Immagine Fotografica / Illustrazione

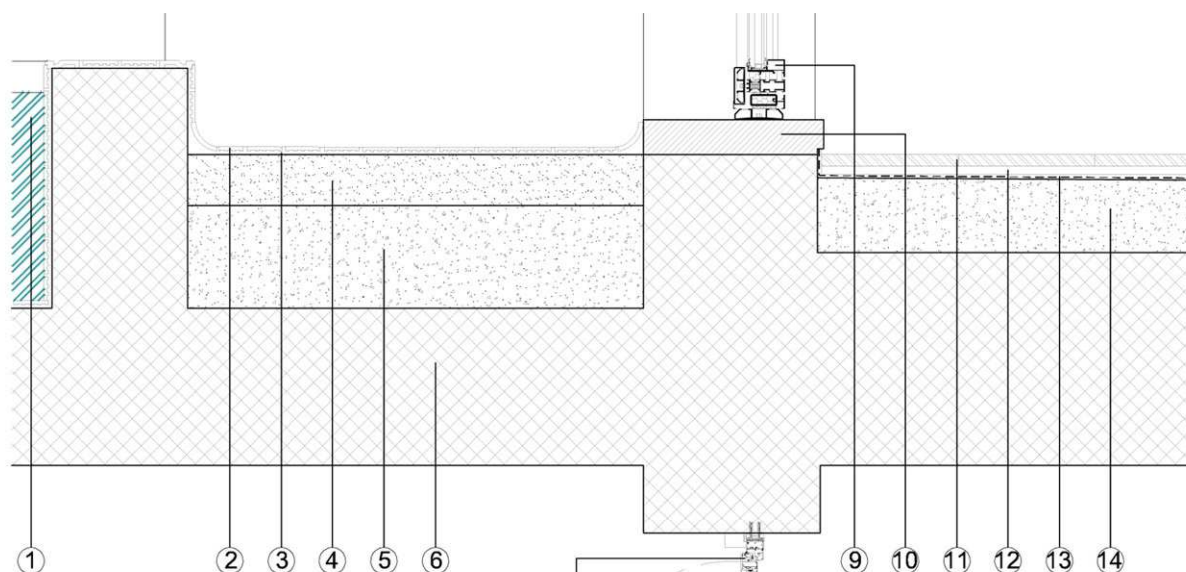


## Descrizione

La soletta della piscina dei bambini è in cls armato rivestita da piastrelle antiscivolo.

## Dettaglio in sezione

SCALA: 1:20



- 1\_ acqua della piscina dei bambini
- 2\_ piastrelle antiscivolo 10x10 cm sp. 1 cm
- 3\_ malta di incollaggio
- 4\_ sottofondo di allettamento sp. 10 cm
- 5\_ sottofondo di riempimento sp. 30 cm
- 6\_ struttura portante in cls armato sp. 45 cm
- 7\_ serramento in alluminio ad apertura a vasistas
- 8\_ davanzale in granito sp. 6 cm
- 9\_ serramento in alluminio
- 10\_ davanzale in granito sp. 6 cm
- 11\_ lastre in cemento da esterno 40x40 cm
- 12\_ supporto per la pavimentazione
- 13\_ guaina impermeabilizzante
- 14\_ massetto di pendenza sp. 15 cm

<b>RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE</b>	<b>CODICE: RTP 05</b>
Unità Tecnologica	Chiusura Orizzontale
Elemento Tecnico	Fondazione

Immagine Fotografica / Illustrazione	Descrizione
	<p>Vespaio areato creato mediante l'uso di tavelloni appoggiati su muretti posti a breve distanza uno dall'altro, con sopra una cappa in cemento armato. Nei setti sono praticati dei fori, detti gattaiole, che hanno lo scopo di far circolare l'aria all'interno della struttura mettendola in comunicazione con l'esterno o con un'intercapedine, che ha prese d'aria dello spessore murario.</p>

Dettaglio in sezione	SCALA: 1:20
<p>1_ magrone sp. 10 cm  2_ fondazione in cls armato sp. 30 cm  3_ tavelloni in laterizio 4x25x100 cm  4_ massetto di ripartizione dei carichi sp. 4 cm con rete elettrosaldata  5_ strato impiantistico sp. 6 cm  6_ massetto di livellamento sp. 4 cm  7_ piastrelle 20x20 cm sp. 1 cm  8_ blocchi cavi in cls 50x25x20 cm disposti ogni 80 cm</p>	




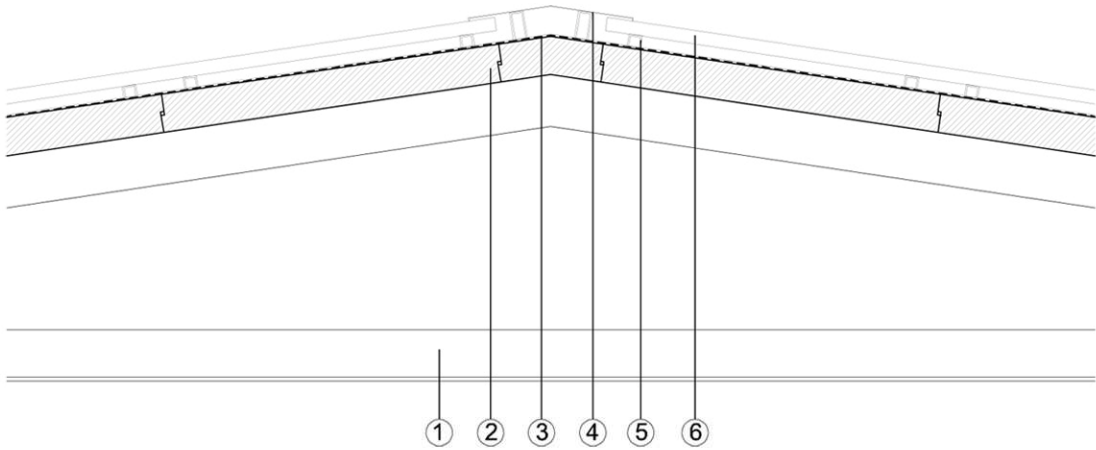
<b>RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE</b>	<b>CODICE: RTP 06</b>
Unità Tecnologica	Chiusura Verticale - Partizione Orizzontale
Elemento Tecnico	Intersezione Chiusura Verticale e Partizione orizzontale

Immagine Fotografica / Illustrazione	Descrizione
	<p>Chiusura con serramento ad apertura a vasistas e posa della griglia.</p>

Dettaglio in sezione	SCALA: 1:20
<p>1_ lastre in cemento da esterno 40x40 cm            2_ supporto per la pavimentazione            3_ guaina impermeabilizzante            4_ massetto di pendenza sp. 10 cm            5_ grata in acciaio zincato            6_ trave di bordo in cls armato            7_ intonaco sp. 1 cm            8_ davanzale in granito sp. 4 cm            9_ serramento in alluminio ad apertura a vasistas            10_ piastrelle 20x20 cm sp. 1 cm            11_ massetto di livellamento sp. 4 cm            12_ strato di isolante sp. 1 cm            13_ strato impiantistico sp. 7 cm            14_ massetto di ripartizione dei carichi sp. 4 cm con rete elettrosaldata            15_ solaio in laterocemento composto da blocchi in laterizio 25x40 cm altezza 20 cm            16_ partizione in cls armato sp. 25 cm            17_ davanzale in granito sp. 4 cm            18_ serramento in alluminio</p>	

<b>RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE</b>	<b>CODICE: RTP 07</b>
Unità Tecnologica	Chiusura Orizzontale
Elemento Tecnico	Copertura

Immagine Fotografica / Illustrazione	Descrizione
	<p>La copertura è interamente in cls armato precompresso, costituita da elementi prefabbricati ad incastro assemblati in corso d'opera.</p>

Dettaglio in sezione	SCALA: 1:20
	
<p>1_ trave prefabbricata a vista in cls armato precompresso  2_ struttura secondaria in lastre prefabbricate in cls armato con innesto maschio-femmina  3_ guaina impermeabilizzante  4_ profilo sagomato in lamiera  5_ profili scatolari in lamiera per il supporto della copertura  6_ copertura in pannelli di lamiera grecata</p>	





<b>RILIEVO TECNOLOGICO PARTICOLARE</b>	<b>CODICE: RTP 08</b>
Unità Tecnologica	Chiusura Verticale
Elemento Tecnico	Copertura - Tamponamento esterno

Immagine Fotografica / Illustrazione	Descrizione
	<p>La copertura è costituita da elementi prefabbricati ad incastro assemblate in corso d'opera rivesti da uno strato di tenuta costituito da fogli bitumati posati a caldo il tutto coperto da pannelli in lamiera grecata. Il tutto sorretto da travi anch'esse prefabbricate che posano sui pilastri perimetrali dell'edificio.</p>

Dettaglio in sezione	SCALA: 1:20
<p>1_ trave prefabbricata in cemento armato precompresso            2_ struttura secondaria in lastre prefabbricate di cemento con innesto maschi-femmina            3_ guaina impermeabilizzante            4_ copertura in pannelli di lamiera grecata            5_ profili scatolari in lamiera per supporto copertura            6_ pilastro in cemento armato prefabbricato            7_ serramento in alluminio            8_ gronda sagomata in cemento armato            9_ scossalina in lamiera            10_ lampione</p>	



### 3.2.4 Rilievo del degrado

In questa fase, per caratterizzare più compiutamente la conoscenza degli edifici attualmente presenti nel sito di progetto, si sono raccolte tutte le informazioni relative ai fenomeni di degrado presenti internamente ed esternamente ai fabbricati oggetto di studio. Successivamente si sono riconosciuti le tipologie di degrado presenti individuandone le cause e le possibili soluzioni adottabili.

Le informazioni così ottenute sono state integrate con le conoscenze specifiche della disciplina del recupero edilizio, che hanno permesso di conoscere più approfonditamente l'oggetto e poter formulare un'ipotesi di intervento.

Tutti e tre gli edifici presentano notevoli degradi dovuti ovviamente alla loro vetustà, ma anche ai pochi interventi di manutenzione eseguiti nel corso degli anni da parte della proprietà. Partendo dall'analisi dell'edificio della piscina, passando alla palestra comunale e finendo con l'ex palazzina del custode, il rilievo è iniziato con la mappatura di tutti i degradi presenti e dalla loro catalogazione in base alle loro caratteristiche, ovvero individuando dove il degrado si presenta e su quale materiale. Analizzando esternamente la struttura in calcestruzzo armato della piscina, si sono riscontrati numerosi degradi, tra i quali il distacco del copriferro e la fessurazione nell'elemento di gronda, fenomeni che, tuttavia, non determinano pericoli imminenti per la sicurezza e l'integrità della struttura. Internamente invece si sono riscontrati degradi, quali efflorescenze, condensa, macchie, colatura, esfoliazione e rigonfiamenti, prevalentemente dovuti all'alta presenza di umidità oltre che all'uso di elementi chimici per il trattamento delle acque delle vasche. Gli elementi più colpiti da questi fenomeni di degrado sono le vetrate e le pareti intonacate al civile.

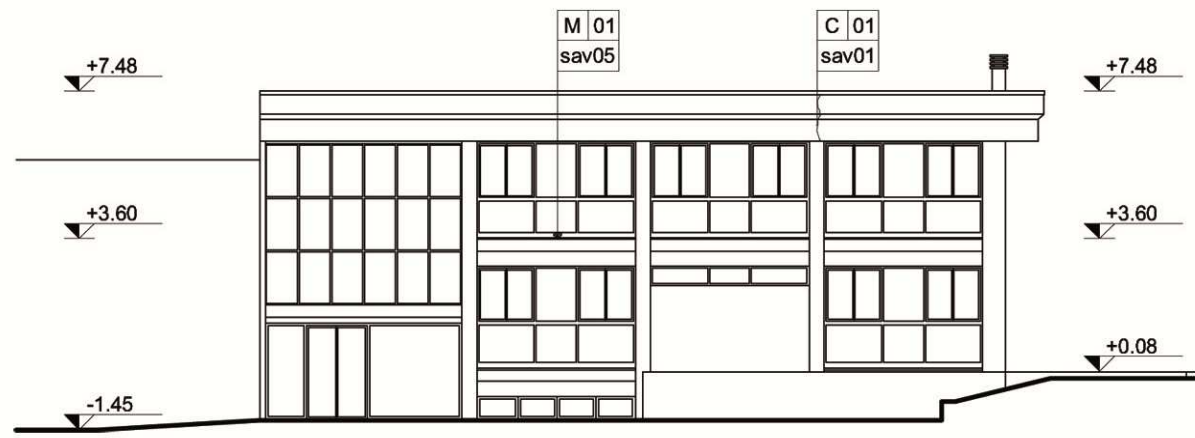
Passando alla palestra comunale si osserva come i degradi siano, grossomodo, i medesimi: sono infatti presenti esternamente fessurazioni, colature e macchie, mentre i nuovi degradi sono influenzati dalla presenza di vegetazione infestante, dalla patina biologica e da interventi antropici, come la mancanza di alcuni vetri, presumibilmente rotti e mai sostituiti dalla proprietà comunale, e dalla presenza di scritte deturpanti su alcune parti dell'edificio.

L'ex palazzina del custode, infine, presenta, oltre a degradi simili agli altri due edifici, un ulteriore fenomeno, il *pitting*, ovvero la formazione di fori ciechi, numerosi e ravvicinati sul calcestruzzo faccia a vista.

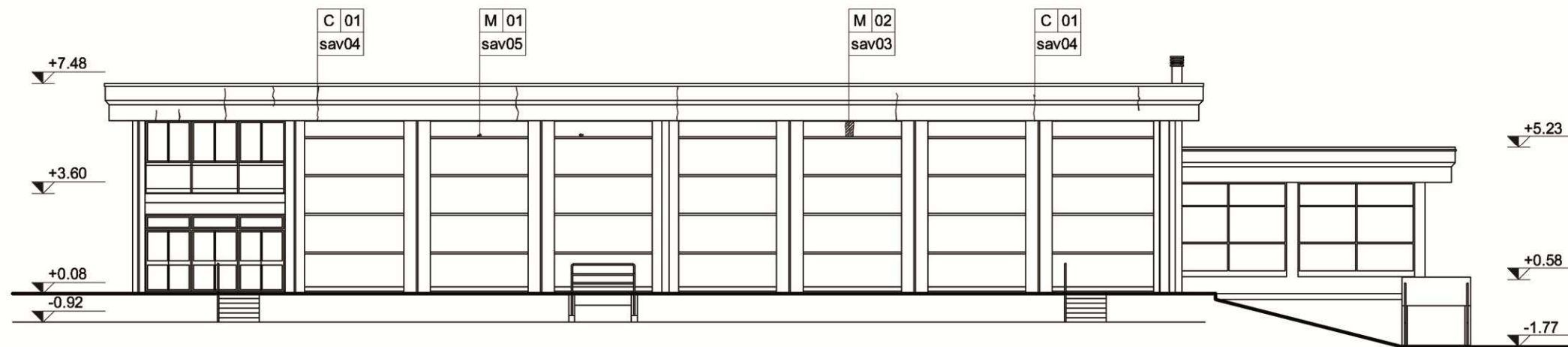
Di seguito si riportano le tavole riguardanti la mappatura dei prospetti dei tre edifici in analisi, con indicati i degradi riscontrati. Tutte le informazioni raccolte sono state utili



per redigere le schede di anomalia visibile (ved. schede SAV 01-13) di seguito riportate.



PROSPETTO SUD-OVEST



PROSPETTO SUD-EST



PROSPETTO NORD-EST



LEGENDA

LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

Materiali metallici

- M 01 Serramento in alluminio
- M 02 Rivestimento di facciata in alluminio

Calcestruzzo

- C 01 Calcestruzzo armato tinteggiato color grigio

Intonaco

- I 01 Intonaco al civile grigio chiaro

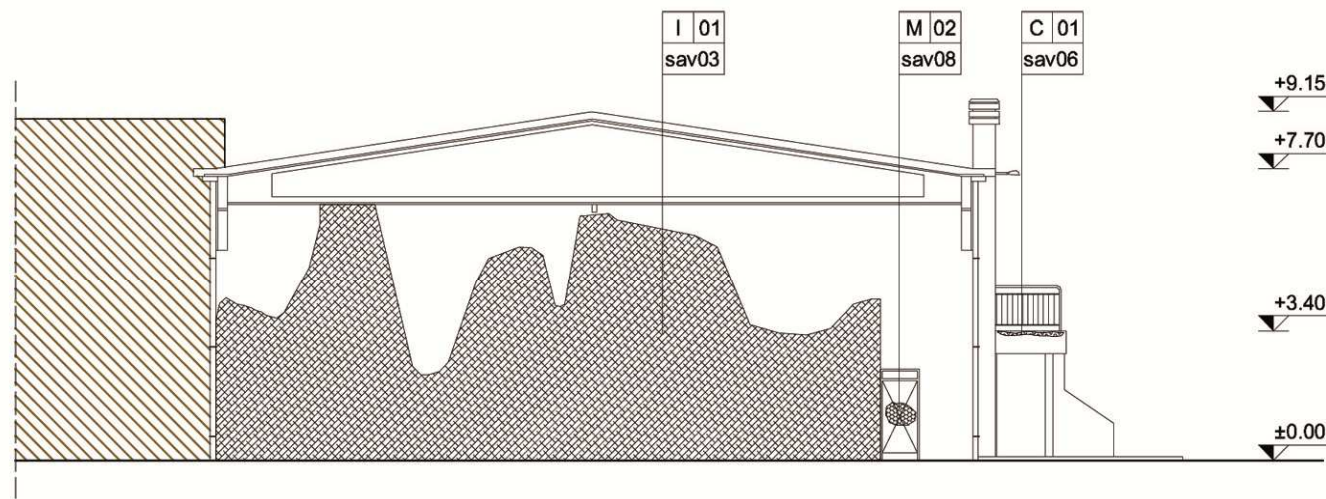
LEGENDA RIFERIMENTI SCHEDE ANOMALIA VISIBILE

- sav03 Colatura
- sav04 Fessurazione
- sav05 Macchia

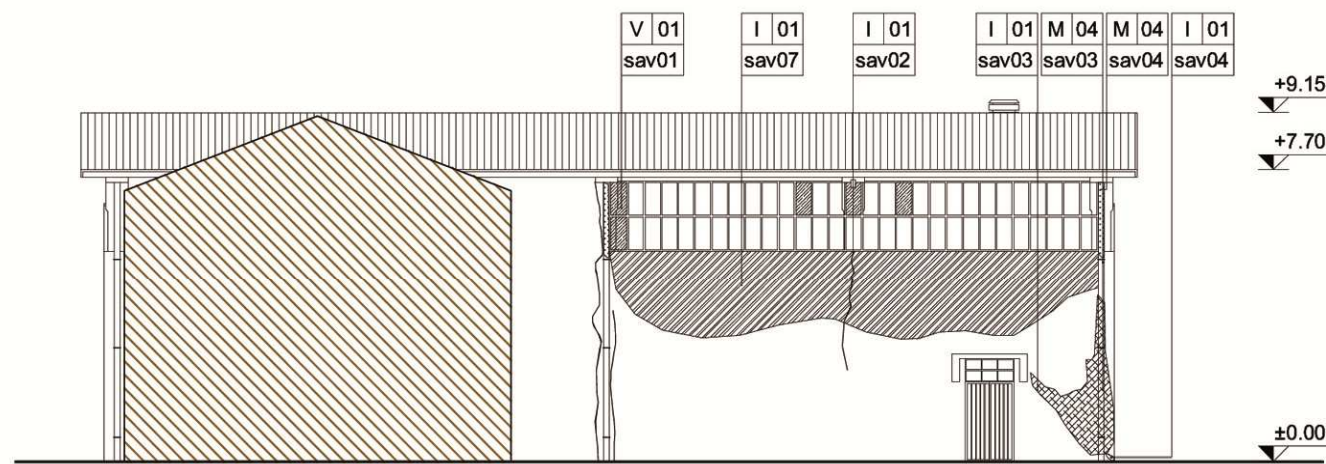
LEGENDA CAMPITURA DEGRADI

- Colatura
- Fessurazione
- Macchia





PROSPETTO NORD



PROSPETTO EST



LEGENDA

LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

Materiali metallici

- M 04 Pluviali in rame verniciati color blu
- M 02 Porte in materiale metallico verniciate color

Calcestruzzo

- C 01 Calcestruzzo armato tinteggiato color grigio

Intonaco

- I 01 Intonaco al civile color giallo

Vetro

- V 01 Vetro semplice per serramento

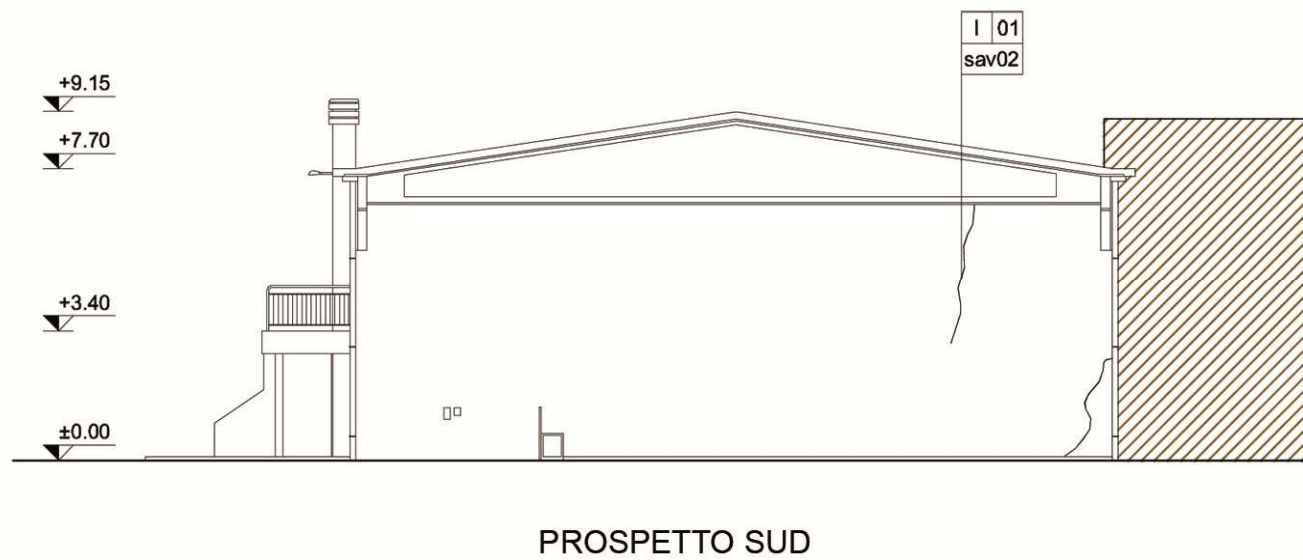
LEGENDA RIFERIMENTI SCHEDE ANOMALIA VISIBILE

- sav01 Mancanza
- sav02 Fessurazione
- sav03 Presenza di vegetazione
- sav04 Distacco
- sav06 Patina biologica
- sav07 Colatura
- sav08 Intervento antropico

LEGENDA CAMPITURA DEGRADI

- Colatura
- Fessurazione
- Mancanza
- Presenza di vegetazione
- Patina biologica
- Distacco
- Intervento antropico





LEGENDA

LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

Materiali metallici

M 04 Pluviali in rame verniciati color blu

Calcestruzzo

C 01 Calcestruzzo armato tinteggiato color grigio

Intonaco

I 01 Intonaco al civile color giallo

I 02 Intonaco al civile color marrone

LEGENDA RIFERIMENTI SCHEDE ANOMALIA VISIBILE

sav02 Fessurazione

sav03 Presenza di vegetazione

sav04 Distacco

sav05 Macchia

sav06 Patina biologica

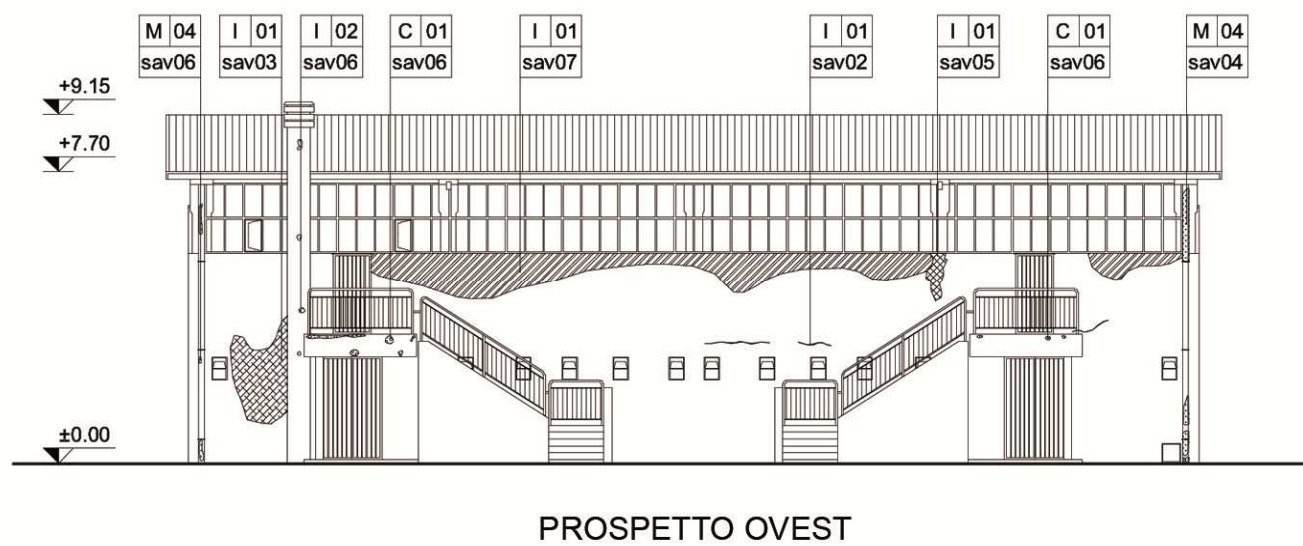
sav07 Colatura

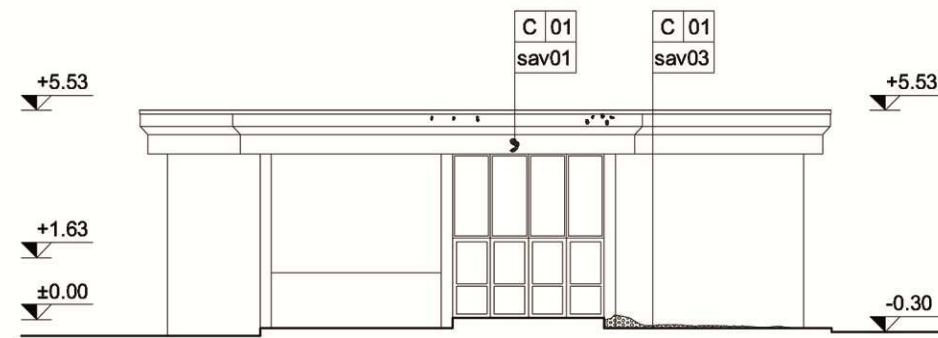
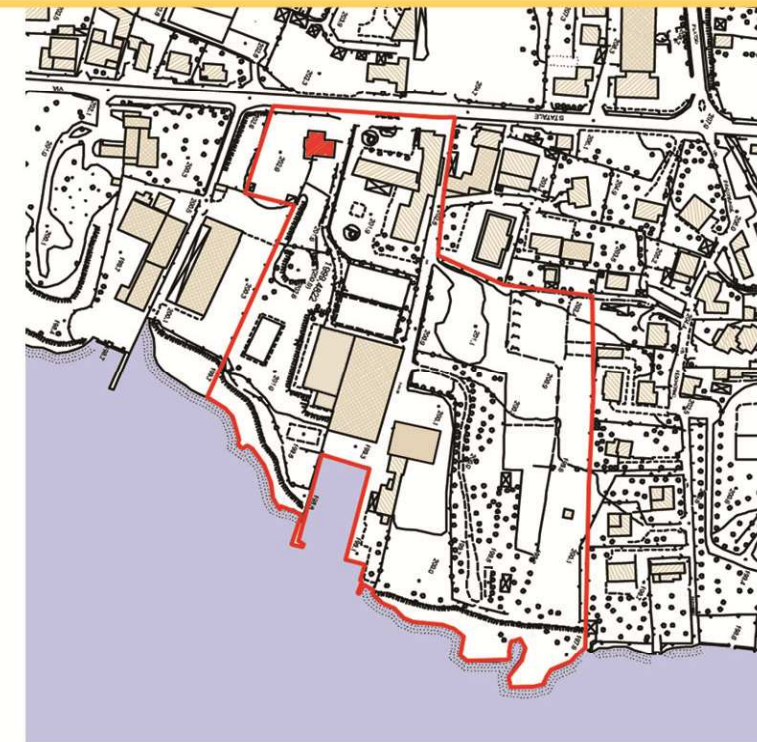
LEGENDA CAMPITURA DEGRADI

Colatura      Presenza di vegetazione

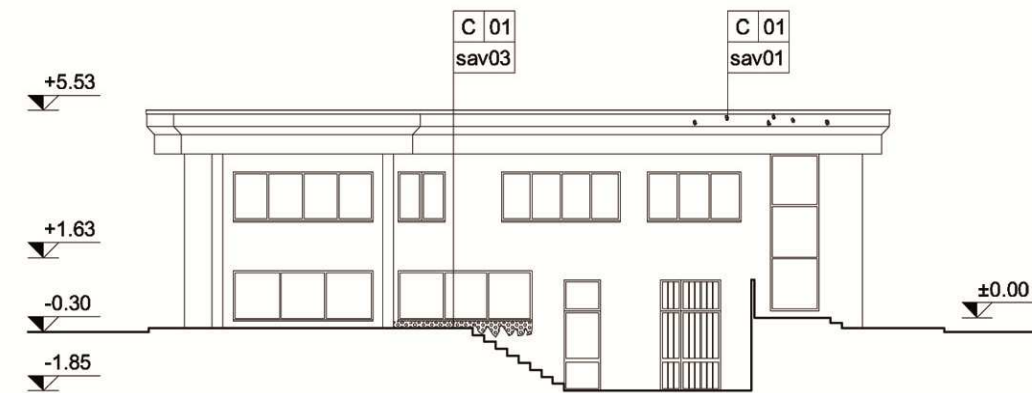
Fessurazione      Patina biologica

Macchia      Distacco

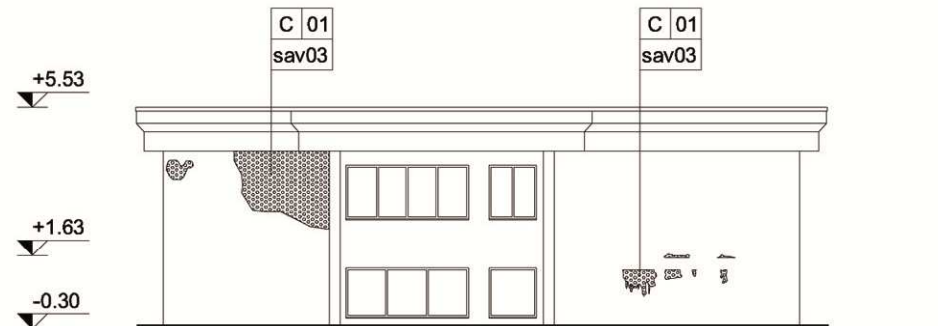




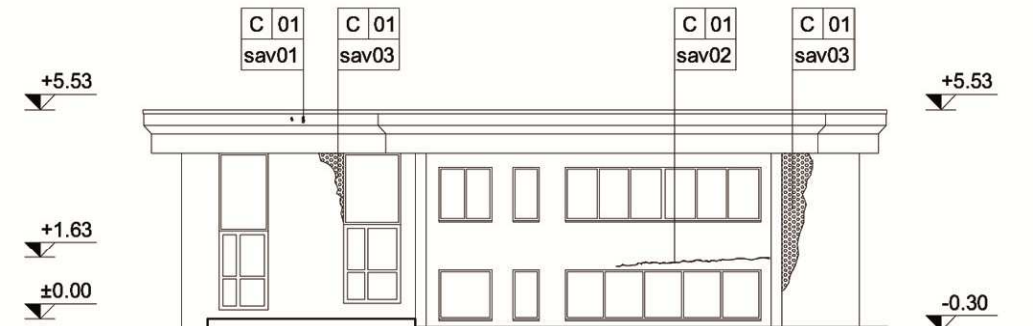
PROSPETTO NORD



PROSPETTO EST



PROSPETTO SUD



PROSPETTO OVEST

### LEGENDA

#### LEGENDA CAMPITURE MATERICHE

Calcestruzzo

C 01 Calcestruzzo faccia a vista

#### LEGENDA RIFERIMENTI SCHEDE ANOMALIA VISIBILE

sav01 Pitting

sav02 Fessurazione

sav03 Patina biologica

#### LEGENDA CAMPITURA DEGRADI

Pitting


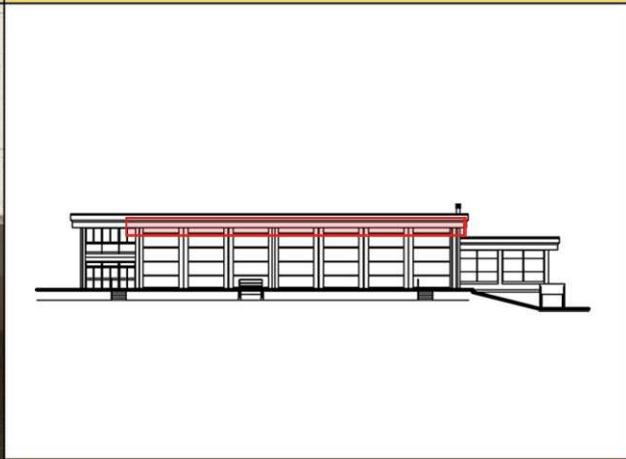
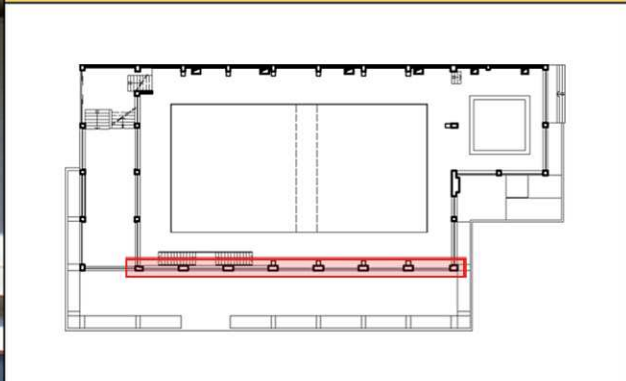
Fessurazione

Patina biologica



SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 01

Rilievo Fotografico	Localizzazione sul Prospetto
	
	Localizzazione in Pianta
	

Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure orizzontali	Copertura	Calcestruzzo faccia a vista
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Distacco del copriferro		Terminata	

**Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)**

Soluzione di continuità tra strati di un materiale, sia tra loro che rispetto al substrato, che prelude, in genere, alla caduta degli strati stessi. Orientamento orizzontale, andamento parallelo all'armatura, dimensione nell'ordine di poche decine di cm.

Riferimento	Codice	Pagina
Schema di prediagnosi relativa al guasto	SdP 01	155
Schema tecnica d'intervento	STdI 01	167





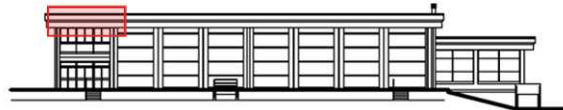
SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 02

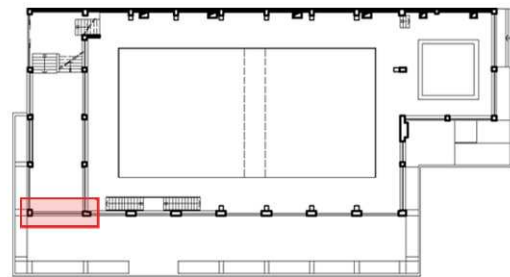
Rilievo Fotografico



Localizzazione sul Prospetto



Localizzazione in Pianta



Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Parete perimetrale	Intonaco
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Colatura ed esfoliazione		In avanzamento	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)

Traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo. Formazione di una o più porzioni laminari, di spessore molto ridotto e subparallele tra loro, dette sfoglie.

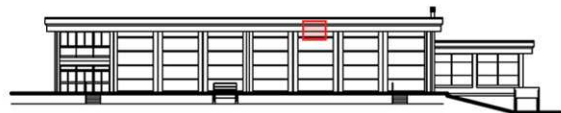
SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 03

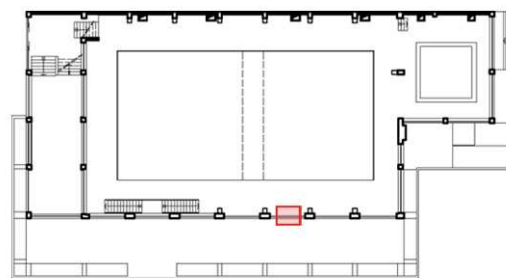
Rilievo Fotografico



Localizzazione sul Prospetto



Localizzazione in Pianta





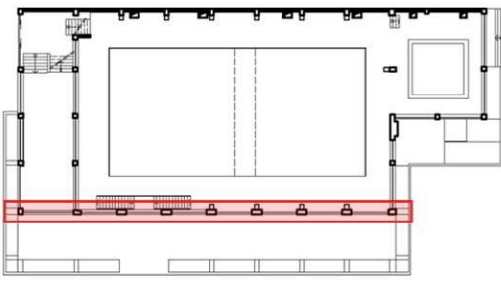
Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Parete perimetrale	Alluminio
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Colatura		Terminata	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)

traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo.



SCHEDA ANOMALIA VISIBILE	CODICE: SAV 04
--------------------------	----------------

<b>Rilievo Fotografico</b>	<b>Localizzazione sul Prospetto</b>
	
	<b>Localizzazione in Pianta</b>
	




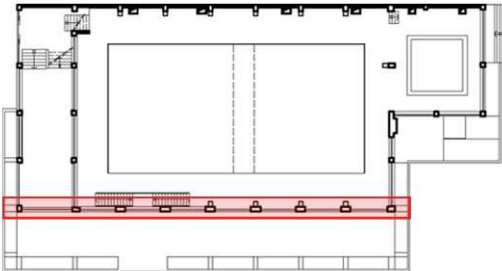
Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure orizzontali	Gronda	Calcestruzzo
<b>Anomalia Visibile</b>		<b>Stato di Progressione</b>	
Fessurazione		Terminata	

<b>Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)</b>
Soluzione di continuità nel materiale che implica lo spostamento reciproco delle parti. Orientamento verticale, andamento parallelo tra loro, presenza ripetuta su tutta la gronda

Riferimento	Codice	Pagina
Scheda di prediagnosi relativa al guasto	SdP 02	157
Scheda tecnica d'intervento	STdI 02	168

SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 05

Rilievo Fotografico	Localizzazione sul Prospetto
	
	Localizzazione in Pianta
	

Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Serramento	Alluminio
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Macchia		Terminata	


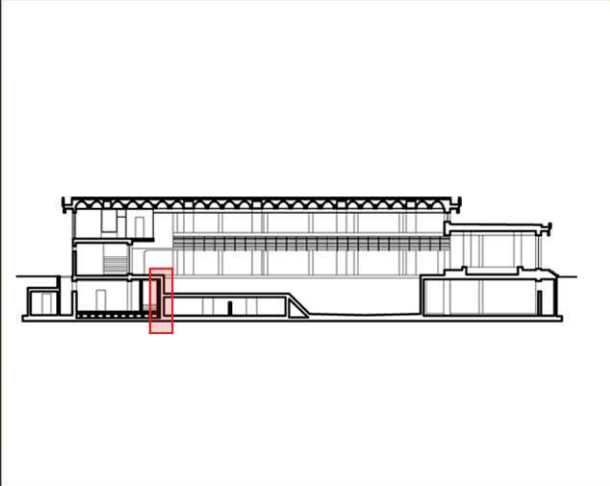
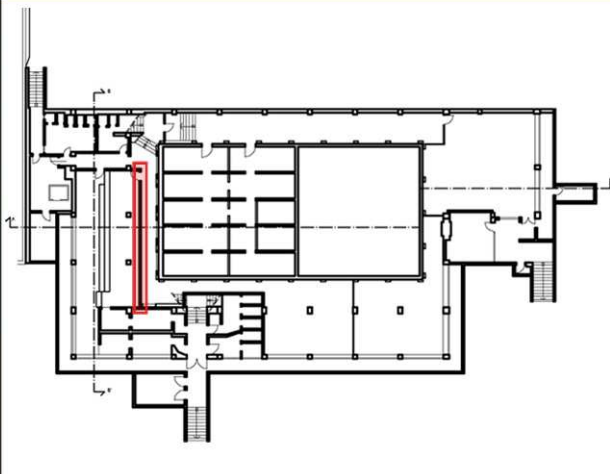
**Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)**

Variazione cromatica localizzata della superficie, correlata sia alla presenza di determinati componenti naturali del materiale sia alla presenza di materiali estranei (acqua, prodotti di ossidazione di materiali metallici, sostanze organiche, vernici, microrganismi per esempio).



SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 06

Rilievo Fotografico	Localizzazione in Sezione
	
	<p>Localizzazione in Pianta</p>
	

Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Partizioni	Partizioni verticali	Parete interna	Intonaco
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Rigonfiamento		Terminata	

**Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)**

Sollevamento superficiale localizzato del materiale di forma e consistenza variabili. Dimensioni dell'ordine del mezzo metro; presenti patologie correlate quali macchie e distacchi

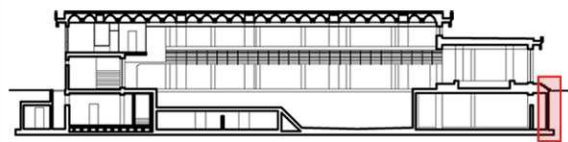
SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 07

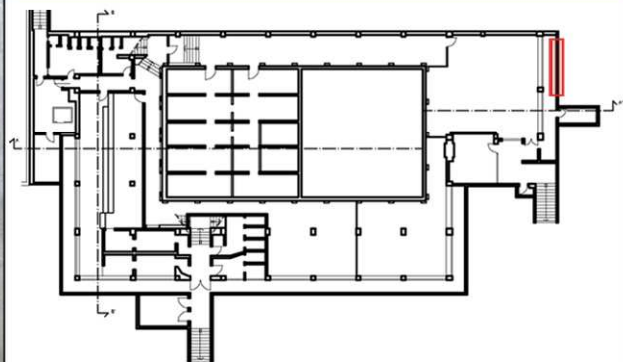
Rilievo Fotografico



Localizzazione in Sezione



Localizzazione in Pianta



Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Parete interna	Calcestruzzo
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Efflorescenza		In avanzamento	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)

Formazione di sostanze in genere di colore biancastro e di aspetto cristallino, polverulento o filamentoso, sulla superficie del manufatto.

Riferimento	Codice	Pagina
Scheda di prediagnosi relativa al guasto	SdP 05	163
Scheda tecnica d'intervento	STdI 05	171



<b>SCHEDA ANOMALIA VISIBILE</b>	<b>CODICE: SAV 08</b>
---------------------------------	-----------------------


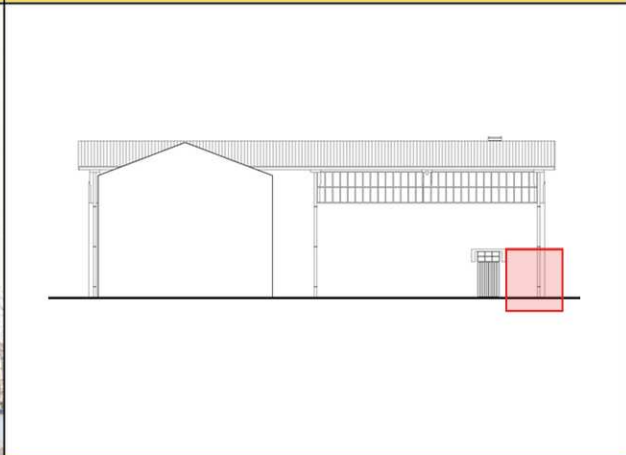
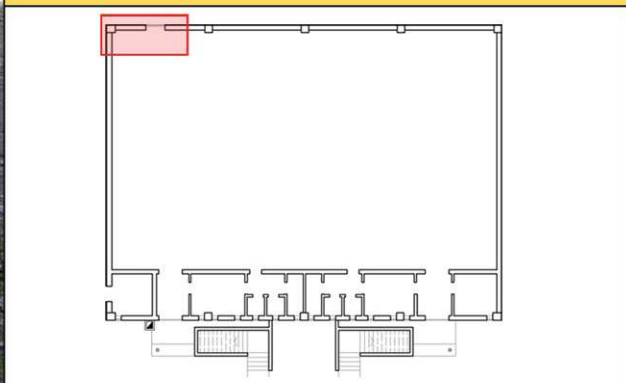
<b>Rilievo Fotografico</b>	<b>Localizzazione sul Prospetto</b>
	<b>Localizzazione in Pianta</b>

Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Parete perimetrale	Vetro
<b>Anomalia Visibile</b>		<b>Stato di Progressione</b>	
Mancanza		Terminata	

<b>Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)</b>
Perdita di elementi tridimensionali.

**SCHEDA ANOMALIA VISIBILE**

**CODICE: SAV 09**

Rilievo Fotografico	Localizzazione sul Prospetto
	
<b>Localizzazione in Pianta</b>	
	

Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticale	Parete perimetrale	Intonaco
<b>Anomalia Visibile</b>		<b>Stato di Progressione</b>	
Vegetazione infestante		Terminata	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)
Presenza di vegetazione infestante.

Riferimento	Codice	Pagina
Schema di prediagnosi relativa al guasto	SdP 04	161
Schema tecnica d'intervento	STdI 04	170





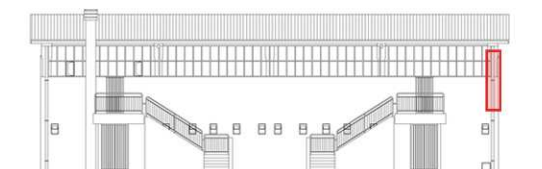
SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 10

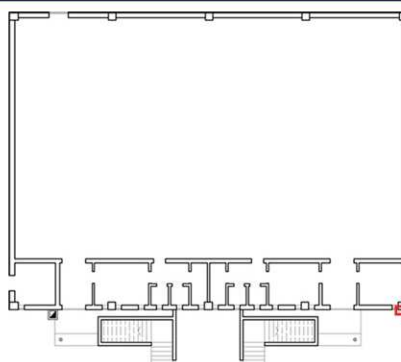
Rilievo Fotografico



Localizzazione sul Prospetto



Localizzazione in Pianta



Clasvse di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Parete perimetrale	Rame
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Distacco tinteggiatura		Terminata	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)

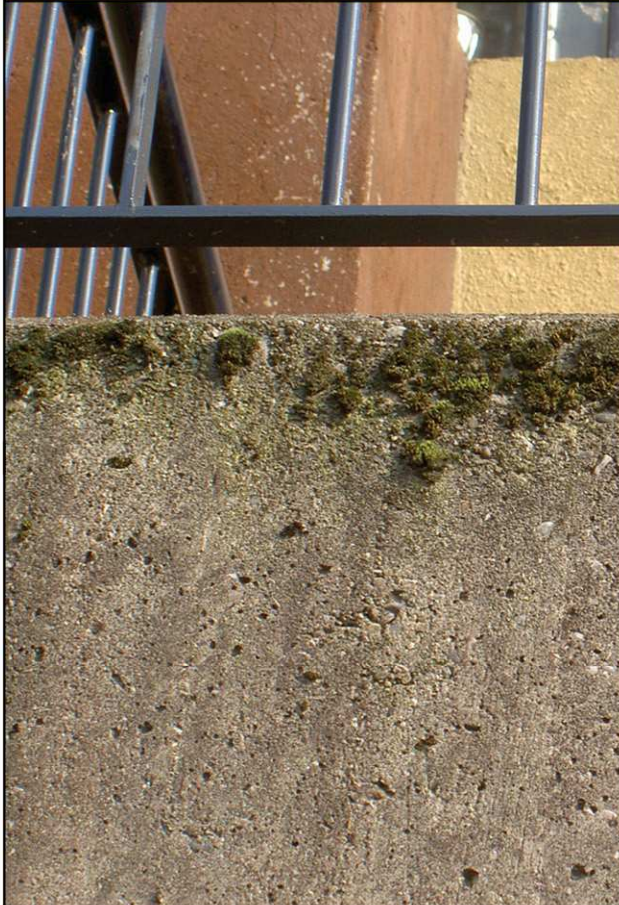
Soluzione di continuità fra strati superficiali del materiale, sia tra loro che rispetto al substrato; prelude, in genere, la caduta degli strati stessi.

Riferimento	Codice	Pagina
Scheda tecnica d'intervento	STdI 03	169

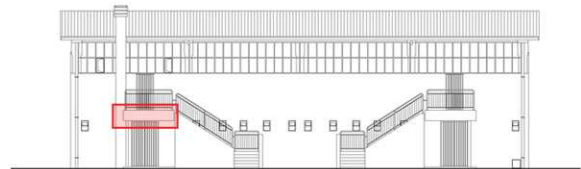
SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 11

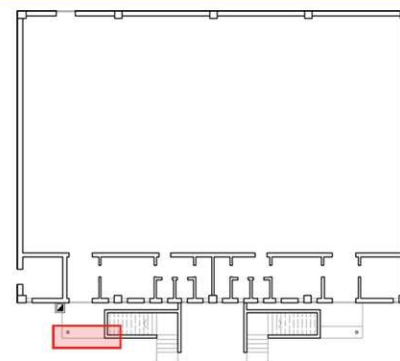
Rilievo Fotografico



Localizzazione sul Prospetto



Localizzazione in Pianta



Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Parete esterna	Cls
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Patina biologica		Terminata	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)

Strato sottile ed omogeneo, costituito prevalentemente da microrganismi, variabile per consistenza, colore e adesione al substrato.

Riferimento	Codice	Pagina
Scheda di prediagnosi relativa al guasto	SdP 03	159



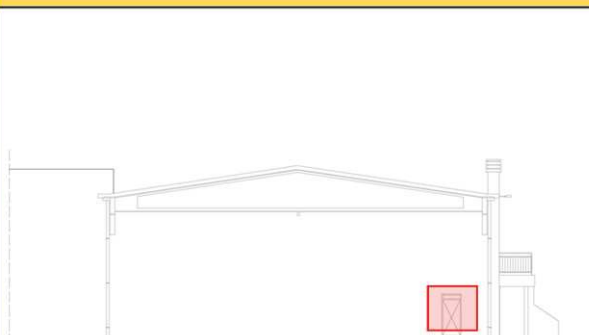
SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 12

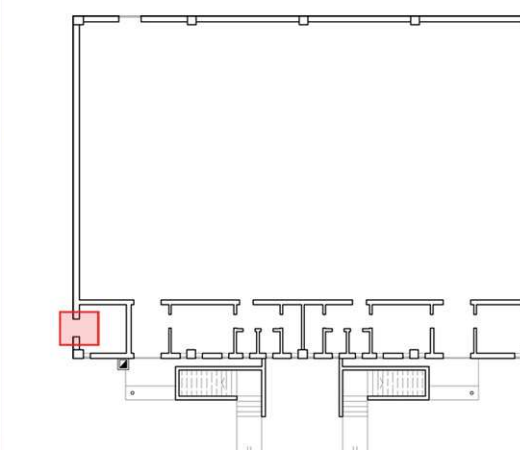
Rilievo Fotografico



Localizzazione sul Prospetto



Localizzazione in Pianta



Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure verticali	Porta esterna	Metallo
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Degrado antropico		Terminata	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)

Qualsiasi forma di alterazione e/o di modificazione dello stato di conservazione di un bene culturale e/o del contesto in cui esso è inserito quando questa azione è indotta dall'uso improprio.

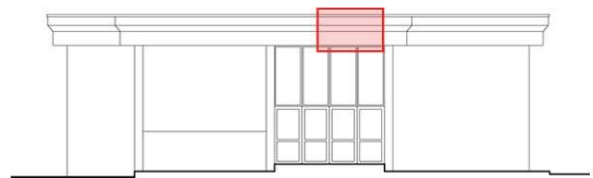
SCHEDA ANOMALIA VISIBILE

CODICE: SAV 13

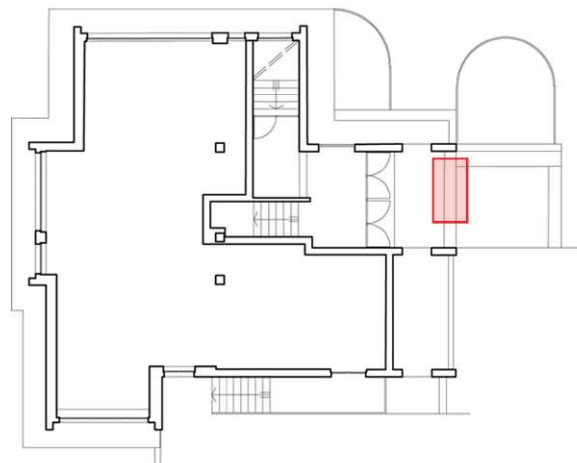
Rilievo Fotografico



Localizzazione sul Prospetto



Localizzazione in Pianta



Classe di Unità Tecnologica	Unità Tecnologica	Classe di Elemento Tecnico	Materiale
Chiusure	Chiusure orizzontali	Copertura	Calcestruzzo faccia a vista
Anomalia Visibile		Stato di Progressione	
Pitting		Terminata	

Descrizione e Caratteristiche Morfologiche (orientamento, andamento, dimensione)

Formazione di fori ciechi, numerosi e ravvicinati. I fori hanno forma tendenzialmente emisferica con diametro massimo di pochi millimetri.



### **3.3 Strumenti diagnostici**

Nei paragrafi seguenti vengono illustrati i principali e più importanti strumenti diagnostici per l'individuazione delle cause scatenanti e, di conseguenza, la risoluzione delle problematiche fin qui descritte. Se ne riportano, inoltre, alcuni esempi realizzati.

#### **3.3.1 Albero degli errori**

Individuare l'azione di un agente scatenante che provoca il degrado è molto difficile, poiché solitamente non è causato da un unico meccanismo, ma dalla concomitanza di diversi agenti. Si devono quindi definire i molteplici agenti scatenanti il particolare degrado, correlarli tra loro, definendo così catene di cause ed effetti. L'albero degli errori, in questo senso, è lo strumento che meglio permette di visualizzare, attraverso relazioni tra gli eventi che possono portare alla formazione dei degradi, gli errori o le cause primarie.

Di seguito vengono riportati gli alberi degli errori relativi ai guasti fisici o prestazionali che si è deciso di analizzare, ovvero: distacco del copriferro, fessurazione, patina biologica, presenza di vegetazione ed efflorescenza.

**DISTACCO DEL COPRIFERRO**

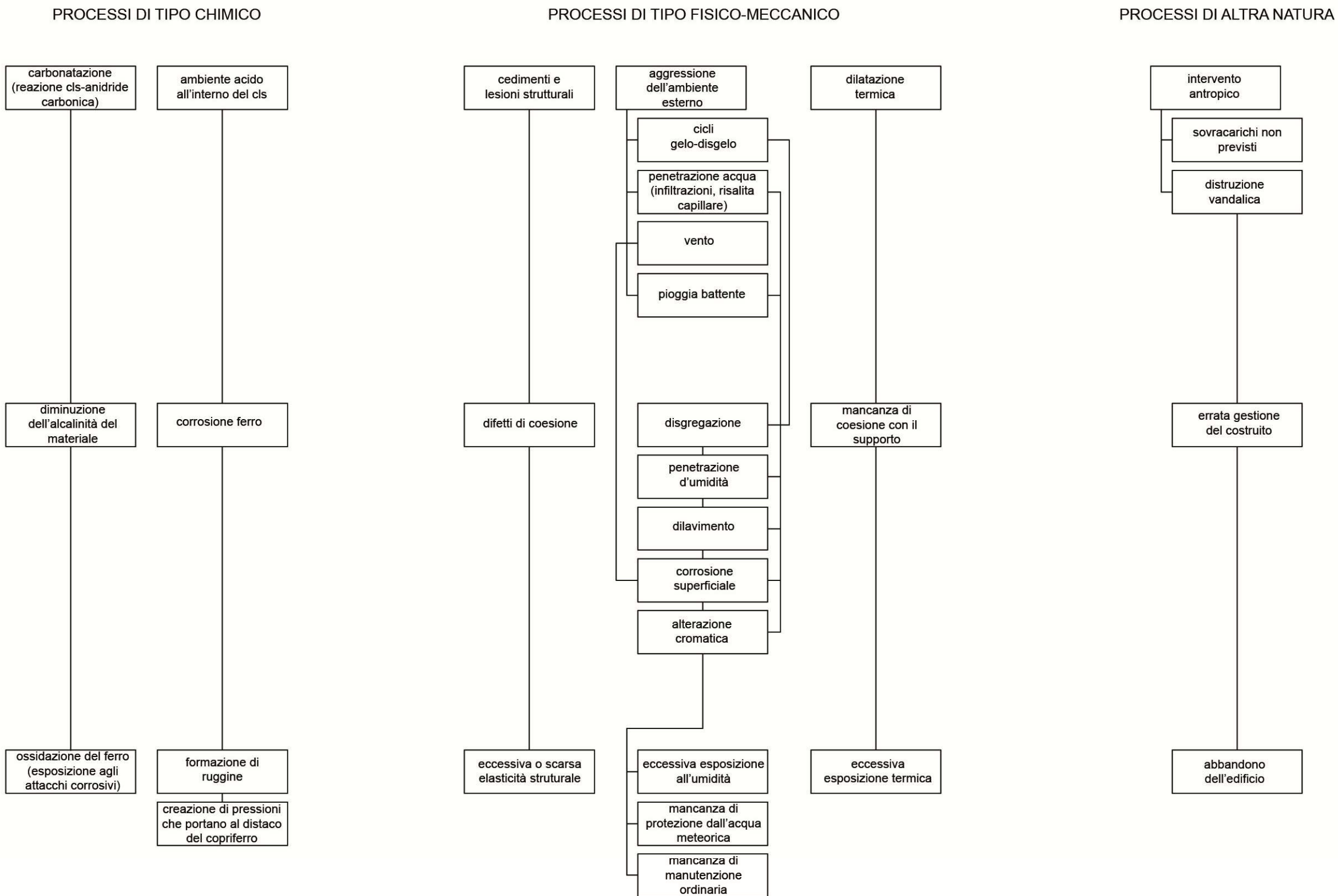
guasto fisico o prestazionale

tipo di processo che porta al guasto

azioni che portano al guasto

difetti

errori o cause primarie



# FESSURAZIONE

guasto fisico o prestazionale

tipo di processo che porta al guasto

azioni che portano al guasto

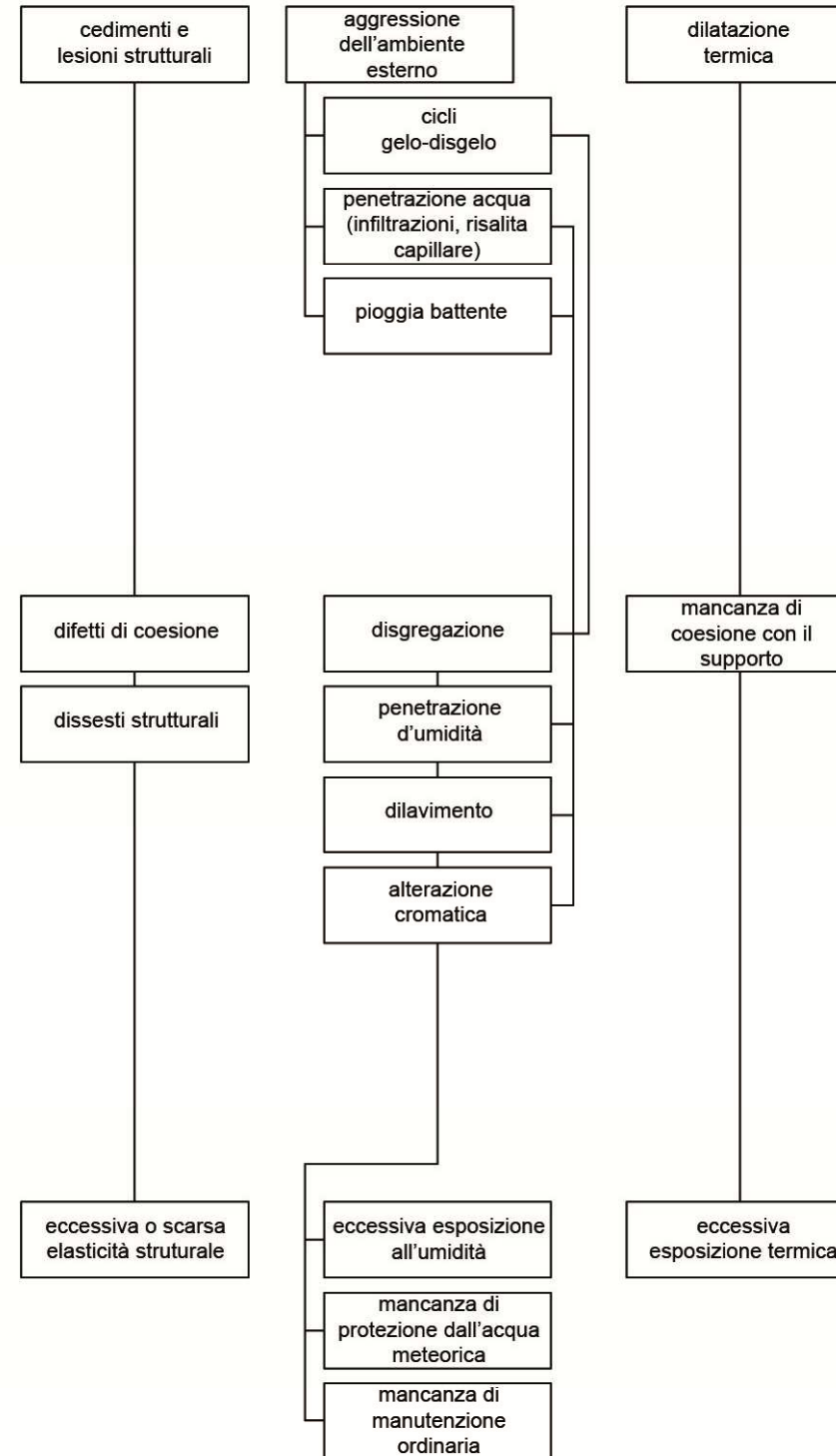
difetti

errori o cause primarie

## PROCESSI DI TIPO CHIMICO



## PROCESSI DI TIPO FISICO-MECCANICO



## PROCESSI DI ALTRA NATURA



guasto fisico o prestazionale

tipo di processo che porta al guasto

azioni che portano al guasto

difetti

errori o cause primarie

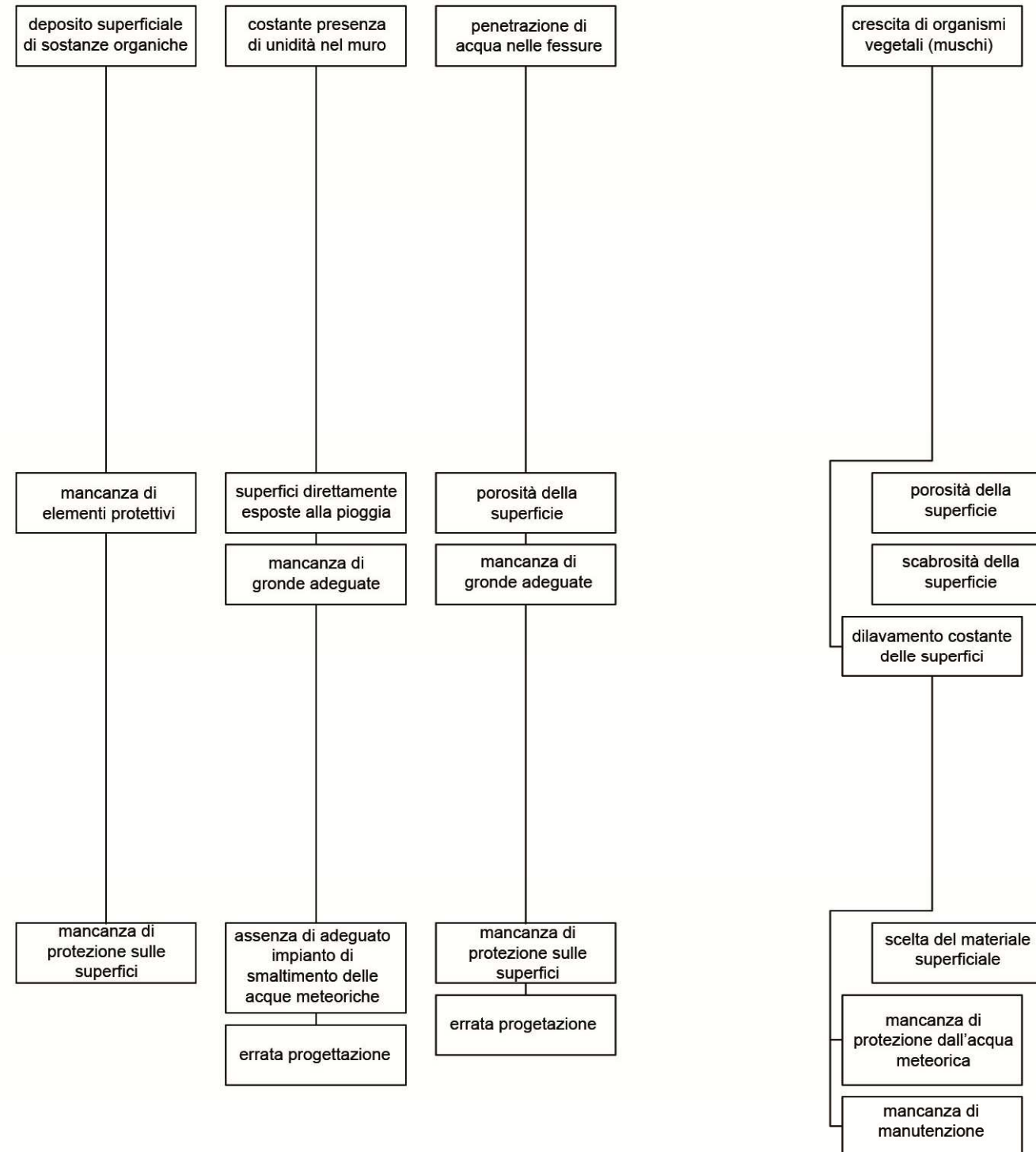
**PATINA BIOLOGICA**

PROCESSI DI TIPO CHIMICO

PROCESSI DI TIPO FISICO-MECCANICO

PROCESSI BIOLOGICI

PROCESSI DI ALTRA NATURA





guasto fisico o prestazionale

tipo di processo che porta al guasto

azioni che portano al guasto

difetti

errori o cause primarie

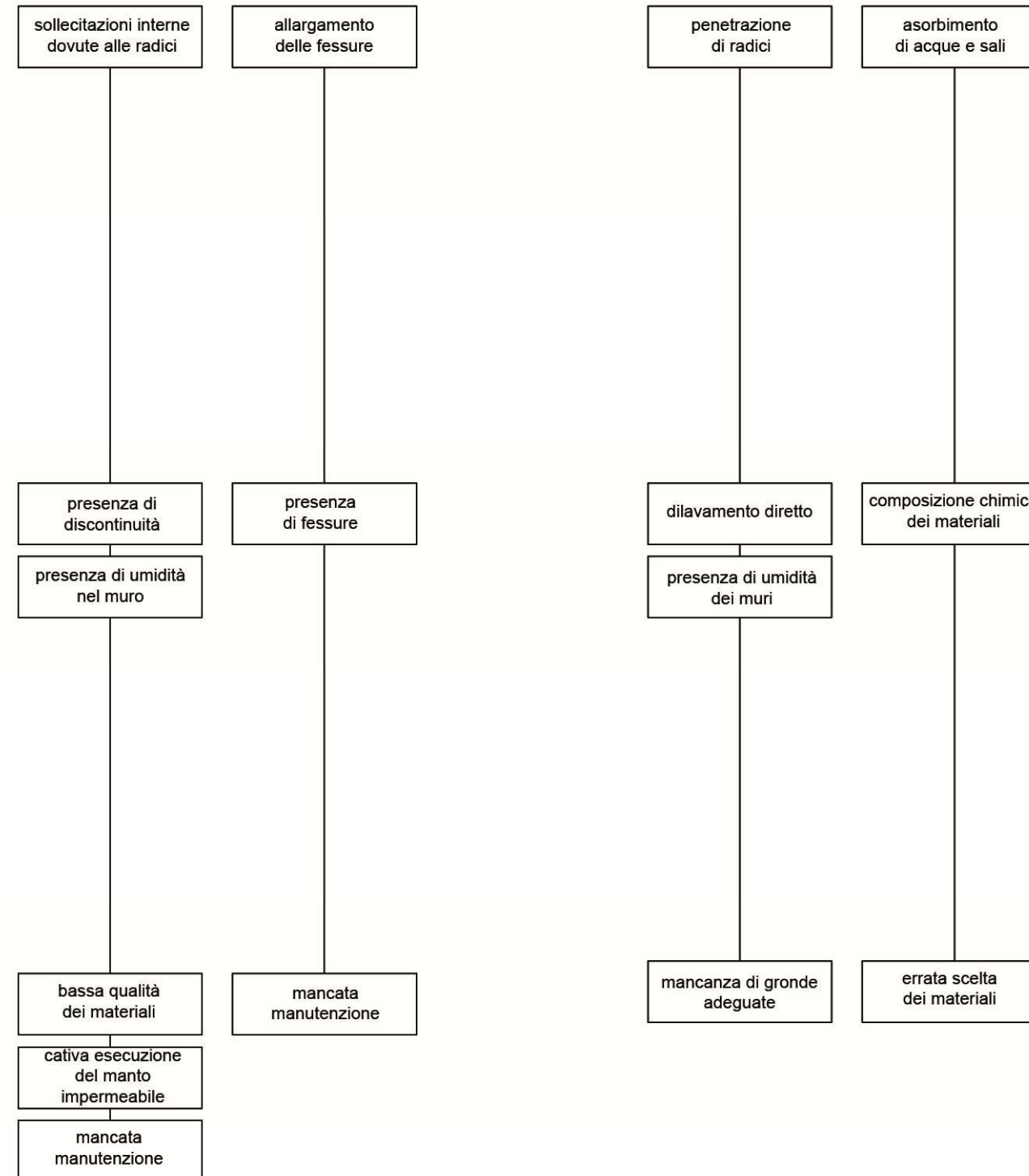
PRESENZA DI VEGETAZIONE

PROCESSI DI TIPO CHIMICO

PROCESSI DI TIPO FISICO-MECCANICO

PROCESSI BIOLOGICI

PROCESSI DI ALTRA NATURA



guasto fisico o prestazionale

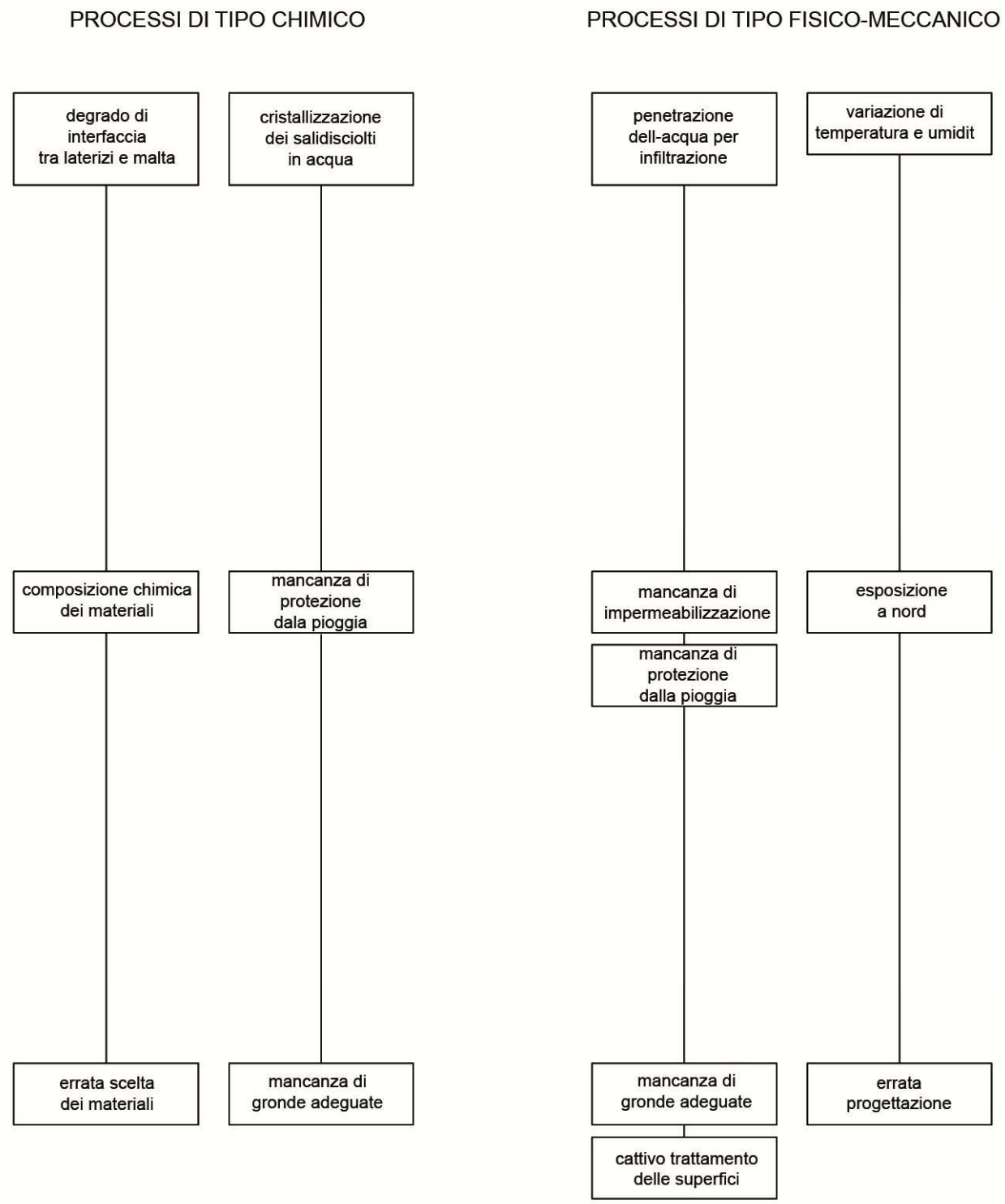
tipo di processo che porta al guasto

azioni che portano al guasto

difetti

errori o cause primarie

EFFLORESCENZA



PROCESSI BIOLOGICI

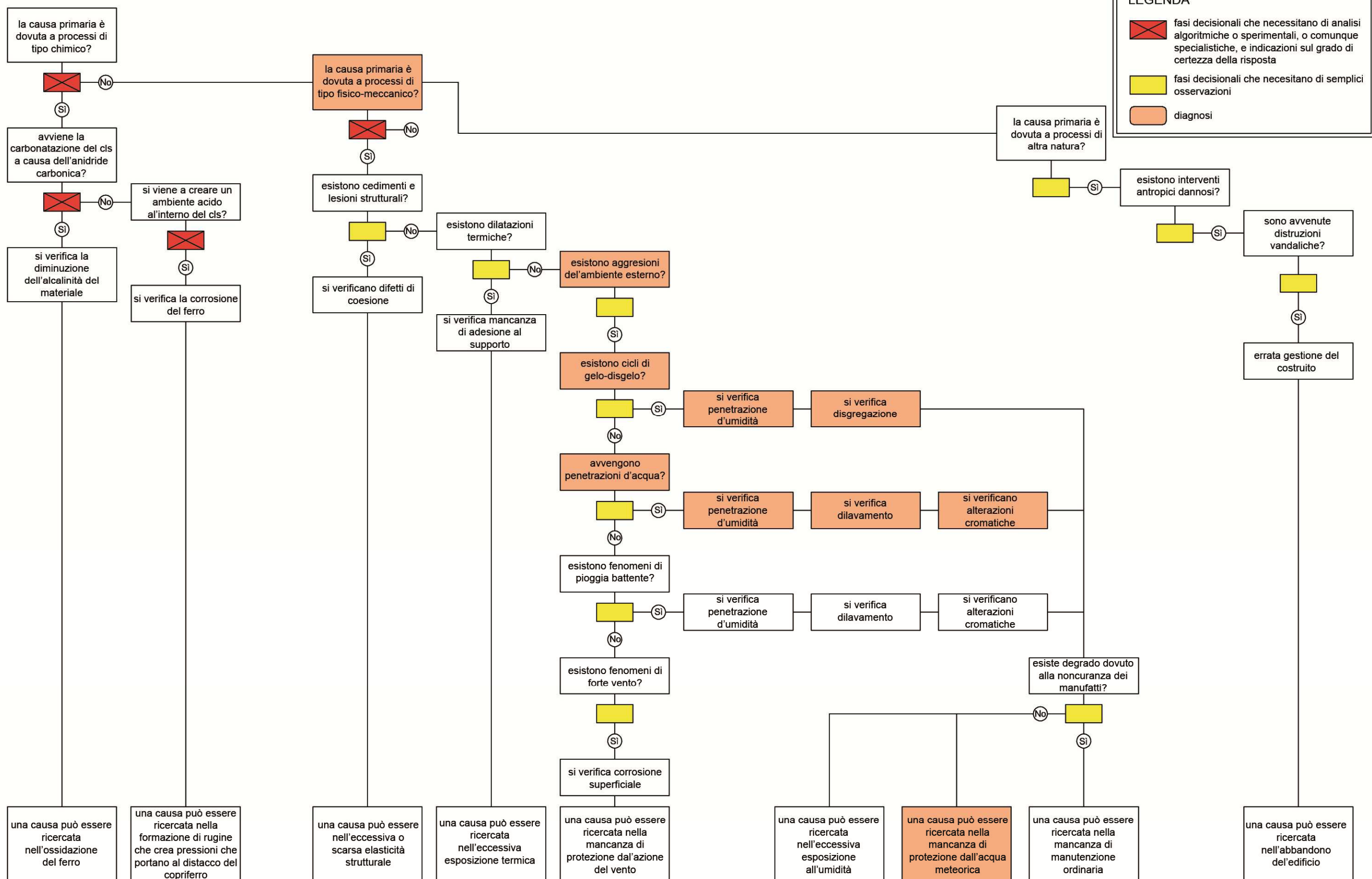
PROCESSI DI ALTRA NATURA

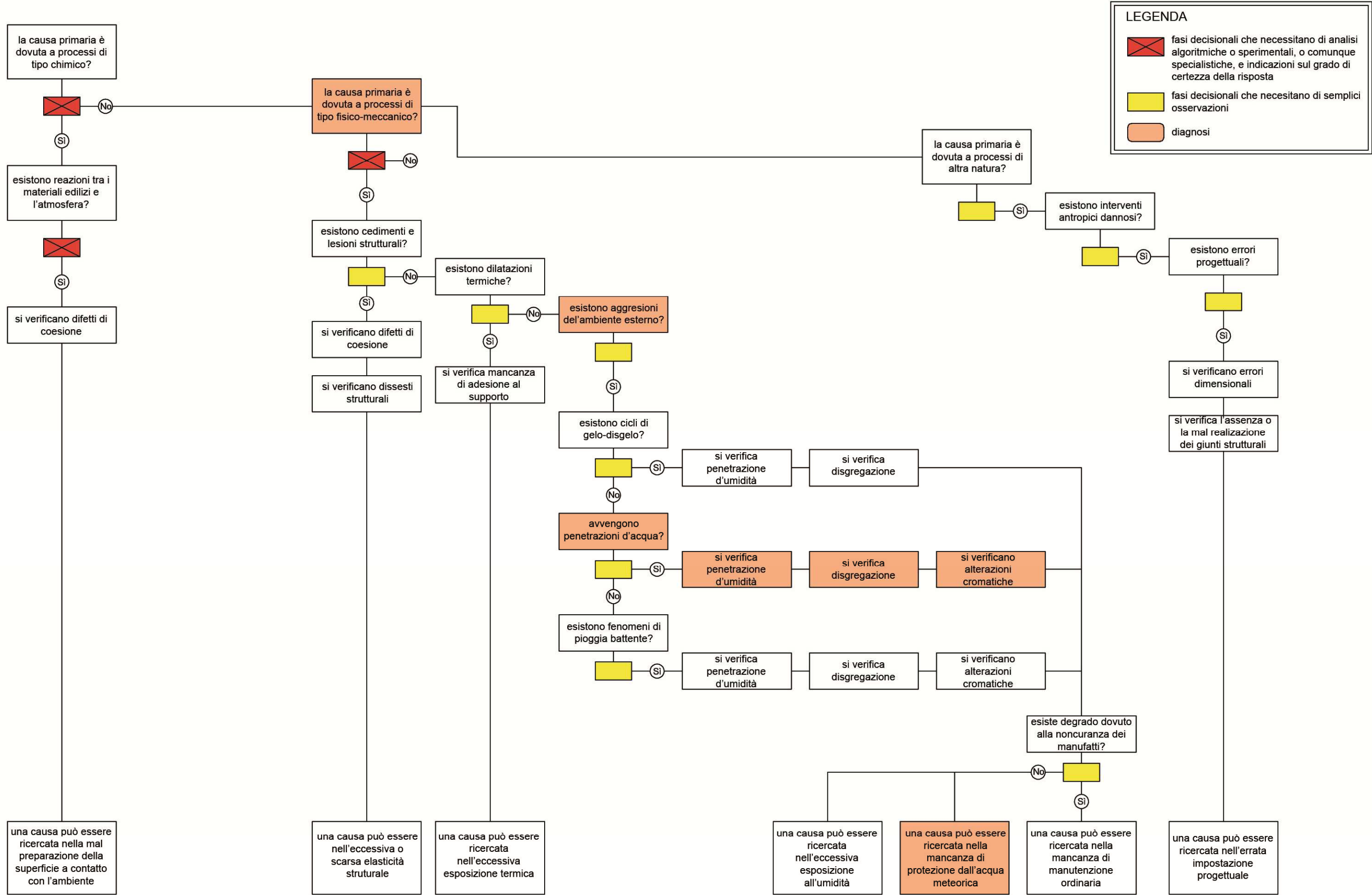


### **3.3.2 Albero diagnostico**

Il passo successivo è stato la redazione dell'albero diagnostico, strumento che ha permesso di formulare una diagnosi relativa all'anomalia, utile per riassumere e strutturare le numerose cause, individuate tramite l'albero degli errori, che possono generare l'anomalia in oggetto, ed individuare, infine, la causa scatenante del fenomeno.

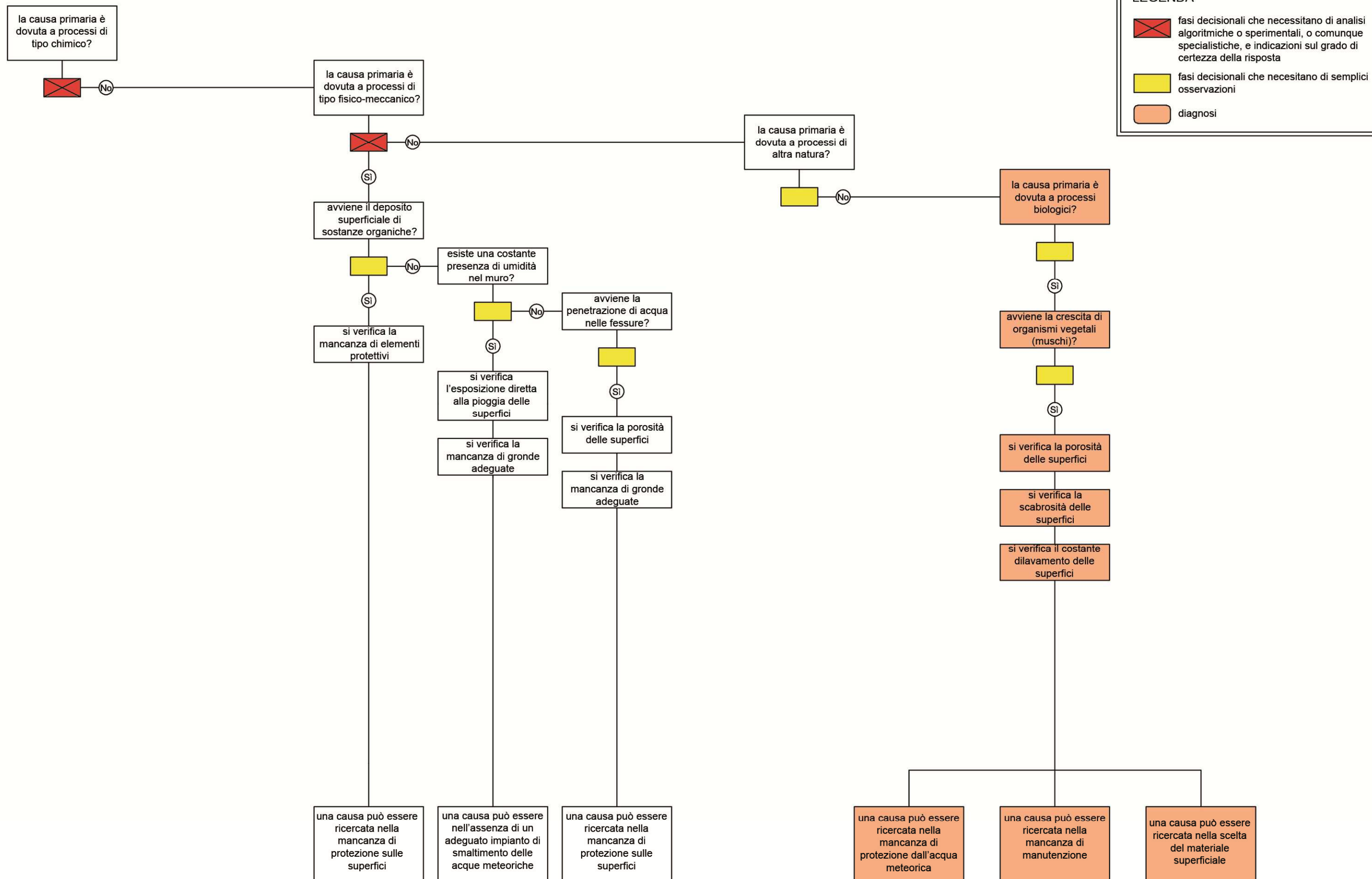
Si riportano di seguito gli alberi diagnostici relativi ai fenomeni specificati in precedenza (ved. schede AD 01-05).





**LEGENDA**

- fasi decisionali che necessitano di analisi algoritmiche o sperimentali, o comunque specialistiche, e indicazioni sul grado di certezza della risposta
- fasi decisionali che necessitano di semplici osservazioni
- diagnosi

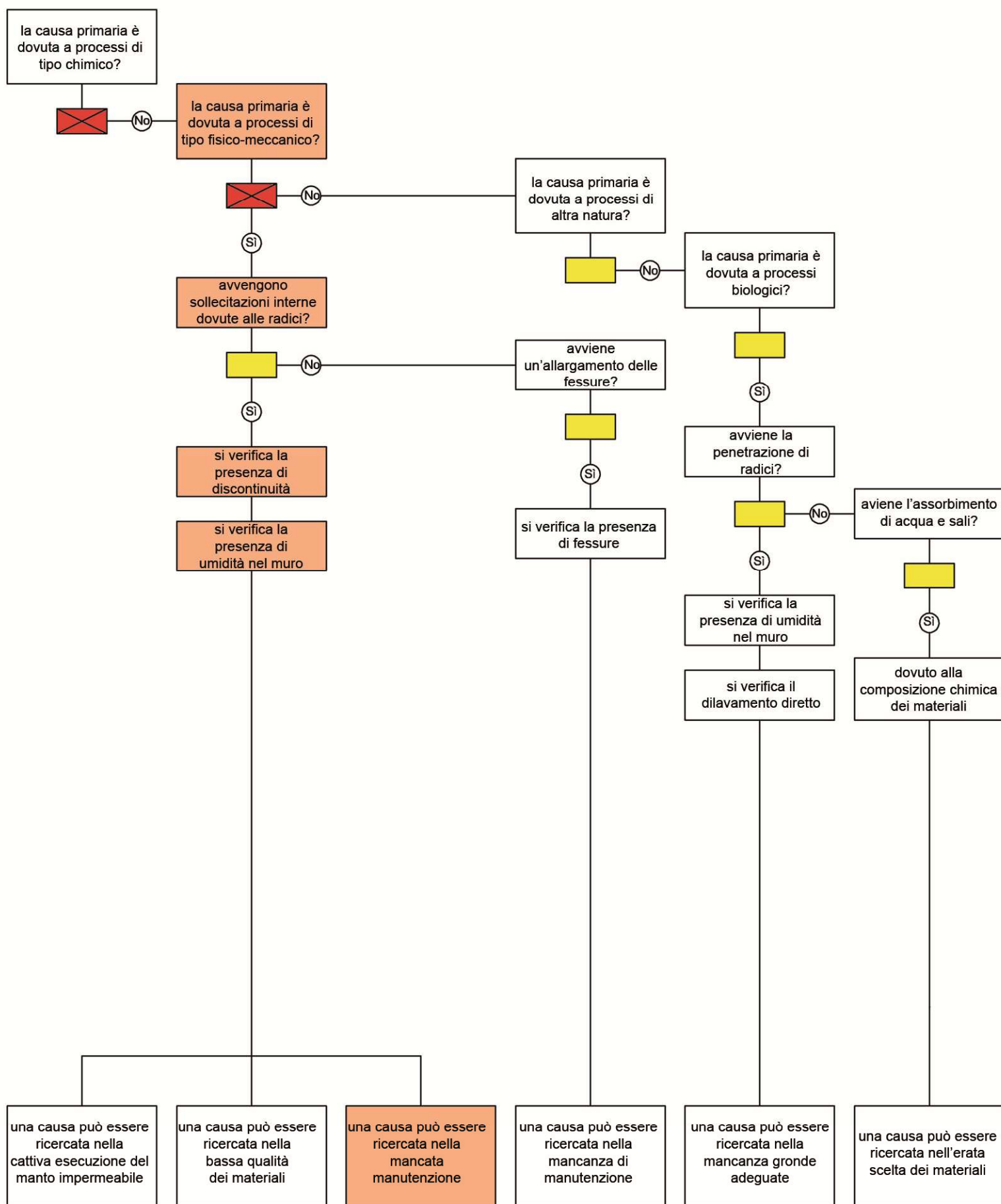


**LEGENDA**

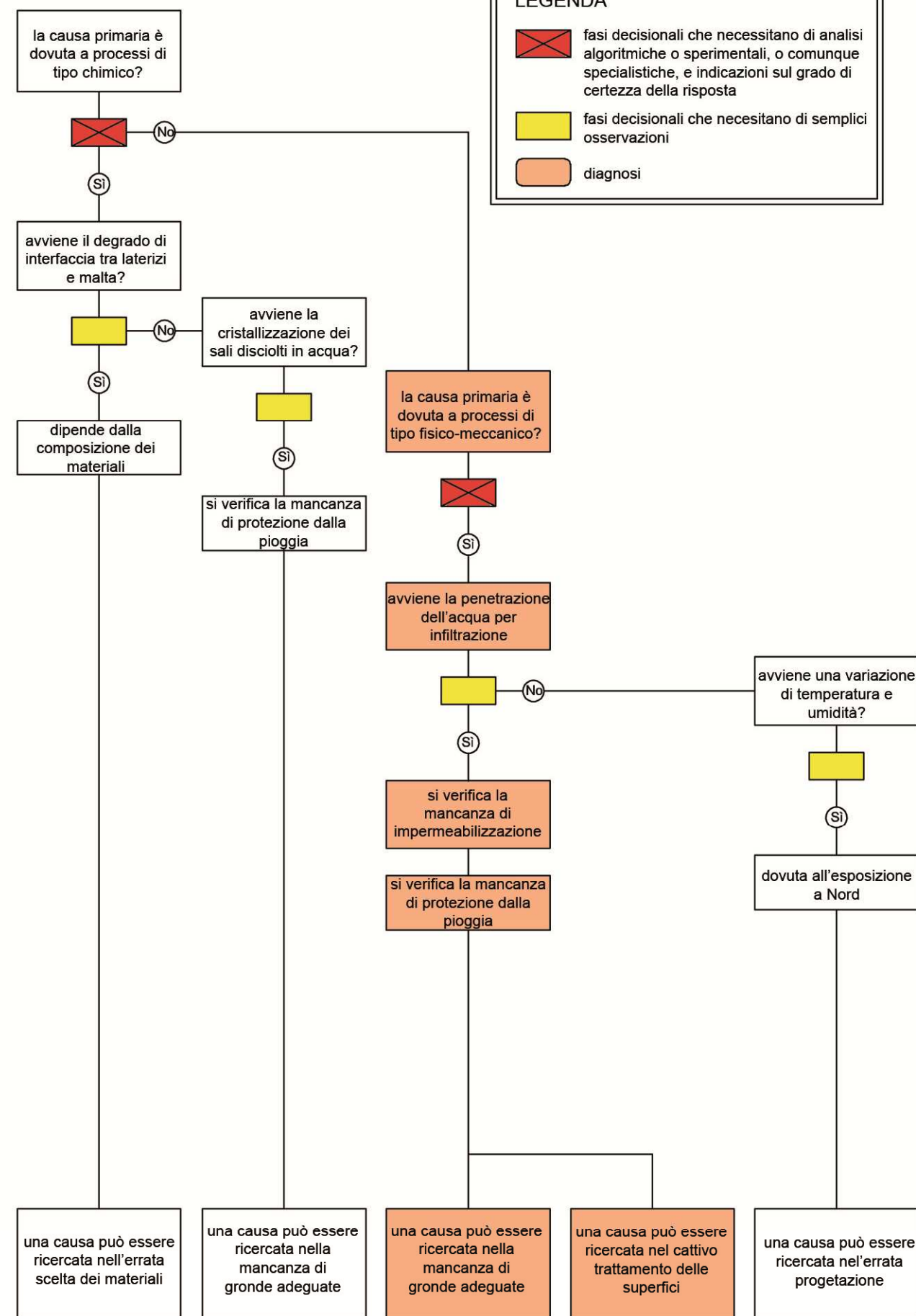
- fasi decisionali che necessitano di analisi algoritmiche o sperimentali, o comunque specialistiche, e indicazioni sul grado di certezza della risposta
- fasi decisionali che necessitano di semplici osservazioni
- diagnosi



### PRESENZA DI VEGETAZIONE



### EFFLORESCENZA



**LEGENDA**

- fasi decisionali che necessitano di analisi algoritmiche o sperimentali, o comunque specialistiche, e indicazioni sul grado di certezza della risposta
- fasi decisionali che necessitano di semplici osservazioni
- diagnosi



### **3.3.3 Scheda di prediagnosi**

Queste schede riassumono tutte le informazioni, riguardanti il guasto, che si sono riuscite a raccogliere durante il percorso di analisi grazie agli strumenti utilizzati nei paragrafi precedenti. Tali schede sono utili per aver sotto controllo tutti gli elementi utili per passare poi all'ultima fase di analisi.


Si riportano di seguito le schede di prediagnosi relativi ai guasti trattati (SdP 01-05).



SCHEDA DI PREDIAGNOSI RELATIVA AL GUASTO CODICE: SdP01

GUASTO FISICO O PRESTAZIONALE DISTACCO DEL COPRIFERRO

RILIEVO FOTOGRAFICO



ALBERO DEGLI ERRORI

```

    graph TD
      A[DISTACCO DEL COPRIFERRO] --> B[processi ti tipo fisico-meccanico]
      B --> C[aggressione dell'ambiente esterno]
      B --> D[penetrazione acqua infiltrazioni, risalita capillare]
      C --> E[alterazione cromatica]
      C --> F[penetrazione d'umidità]
      C --> G[dilavamento]
      D --> E
      D --> F
      D --> G
      E --> H[mancanza di protezione dall'acqua meteorica]
      F --> H
      G --> H
  
```

EFFETTI

Possibile penetrazione di acqua all'interno della chiusura. Questo fenomeno può provocare l'insorgere di fessurazioni nel materiale. Il cls tinteggiato dovrebbe essere progettato e realizzato in modo da offrire un'adeguata resistenza.

POSSIBILI CAUSE DEL DEGRADO

Mancanza di protezione dall'acqua meteorica.

ERRORI PROGETTUALI E/O DI ESECUZIONE

-errata progettazione delle scossaline  
-sbagliata posa in opera delle scossaline

CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Convogliamento delle acque in zone distanti dai punti di intervento.

TIPOLOGIA DELLA CAUSA

-mancanza di protezione dall'acqua meteorica  
-errata impostazione progettuale  
-carbonatazione del cls

DESCRIZIONE (Normal)

Soluzione di continuità tra strati di un materiale, sia tra loro che rispetto al substrato, che prelude, in genere, alla caduta degli strati stessi.

DIFFUSIONE / DESCRIZIONE

Il fenomeno di distacco del copriferro, di dimensioni nell'ordine di poche decine di cm, avviene in corrispondenza della parte inferiore della gronda. Tutto ciò si verifica puntualmente sul fronte Sud-Est.

FASE INIZIALE	FASE SUCCESSIVA
Penetrazione di acqua all'interno della fessura.	Formazione di ulteriori fessure riavvicinate, che a causa della penetrazione e successivamente dell'azione di cicli di gelo-disgelo avviene il distacco del cls che a sua volta lascia scoperti i ferri delle armature esponendoli all'ossidazione.

CONSEGUENZE DIRETTE	CONSEGUENZE INDIRETTE
Cambiamento esteriore dell'oggetto.	Riduzione del potere termoisolante della chiusura; presenza di umidità nei locali retrostanti; i ferri scoperti subiscono un processo di deterioramento rapido che riduce progressivamente le proprie sezioni mettendo in pericolo la stabilità della struttura.

MATERIALE INTERESSATO	Calcestruzzo armato
STATO D'AVANZAMENTO	Terminata
ORIENTAMENTO	Nord

RIFERIMENTO SCHEDA ANOMALIA VISIBILE	SAV 01	Pagina 117
RIFERIMENTO ALBERO DEGLI ERRORI	AdE 01	Pagina 133
RIFERIMENTO ALBERO DIAGNOSTICO	AD 01	Pagina 145

SCHEDA DI PREDIAGNOSI RELATIVA AL GUASTO CODICE: SdP02

GUASTO FISICO O PRESTAZIONALE FESSURAZIONE

RILIEVO FOTOGRAFICO



ALBERO DEGLI ERRORI

```

    graph TD
      A[FESSURAZIONE] --> B[processi ti tipo fisico-meccanico]
      B --> C[aggressione dell'ambiente esterno]
      C --> D[penetrazione acqua (infiltrazioni, risalita capillare)]
      D --> E[alterazione cromatica]
      D --> F[penetrazione d'umidità]
      D --> G[dilavamento]
      E --> H[mancanza di protezione dall'acqua meteorica]
      F --> H
      G --> H
  
```

EFFETTI

Possibile penetrazione di acqua. Questo fenomeno può provocare l'insorgere di fessurazioni nel materiale. Il cls tinteggiato dovrebbe essere progettato e realizzato in modo da offrire un'adeguata resistenza.

POSSIBILI CAUSE DEL DEGRADO

Mancanza di protezione dall'acqua meteorica.

ERRORI PROGETTUALI E/O DI ESECUZIONE

-errata progettazione delle scossaline  
-sbagliata posa in opera delle scossaline

CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Convogliamento delle acque in zone distanti dai punti di intervento.

TIPOLOGIA DELLA CAUSA

-mancanza di protezione dall'acqua meteorica  
-errata impostazione progettuale

DESCRIZIONE (Normal)

Traccia ad andamento verticale. Frequentemente se ne riscontrano numerose ad andamento parallelo. Formazione di una o più porzioni laminari, di spessore molto ridotto e subparallele tra loro, dette sfoglie.

DIFFUSIONE / DESCRIZIONE

Il fenomeno di fessurazione si verifica in corrispondenza della gronda su tutti i tre fronti dell'edificio. Sul fronte Nord-Est la fessurazione è presente anche sulla fascia verticale.

FASE INIZIALE	FASE SUCCESSIVA
Penetrazione di acqua all'interno della fessura.	Formazione di ulteriori fessure riavvicinate, che a causa della penetrazione e successivamente dell'azione di cicli di gelo-disgelo avviene il distacco del cls che a sua volta lascia scoperti i ferri delle armature esponendoli all'ossidazione.

CONSEGUENZE DIRETTE	CONSEGUENZE INDIRETTE
Cambiamento esteriore dell'oggetto.	Riduzione del potere termoisolante della chiusura; presenza di umidità nei locali retrostanti.

MATERIALE INTERESSATO	Calcestruzzo armato
STATO D'AVANZAMENTO	Terminata
ORIENTAMENTO	Nord

RIFERIMENTO SCHEDA ANOMALIA VISIBILE	SAV 04	Pagina 120
RIFERIMENTO ALBERO DEGLI ERRORI	AdE 02	Pagina 135
RIFERIMENTO ALBERO DIAGNOSTICO	AD 02	Pagina 147

SCHEDA DI PREDIAGNOSI RELATIVA AL GUASTO CODICE: SdP03

GUASTO FISICO O PRESTAZIONALE PATINA BIOLOGICA

RILIEVO FOTOGRAFICO

ALBERO DEGLI ERRORI

```

    graph TD
      A[PATINA BIOLOGICA] --> B[processi biologici]
      B --> C[crescita di organismi vegetali (muschi)]
      C --> D[porosità delle superfici]
      C --> E[costante dilavamento delle superfici]
      C --> F[scabrosità delle superfici]
      D --> G[mancanza di protezione dall'acqua meteorica]
      E --> G
      F --> H[cattiva scelta del materiale superficiale]
  
```

EFFETTI

Alterazione cromatica della superficie e conseguente danneggiamento dell'aspetto estetico del muro in oggetto.

POSSIBILI CAUSE DEL DEGRADO

Costante dilavamento diretto per la mancanza di protezione dall'acqua meteorica; scabrosità e porosità delle superfici a diretto contatto con l'ambiente.

ERRORI PROGETTUALI E/O DI ESECUZIONE

- errata progettazione degli elementi protettivi
- errata posa in opera degli elementi protettivi
- errata scelta del materiale

CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE

Convogliamento delle acque in zone distanti dai punti di intervento.

TIPOLOGIA DELLA CAUSA

- mancanza di protezione dall'acqua meteorica
- errata impostazione progettuale

FASE INIZIALE	FASE SUCCESSIVA
Crescita dei primi muschi.	Costante crescita dei muschi favoriti dal dilavamento della superficie e dalla porosità e scabrosità del materiale.

DESCRIZIONE (Normal)

Strato sottile, morbido ed 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.

CONSEGUENZE DIRETTE	CONSEGUENZE INDIRETTE
Cambiamento esteriore dell'oggetto.	

DIFFUSIONE / DESCRIZIONE

La patina biologica si presenta in una zona circoscritta dell'edificio e provoca un'alterazione cromatica superficiale.

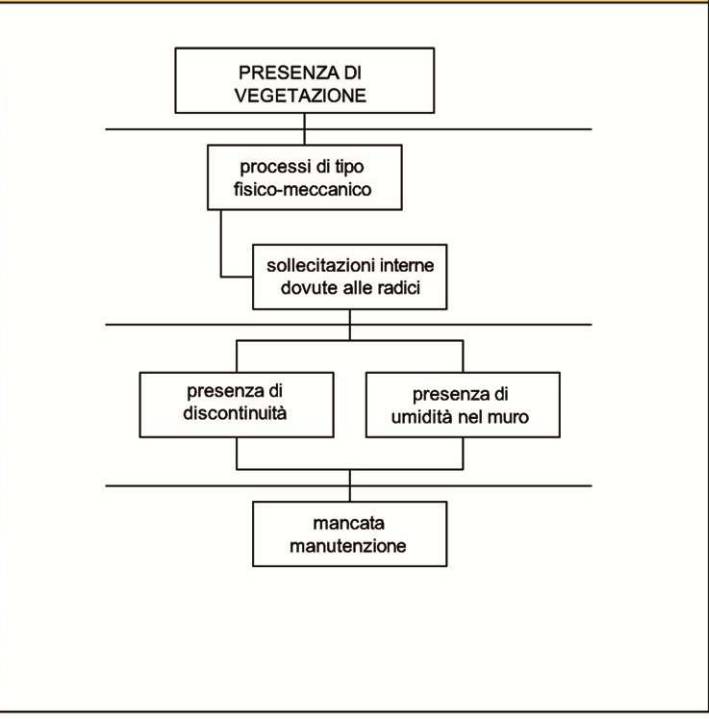
MATERIALE INTERESSATO	Calcestruzzo armato
STATO D'AVANZAMENTO	Terminata
ORIENTAMENTO	Ovest

RIFERIMENTO SCHEDA ANOMALIA VISIBILE	SAV 11	Pagina 127
RIFERIMENTO ALBERO DEGLI ERRORI	AdE 03	Pagina 137
RIFERIMENTO ALBERO DIAGNOSTICO	AD 03	Pagina 149

**SCHEDA DI PREDIAGNOSI RELATIVA AL GUASTO** CODICE: SdP04

**GUASTO FISICO O PRESTAZIONALE** PRESENZA DI VEGETAZIONE

**RILIEVO FOTOGRAFICO** ALBERO DEGLI ERRORI



**EFFETTI**

Danneggiamento dell'aspetto estetico del muro in oggetto.

**POSSIBILI CAUSE DEL DEGRADO**

Presenza di un'ambiente favorevole alla crescita delle piante.

**ERRORI PROGETTUALI E/O DI ESECUZIONE**

-assenza di manutenzione

**CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE**

**TIPOLOGIA DELLA CAUSA**

-mancanza di manutenzione

**FASE INIZIALE** **FASE SUCCESSIVA**

Crescita dei primi muschi.	Costante crescita degli arbusti rampicanti sulla parte in oggetto dell'edificio, favoriti dalla presenza di elementi come il pluviale e dalla mancata manutenzione.
----------------------------	---

**DESCRIZIONE (Normal)**

Presenza di individui erbacei, arbustivi o arborei.

**CONSEGUENZE DIRETTE** **CONSEGUENZE INDIRETTE**

Cambiamento esteriore dell'oggetto.	Danneggiamento della parte dell'edificio in oggetto.
-------------------------------------	--

**DIFFUSIONE / DESCRIZIONE**

Presenza massiccia di piante rampicanti sulle facciate dell'edificio

MATERIALE INTERESSATO	Intonaco
STATO D'AVANZAMENTO	Terminata
ORIENTAMENTO	Est

RIFERIMENTO SCHEDA ANOMALIA VISIBILE	SAV 09	Pagina 125
RIFERIMENTO ALBERO DEGLI ERRORI	AdE 04	Pagina 139
RIFERIMENTO ALBERO DIAGNOSTICO	AD 04	Pagina 151

SCHEDA DI PREDIAGNOSI RELATIVA AL GUASTO CODICE: SdP05

GUASTO FISICO O PRESTAZIONALE EFFLORESCENZA

**RILIEVO FOTOGRAFICO**



**ALBERO DEGLI ERRORI**

```

    graph TD
      A[EFFLORESCENZA] --> B[processi di tipo fisico-meccanico]
      B --> C[penetrazione dell'acqua per infiltrazione]
      C --> D[mancanza di protezione dell'acqua]
      D --> E[cattivo trattamento delle superfici]
  
```

**EFFETTI**

Alterazione cromatica della parete del locale, formazione di macchie e depositi di varia natura salina.

**POSSIBILI CAUSE DEL DEGRADO**

Infiltrazione dell'acqua e dell'umidità, dilavamento delle superfici.

**ERRORI PROGETTUALI E/O DI ESECUZIONE**

-mancata manutenzione

**CONDIZIONI DI PREDISPOSIZIONE**

Convogliamento delle acque in zone distanti dai punti di intervento.

**TIPOLOGIA DELLA CAUSA**

-mancanza di protezione dall'acqua  
-cattivo trattamento delle superfici

**FASE INIZIALE**

Infiltrazione dell'acqua nel calcestruzzo della parete dei locali tecnici.

**FASE SUCCESSIVA**

Formazione della patina biancastra.

**DESCRIZIONE (Normal)**

Formazione superficiale di aspetto cristallino o polverulento o filamentoso, generalmente di colore biancastra.

**CONSEGUENZE DIRETTE**

Cambiamento esteriore della parete.

**CONSEGUENZE INDIRETTE**

**DIFFUSIONE / DESCRIZIONE**

L'efflorescenza è presente in corrispondenza delle docce negli spogliatoi.

MATERIALE INTERESSATO	Calcestruzzo
STATO D'AVANZAMENTO	In avanzamento
ORIENTAMENTO	In corrispondenza dei locali tecnici al piano interrato

RIFERIMENTO SCHEDA ANOMALIA VISIBILE	SAV 07	Pagina 123
RIFERIMENTO ALBERO DEGLI ERRORI	AdE 05	Pagina 141
RIFERIMENTO ALBERO DIAGNOSTICO	AD 05	Pagina 151



### **3.3.4 Scheda tecnica d'intervento**

Queste schede rappresentano l'ultimo passaggio dell'analisi dello stato di fatto compiuto sui tre edifici. Dopo aver individuato il tipo di guasto, la sua localizzazione e le principali cause scatenanti, si è scelta la tecnica d'intervento più idonea per poter rimediare a quanto riscontrato. Viene infine descritta la tecnica adeguata per ripristinare il guasto in modo molto dettagliato, individuando le sue fasi lavorative e riportandole in ordine cronologico d'intervento.

Le schede tecniche d'intervento vengono di seguito riportate (STdl 01-06).



<b>SCHEMA TECNICA D'INTERVENTO</b>	<b>CODICE: STdI01</b>
------------------------------------	-----------------------

<b>TECNICA D'INTERVENTO</b>	ripristino c.a. a vista, ferri affioranti
<b>ELEMENTO TECNICO</b>	elementi in c.a.

<b>LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO</b>
L'intervento interessa l'edificio della piscina, di preciso il prospetto Sud-Est, dove si ha l'elemento della gronda sagomata in c.a. danneggiata al punto da lasciare scoperti i ferri.

<b>CAUSE E PATOLOGIE DEL DEGRADO</b>
Il distacco del copriferro è causato dalla corrosione dell'armatura, dovuta alla carbonatazione del calcestruzzo. Successivamente l'esposizione agli agenti atmosferici, quali il processo di gelo-disgelo, hanno contribuito al procedere del degrado.

<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b>
Come primo passo deve essere rimosso il calcestruzzo carbonato. Si procede all'eliminazione del calcestruzzo carbonato fino a quando la fenofaleina non assumerà su tutto il calcestruzzo che si sta trattando una colorazione violacea che sta ad indicare il calcestruzzo non carbonato. A questo punto vengono messi a nudo i ferri d'armatura e tra questi quelli che risultano arrugginiti verranno ripuliti dalla ruggine mediante sabbiatura per poi essere trattati con una protezione anticorrosiva. Il supporto deve essere privo di polvere, non gelato, piano, superficialmente scabro, consistente, privo di efflorescenze e di prodotti distaccati. Il supporto deve quindi essere pulito prima dell'uso mediante un'idropulitrice. Il supporto viene trattato con l'applicazione di un ponte di aderenza con idonea scopa o pennello. Per una protezione ottimale dalla corrosione dell'armatura, essa deve essere trattata con 2 o 3 mani di prodotto di ponte di aderenza per calcestruzzo con intervalli di 20 minuti tra una mano e l'altra. Dato che le parti interessate sono di piccole estensioni, queste vengono ricoperte con intonaco mediante la cazzuola e si rifinisce il tutto con il frattazzo. Una volta asciutto si effettua un trattamento protettivo incolore ed inodore.

<b>FASI LAVORATIVE</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- rimozione del calcestruzzo carbonato</li><li>- verifica che il calcestruzzo in prossimità dell'intervento non sia carbonato mediante l'uso della fenofaleina</li><li>- rimozione dei possibili residui di calcestruzzo carbonato</li><li>- messa a nudo dei ferri d'armatura</li><li>- pulizia dei ferri scoperti mediante sabbiatura</li><li>- trattamento dei ferri d'armatura con protezione anticorrosiva</li><li>- trattamento del supporto con ponte di aderenza per il calcestruzzo</li><li>- preparazione dell'intonaco</li><li>- applicazione con la cazzuola</li><li>- rifinitura con il frattazzo</li><li>- applicazione trattamento protettivo incolore</li></ul>



## SCHEMA TECNICA D'INTERVENTO

CODICE: STdI02

### TECNICA D'INTERVENTO

chiusura fessurazioni

### ELEMENTO TECNICO

elementi in c.a.

## LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento interessa l'edificio della piscina, di preciso il prospetto Sud-Est e quello Nord-Est; e la palestra comunale nel prospetto Est e Sud.

## CAUSE E PATOLOGIE DEL DEGRADO

Le lesioni sono inizialmente compatibili con la continuità della massa che, prima di rompersi, subisce delle deformazioni. Esse si presentano nelle fasi deformative più progredite; ed assumono aspetti caratteristici e mutevoli al variare delle cause che le determinano, dalla natura dell'ambiente e dalle strutture.

## DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Verificare che la fessura va ingrandendosi mediante l'uso di un pezzo di vetro che viene incollato sopra la fessura. Questo non essendo elastico, tenderà a rompersi al primo movimento. Se invece mediante questo stratagemma si capisce che la fessura è stabilizzata si può riparare riempiendola di malta. Esistono anche dei siliconi che usati per riempire le fessure, una volta essiccati rimangono relativamente elastici e quindi non si rifessurano rapidamente. A questo punto si rimuovono tutti i pezzi che si staccano dai bordi della fessura mediante un raschietto; poi si procede ad eliminare l'eventuale polvere presente con una spazzola o un'aspirapolvere in modo che il prodotto che andremo ad applicare possa aderire al meglio. Dato che andremo a riempire la fessura di malta la superficie deve essere ben inumidita mediante una spugna piena d'acqua. Applichiamo la malta con una spatola, prima sul fondo e poi sui lati della fessura. Lasciamo asciugare l'intervento e successivamente applichiamo l'intonaco del colore adeguato per riprodurre la continuità del prospetto.

## FASI LAVORATIVE

- verifica dell'espansione della fessura
- con un raschietto rimuovere tutti i pezzi superficiali
- con una spazzola o un'aspirapolvere rimuovere la polvere presente
- inumidire con una spugna adeguatamente bagnata l'intera superficie della fessura
- confezionare la malta
- mediante l'utilizzo di una spatola applicare la malta
- riempire la fessura di malta
- lasciare asciugare
- applicare l'intonaco





## SCHEMA TECNICA D'INTERVENTO

CODICE: STdI03

### TECNICA D'INTERVENTO

ripristino dell'intonaco esterno

### ELEMENTO TECNICO

intonaco

## LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento interessa l'edificio della palestra comunale, in particolare nel prospetto Est ed Ovet.

## CAUSE E PATOLOGIE DEL DEGRADO

Il distacco dell'intonaco è causato dall'azione degli agenti atmosferici e dal diretto dilavamento dell'acqua dovuta all'errata progettazione degli elementi di protezione come le scossaline o all'errata posa in opera di questi elementi.

## DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Pulire accuratamente la zona interessata mediante l'uso di pennelli e spazzole con il fine di eliminare lo sporco e i residui facilmente asportabili. Si possono usare anche soluzioni di carbonati solubili oppure impiegare mezzi meccanici per eliminare depositi più consistenti. Operare un trattamento consolidante tramite l'applicazione ad airless di estere etilico dall'acido silicico. Quest'operazione va eseguita sulla zona in questione in condizione di asciutto. Se è necessario effettuare lo stucco puntuale con primo arriccio di malta di calce. Per eseguire l'arriccio utilizzare piccole spatole. Eseguire la stuccatura di finitura con grassello di calce e sabbia ticino eventualmente additivati con sabbie di granulometrie superiori da tirarsi a spugna. Eseguire la tinteggiatura finale a più mani. Dopo venti giorni eseguire un trattamento di protezione finale mediante l'uso di prodotti idrorepellenti. La superficie deve essere perfettamente asciutta, l'intervento va eseguito in giornate non piovose e sulla superficie non assolata. I prodotti vanno applicati abbondantemente due o tre volte, fino a rifiuto.

## FASI LAVORATIVE

- pulire adeguatamente le zone interessate con pennelli e stracci
- trattamento consolidante tramite l'applicazione ad airless di estere etilico dell'acido silicico
- se necessario stuccare puntualmente
- eseguire la stuccatura di finitura
- tinteggiatura finale a più mani
- stesa di prodotti idrorepellenti



## SCHEMA TECNICA D'INTERVENTO

CODICE: STdI04

### TECNICA D'INTERVENTO

rimozione della vegetazione presente

### ELEMENTO TECNICO

chiusura dell'edificio

## LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento interessa l'edificio della palestra comunale dove la presenza di vegetazione infestante è presente su buona parte dell'edificio.

## CAUSE E PATOLOGIE DEL DEGRADO

La presenza di vegetazione su quest'edificio è dovuta all'ambiente circostante e all'edificio in se stesso (pluviali che permettono alle piante rampicanti di crescere) e soprattutto alla mancanza di manutenzione che favoriscono lo sviluppo di questo degrado.

## DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

La rimozione della vegetazione infestante può avvenire per mezzo di trattamento con mezzi meccanici oppure irrorando le superfici interessate con dei disinfestanti liquidi che si possono applicare con pennelli o con delle apparecchiature a spruzzo. I prodotti possono essere in gel o in polvere e vanno applicati periodicamente sulla zona interessata. Questi disinfestanti devono garantire che la loro tossicità decada in breve per evitare che vadano a contatto con il terreno. La pulizia deve essere fatta solo sulle zone interessate, in modo puntuale e dopo le conoscenze adeguate sul materiale da trattare e sulla natura della specie erborea per identificare il prodotto giusto da utilizzare. Tutti i tipi erborei dovranno essere asportati nel periodo invernale utilizzando i mezzi più adeguati, aventi bassa emissione di vibrazioni. Bisognerà osservare attentamente due fattori: la resistenza allo strappo delle radici e l'impossibilità di raggiungere con mezzi meccanici i semi che potrebbero penetrare in profondità dopo lo strappo. Successivamente si procederà con una regolare manutenzione ed estirpazione di eventuali nuove presenze infestanti.

## FASI LAVORATIVE

- scegliere il prodotto da utilizzare in funzione della specie arborea
- applicazione l'infestante liquido scelto periodicamente con pennello o con apparecchi a spruzzo
- prestare attenzione al modo e alla quantità di prodotto che si sta utilizzando
- pulire adeguatamente le zone infestate
- estirpare le specie arboree con mezzi a bassa emissività di vibrazioni
- prestare attenzione al tipo di strappo da usare in funzione della specie erborea per evitare di dispergere i possibili semi
- pulizia successiva all'estirpazione



<b>SCHEMA TECNICA D'INTERVENTO</b>	<b>CODICE: STdI05</b>
------------------------------------	-----------------------

<b>TECNICA D'INTERVENTO</b>	rimozione efflorescenza
<b>ELEMENTO TECNICO</b>	intonaco

<b>LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO</b>
L'intervento interessa internamente l'edificio della piscina, in particolare nei locali degli spogliatoi e in quelli tecnici nel piano interrato.

<b>CAUSE E PATOLOGIE DEL DEGRADO</b>
La presenza di efflorescenza si ha negli spogliatoi per il diretto contatto con l'acqua delle docce, dovuta al diretto dilavamento dell'acqua e alla condensa che si viene a creare per via dei serramenti e dell'aerazione forzata inadeguata.

<b>DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO</b>
Devono essere eseguite una serie di verifiche: -verificare la presenza di un'adeguata impermeabilizzazione del tamponamento murario interessato; -controllare a vista lo stato di conservazione della finitura e dell'uniformità cromatica; -eseguire un'analisi chimica di un campione di intonaco per riscontrare la presenza di calcare. A questo punto si può intervenire raschiando la zona interessata con una spatola. Poi si passa alla preparazione del liquido che verrà utilizzato, diluendo l'acqua con la candeggina. Applicare il preparato con un pennello sulle macchie presenti. Il giorno seguente spazzolare le macchie per rimuovere le spore. Dare una mano di fissaggio acrilico sulla zona interessata e stuccare mediante la spatola. In conclusione pitturare con un traspirante antimuffa la zona interessata mediante un pennello o un rullo.

<b>FASI LAVORATIVE</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- eseguire delle analisi per capire la causa</li><li>- raschiare con una spatola la zona interessata</li><li>- diluire acqua e candeggina</li><li>- applicare mediante pennello sulla macchia</li><li>- spazzolare via tutto</li><li>- applicare una mano di fissativo acrilico</li><li>- stuccare con la spatola</li><li>- pitturare con un traspirante antimuffa la zona interessata</li></ul>



## SCHEDA TECNICA D'INTERVENTO

CODICE: STdI06

### TECNICA D'INTERVENTO

sostituzione dei serramenti

### ELEMENTO TECNICO

serramenti in alluminio

## LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento interessa i serramenti della piscina lungo il prospetto Sud-Est.

## CAUSE E PATOLOGIE DEL DEGRADO

I serramenti del locale piscina sono in buone condizioni, tuttavia non sono conformi alle nuove norme e non soddisfano un adeguato confort termico richiesto.

## DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

I serramenti esistenti sono in alluminio, alcune parti esterne sono danneggiate da macchie, ma non rispettano le nuove norme e hanno bassissime prestazioni termiche. Si procede quindi a sostituirli con serramenti in alluminio a taglio termico, con prestazioni termiche ed acustiche migliori. Vengono quindi rimossi e smaltiti i vecchi serramenti, e si sistema la spalletta per il nuovo alloggiamento. Si posano i nuovi davanzali e soglie con gocciolatoi. Viene poi posato il nuovo controtelaio in alluminio. Si procede all'isolamento come da progetto e poi si posano i nuovi serramenti.

## FASI LAVORATIVE

- rimozione e smaltimento dei serramenti e dei controtelai
- rifacimento della spalletta dove è necessario
- posa dei nuovi davanzali e soglie con gocciolatoi
- posa dei controtelai in alluminio
- isolamento come da progetto
- posa dei nuovi serramenti in alluminio con taglio termico

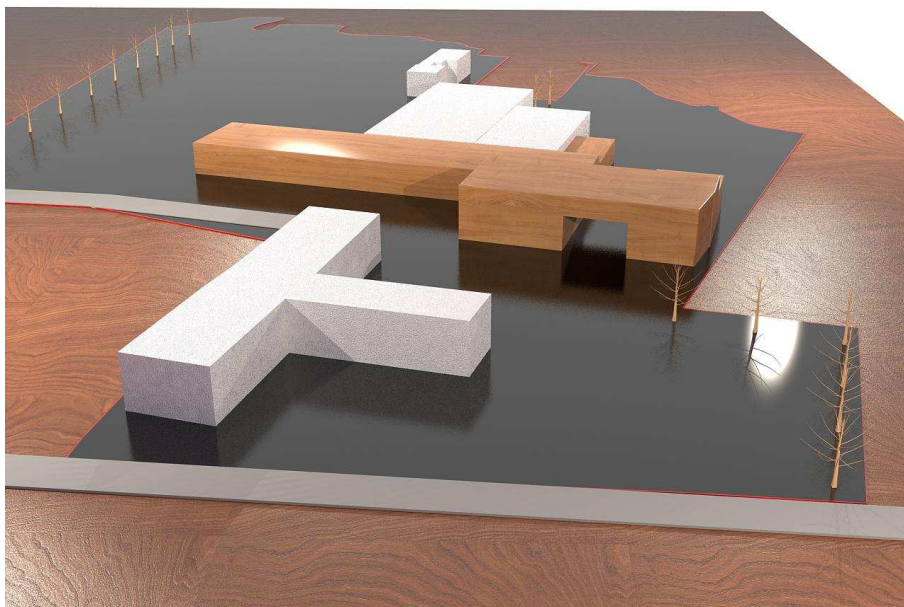


## CAPITOLO 4 – ARCHITETTONICO

*In questo capitolo vengono definite le scelte compositive - formali e funzionali che hanno caratterizzato il progetto, andando a descrivere i principi guida che hanno condotto al progetto conclusivo. Vengono poi riportati il masterplan definitivo di progetto, le tavole architettoniche e le opportune verifiche funzionali e spaziali necessarie al progetto.*

### **4.1 Scelte architettoniche e compositive**

A seguito della reinterpretazione e lettura critica del bando di concorso, alla base del progetto compositivo del centro sportivo, ci sono prevalentemente quattro assunti: l'idea di mantenere, dove architettonicamente e funzionalmente possibile, l'esistente, la creazione di un unico grande complesso, comprendente sia il nuovo Centro Pratogrande che la palestra comunale (per quanto distinti e con accessi diversi ed indipendenti), la creazione di due fronti principali molto direzionali ed, infine, l'integrazione nel circostante ambiente naturale. Infatti, l'edificio principale del centro Pratogrande ha una connotazione estetica molto forte e caratterizzante. Fin dalle prime ipotesi progettuali è stata quasi istintiva la delineazione di due direzionalità principali, una dettata dall'edificio (da conservare) esistente della piscina ed una ad essa contrapposta ed ortogonale. Quest'ultima linea direttrice è stata, fin dalle prime fasi di metaprogettazione, il principio generatore della composizione architettonica: l'intento è stato quello di creare, dall'inizio, una cortina, un manifesto di ingresso, una sorta di quinta, di diaframma al di là del quale prendesse forma l'intero progetto.



*Fig. 4.1 – Render volumetrico, primi step di progetto. Si noti la forte bidirezionalità già presente.*

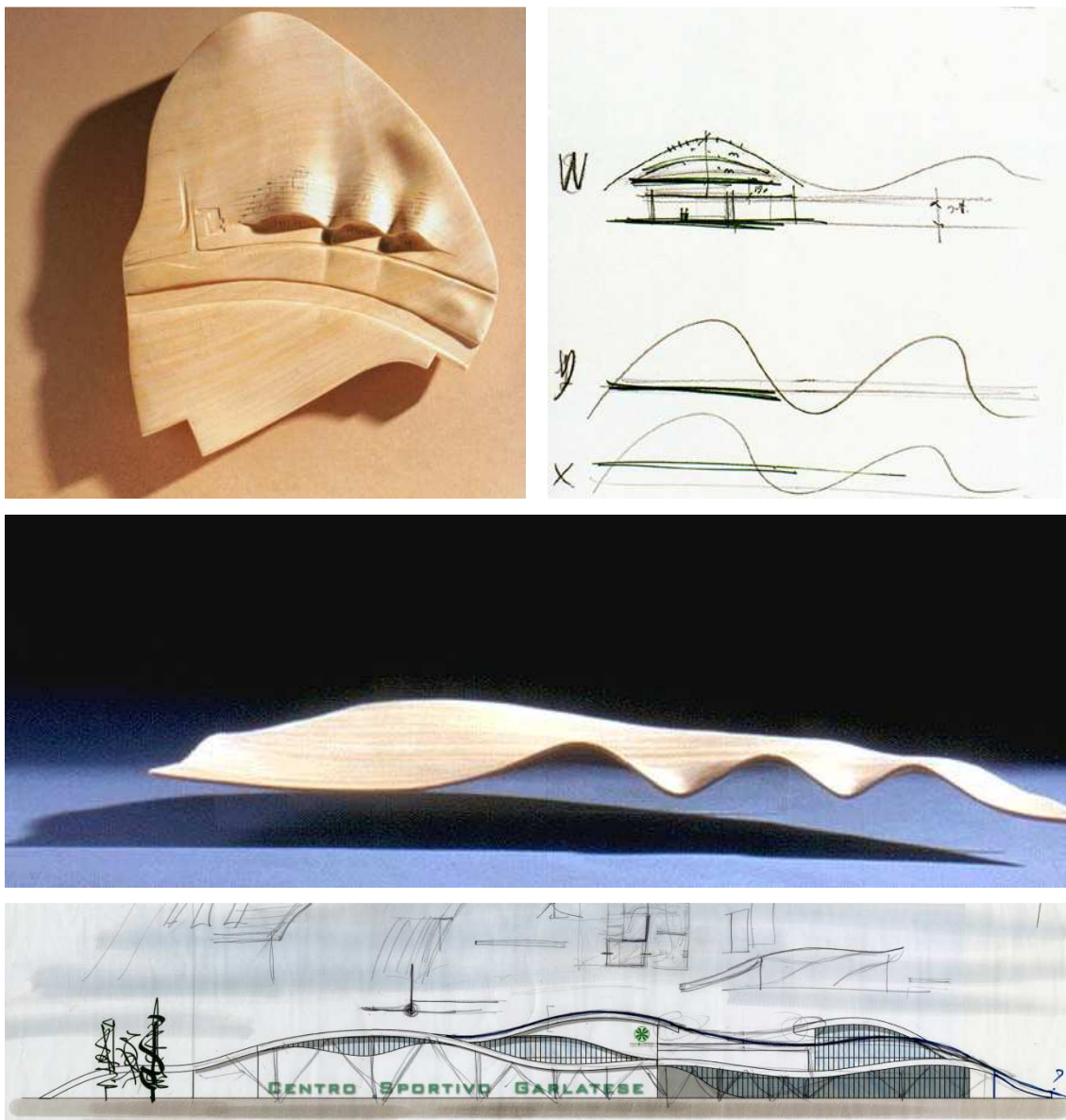


*Fig. 4.2 – Plastico di studio, primi step di progetto. Evoluzione formale.*

Questo fronte si è poi evoluto nel tempo, fino a prendere la forma, in conclusione, di un'unica grande "onda", il cui andamento organico ed alterno si infrange solamente nell'unico corpo svettante, il "cubo" traslucido in policarbonato contenente la palestra fitness del Centro Pratogrande. Quest'onda, ha avuto come principio ultimo quello della sottigliezza: si è voluti andare a creare una sorta di raffinato segno grafico cui sottendessero dei prospetti lineari, quasi inconsistenti, rotti solo dalla scritta-manifesto del Centro Sportivo. Per conseguire questo obiettivo, come più avanti verrà

articolatamente illustrato, si è andati a svolgere un'indagine ed un approfondimento strutturale che, attraverso l'adozione di tipologie costruttive molto innovative, ha consentito di mantenere quanto più possibile lo spessore di questo elemento.

Sotto quest'onda si racchiudono tutte le principali funzioni del nuovo polo sportivo, ad eccezione delle vasche, situate nel corpo ad essa ortogonale, e (per ragioni di tipo funzionale e di flussi) del campo da calcetto/tennis, unica funzione a sé stante. Essa, pertanto, costituisce il vero *core*, il cuore pulsante dell'intero progetto, il centro nevralgico da cui si ramificano tutti i vari aspetti.



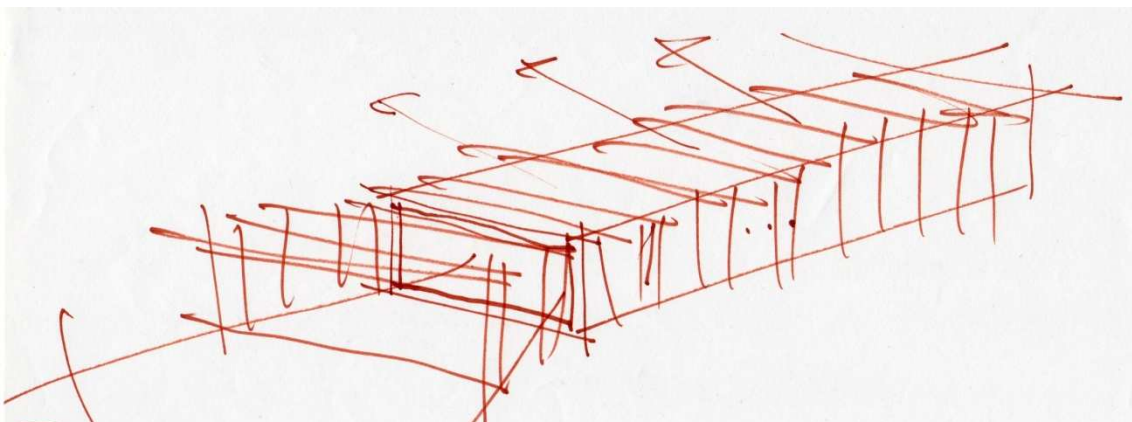
*Fig. 4.3 – In alto: riferimento progettuale, la linea curva come segno grafico caratterizzante. Zentrum Paul Klee. Renzo Piano Building Workshop, Berna, 1999-2005. Modelli di studio preliminare e schizzi di progetto. In basso: schizzo di progetto, ricerca formale.*



*Fig. 4.4 – Riferimento progettuale: esempio di copertura curvilinea realizzata in Textile Reinforced Concrete (TRC). Si noti l'esiguo spessore della sezione.*

Per quanto riguarda l'altro principale corpo di fabbrica, esso costituisce l'estensione naturale di quello, già esistente, contenente le vasche natatorie. Accostandosi a questo, infatti, il corpo è stato prolungato protraendosi verso le rive del lago, andando ad inserire le nuove vasche richieste da bando. Per conferire unitarietà formale al fronte, sono stati inseriti degli elementi, una sorta di "portali", lungo tutto il prospetto; questi ultimi, nel caso delle porzioni di nuova edificazione, hanno anche funzione strutturale e, in parte, di schermatura solare, oltre che formale, celando al loro interno i pilastri e le travi reticolari estradossate di copertura. I portali, in una sorta di scansione/vibrazione, proseguono poi, diradandosi, quasi fino alle rive del lago dove si trasformano, idealmente, in una passerella che approda ad una piattaforma-*solarium* lacustre.





*Fig. 4.5 – In alto: riferimento progettuale, la “scatola strutturale” che avvolge l’edificio. Sainsbury Centre for Visual Arts, University of East Anglia. Norman Foster and Partners, Norwich, 1974-1978. In basso: schizzo di progetto.*

Da un punto di vista materico, per quanto riguarda il fronte principale d’ingresso, sotteso alla copertura curva, l’intento, precedentemente descritto, dell’inconsistenza del prospetto è stato conseguito attraverso l’adozione di prospetti “immateriali” e planari, che prevedono solo un’alternanza di pareti opache/traslucide/trasparenti, in base alle esigenze funzionali dei locali.



Per quanto riguarda l'onda ed i portali, entrambi sono stati rivestiti con i medesimi materiali, conferendo così un'unità formale a tutto il complesso. La scelta di questi materiali è stata l'approdo di una fase di ricerca formale di un elemento che, sotto il profilo materico-cromatico, si inserisse in maniera quanto più possibile rispettosa e coerente nell'ambiente naturale circostante. Quest'indagine ha condotto ad utilizzare un rivestimento in rame aggraffato di tre tipologie:

- rame patinato, tipo "TECU Patina";
- rame laminato, tipo "TECU Classic";
- rame brunito, tipo "TECU Oxid".

Questi materiali, oltre ad inserirsi in maniera ideale da un punto di vista cromatico (si va dalle sfumature azzurro/verdastre, a richiamo dell'acqua, elemento principale del centro sportivo e del lago, a quelle marroni/brunite delle altre due tonalità) hanno la particolarità di non mantenere nel corso del tempo, il proprio aspetto originario. Il rame, infatti, è soggetto, sotto l'azione degli agenti atmosferici, a dei processi di ossidazione che ne mutano inevitabilmente l'aspetto nel corso del tempo. In particolar modo TECU Classic conserva, in una fase iniziale, il caratteristico vivace color rame. I cambiamenti sono molto gradualmente e non del tutto prevedibili, così come il tempo meteorologico, che è il solo responsabile delle continue trasformazioni del rame. Dapprima la superficie si opacizza, in seguito essa viene ad acquistare uno strato di ossidazione che la protegge dagli effetti indebiti causati dalle intemperie. Tale processo di ossidazione dà luogo a tonalità e variazioni del tutto particolari, che passano attraverso tutte le fasi dal bruno al marrone, con sottili scarti cromatici dovuti al mutare della luce e delle stagioni. Con TECU Oxid, invece, l'iniziale colore rosso lucido del rame fresco di produzione e le sue gradualmente alterazioni sono semplicemente bypassate. Le evoluzioni cromatiche sull'edificio partono, infatti, da una colorazione già marrone brunita. Una volta installato, il materiale continua la sua ossidazione secondo le regole del rame classico: la natura altera la superficie attraverso l'irradiazione del sole, pioggia, neve e vento, che regalano al materiale un proprio ciclo di vita, sempre tipica del rame.

Questo aspetto fa sì, che il complesso, alla stessa stregua di un qualsiasi altro elemento naturale, viva un proprio ciclo evolutivo, una serie di variazioni continue dettate unicamente dall'evolvere del tempo e delle condizioni ambientali circostanti.

Di seguito si riportano, per una migliore comprensione di quanto detto fin'ora, il masterplan di progetto ed una serie di viste renderizzate o inserimenti fotografici del Centro Sportivo nel suo contesto.





*Fig. 4.6 – Inserimento fotografico, il nuovo locale vasche visto dal prato.*



*Fig. 4.7 – Inserimento fotografico, vista a volo d'uccello.*



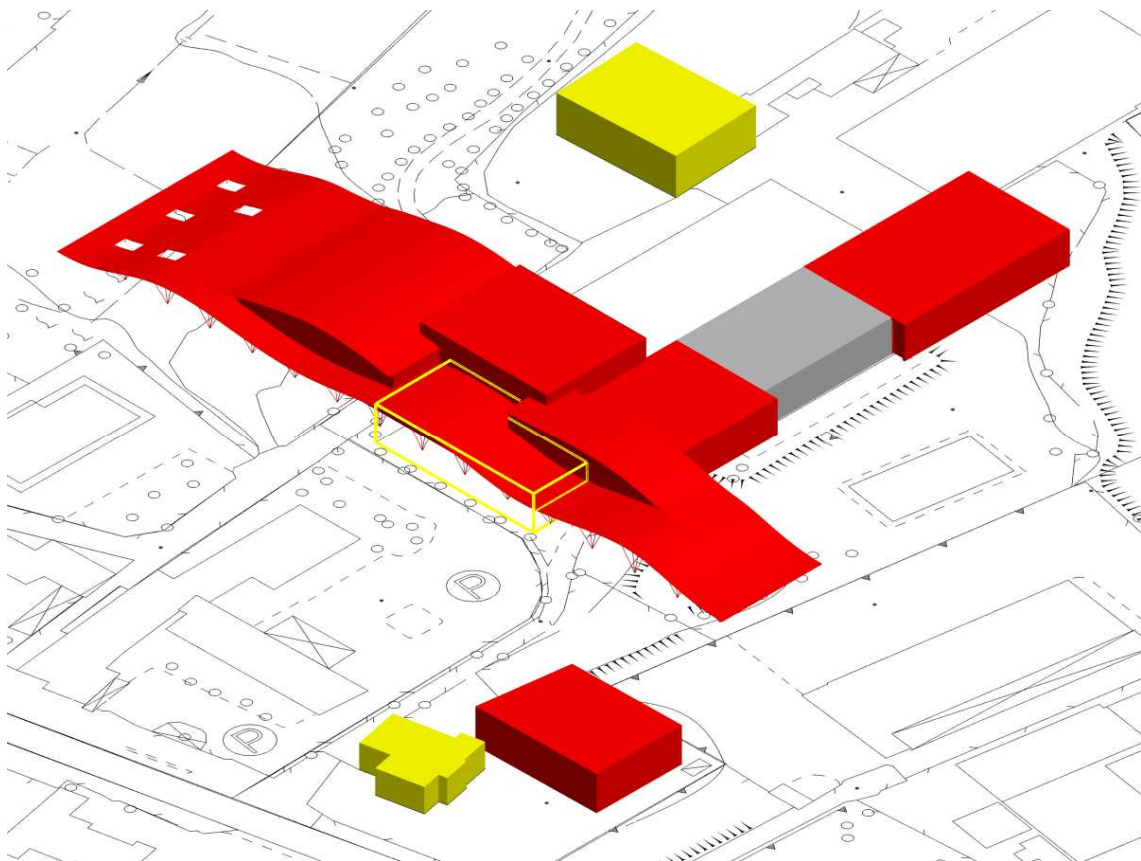
*Fig. 4.8 – Inserimento fotografico, il nuovo complesso visto da Galbiate.*



*Fig. 4.9 –Render della nuova palestra comunale;il policarbonato in facciata evita la luce diretta.*

## 4.2 Scelte funzionali e spaziali

A seguito delle criticità rilevate nel capitolo 3 riguardante lo stato di fatto, unitamente alle conseguenze derivanti dalle scelte compositive e formali di cui sopra, l'organizzazione spaziale e funzionale dell'intero centro sportivo è stata completamente rivisitata.



*Fig. 4.10 – Assonometria isometrica. In giallo i fabbricati in demolizione, in grigio quelli esistenti conservati ed in rosso le nuove edificazioni.*

A livello urbanistico è stata prevista una riorganizzazione della viabilità, mantenendo l'accesso dalla statale soprastante, ma aggiungendo uno, proveniente dalla via Poncia, che approda ad un parcheggio multipiano di nuova realizzazione. Per il parco comunale è stato previsto, in conseguenza di quanto detto nel capitolo 2, un intervento il più possibile conservativo, comprendente la manutenzione del verde esistente e l'inserimento delle sole funzioni richieste da bando, tra le quali un campo da gioco all'aperto e una piccola area, più riservata, dedicata ai bambini.

L'ingresso al Centro Pratogrande si trova al piano terra, sotto la copertura curva, di fronte alla piazza che, dalla soprastante strada statale, dà accesso al complesso. Oltre



la bussola vetrata trova spazio un ampio atrio, dove è situato un bancone *reception* presso cui è possibile ricevere informazioni, oltre che acquistare prodotti necessari alle attività sportive ed essere indirizzati verso la destinazione desiderata. Alle sue spalle trovano luogo uno spogliatoio, un servizio igienico per il personale ed uno per il pubblico, uffici e archivi amministrativi ed un locale per il deposito delle attrezzature a servizio del locale vasche, da cui accedere, mediante una scala di servizio, ai sottostanti locali interrati in cui si trovano i depositi e gli spazi tecnici adibiti ad alloggiare i macchinari (quali u.t.a., vasche di compenso, pompe, etc.) necessari al funzionamento degli impianti a servizio del centro.

Dall'atrio è, inoltre, possibile accedere, sulla destra, al ristorante-bar, distribuito internamente su due livelli e con affaccio (apribile nella stagione estiva) sull'antistante prato con la piscina esterna. Sempre dalla zona d'ingresso si può accedere, sulla sinistra, o al centro estetico, provvisto di un'ulteriore, seppur più ridotta, zona informazioni e di uno spogliatoio autonomo, o agli spogliatoi delle piscine.

Il centro estetico vede la presenza di alcune salette per massaggi o trattamenti benessere ed estetici, di un bagno turco, di una sauna e di una vasca relax provvista di lettini.

Gli spogliatoi delle piscine hanno richiesto un accurato studio dei flussi che ha generato una distribuzione settorizzata e complessa. Nella progettazione delle piscine è infatti importante tenere sempre presente, prevalentemente per ragioni igienico-sanitarie, oltre che funzionali, la distinzione dei cosiddetti percorsi "a piedi calzati" e "a piedi nudi" per i quali lo spogliatoio rappresenta la "linea spartiacque".

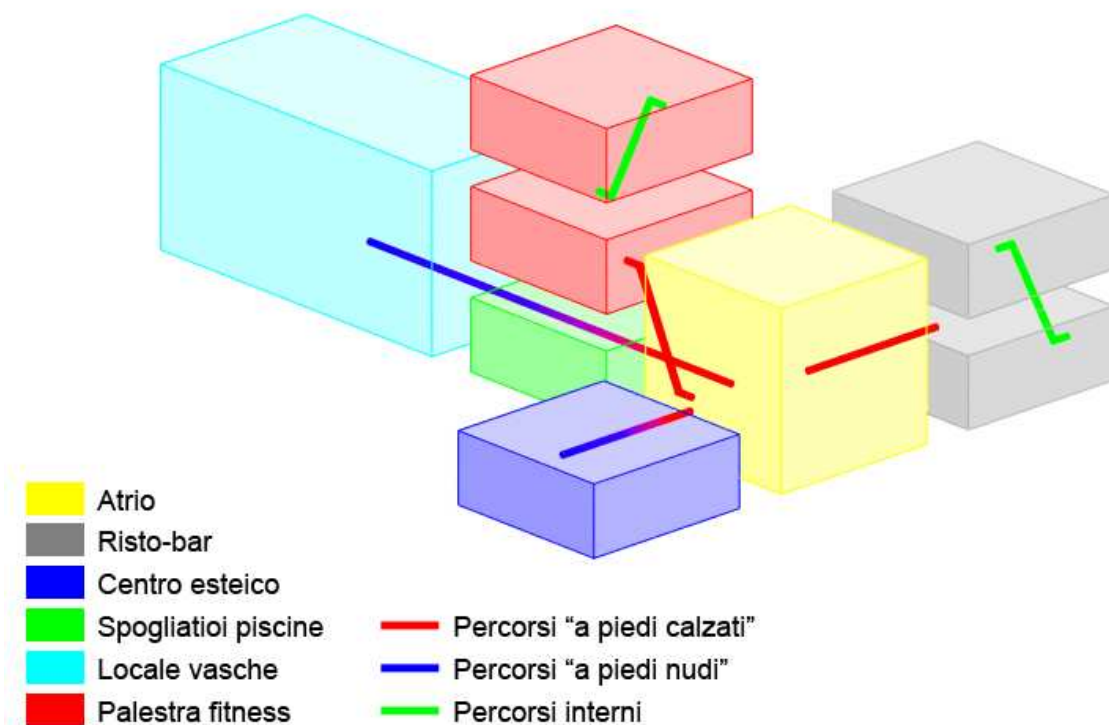


Fig. 4.11 – Diagramma funzionale Centro Pratogrande.

Oltre a questo, gli spogliatoi sono stati suddivisi per sesso e ciascuna area (maschile e femminile) è stata a sua volta, a causa delle varie e differenti tipologie di utenze che possono usufruire delle piscine natatorie, suddivisa in tre aree:

- una piccola area privata dedicata agli istruttori (o, in generale, al personale), munita di docce e servizi ad uso esclusivo;
- l'area principale, di uso "generico", dove trovano luogo sia un'area di spogliatoio comune, sia cabine a rotazione, più riservate;
- un'area fruibile solamente da bambini accompagnati dal genitore, provvista di docce proprie, indipendenti dall'area principale.

Questa distribuzione ha consentito di garantire, a ciascuna potenziale tipologia di utenza, le proprie necessità, in termini di funzionalità, indipendenza e riservatezza.

Tutti i settori degli spogliatoi trovano poi sbocco su un corridoio comune, che dà accesso, passando obbligatoriamente per la vaschetta lava piedi, ai locali vasche. Qui si trovano, oltre ad un infermeria, 4 vasche: due di dimensioni ridotte, sia in pianta che in altezza, dedicate alla prima infanzia o a particolari esigenze riabilitative, 2 più grandi, delle quali la prima dedicata ad uso ricreativo (nuoto libero, *aquagym*, attività di gruppo, etc.) e la seconda ad uso agonistico (a lato della quale trova luogo, infatti, anche una tribuna.).

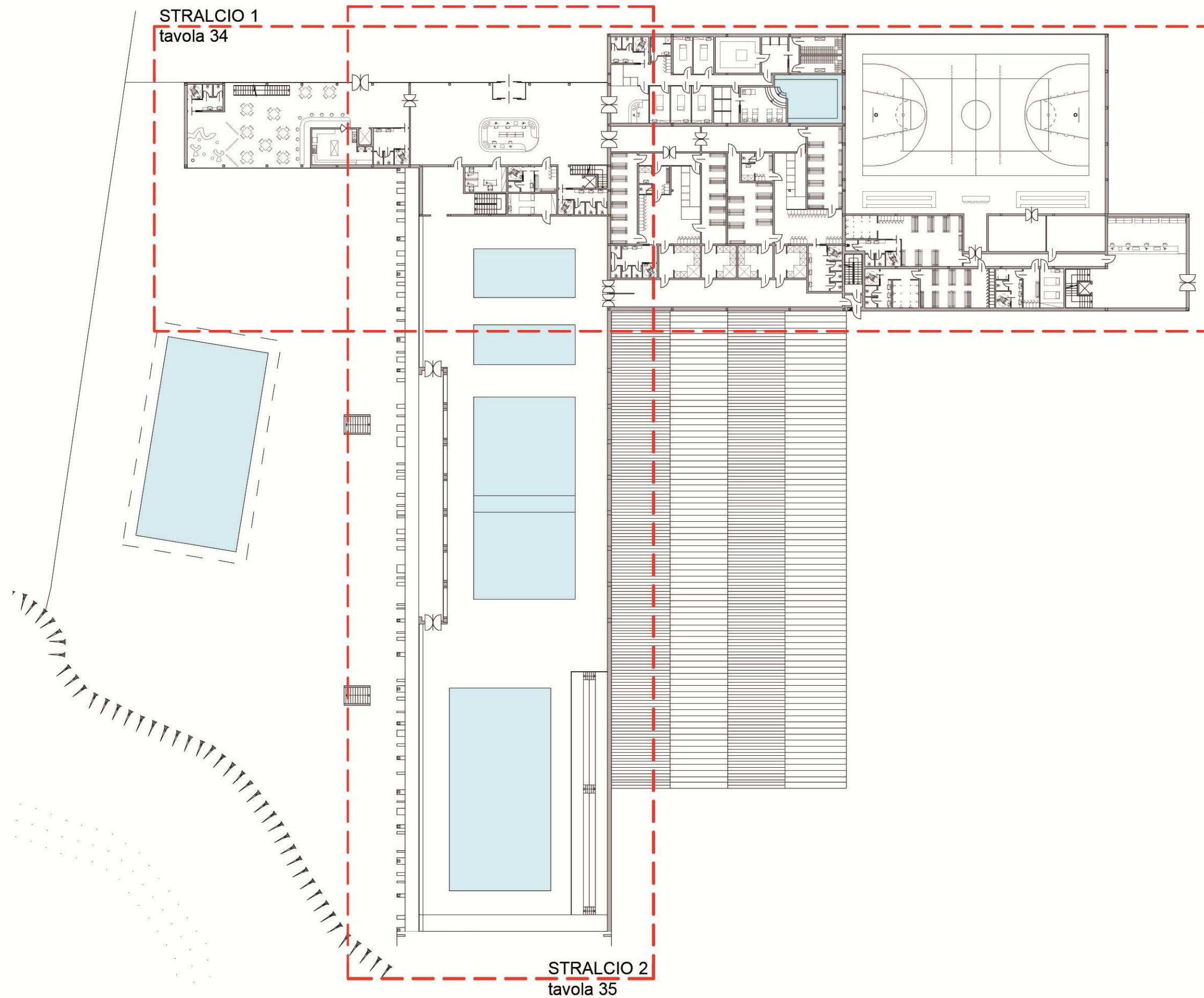


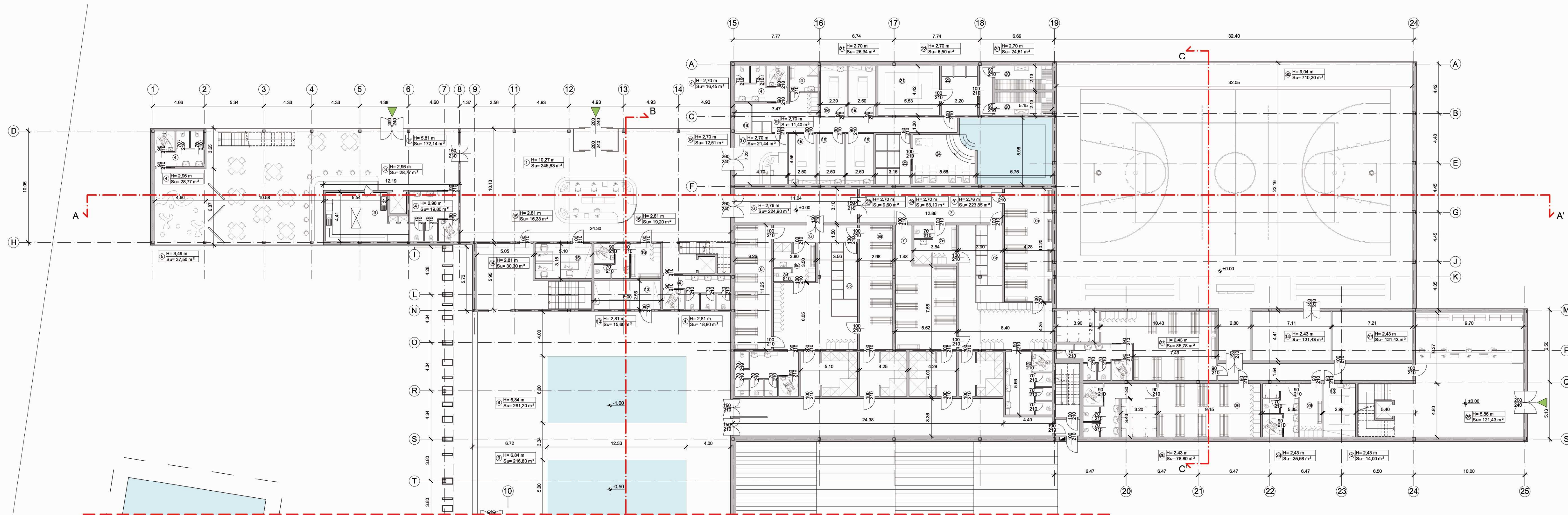


Infine, sempre dall'atrio d'ingresso, si accede, tramite scala o ascensore, al piano superiore dove si approda ad uno spazio relax dove i genitori o, più in generale, gli accompagnatori, possono sostare in attesa del termine dei corsi del proprio figlio, potendolo guardare mentre svolge attività sportiva o ricreativa attraverso la vetrata che dà sul locale vasche. Da questa zona si può anche accedere alla passerella che, esternamente, lungo la facciata del locale piscine, conduce alla tribuna della piscina atleti, o, sul lato opposto, alla palestra fitness.

Questa, distribuita internamente su due livelli, è dotata di spogliatoi autonomi, divisi per sesso, e prevede al livello inferiore una vasta area a tutta altezza per attività fisiche con l'ausilio di attrezzature ginniche (panche, bilancieri, macchine pesi, etc.), oltre a delle sale massaggi e una palestra riabilitativa; al livello superiore, affacciato su quello sottostante, trovano spazio un'area dotata di attrezzature per attività ginniche ed aerobiche (*stepper, cyclette, etc.*) e due sale per attività fisiche di gruppo. L'illuminazione naturale è garantita dal passaggio della luce attraverso il policarbonato presente nella parte più alta di questa porzione di edificio, col pregio, rispetto ad un serramento vetrato, di evitare, diffondendola, la luce diretta, ovviando a fastidiosi abbagliamenti durante l'attività sportiva.

Per quanto riguarda la palestra comunale, l'accesso è posto a nord, al piano terra, nella zona adiacente il parco pubblico. Entrando si accede ad un ingresso dove si trova un banco informazioni, presso il quale è possibile sbrigare le pratiche inerenti le attività sportive quali abbonamenti, pagamenti quote societarie, acquisto di materiale, pagamento di biglietti per eventuali manifestazioni, etc.; successivamente i flussi vengono separati: gli atleti, o comunque i fruitori diretti della palestra, accedono, attraverso un corridoio, ai tre spogliatoi: due divisi per squadre (o, all'occorrenza, per sesso) ed uno per gli arbitri (o agli istruttori, in caso di necessità). Sempre sul medesimo corridoio si affacciano anche un vano tecnico e un'infermeria. Da questa corsia si può poi accedere al campo di gioco, che comunica con un locale dove è possibile riporre attrezzature, palloni, etc. Per quanto riguarda il pubblico, o, più in generale, chi dovesse solamente assistere, dall'ingresso si sale, mediante scale od ascensore, al livello superiore dove sono collocate, oltre ad una sala riunioni, utile alle società sportive, le tribune ed i servizi pubblici. Anche per la palestra comunale, come quella del Centro Pratogrande, l'illuminazione naturale è garantita dalla grande facciata in policarbonato, materiale che, come già detto, oltre al pregio di evitare fastidiosi abbagliamenti da luce diretta durante l'attività sportiva, presenta ottime proprietà in quanto a leggerezza e resistenza agli urti (*palla, puck, etc.*).





**LEGENDA**

**DESTINAZIONE D'USO LOCALI**

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 01_ reception-ingresso         | 17_ receptions centro estetico           |
| 02_ ristorante                 | 18_ cabine a rotazione                   |
| 03_ cucina                     | 19_ stanze trattamenti estetici/massaggi |
| 04_ bagno                      | 20_ sauna                                |
| 05_ ludoteca                   | 21_ bagno turco                          |
| 06_ spogliatoio maschile       | 22_ docce fredde                         |
| 06a_ bambini accompagnati      | 23_ docce solari                         |
| 06b_ cabine a rotazione        | 24_ solarium e idromassaggio             |
| 06c_ istruttori                | 25_ receptions palestra pubblica         |
| 07_ spogliatoio femminile      | 26_ spogliatoio maschile/ospiti          |
| 07a_ bambine accompagnati      | 27_ spogliatoio femminile/casa           |
| 07b_ cabine a rotazione        | 28_ spogliatoi arbitri                   |
| 07c_ istrutrici                | 29_ locale tecnico                       |
| 08_ piscina ludica             | 30_ palestra pubblica                    |
| 09_ piscina per riabilitazione | 31_ sala d'attesa                        |
| 10_ piscina "tempo libero"     | 32_ palestra privata                     |
| 11_ piscina agonistica         | 33_ palestra di riabilitazione           |
| 12_ tribune                    | 34_ stanza medica                        |
| 13_ infermeria                 | 35_ sala riunioni                        |
| 14_ deposito attrezzature      | 36_ sala fitness                         |
| 15_ ufficio                    | 37_ dispensa                             |

**CAMPITURE MATERICHE**

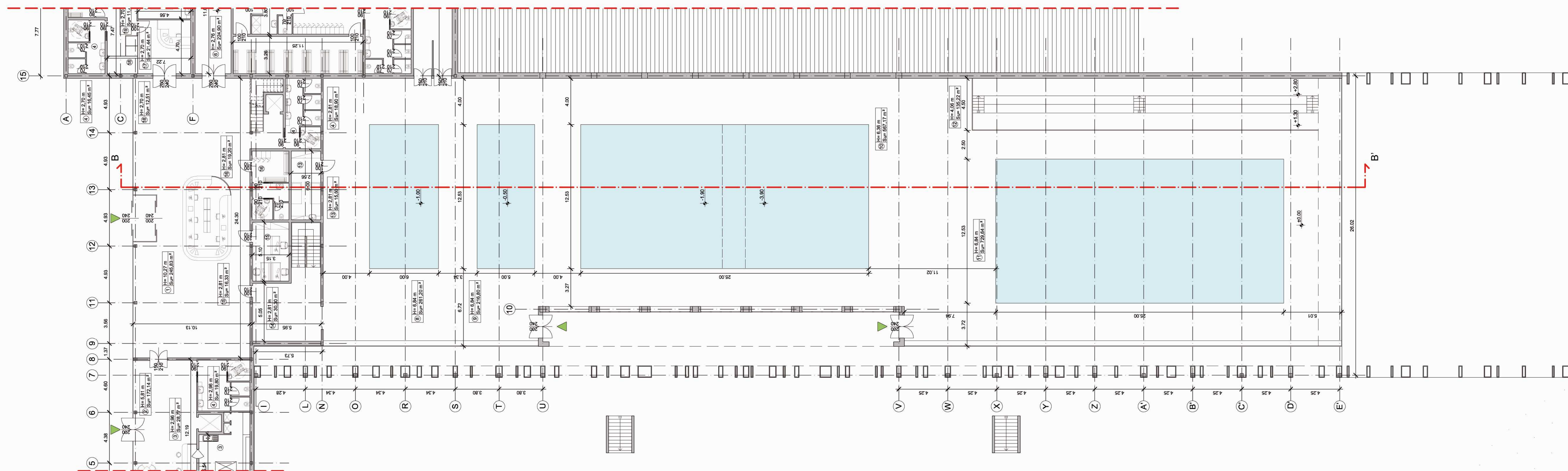
- muratura
- acqua piscine

**RIFERIMENTI**

- destinazione d'uso      H=      altezza netta  
 Su=      superficie utile
- quota pavimento      indicazione ingresso
- linea sezione
- linea interruzione

**NAVIGATORE**





## LEGENDA

### DESTINAZIONE D'USO LOCALI

01_ receptions-ingresso	17_ receptions centro estetico
02_ ristorante	18_ cabine a rotazione
03_ cucina	19_ stanze trattamenti estetici/massaggi
04_ bagno	20_ sauna
05_ ludoteca	21_ bagno turco
06_ spogliatoio maschile	22_ docce fredde
06a_ bambini accompagnati	23_ docce solari
06b_ cabine a rotazione	24_ solarium e idromassaggio
06c_ istruttori	25_ receptions palestra pubblica
07_ spogliatoio femminile	26_ spogliatoio maschile/ospiti
07a_ bambine accompagnati	27_ spogliatoio femminile/casa
07b_ cabine a rotazione	28_ spogliatoi arbitri
07c_ istrutrici	29_ locale tecnico
08_ piscina ludica	30_ palestra pubblica
09_ piscina per riabilitazione	31_ sala d'attesa
10_ piscina "tempo libero"	32_ palestra privata
11_ piscina agonistica	33_ palestra di riabilitazione
12_ tribuna	34_ stanza medica
13_ infermeria	35_ sala riunioni
14_ deposito attrezzature	36_ sala fitness
15_ ufficio	37_ dispensa
16_ spogliatoio personale	

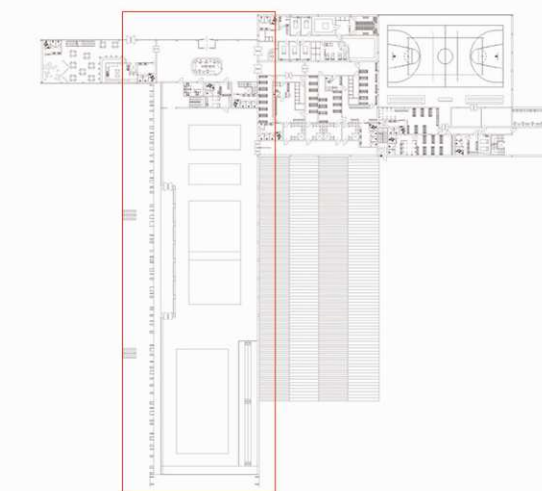
### CAMPITURE MATERICHE

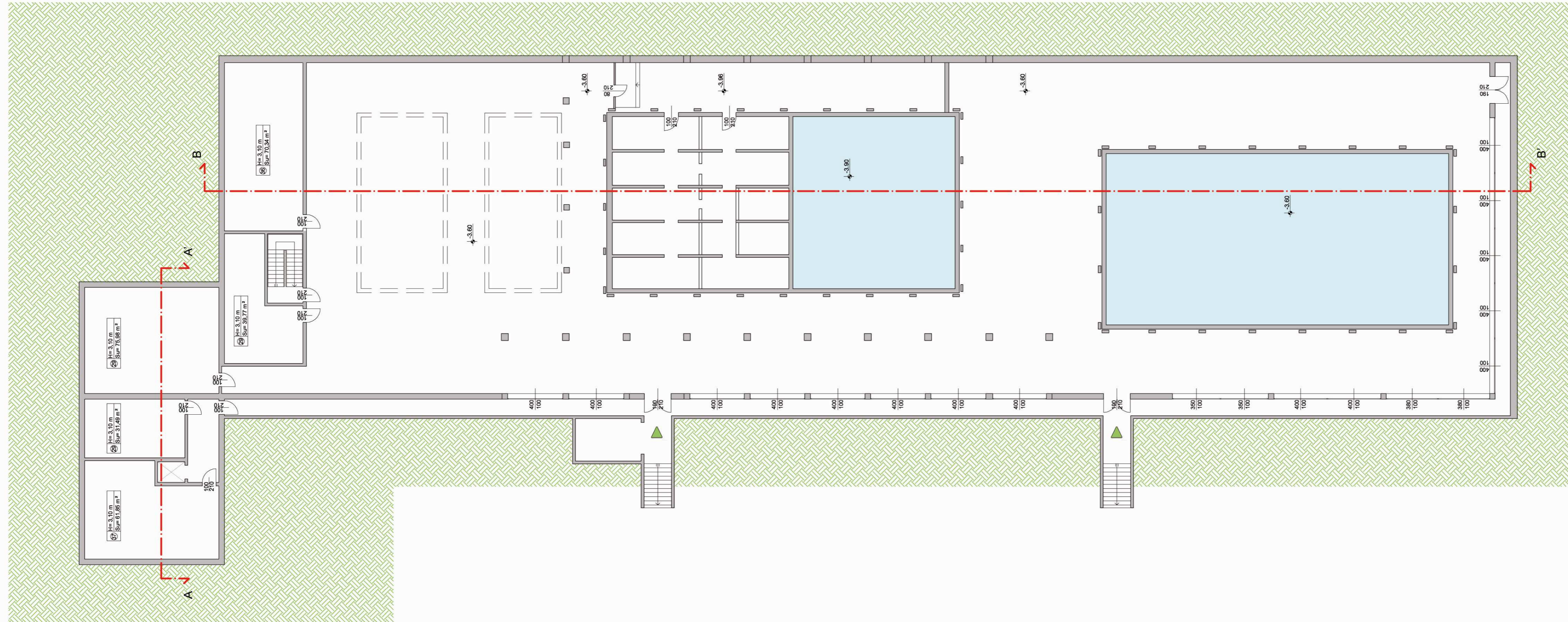
	muratura
	acqua piscine

### RIFERIMENTI

destinazione d'uso	H=	altezza netta
	Su=	superficie utile
	quota pavimento	indicazione ingresso
		linea sezione
		linea informazione

### NAVIGATORE





**LEGENDA**  
**DESTINAZIONE D'USO LOCALI**

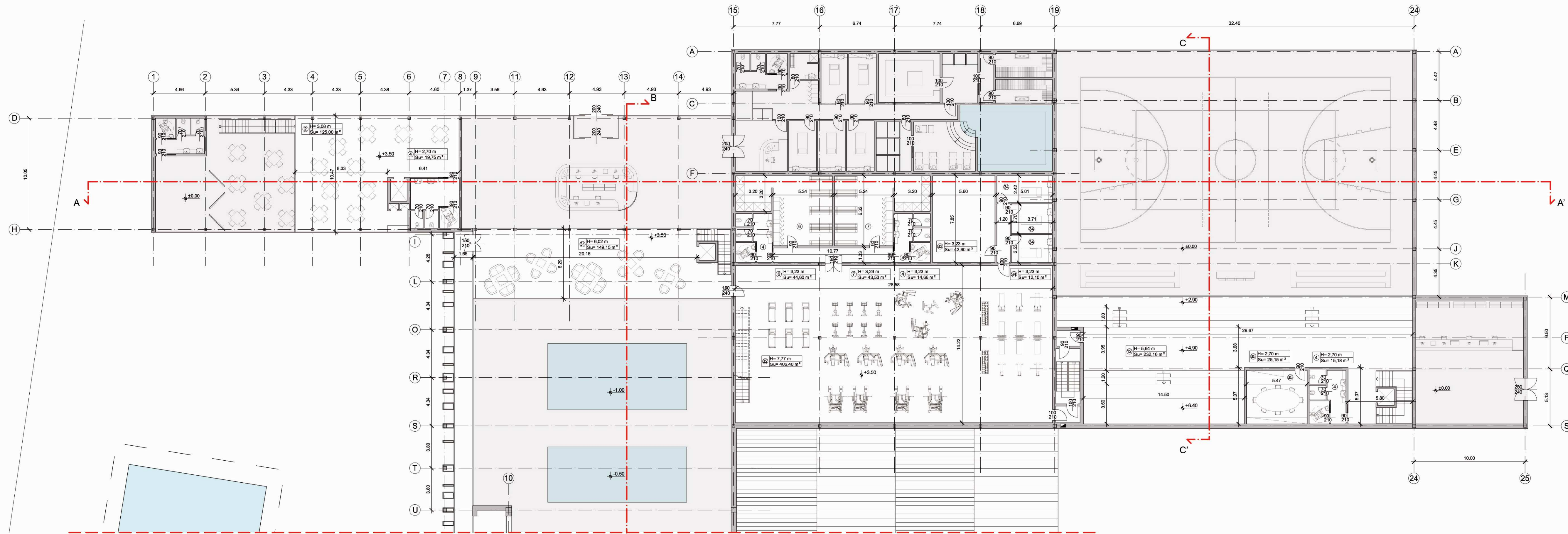
- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 01_ receptions-ingresso        | 17_ receptions centro estetico           |
| 02_ ristorante                 | 18_ cabine a rotazione                   |
| 03_ cucina                     | 19_ stanze trattamenti estetici/massaggi |
| 04_ bagno                      | 20_ sauna                                |
| 05_ ludoteca                   | 21_ bagno turco                          |
| 06_ spogliatoio maschile       | 22_ docce fredde                         |
| 06a_ bambini accompagnati      | 23_ docce solari                         |
| 06b_ cabine a rotazione        | 24_ solarium e idromassaggio             |
| 06c_ istruttori                | 25_ receptions palestra pubblica         |
| 07_ spogliatoio femminile      | 26_ spogliatoio maschile/ospiti          |
| 07a_ bambine accompagnati      | 27_ spogliatoio femminile/casa           |
| 07b_ cabine a rotazione        | 28_ spogliatoi arbitri                   |
| 07c_ istruttrici               | 29_ locale tecnico                       |
| 08_ piscina ludica             | 30_ palestra pubblica                    |
| 09_ piscina per riabilitazione | 31_ sala d'attesa                        |
| 10_ piscina "tempo libero"     | 32_ palestra privata                     |
| 11_ piscina agonistica         | 33_ palestra di riabilitazione           |
| 12_ tribune                    | 34_ stanza medica                        |
| 13_ infermeria                 | 35_ sala riunioni                        |
| 14_ deposito attrezzature      | 36_ sala fitness                         |
| 15_ ufficio                    | 37_ dispensa                             |

**CAMPITURE MATERICHE**

- muratura
- acqua piscine

**RIFERIMENTI**

- destinazione d'uso H= altezza netta  
Su= superficie utile
- quota pavimento  indicazione ingresso esterno
- — — — — linea sezione



**LEGENDA**

**DESTINAZIONE D'USO LOCALI**

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 01_ receptions-ingresso        | 17_ receptions centro estetico           |
| 02_ ristorante                 | 18_ cabine a rotazione                   |
| 03_ cucina                     | 19_ stanze trattamenti estetici/massaggi |
| 04_ bagno                      | 20_ sauna                                |
| 05_ ludoteca                   | 21_ bagno turco                          |
| 06_ spogliatoio maschile       | 22_ docce fredde                         |
| 06a_ bambini accompagnati      | 23_ docce solari                         |
| 06b_ cabine a rotazione        | 24_ solarium e idromassaggio             |
| 06c_ istruttori                | 25_ receptions palestra pubblica         |
| 07_ spogliatoio femminile      | 26_ spogliatoio maschile/ospiti          |
| 07a_ bambine accompagnati      | 27_ spogliatoio femminile/casa           |
| 07b_ cabine a rotazione        | 28_ spogliatoi arbitri                   |
| 07c_ istrutrici                | 29_ locale tecnico                       |
| 08_ piscina ludica             | 30_ palestra pubblica                    |
| 09_ piscina per riabilitazione | 31_ sala d'attesa                        |
| 10_ piscina "tempo libero"     | 32_ palestra privata                     |
| 11_ piscina agonistica         | 33_ palestra di riabilitazione           |
| 12_ tribune                    | 34_ stanza medica                        |
| 13_ infermeria                 | 35_ sala riunioni                        |
| 14_ deposito attrezzature      | 36_ sala fitness                         |
| 15_ ufficio                    | 37_ dispensa                             |

**CAMPITURE MATERICHE**

- muratura
- acqua piscine

**RIFERIMENTI**

- destinazione d'uso  $\begin{matrix} H= \\ Su= \end{matrix}$  altezza netta  
superficie utile
- $\pm 0.00$  quota pavimento
- — — — — linea sezione
- — — — — linea interruzione

**NAVIGATORE**

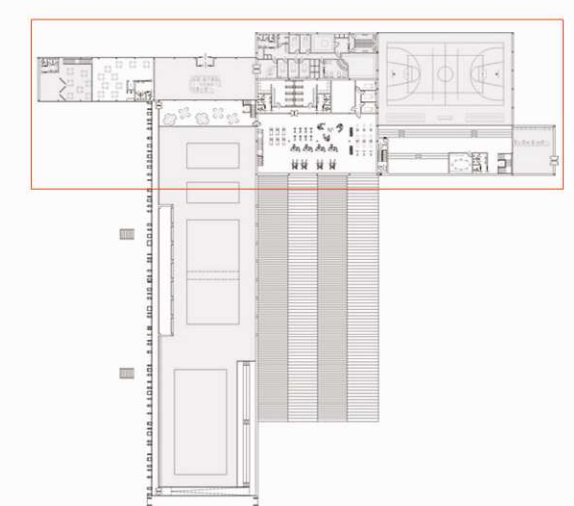


TAVOLA 37: PIANTA LIVELLO +3,50  
scala 1:200

## LEGENDA

### DESTINAZIONE D'USO LOCALI

01_ receptions-ingresso	17_ receptions centro estetico
02_ ristorante	18_ cabine a rotazione
03_ cucina	19_ stanze trattamenti estetici/massaggi
04_ bagno	20_ sauna
05_ ludoteca	21_ bagno turco
06_ spogliatoio maschile	22_ docce fredde
06a_bambini accompagnati	23_ docce solari
06b_cabine a rotazione	24_ solarium e idromassaggio
06c_istruttori	25_ receptions palestra pubblica
07_ spogliatoio femminile	26_ spogliatoio maschile/ospiti
07a_bambine accompagnati	27_ spogliatoio femminile/casa
07b_cabine a rotazione	28_ spogliatoi arbitri
07c_istruttrici	29_ locale tecnico
08_ piscina ludica	30_ palestra pubblica
09_ piscina per riabilitazione	31_ sala d'attesa
10_ piscina "tempo libero"	32_ palestra privata
11_ piscina agonistica	33_ palestra di riabilitazione
12_ tribune	34_ stanza medica
13_ infermeria	35_ sala riunioni
14_ deposito attrezzature	36_ sala fitness
15_ ufficio	37_ dispensa
16_ spogliatoio personale	

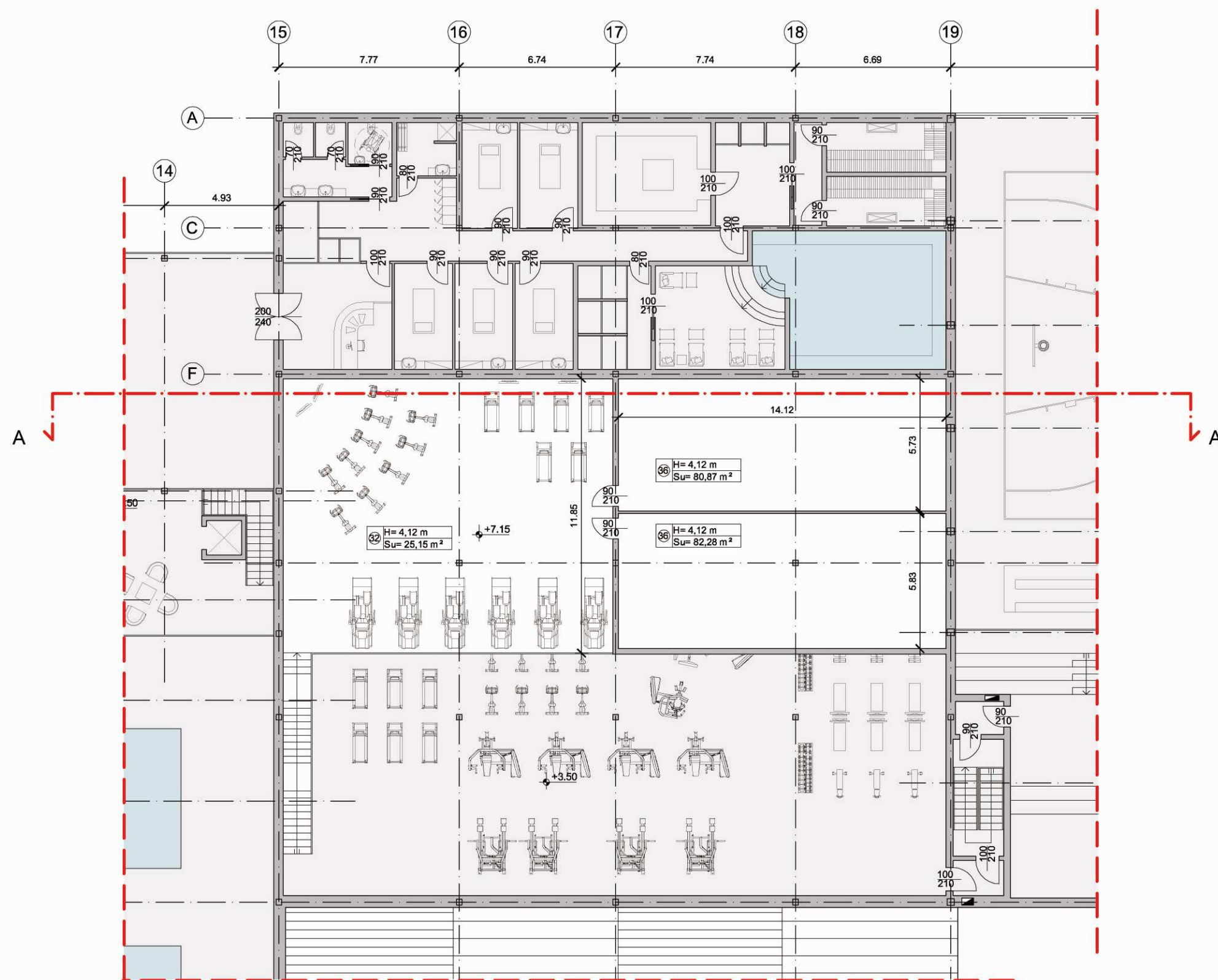
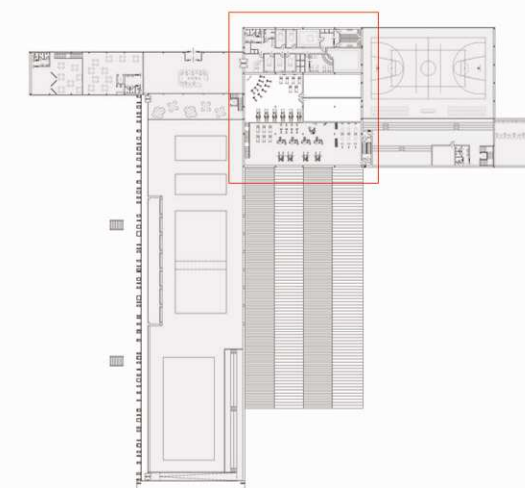
### CAMPITURE MATERICHE

	muratura
	acqua piscine

### RIFERIMENTI

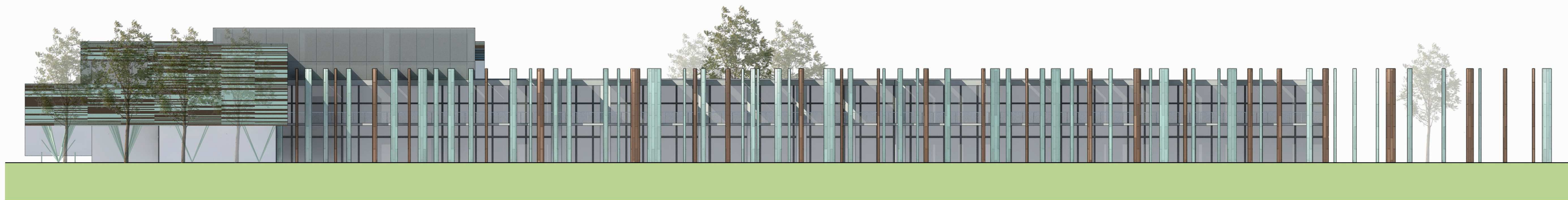
destinazione d'uso		altezza netta
		superficie utile
	$\pm 0.00$	quota pavimento
		linea sezione
		linea interruzione

### NAVIGATORE

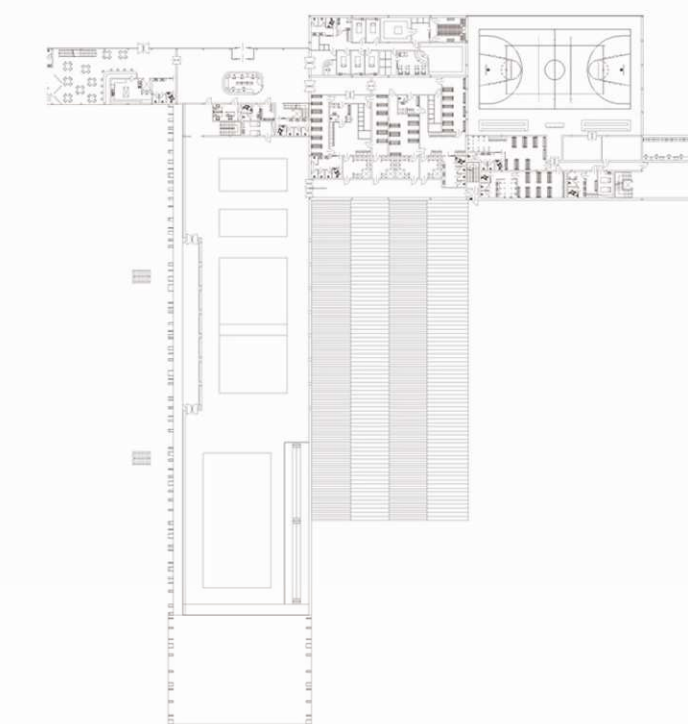




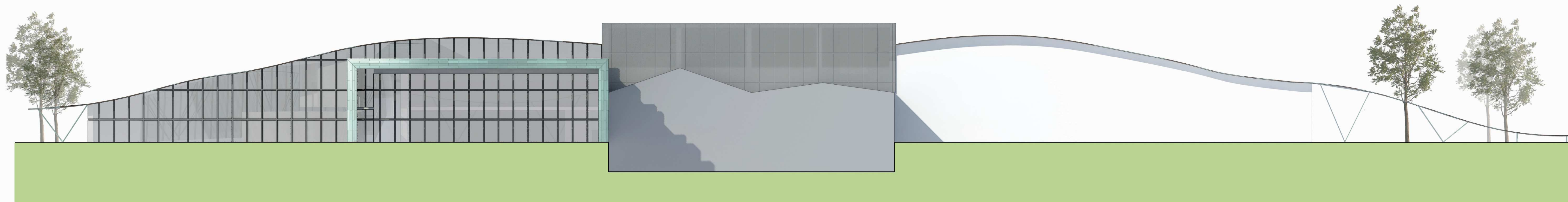
PROSPETTO OVEST



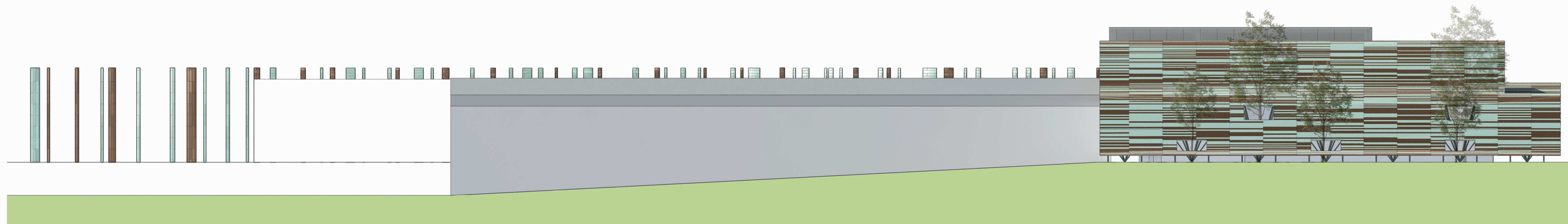
PROSPETTO SUD



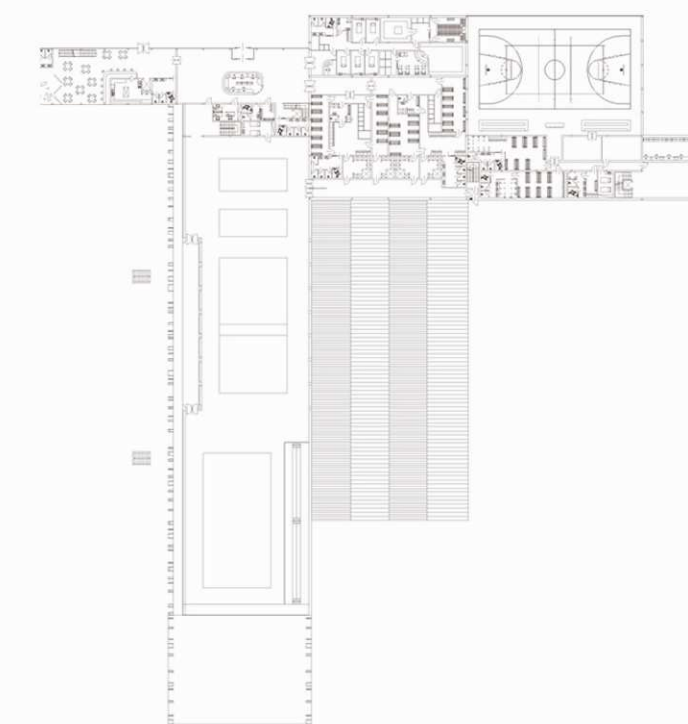


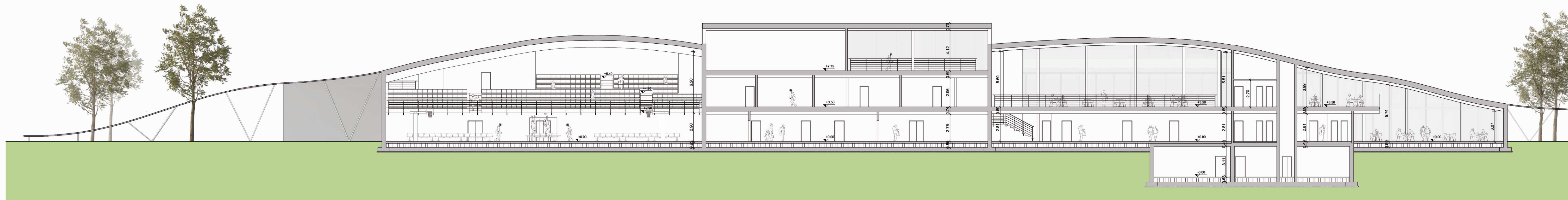


PROSPETTO EST

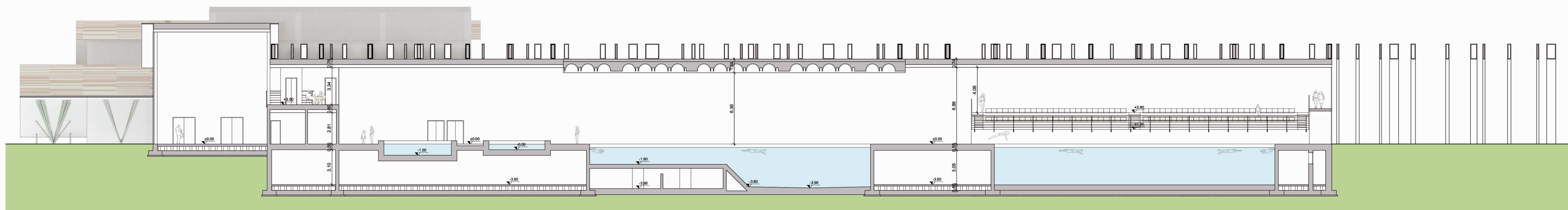


PROSPETTO NORD

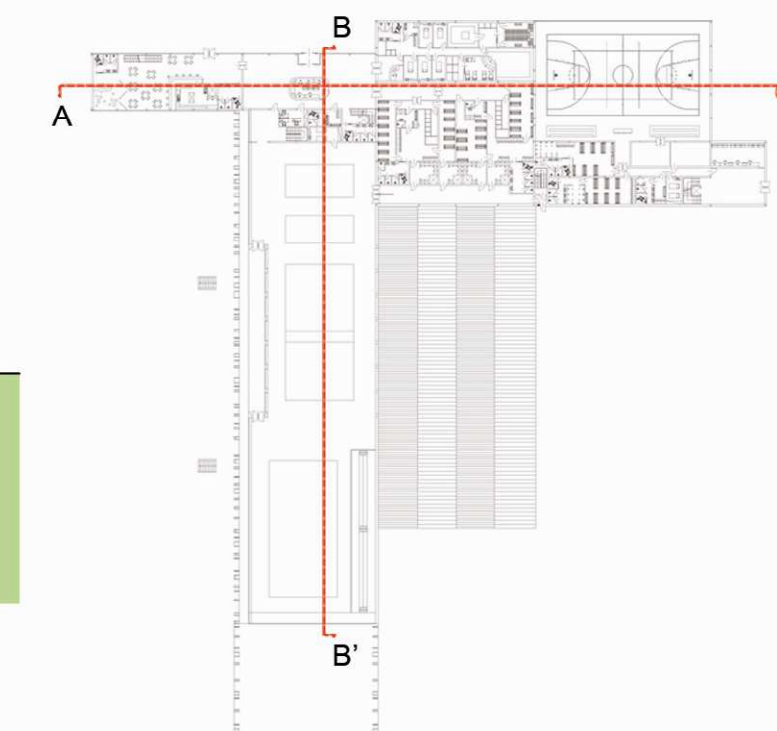


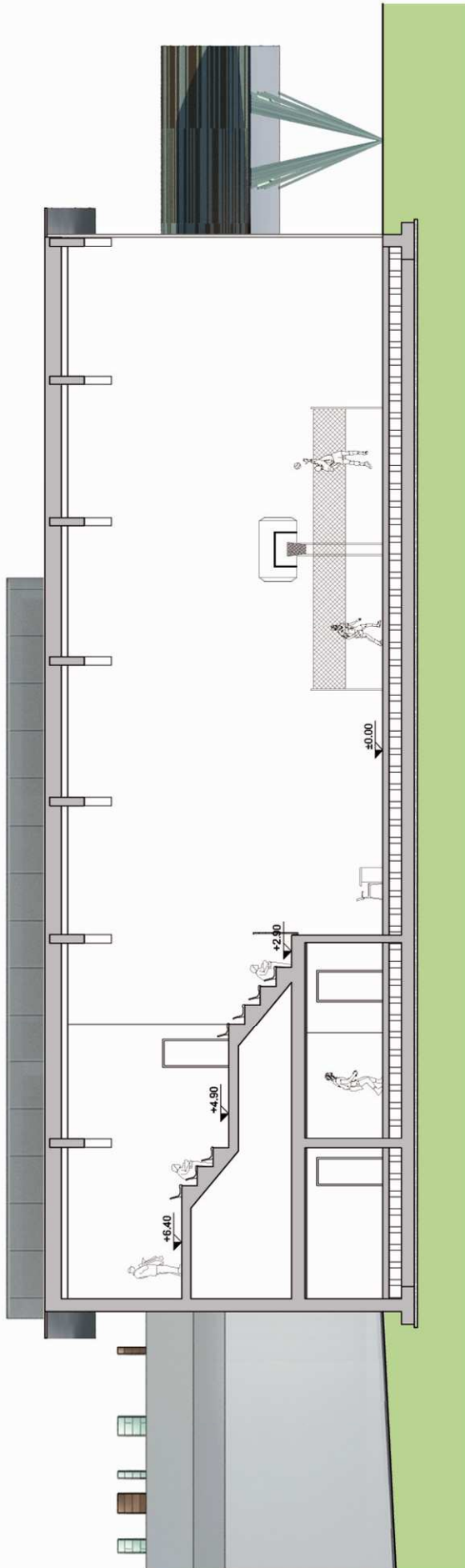


SEZIONE A-A'

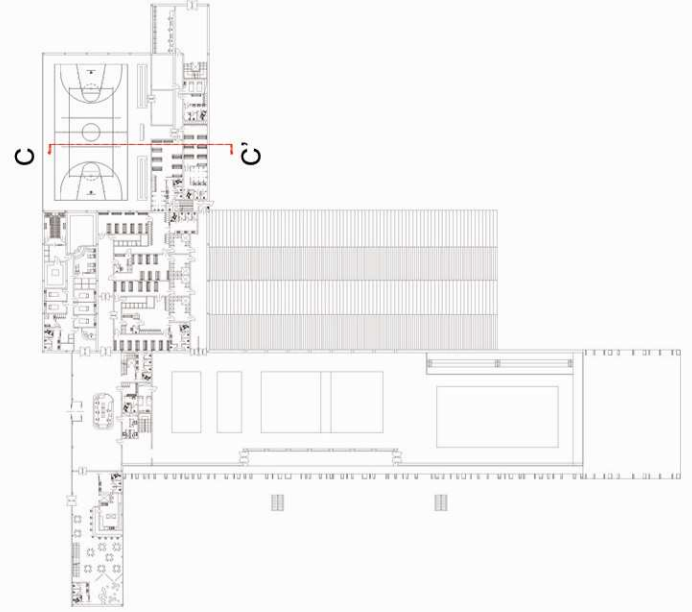


SEZIONE B-B'





SEZIONE C-C'



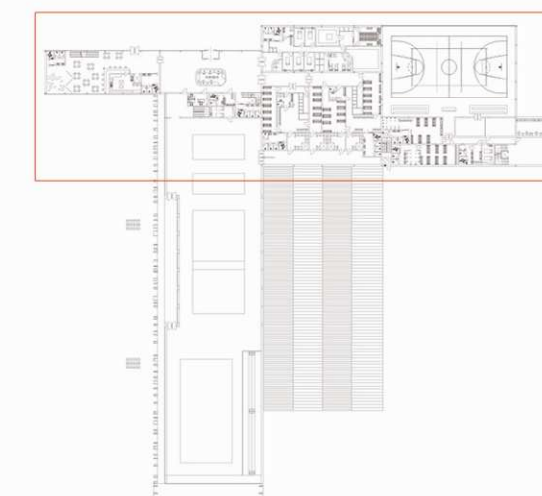
**LEGENDA**  
**CAMPITURE**

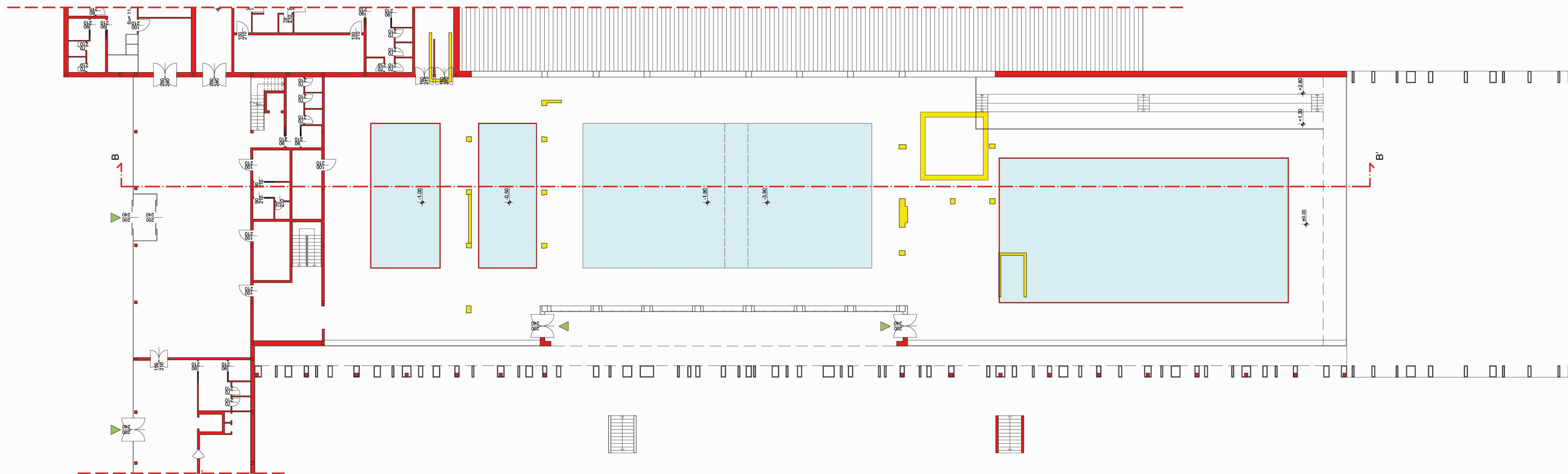
- demolizioni
- nuove opere

**RIFERIMENTI**

- indicazione ingresso
- linea sezione
- linea interruzione

**NAVIGATORE**





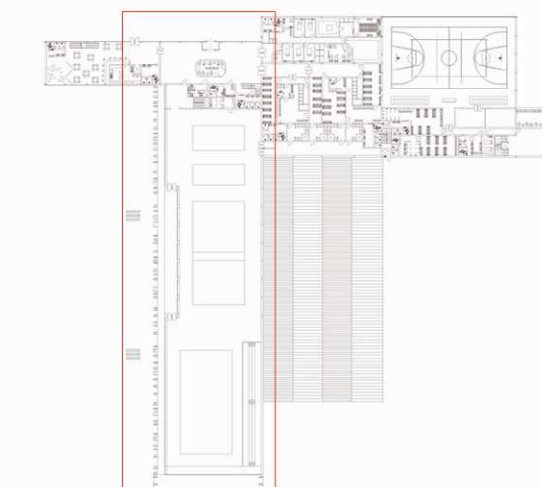
LEGENDA  
CAMPITURE

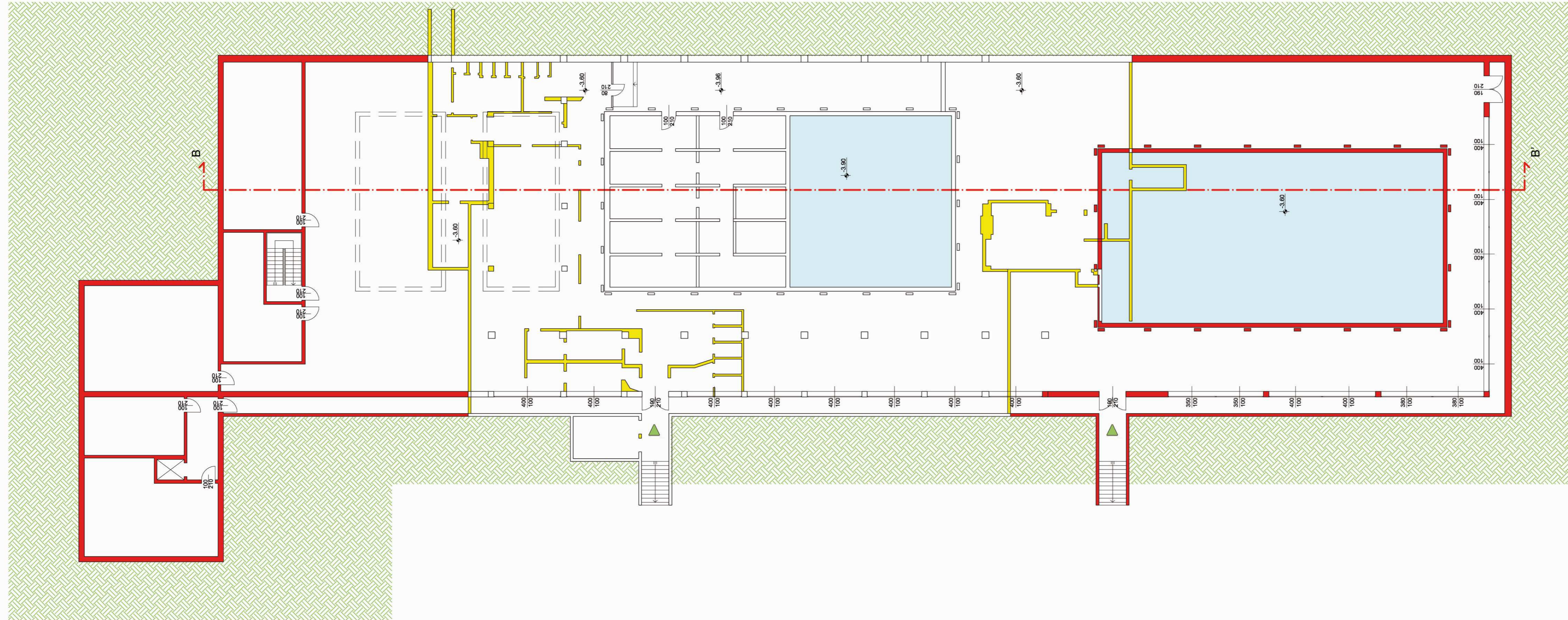
- demolizioni
- nuove opere

RIFERIMENTI

- indicazione ingresso
- linea sezione
- linea interruzione

NAVIGATORE





LEGENDA

CAMPITURE

- demolizioni
- nuove opere

RIFERIMENTI

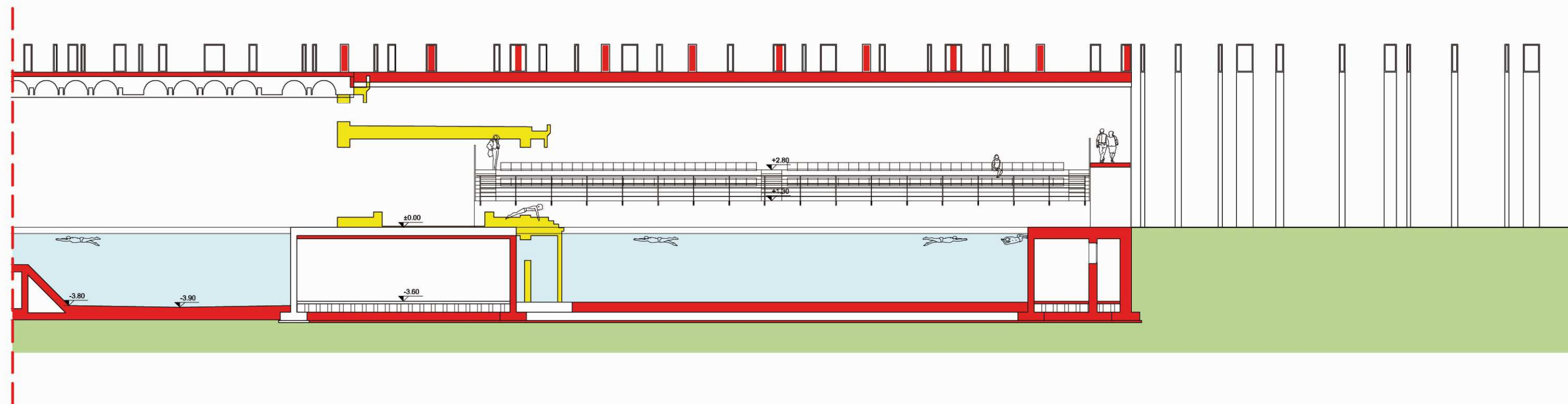
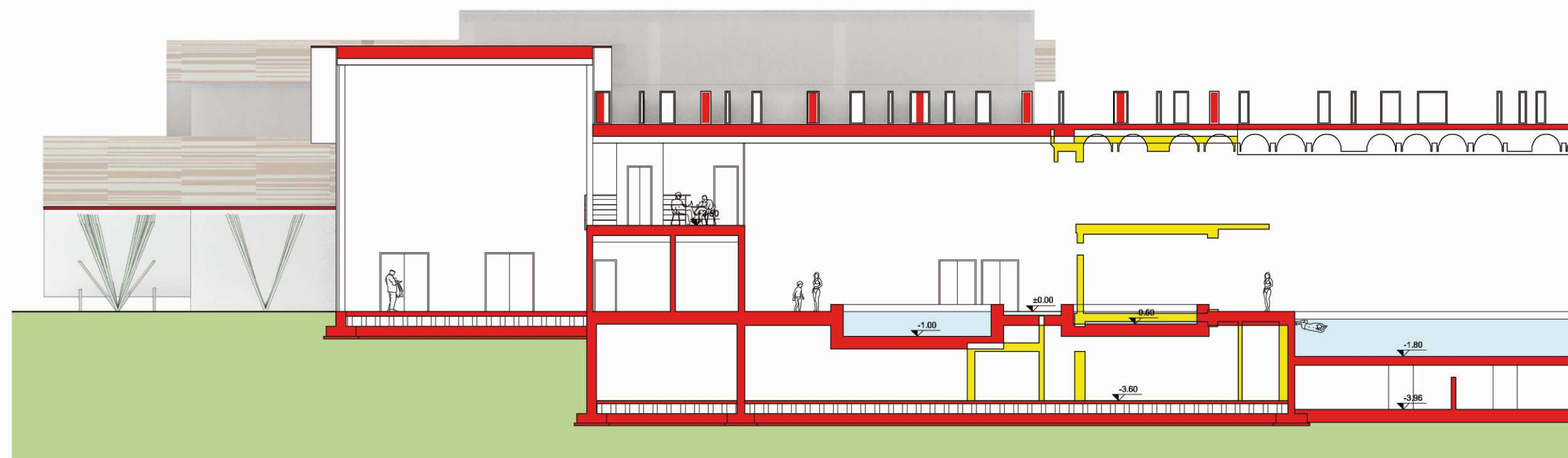
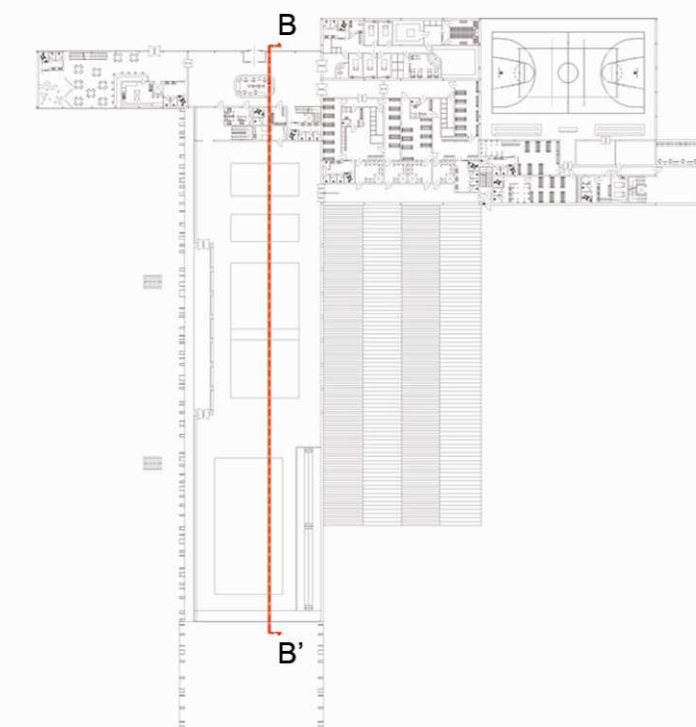
- linea sezione
- quota pavimento
- indicazione ingresso esterno

LEGENDA

CAMPITURE

- demolizioni
- nuove opere

NAVIGATORE





### 4.3 Accessibilità ai diversamente abili

Una particolare attenzione nell'ambito della progettazione degli spazi e dei percorsi è stata dedicata al garantire l'accessibilità a tutti i tipi di fruitori.

La molteplicità di funzioni ed attività praticabili all'interno del Centro Pratogrande è motivo di una grande affluenza, sia quantitativamente che qualitativamente. Le attività sportive e ricreative che esso offre danno luogo ad una potenziale gamma di clientela che va dai bambini che prendono lezioni di nuoto, agli adulti che si allenano in palestra, agli anziani che necessitano di praticare sport o cure riabilitative. In questo senso, in fase progettuale, l'attenzione non va posta solamente agli sportivi in senso stretto, ma anche a tutti coloro che usufruirebbero dei servizi offerti dal complesso, tra i quali, si ricorda, il ristorante, il centro benessere, etc.

A seguito di queste considerazioni preliminari il cosiddetto *design for all*, inteso come progetto inclusivo, e non mera applicazione di normative vigenti, è diventato un principio irrinunciabile in fase di progettazione razionale dell'intero spazio, interno ed esterno. La base a cui far riferimento sono le norme dettate dalle leggi in materia di accessibilità, in particolare si fa riferimento al DPR 24 luglio 1996, n. 503 "Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici"; con richiami al DM 14 giugno 1989, n. 236 "Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche."

In aggiunta alle prescrizioni contenute nelle norme, si è cercato di porre molta attenzione a tutti quei particolari spesso non considerati nella comune progettazione; per esempio, si sono posti ascensori accanto ad ogni rampa di scale (eccetto quelle strettamente di servizio), in modo che passeggini, carrozzine, infortunati, persone con difficoltà motorie o di deambulazione, etc. possano raggiungere i diversi piani; gli spazi di accesso e i corridoi sono particolarmente ampi in modo da garantire lo spazio necessario al transito di sedie a rotelle, deambulatori, etc.

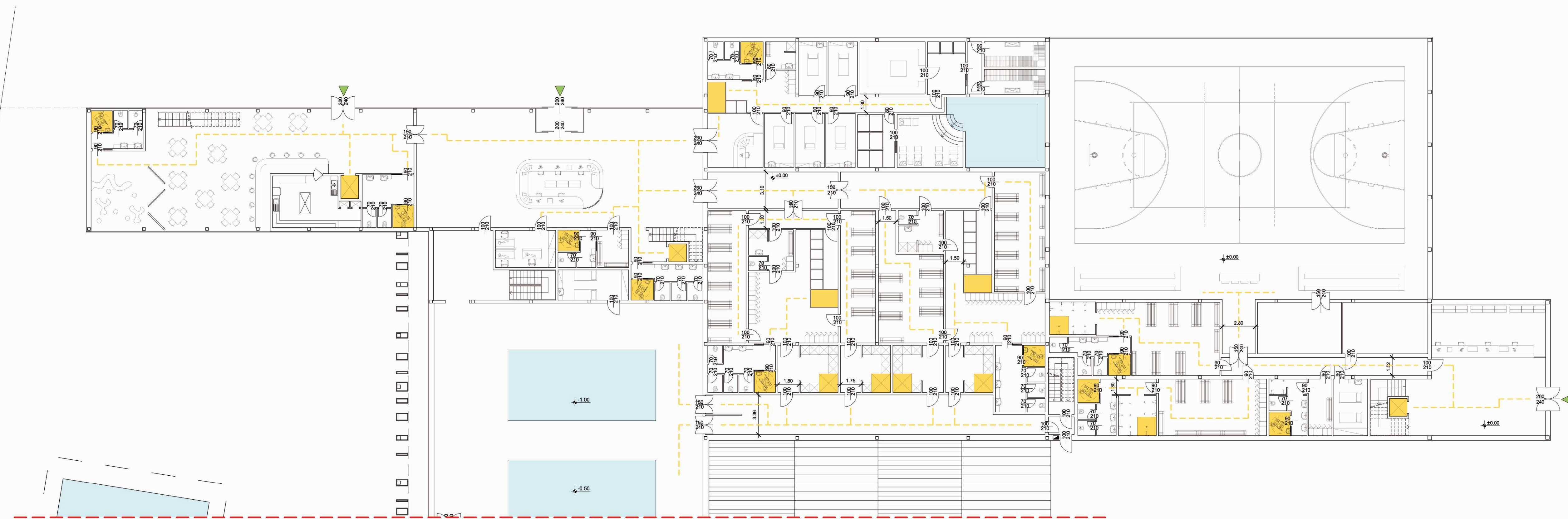
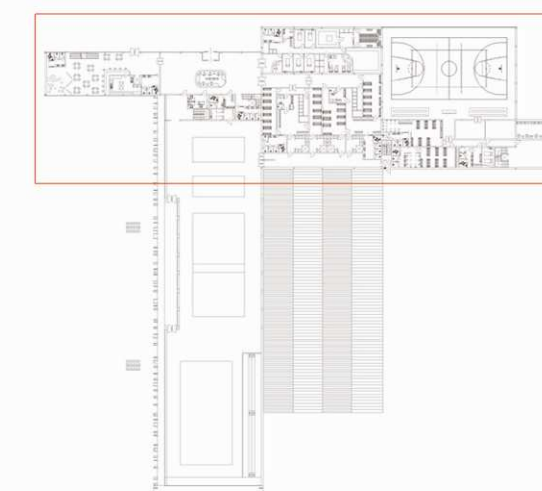
Di seguito si riportano le tavole di accessibilità ai disabili.



LEGENDA  
RIFERIMENTI




- indicazione ingresso
- linea percorsi disabili
- linea interruzione

NAVIGATORE

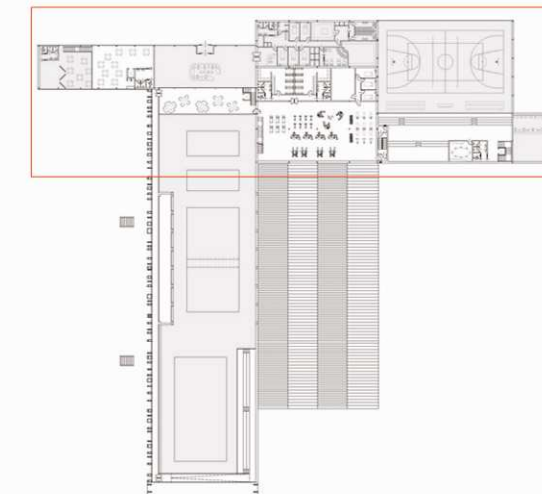




**LEGENDA  
RIFERIMENTI**

-  indicazione ingresso
-  linea percorsi disabili
-  linea interruzione

**NAVIGATORE**



#### 4.4 Sicurezza al fuoco

Secondo la classificazione del livello di rischio, valutato attraverso il DM 10/03/98 “Criteri generali di sicurezza antincendio e la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro”, il complesso di edifici del centro sportivo rientra nella classe “luoghi di lavoro a rischio di incendio medio”.

In questo senso la normativa prevede che la lunghezza massima del percorso da compiere per raggiungere un luogo sicuro deve essere compresa tra i 30 e i 45 metri. Ogni misurazione è stata fatta prendendo i punti più critici, ovvero i punti più sfavorevoli in termini di distanza dal luogo sicuro, indicato sulle piante attraverso una freccia, campita diversamente a seconda che l'uscita sia allo stesso livello del percorso oppure ad uno superiore o inferiore.

Sulle piante sono poi indicate le porte antincendio, tutte REI 120, vale a dire in grado di garantire una resistenza al fuoco di 120 minuti. Oltre a quanto detto, la normativa dice che il tempo di percorrenza massimo per un edificio considerato a rischio medio è di 3 minuti (sempre in riferimento al DM 10/03/98). In aggiunta ai suddetti accorgimenti, è stata posta attenzione anche rispetto all'apertura delle porte (verso il senso di uscita), all'indicazione delle vie d'uscita tramite segnaletica, all'adeguata illuminazione delle vie d'uscita, all'assenza di ostacoli e ostruzioni lungo le vie d'esodo, etc.

Si è inoltre scelto, non avendo un'apposita norma in relazione agli impianti sportivi, di utilizzare come guida al numero e posizionamento degli estintori, i criteri espressi nel DM 10/03/98 “Criteri generali di sicurezza antincendio e la gestione dell'emergenza nei luoghi di lavoro”. In accordo a quanto in essa specificato, in linea di principio, gli estintori saranno posti vicino alle zone di maggior rischio e in numero maggiore negli ambienti potenzialmente più affollati.

La normativa (DM 18/03/96) prevede, inoltre, per impianti sportivi chiusi con spettatori tra i 100 e i 1000, la necessaria dotazione di naspi DN 20. In ottemperanza a quanto prescritto, si è deciso di dotare ogni piano di 2 idranti naspo, i quali possono essere collegati alla normale rete idrica, purché siano assicurate ad ognuno di essi una portata non inferiore a 35 l/min. e una pressione non inferiore a 1,5 bar. L'alimentazione deve, in più, assicurare un'autonomia non inferiore a 30 min.

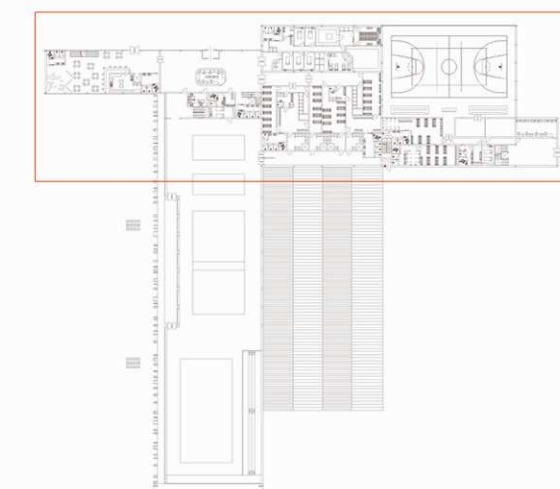
Di seguito si riportano le tavole con le indicazioni delle vie di fuga e delle misure antincendio adottate.

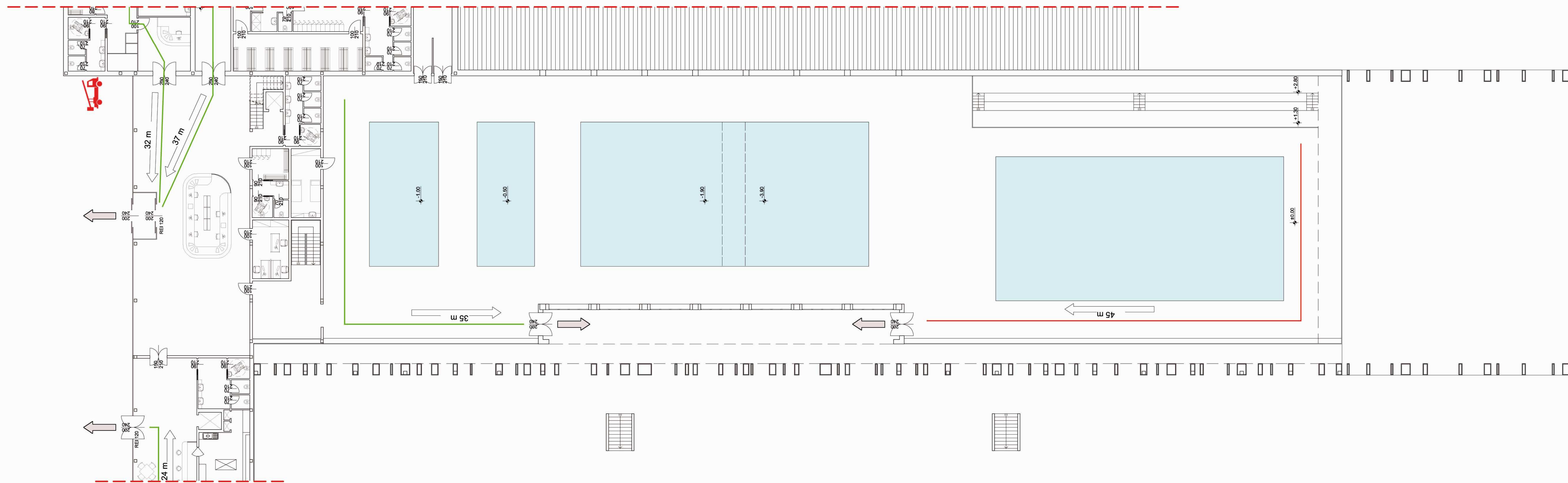


**LEGENDA  
RIFERIMENTI**

- percorso di fuga
- percorso di fuga più lungo
- muri tagliafuoco REI
- via d'uscita - percorso orizzontale
- m distanza di sicurezza interna
- estintore portatile
- idrante su naspo
- accessibilità mezzo d'emergenza

**NAVIGATORE**

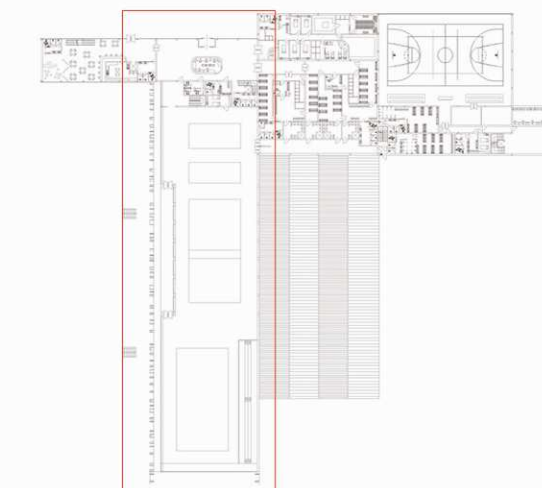


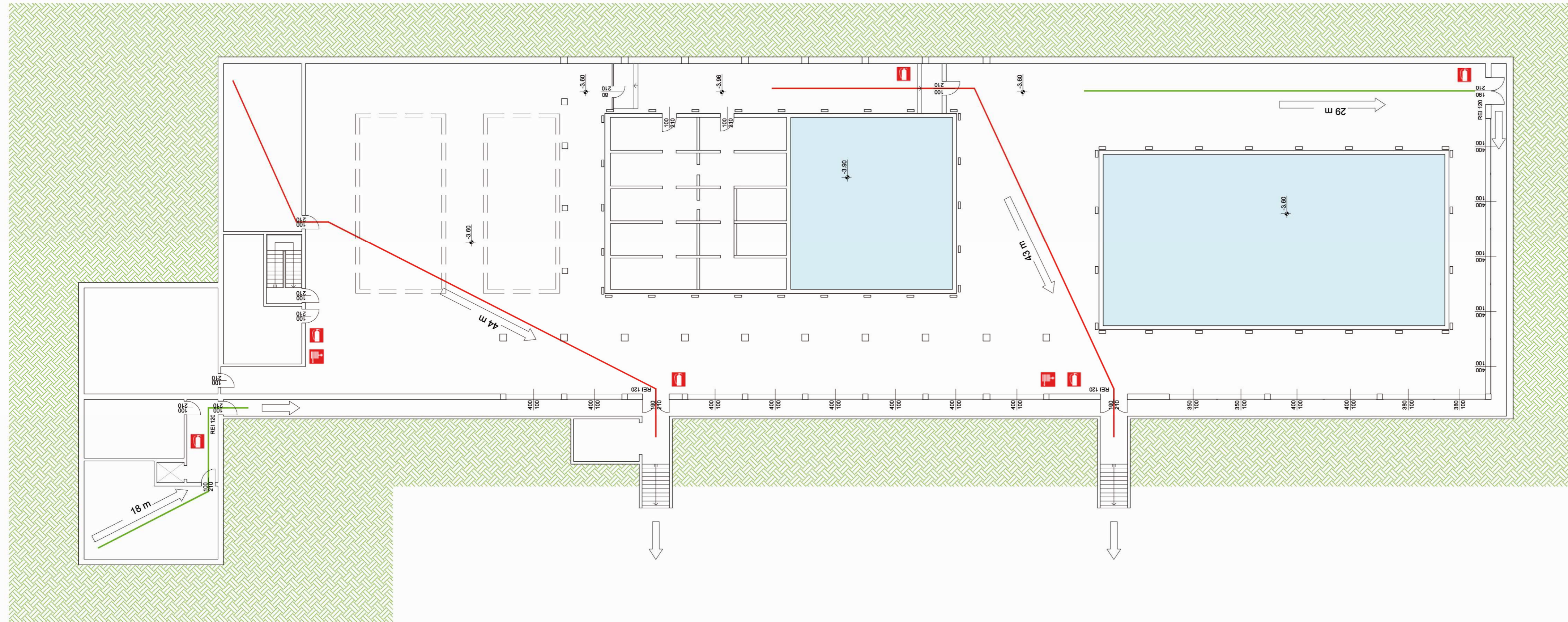


**LEGENDA**  
**RIFERIMENTI**

- percorso di fuga
- percorso di fuga più lungo
- via d'uscita - percorso orizzontale
- distanza di sicurezza interna
- estintore portatile
- idrante su naspo
- accessibilità mezzo d'emergenza

**NAVIGATORE**





LEGENDA  
RIFERIMENTI

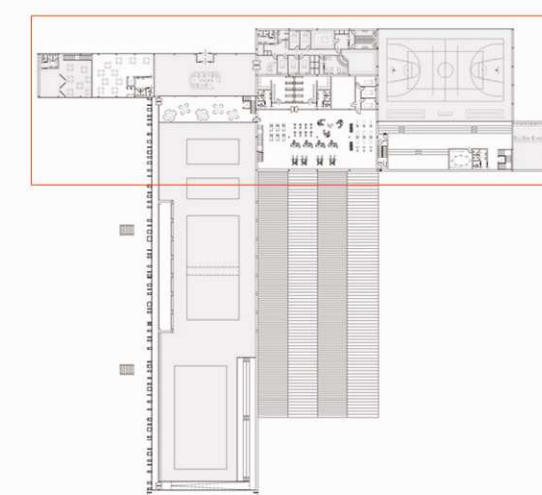
- percorso di fuga
- percorso di fuga più lungo
- ← via d'uscita - percorso verso l'alto
- ← m distanza di sicurezza interna
- estintore portatile
- idrante su naspo



**LEGENDA**  
**RIFERIMENTI**

- percorso di fuga
- percorso di fuga più lungo
- - - muri tagliafuoco REI
- ← via d'uscita - percorso verso il basso
- ← m      distanza di sicurezza interna
- estintore portatile
- idrante su naspo

**NAVIGATORE**



## CAPITOLO 5 –TECNOLOGICO

Questo capitolo tratta i caratteri tecnologici del complesso. Vengono definiti i pacchetti tecnologici (chiusure e partizioni, orizzontali e verticali) e descritti dettagliatamente in ogni loro strato. Si definiscono, tramite l'utilizzo del software Jvap, le trasmittanze di tali pacchetti tecnologici nel rispetto della normativa vigente. Si analizzano anche le chiusure esistenti, intervenendo, sostituendo i serramenti, introducendo l'isolamento necessario oppure incrementandolo.

Il passo successivo è quello di analizzare degli stralci rilevanti di sezioni del complesso, approfondendo alcuni nodi degni di attenzione in una scala adeguata.

### 5.1 Pacchetti tecnici: descrizione e verifica delle prestazioni

Nel progetto di recupero dell'edificio esistente, si sono migliorate le prestazioni, attualmente molto carenti, aggiungendo, dove era insufficiente o dove non era presente, dell'isolamento termico, e sostituendo i serramenti esistente, che, oltre ad essere poco prestazionali, non rispettano la normativa (serramenti a ghigliottina orizzontale). Per quanto riguarda il nuovo edificio, si sono scelti accuratamente gli elementi tecnici, ottenendo così delle prestazioni che rientrano nei limiti di norma.

La normativa di riferimento è il D. Lgs. n. 311/2006, in particolare l'Allegato C, che stabilisce i valori limite di trasmittanza termica (U) in relazione sia, alla zona climatica in cui risulta l'edificio che, alla tipologia del pacchetto tecnologico in esame.

Di seguito vengono riportate le tabelle di riferimento tratte dalla normativa in oggetto.

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura			
Zona climatica	Dal 01/01/2006 U(W/m <sup>2</sup> K)	Dal 01/01/2008 U(W/m <sup>2</sup> K)	Dal 01/01/2010 U(W/m <sup>2</sup> K)
A	0,80	0,42	0,38
B	0,60	0,42	0,38
C	0,55	0,42	0,38
D	0,46	0,35	0,32
E	0,43	0,32	0,30
F	0,41	0,31	0,29

Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento verso locali non riscaldati o verso l'esterno			
Zona climatica	Dal 01/01/2006 U(W/m <sup>2</sup> K)	Dal 01/01/2008 U(W/m <sup>2</sup> K)	Dal 01/01/2010 U(W/m <sup>2</sup> K)
A	0,80	0,74	0,65
B	0,60	0,55	0,49
C	0,55	0,49	0,42
D	0,46	0,41	0,36
E	0,43	0,38	0,33
F	0,41	0,36	0,32

Tabb. 5.1, 5.2 – Trasmittanze limite.





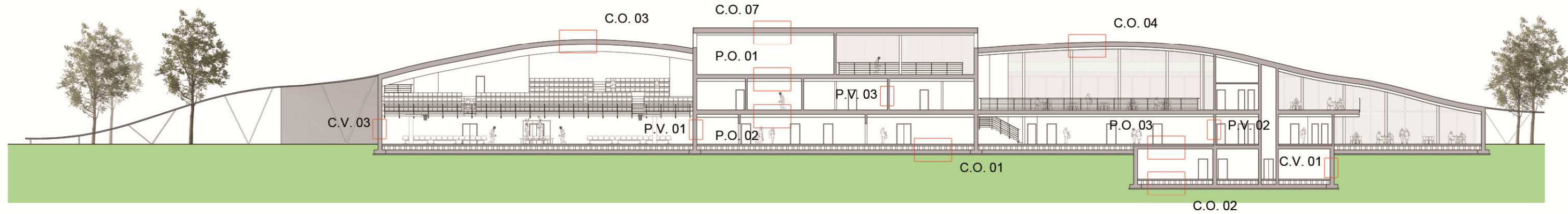
Valori limite della trasmittanza termica $U$ delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura			
Zona climatica	Dal 01/01/2006 $U(W/m^2K)$	Dal 01/01/2008 $U(W/m^2K)$	Dal 01/01/2010 $U(W/m^2K)$
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Tab. 5.3 – Trasmittanze limite.

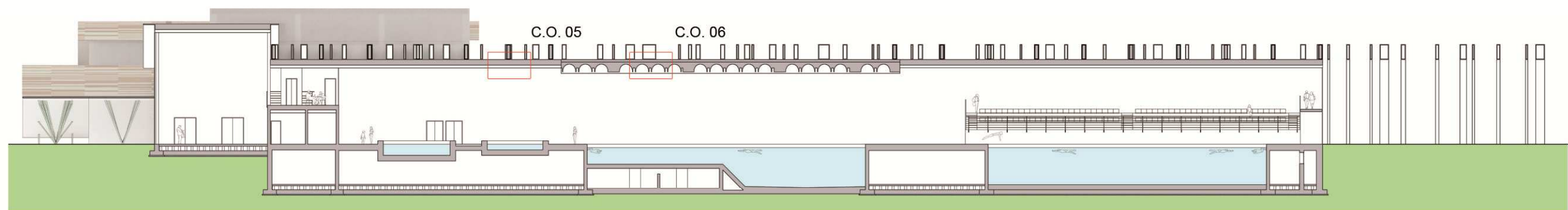
Il comune di Garlate viene inserito nella zona climatica E ( $2011 \leq GG \leq 3000$ ), poiché si considerano 2361 gradi giorno (GG). Tenendo in considerazione i valori in vigore dal 01/01/2010, si sono determinate le trasmittanze limite per le unità tecnologiche.

Di seguito vengono riportati i pacchetti tecnologici adottati nell'edificio e per ognuno si specifica il valore di trasmittanza raggiunto, che risulta essere inferiore al limite di legge.

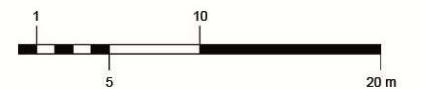
Vengono riportate, dove è richiesta la verifica della trasmittanza delle chiusure,



SEZIONE A-A'



SEZIONE B-B'



CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 01 – solaio contro terra isolato

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
C.O. 01	69	0,330	0,233

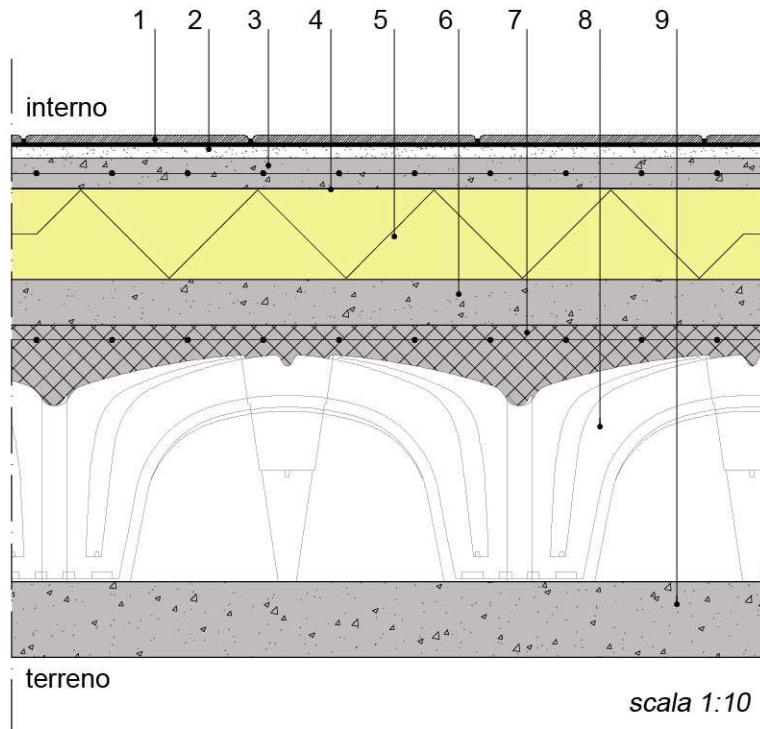


Fig. 5.1 – Composizione stratigrafica della chiusura C.O.01

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato di finitura interna - piastrelle in ceramica 30x30 cm fissate con colla sp.0,5 cm    | sp. 1,00 cm  |
| 2. Strato di livellamento per posa pavimento   | sp. 1,50 cm  |
| 3. Strato resistente portato - cls alleggerito con rete elettrosaldata Ø8                      | sp. 4,00 cm  |
| 4. Strato di termoisolamento - foglio di alluminio rivestito                                   | sp. 0,08 cm  |
| 5. Strato di termoisolamento - pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8) | sp. 12,00 cm |
| 6. Strato resistente portato - massetto di ripartizione dei carichi                            | sp. 6,00 cm  |
| 7. Strato resistente portante - getto in cls con rete elettrosaldata Ø8                        | sp. 4,00 cm  |
| 8. Strato resistente portante - casseri a perdere (tipo Cupolex)                               | sp. 30,00 cm |
| 9. Strato di livellamento delle fondazioni - magrone   | sp. 10,00 cm |



Mese	Press. ...	Interf. 1	Interf. 2	Interf. 3	Interf. 4	Interf. 5	Interf. 6	Interf. 7	Press. l...
<b>Ottobre</b>	1638,67	1680,50	1708,91	1716,51	1727,24	2882,80	2882,80	2910,04	2914,01
	1285,00	1289,11	1289,29	1290,93	1291,99	1294,10	2233,81	2235,46	2236,63
<b>Novembre</b>	1173,93	1221,85	1254,76	1263,61	1276,15	2831,72	2831,73	2872,72	2878,71
	988,00	993,39	993,63	995,78	997,17	999,94	2232,93	2235,09	2236,63
<b>Dicembre</b>	901,17	949,40	982,82	991,85	1004,67	2793,20	2793,20	2844,47	2851,97
	754,00	760,41	760,68	763,24	764,89	768,18	2232,24	2234,80	2236,63
<b>Gennaio</b>	817,87	865,56	898,72	907,69	920,44	2779,48	2779,48	2834,39	2842,43
	676,00	682,74	683,03	685,73	687,46	690,93	2232,01	2234,71	2236,63
<b>Febbraio</b>	926,30	974,63	1008,09	1017,12	1029,95	2797,13	2797,13	2847,36	2854,71
	735,00	741,49	741,77	744,36	746,03	749,36	2232,19	2234,78	2236,63
<b>Marzo</b>	1205,64	1253,34	1286,08	1294,88	1307,34	2835,70	2835,70	2875,63	2881,47
	875,00	880,88	881,13	883,49	885,00	888,03	2232,60	2234,95	2236,63
<b>Aprile</b>	1536,56	1580,22	1609,94	1617,90	1629,15	2872,72	2872,73	2902,69	2907,06
	1106,00	1110,88	1111,09	1113,05	1114,30	1116,82	2233,28	2235,24	2236,63
<b>Maggio</b>	1825,96	1863,81	1889,44	1896,28	1905,93	2900,01	2900,01	2922,57	2925,85
	1314,00	1317,99	1318,16	1319,75	1320,78	1322,83	2233,90	2235,49	2236,63
<b>Giugno</b>	2356,75	2379,71	2395,14	2399,24	2405,02	2941,87	2941,87	2952,99	2954,60
	1666,00	1668,47	1668,57	1669,56	1670,19	1671,46	2234,94	2235,93	2236,63
<b>Luglio</b>	2742,77	2752,15	2758,43	2760,09	2762,43	2967,65	2967,65	2971,67	2972,25
	1844,00	1845,70	1845,77	1846,45	1846,88	1847,76	2235,47	2236,15	2236,63
<b>Agosto</b>	2661,43	2673,84	2682,15	2684,35	2687,45	2962,48	2962,48	2967,93	2968,72
	1855,00	1856,65	1856,72	1857,38	1857,80	1858,65	2235,50	2236,16	2236,63
<b>Settembre</b>	2229,91	2256,86	2275,00	2279,82	2286,63	2932,64	2932,64	2946,29	2948,27
	1671,00	1673,44	1673,55	1674,53	1675,15	1676,41	2234,96	2235,94	2236,63

Tab. 5.4 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia – Mese critico: Gennaio

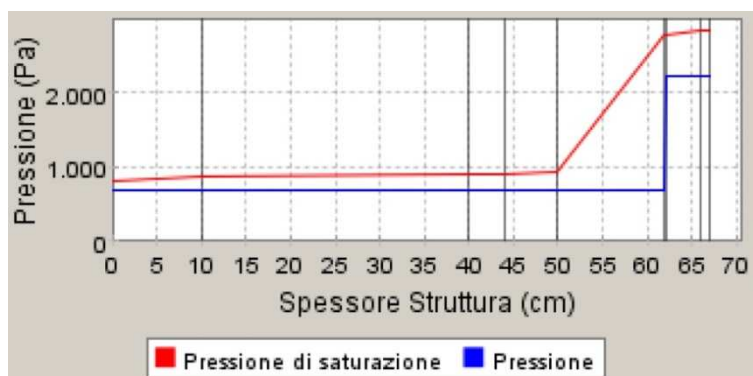


Fig. 5.2 – Diagramma di Glaser – Gennaio. Condensa non presente.

CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 02 – solaio contro terra non isolato

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO $U$ (W/m <sup>2</sup> K)
C.O. 02	53	/	/

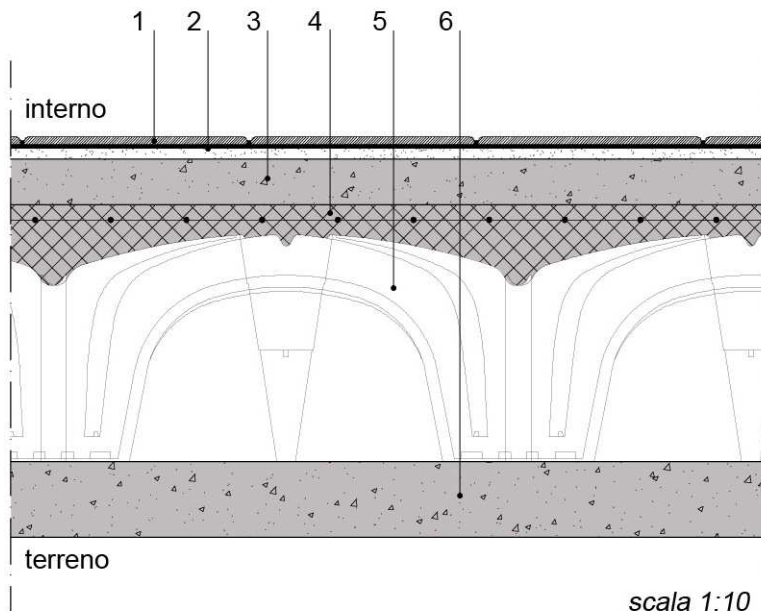


Fig. 5.3 – Composizione stratigrafica della chiusura C.O.02

- |   |              |
|---|--------------|
| 1. Strato di finitura interna - piastrelle in ceramica 30x30 cm fissate con colla sp.0,5 cm | sp. 1,00 cm  |
| 2. Strato di livellamento per posa pavimento  | sp. 1,50 cm  |
| 3. Strato resistente portato - massetto di ripartizione dei carichi                         | sp. 6,00 cm  |
| 4. Strato resistente portante - getto in cls con rete elettrosaldata Ø8                     | sp. 4,00 cm  |
| 5. Strato resistente portante - casseri a perdere (tipo Cupolex)                            | sp. 30,00 cm |
| 6. Strato di livellamento delle fondazioni - magrone  | sp. 10,00 cm |



## CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 03 – copertura curva in legno

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ ( $W/m^2K$ )	TRASMITTANZA PACCHETTO $U$ ( $W/m^2K$ )
C.O. 03	41	0,300	0,103

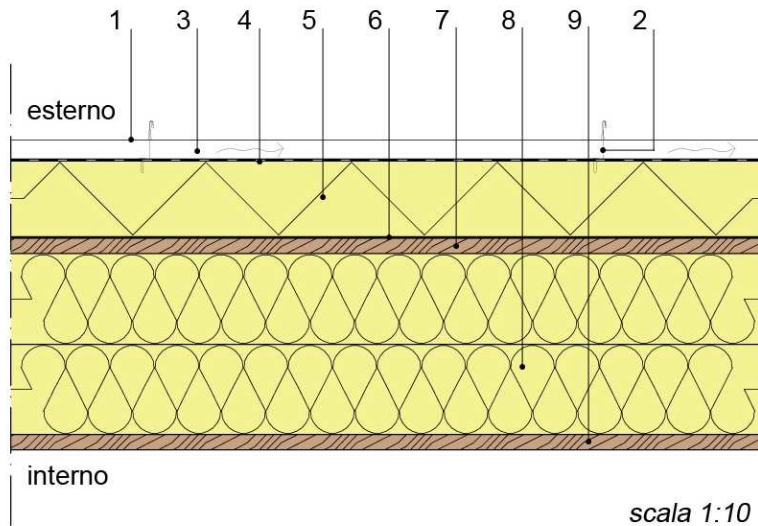


Fig. 5.4 – Composizione stratigrafica della chiusura C.O.03

1. Strato di finitura esterna - rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid) sp. 0,07 cm
2. Elemento di fissaggio - clips di fissaggio a scomparsa all'interno dell'aggraffatura
3. Strato di termoisolamento - camera d'aria sp. 2,50 cm
4. Strato di tenuta all'acqua - guaina bituminosa (tipo Pluvitec) sp. 0,30 cm
5. Strato di termoisolamento - pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8) sp. 10,00 cm
6. Strato di tenuta al vapore - barriera al vapore (tipo Pluvitec) sp. 0,25 cm
7. Strato resistente portato - pannello in legno d'abete sp. 2,00 cm
8. Strato di termoisolamento - doppio pannello di fibre di legno (tipo Celenit FL/45) sp. 12,00 cm
9. Strato resistente portato - pannello in legno d'abete sp. 2,00 cm

Mese	Press. ...	Interf. 1	Interf. 2	Interf. 3	Interf. 4	Interf. 5	Interf. 6	Interf. 7	Interf. 8	Press. ...
Ottobre	1630,71	1630,71	1638,38	1638,99	1751,59	1752,22	1759,38	1899,67	2049,67	2057,89
	1285,00	1261,16	1261,16	1260,09	1260,06	1237,72	1237,71	1237,71	1237,71	1237,70
Novem...	1165,90	1165,90	1179,53	1180,61	1390,33	1391,56	1405,51	1693,35	2031,65	2051,09
	988,00	1113,83	1113,83	1119,49	1119,65	1237,61	1237,65	1237,65	1237,66	1237,70
Dicemb...	893,54	893,54	909,14	910,38	1160,00	1161,51	1178,72	1549,11	2017,96	2045,90
	754,00	893,54	893,55	905,80	906,14	1161,51	1178,72	1187,15	1195,57	1237,70
Gennaio	810,46	810,46	826,36	827,63	1085,92	1087,50	1105,55	1500,03	2013,07	2044,04
	676,00	810,46	810,46	823,13	823,49	1087,50	1105,55	1124,43	1143,30	1237,70
Febbraio	918,62	918,62	934,10	935,33	1181,97	1183,45	1200,40	1563,39	2019,36	2046,43
	735,00	918,62	918,62	930,74	931,07	1183,45	1200,40	1205,73	1211,05	1237,70
Marzo	1197,59	1197,59	1210,90	1211,96	1416,08	1417,27	1430,80	1708,79	2033,06	2051,62
	875,00	1197,59	1197,59	1207,64	1207,92	1417,27	1430,80	1403,22	1375,63	1237,70
Aprile	1528,52	1528,52	1537,73	1538,46	1674,89	1675,66	1684,41	1857,57	2046,12	2056,55
	1106,00	1528,52	1528,52	1535,25	1535,44	1675,66	1493,17	1456,68	1420,18	1237,70
Maggio	1818,24	1818,24	1822,79	1823,15	1889,07	1889,43	1893,56	1973,18	2055,71	2060,16
	1314,00	1275,55	1275,55	1273,82	1273,77	1237,73	1237,71	1237,71	1237,71	1237,70
Giugno	2350,20	2350,20	2344,22	2343,75	2260,19	2259,74	2254,67	2160,78	2070,33	2065,64
	1666,00	1450,17	1450,17	1440,46	1440,19	1237,85	1237,79	1237,78	1237,76	1237,70
Luglio	2737,44	2737,44	2722,50	2721,33	2516,51	2515,44	2503,26	2282,68	2079,30	2068,99
	1844,00	1538,48	1538,48	1524,73	1524,35	1237,92	1237,83	1237,81	1237,79	1237,70
Agosto	2655,82	2655,82	2642,85	2641,83	2463,31	2462,36	2451,71	2257,83	2077,50	2068,32
	1855,00	1543,93	1543,93	1529,93	1529,55	1237,92	1237,83	1237,81	1237,79	1237,70
Settem...	2223,02	2223,02	2219,76	2219,51	2173,67	2173,42	2170,63	2118,32	2067,11	2064,44
	1671,00	1452,65	1452,65	1442,83	1442,55	1237,86	1237,79	1237,78	1237,76	1237,70

Tab. 5.5 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia. Si evidenziano in giallo la condensazione, in azzurro l'evaporazione. – Mese critico: Febbraio

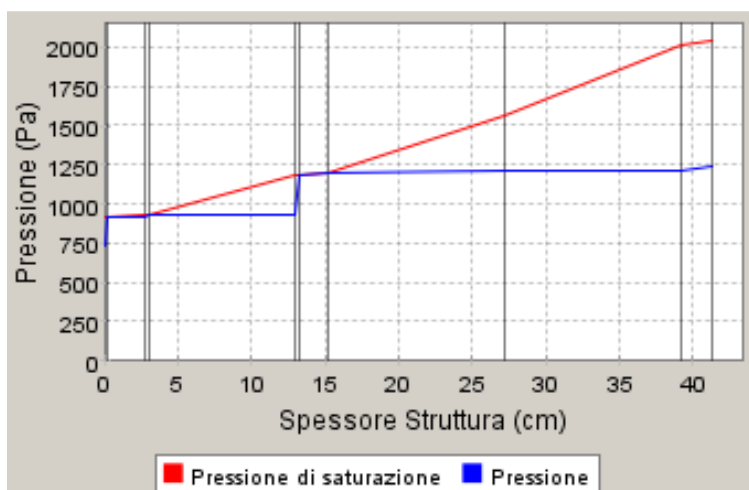


Fig. 5.5 – Diagramma di Glaser – Febbraio. Condensa massima accumulata  $47,93 \text{ g/m}^2$ , inferiore al valore limite di  $500 \text{ g/m}^2$



## CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 04 – copertura curva

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
C.O. 04	78	0,300	0,200

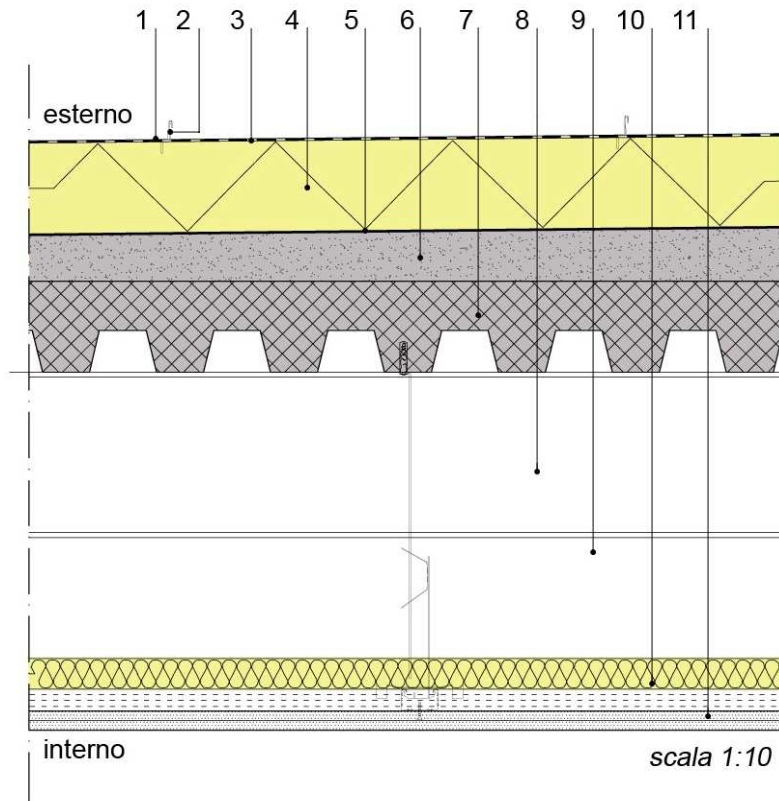


Fig. 5.6 – Composizione stratigrafica della chiusura C.O.04

1. Strato di finitura esterna - rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid) sp. 0,07 cm
2. Elemento di fissaggio - clips di fissaggio a scomparsa all'interno dell'aggraffatura
3. Strato di tenuta all'acqua - guaina bituminosa (tipo Pluvitec) sp. 0,30 cm
4. Strato di termoisolamento - pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8) sp. 12,00 cm
5. Strato di termoisolamento - barriera al vapore (tipo Pluvitec) sp. 0,25 cm
6. Strato resistente portato - massetto di pendenza sabbia-cemento sp. 6,00 cm
7. Strato resistente portante - lamiera grecata con getto collaborante sp. 12,00 cm
8. Strato resistente portante - trave in acciaio IPE 220
9. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata sp. 38,00 cm
10. Strato di isolamento termoacustico - materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio) sp. 4,00 cm
11. Strato di finitura interna - controsoffitto con pendino metallico e





due lastre di cartongesso fissato allo strato resistente superiore  
(lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113)

sp. 0,125 cm

Mese	Pres...	Interf...	Interf...	Interf...	Interf. 4	Interf...	Interf. 6	Interf...	Interf. 8	Interf...	Interf...	Pres...
Ottobre	1637,32	1637,32	1640,41	2441,80	2446,10	2476,54	2503,70	2503,71	2573,22	2923,05	2935,29	2947,56
	1285,00	1554,97	1579,26	1580,07	2086,26	2086,83	2087,96	2236,44	2236,48	2236,53	2236,58	2236,63
Novembre	1172,39	1172,39	1175,91	2193,65	2199,63	2242,07	2280,17	2280,17	2378,55	2892,38	2910,89	2929,51
	988,00	1160,39	1175,91	1177,21	1993,99	1994,91	1996,74	2236,33	2236,39	2236,47	2236,55	2236,63
Dicembre	899,63	899,63	903,15	2019,07	2026,09	2076,11	2121,20	2121,21	2238,50	2869,12	2892,36	2915,76
	754,00	890,83	903,15	904,65	1842,85	1843,90	1846,00	2121,21	2145,77	2175,24	2205,94	2236,63
Gennaio	816,35	816,35	819,83	1959,43	1966,79	2019,22	2066,56	2066,56	2190,01	2860,80	2885,73	2910,84
	676,00	807,95	819,83	821,36	1781,65	1782,73	1784,88	2066,56	2102,75	2146,17	2191,40	2236,63
Febbraio	924,75	924,75	928,29	2036,39	2043,32	2092,63	2137,05	2137,05	2252,52	2871,49	2894,25	2917,17
	735,00	912,33	928,29	929,78	1860,82	1861,86	1863,95	2137,05	2158,24	2183,67	2210,15	2236,63
Marzo	1204,10	1204,10	1207,61	2212,28	2218,14	2259,73	2297,05	2297,05	2393,34	2894,78	2912,80	2930,92
	875,00	1180,14	1207,61	1208,95	2048,08	2049,02	2050,90	2297,05	2284,20	2268,77	2252,70	2236,63
Aprile	1535,15	1535,15	1538,37	2391,30	2395,96	2428,95	2458,42	2458,43	2533,99	2917,02	2930,49	2944,02
	1106,00	1502,67	1538,37	1539,51	2248,17	2248,96	2250,55	2458,43	2411,24	2354,61	2295,62	2236,63
Maggio	1824,74	1824,74	1827,54	2529,80	2533,46	2559,32	2582,36	2582,36	2641,14	2933,34	2943,46	2953,60
	1314,00	1785,14	1827,54	1828,47	2409,86	2410,51	2411,82	2582,36	2508,80	2420,53	2328,58	2236,63
Giugno	2356,01	2356,01	2357,72	2753,53	2755,45	2768,98	2780,99	2780,99	2811,40	2958,28	2963,25	2968,22
	1666,00	2300,60	2357,72	2357,57	2264,33	2264,23	2264,02	2236,67	2236,66	2236,65	2236,64	2236,63
Luglio	2742,46	2742,46	2743,16	2898,26	2898,98	2904,05	2908,54	2908,54	2919,86	2973,58	2975,37	2977,16
	1844,00	2668,92	2743,16	2742,54	2352,50	2352,06	2351,19	2236,78	2236,75	2236,71	2236,67	2236,63
Agosto	2661,02	2661,02	2661,95	2868,80	2869,76	2876,59	2882,63	2882,63	2897,88	2970,52	2972,94	2975,37
	1855,00	1963,26	1973,01	1973,33	2176,33	2176,56	2177,01	2236,56	2236,57	2236,59	2236,61	2236,63
Settembre	2229,04	2229,04	2231,04	2702,99	2705,32	2721,72	2736,28	2736,28	2773,23	2952,79	2958,89	2965,01
	1671,00	1831,46	1845,90	1846,39	2147,25	2147,59	2148,27	2236,52	2236,54	2236,57	2236,60	2236,63

Tab. 5.6 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia. Si evidenziano in giallo la condensazione, in azzurro l'evaporazione. – Mese critico: Febbraio

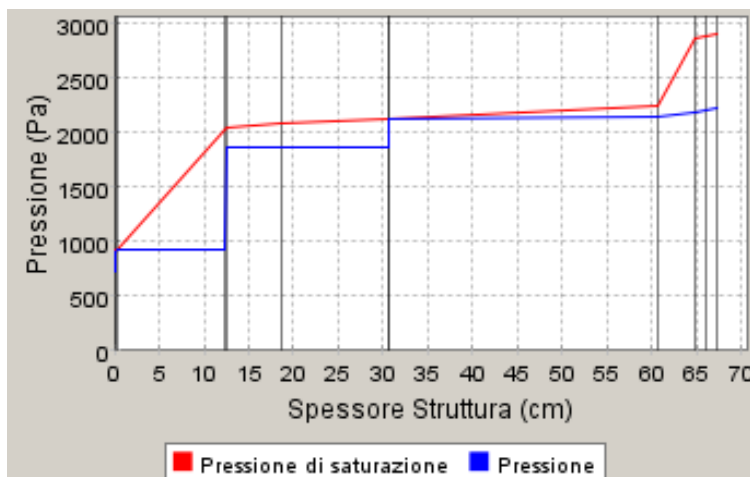


Fig. 5.7 – Diagramma di Glaser – Febbraio. Condensa massima accumulata 141,19 g/m<sup>2</sup>, inferiore al valore limite di 500 g/m<sup>2</sup>



CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 05 – copertura piana piscina nuova

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
C.O. 05	74	0,300	0,178

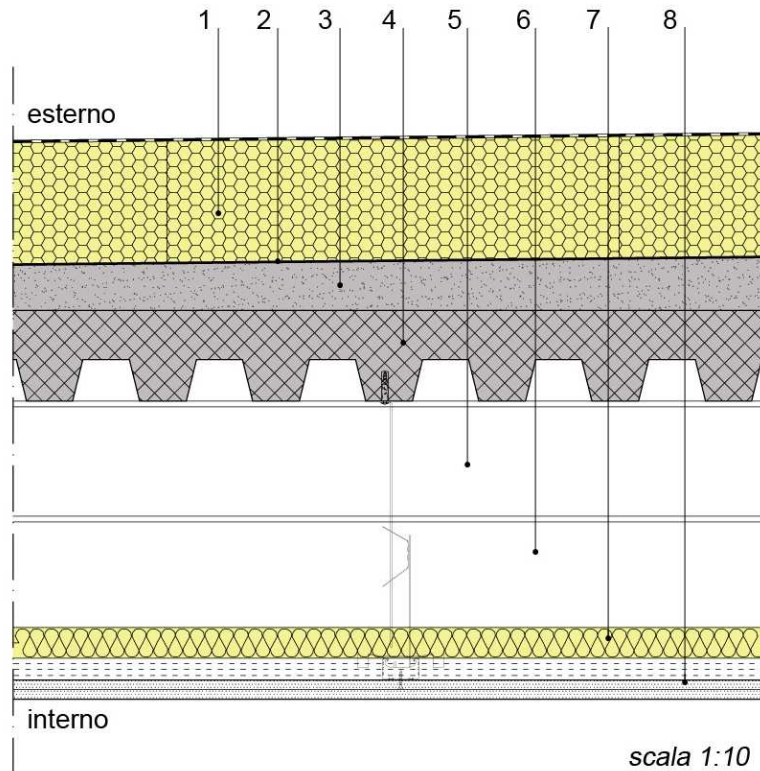


Fig. 5.8 – Composizione stratigrafica della chiusura C.O.05

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato di termoisolamento - lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm)  | sp. 16,00 cm |
| 2. Strato di tenuta al vapore - barriera al vapore (tipo Pluvitec)   | sp. 0,25 cm  |
| 3. Strato resistente portato - massetto di pendenza sabbia-cemento   | sp. 6,00 cm  |
| 4. Strato resistente portante - lamiera grecata con getto collaborante   | sp. 12,00 cm |
| 5. Strato resistente portante - trave in acciaio IPE160  |              |
| 6. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata   | sp. 30,00 cm |
| 7. Strato di isolamento termoacustico - materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio)   | sp. 4,00 cm  |
| 8. Strato di finitura esterna - controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113) | sp. 0,125 cm |

Mese	Press. E...	Interf. 1	Interf. 2	Interf. 3	Interf. 4	Interf. 5	Interf. 6	Interf. 7	Press. I...
Ottobre	1641,43	3316,46	3324,88	3384,64	3438,21	3576,30	4292,11	4317,74	4343,51
	1285,00	3151,11	3180,27	3180,30	3180,37	3180,37	3180,37	3180,38	3180,38
Novemb...	1175,21	3056,75	3067,15	3141,13	3207,78	3381,01	4308,99	4343,10	4377,43
	988,00	3029,44	3067,15	3101,09	3168,98	3171,41	3174,32	3177,35	3180,38
Dicembre	901,72	2870,30	2881,99	2965,37	3040,78	3238,00	4321,94	4362,57	4403,53
	754,00	2840,14	2881,99	2934,92	3040,78	3070,48	3106,12	3143,25	3180,38
Gennaio	818,22	2805,84	2817,94	2904,40	2982,71	3187,97	4326,60	4369,58	4412,93
	676,00	2774,74	2817,94	2872,86	2982,71	3024,76	3075,23	3127,81	3180,38
Febbraio	926,91	2888,96	2900,52	2982,99	3057,55	3252,42	4320,61	4360,57	4400,85
	735,00	2859,08	2900,52	2952,86	3057,55	3083,68	3115,04	3147,71	3180,38
Marzo	1207,01	3076,46	3086,71	3159,66	3225,36	3395,98	4307,67	4341,10	4374,77
	875,00	3049,62	3086,71	3132,93	3225,36	3215,79	3204,30	3192,34	3180,38
Aprile	1538,97	3264,08	3272,91	3335,64	3391,92	3537,25	4295,42	4322,71	4350,14
	1106,00	3240,65	3272,91	3312,58	3391,92	3346,91	3292,90	3236,64	3180,38
Maggio	1829,37	3407,20	3414,89	3469,38	3518,16	3643,55	4286,50	4309,32	4332,25
	1314,00	3386,31	3414,89	3449,31	3518,16	3446,29	3360,05	3270,21	3180,38
Giugno	2362,16	3635,00	3640,75	3681,41	3717,67	3810,27	4272,98	4289,07	4305,21
	1666,00	3619,06	3640,75	3502,74	3226,71	3216,85	3205,02	3192,70	3180,38
Luglio	2749,74	3780,32	3784,77	3816,16	3844,09	3915,16	4264,76	4276,76	4288,79
	1844,00	3767,85	3784,77	3603,58	3241,21	3228,26	3212,73	3196,56	3180,38
Agosto	2668,06	3750,86	3755,57	3788,88	3818,51	3893,99	4266,41	4279,22	4292,07
	1855,00	3159,91	3180,30	3180,33	3180,37	3180,37	3180,37	3180,38	3180,38
Settem...	2234,83	3583,90	3590,09	3633,93	3673,05	3773,12	4275,95	4293,51	4311,13
	1671,00	3157,07	3180,29	3180,32	3180,37	3180,37	3180,37	3180,38	3180,38

Tab. 5.7 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia. Si evidenziano in giallo la condensazione, in azzurro l'evaporazione. – Mese critico: Febbraio

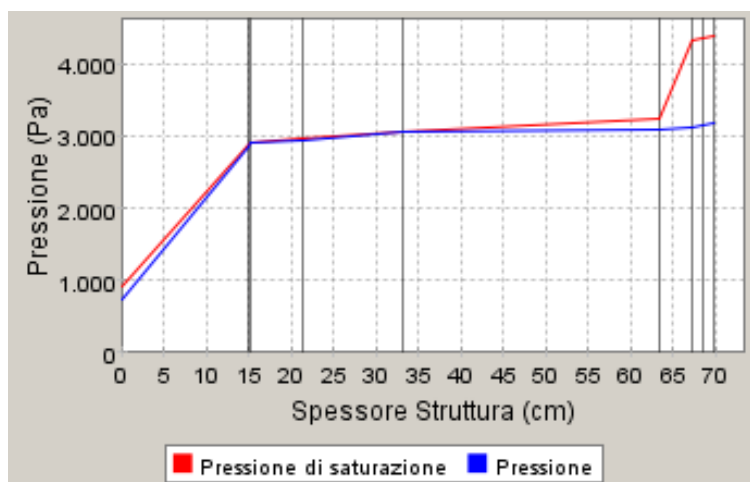


Fig. 5.9 – Diagramma di Glaser – Febbraio. Condensa massima accumulata  $149,39 \text{ g/m}^2$ , inferiore al valore limite di  $500 \text{ g/m}^2$



CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 06 – copertura piana piscina esistente

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA STATO DI FATTO $U_{es}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
C.O. 06	124	1,590	0,330	0,221

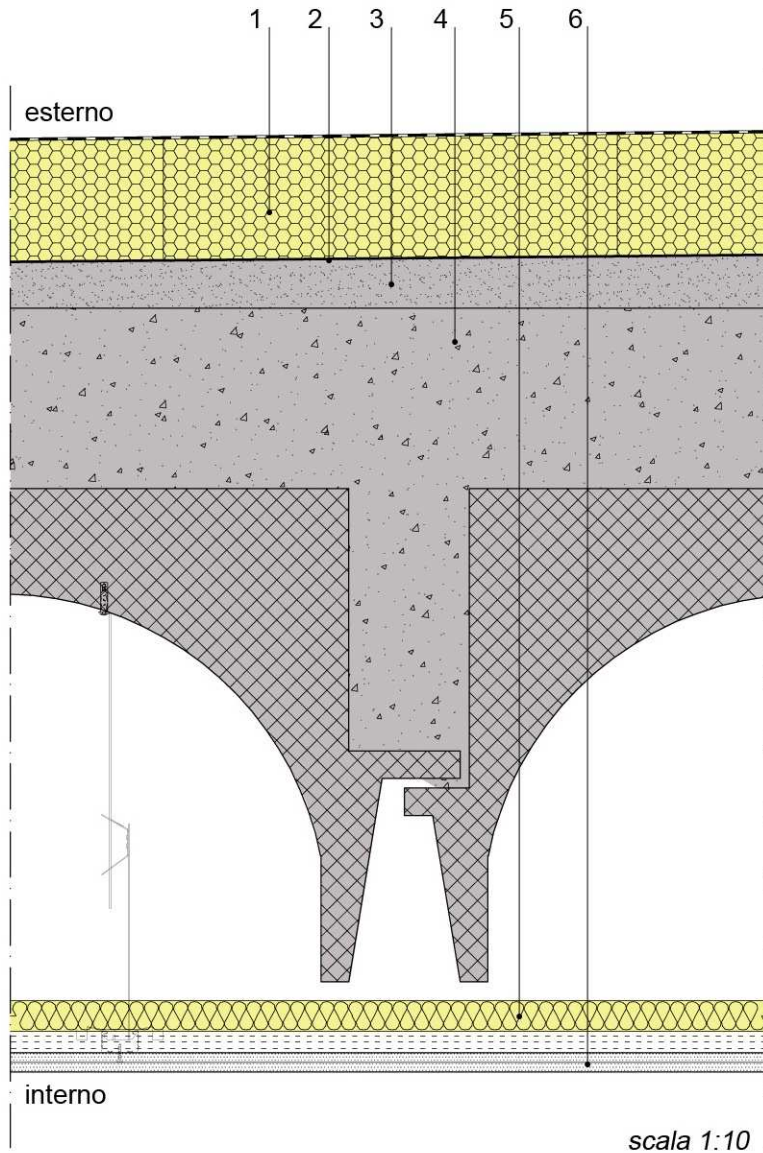


Fig. 5.10 – Composizione stratigrafica della chiusura C.O.06

- |   |              |
|---|--------------|
| 1. Strato di termoisolamento - lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm)             | sp. 16,00 cm |
| 2. Strato di tenuta al vapore - barriera al vapore (tipo Pluvitec)  | sp. 0,25 cm  |
| 3. Strato resistente portato - massetto di pendenza sabbia-cemento  | sp. 6,00 cm  |
| 4. Strato resistente portante - struttura esistente composta da tegoli prefabbricati in cemento armato e getto di completamento in c.a. | sp. 89,00 cm |



5. Strato di isolamento termoacustico - materassino in lana di roccia  
(tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio) sp. 4,00 cm
6. Strato di finitura esterna - controsoffitto con pendino metallico e due  
lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore  
(lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113) sp. 0,125 cm

Mese	Press. Esterna	Interf. 1	Interf. 2	Press. Interna
Ottobre	1643,78	3770,45	3781,66	4156,92
	1285,00	3150,86	3180,01	3180,38
Novembre	1177,54	3627,86	3642,22	4130,07
	988,00	3146,23	3179,95	3180,38
Dicembre	903,91	3522,00	3538,63	4109,65
	754,00	3139,10	3179,86	3180,38
Gennaio	820,35	3484,67	3502,08	4102,34
	676,00	3136,04	3179,82	3180,38
Febbraio	929,12	3532,73	3549,14	4111,74
	735,00	3139,99	3179,87	3180,38
Marzo	1209,35	3638,87	3652,99	4132,17
	875,00	3149,28	3179,99	3180,38
Aprile	1541,34	3742,11	3753,96	4151,64
	1106,00	3157,41	3180,09	3180,38
Maggio	1831,68	3819,06	3829,16	4165,90
	1314,00	3151,31	3180,02	3180,38
Giugno	2364,20	3938,53	3945,87	4187,63
	1666,00	3156,79	3180,08	3180,38
Luglio	2751,48	4012,96	4018,54	4200,93
	1844,00	3159,56	3180,12	3180,38
Agosto	2669,87	3997,98	4003,91	4198,26
	1855,00	3159,73	3180,12	3180,38
Settembre	2236,95	3912,03	3919,99	4182,85
	1671,00	3156,87	3180,08	3180,38

Tab. 5.8 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia. – Mese critico: Gennaio.

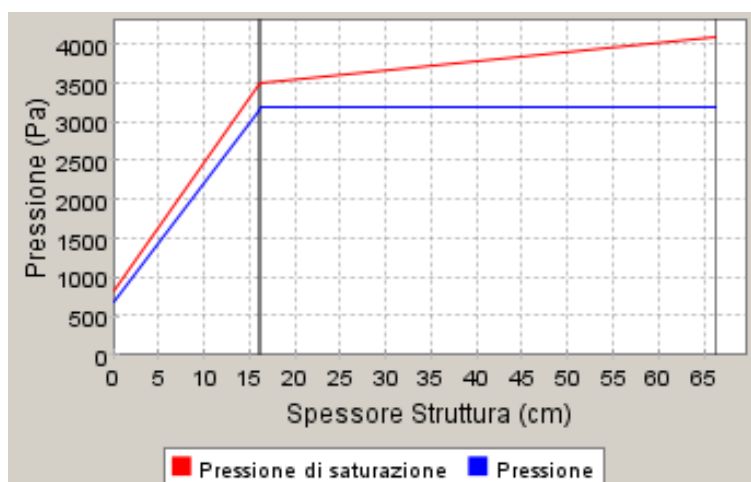


Fig. 5.11 – Diagramma di Glaser – Gennaio. Condensa non presente.



CHIUSURA ORIZZONTALE C.O. 07 – copertura piana palestra privata

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
C.O. 07	73	0,300	0,240

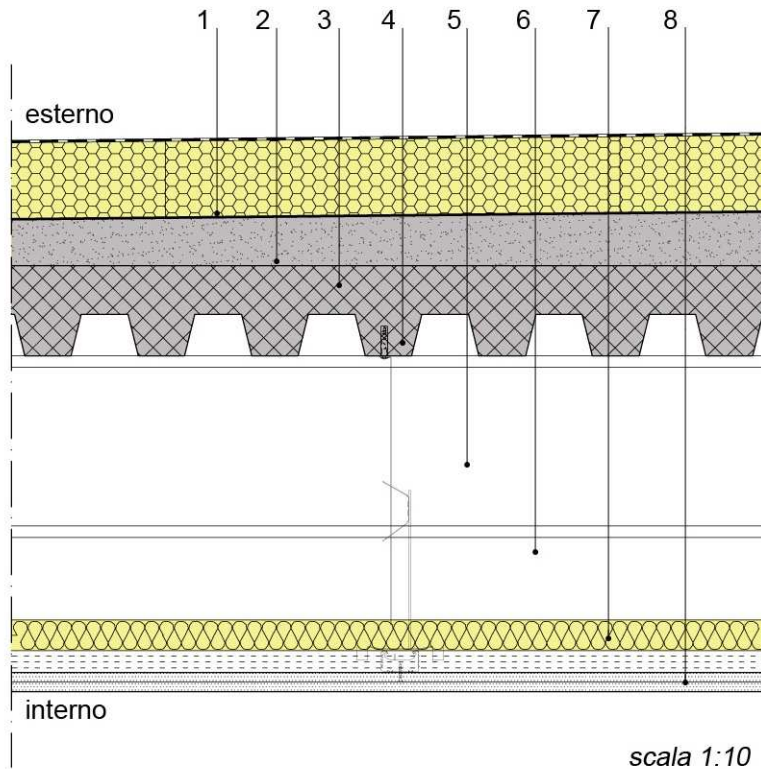


Fig. 5.12 – Composizione stratigrafica della chiusura C.O.07

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato di termoisolamento - lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm)  | sp. 10,00 cm |
| 2. Strato di tenuta al vapore - barriera al vapore (tipo Pluvitec)   | sp. 0,25 cm  |
| 3. Strato resistente portato - massetto di pendenza sabbia-cemento   | sp. 6,00 cm  |
| 4. Strato resistente portante - lamiera grecata con getto collaborante   | sp. 12,00 cm |
| 5. Strato resistente portante - trave in acciaio HEB 240   |              |
| 6. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata   | sp. 35,00 cm |
| 7. Strato di isolamento termoacustico - materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio)   | sp. 4,00 cm  |
| 8. Strato di finitura esterna - controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113) | sp. 0,125 cm |

Mese	Press. ...	Interf. 1	Interf. 2	Interf. 3	Interf. 4	Interf. 5	Interf. 6	Interf. 7	Interf. 8	Press. ...
Ottobre	1638,94	2346,38	2351,35	2386,56	2418,06	2418,06	2498,93	2911,56	2926,15	2940,81
	1285,00	2206,74	2229,79	2229,81	2229,87	2236,62	2236,63	2236,63	2236,63	2236,63
Novem...	1174,23	2062,33	2069,11	2117,32	2160,74	2160,74	2273,46	2875,02	2897,07	2919,26
	988,00	2042,74	2069,11	2069,45	2070,14	2160,74	2176,89	2196,27	2216,45	2236,63
Dicemb...	901,47	1865,90	1873,74	1929,76	1980,46	1980,47	2113,26	2847,35	2874,99	2902,87
	754,00	1845,71	1873,74	1874,15	1874,95	1980,47	2034,97	2100,37	2168,50	2236,63
Gennaio	818,17	1799,50	1807,67	1866,07	1919,04	1919,04	2058,20	2837,48	2867,11	2897,01
	676,00	1778,61	1807,67	1808,09	1808,93	1919,04	1986,61	2067,70	2152,17	2236,63
Febbraio	926,60	1885,26	1893,01	1948,30	1998,32	1998,33	2129,22	2850,18	2877,25	2904,55
	735,00	1865,29	1893,01	1893,41	1894,20	1998,33	2049,03	2109,88	2173,25	2236,63
Marzo	1205,94	2083,47	2090,12	2137,43	2180,02	2180,02	2290,48	2877,88	2899,34	2920,94
	875,00	2066,00	2090,12	2090,46	2091,14	2180,02	2192,07	2206,52	2221,58	2236,63
Aprile	1536,84	2288,13	2293,49	2331,53	2365,59	2365,59	2453,24	2904,37	2920,43	2936,57
	1106,00	2264,53	2293,49	2293,77	2294,31	2365,59	2338,16	2305,23	2270,93	2236,63
Maggio	1826,20	2448,37	2452,63	2482,73	2509,59	2509,59	2578,31	2923,83	2935,90	2948,02
	1314,00	2424,86	2452,63	2452,84	2453,27	2509,59	2451,51	2381,82	2309,23	2236,63
Giugno	2356,90	2710,47	2712,73	2728,71	2742,90	2742,90	2778,88	2953,61	2959,54	2965,48
	1666,00	2687,20	2712,73	2712,84	2713,07	2742,90	2635,18	2505,92	2371,28	2236,63
Luglio	2742,83	2882,03	2882,88	2888,92	2894,27	2894,27	2907,76	2971,89	2974,03	2976,18
	1844,00	2857,54	2882,88	2882,93	2883,01	2894,27	2754,35	2586,44	2411,54	2236,63
Agosto	2661,51	2846,97	2848,13	2856,24	2863,42	2863,42	2881,57	2968,23	2971,13	2974,03
	1855,00	2823,90	2848,13	2845,82	2841,21	2237,41	2237,24	2237,05	2236,84	2236,63
Settem...	2230,09	2650,92	2653,66	2672,96	2690,12	2690,12	2733,73	2947,05	2954,34	2961,64
	1671,00	2218,87	2232,56	2232,58	2232,61	2236,63	2236,63	2236,63	2236,63	2236,63

Tab. 5.9 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia. Si evidenziano in giallo la condensazione, in azzurro l'evaporazione. – Mese critico: Marzo.

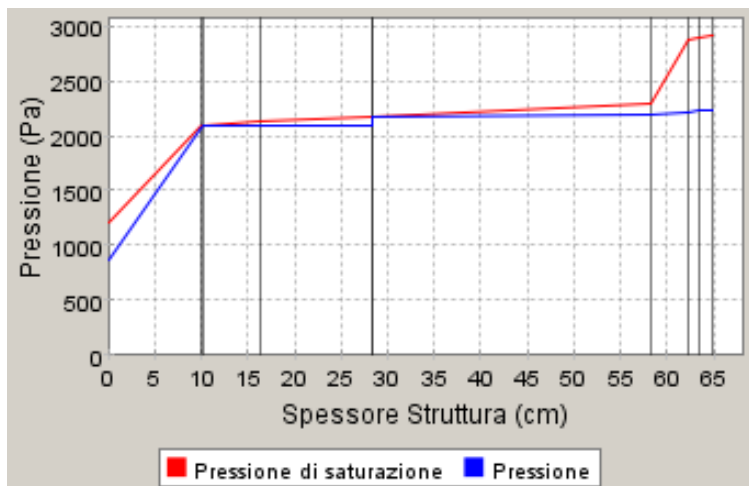


Fig. 5.13 – Diagramma di Glaser – Marzo. Condensa massima accumulata  $347,04 \text{ g/m}^2$ , inferiore al valore limite di  $500 \text{ g/m}^2$



PARTIZIONE ORIZZONTALE P.O. 01 – solaio interpiano stessa temperatura

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
P.O. 01	69	/	/

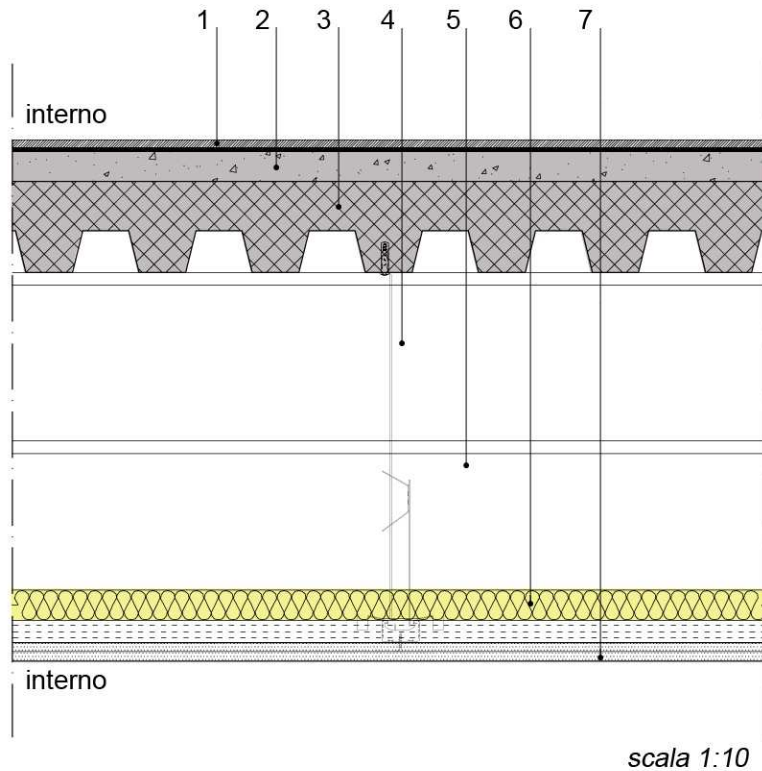


Fig. 5.14 – Composizione stratigrafica della partizione P.O.01

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato di finitura interna - pavimento in legno<br>fissato tramite colla sp. 0,5 cm   | sp. 1,00 cm  |
| 2. Strato resistente portato - massetto di ripartizione dei carichi  | sp. 4,00 cm  |
| 3. Strato resistente portante - lamiera grecata con getto collaborante   | sp. 12,00 cm |
| 4. Strato resistente portante - trave in acciaio HEB 240   |              |
| 5. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata   | sp. 42,00 cm |
| 6. Strato di isolamento termoacustico - materassino in lana di roccia<br>(tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio)  | sp. 4,00 cm  |
| 7. Strato di finitura esterna - controsoffitto con pendino metallico e due<br>lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore<br>(lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113) | sp. 0,125 cm |



PARTIZIONE ORIZZONTALE P.O. 02 – solaio interpiano differenti temperature

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO $U$ (W/m <sup>2</sup> K)
P.O. 02	74	/	/

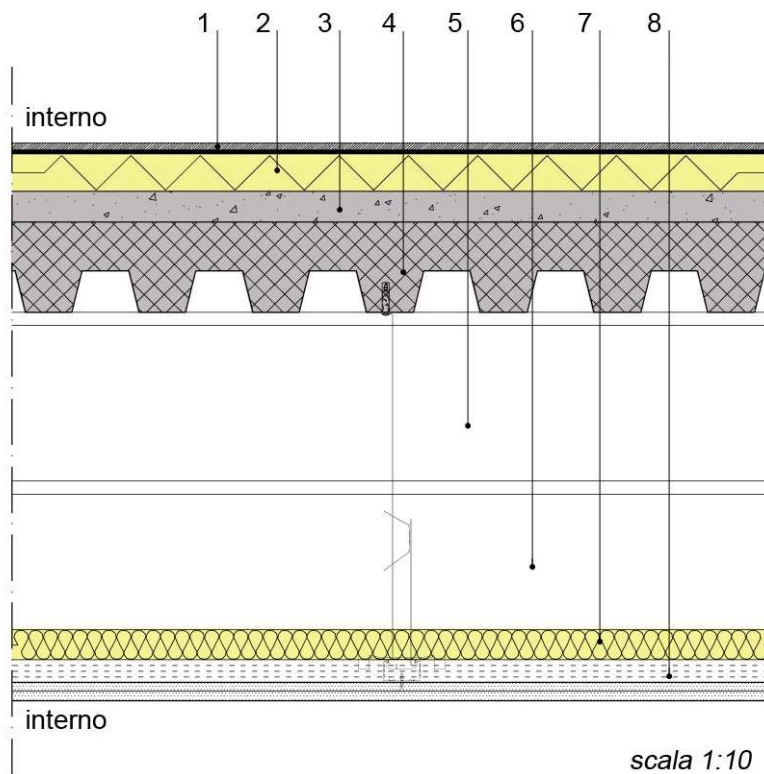


Fig. 5.15 – Composizione stratigrafica della partizione P.O.02

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato di finitura interna - pavimento in legno fissato tramite colla sp. 0,5 cm  | sp. 1,00 cm  |
| 2. Strato di termoisolamento - pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8)   | sp. 5,00 cm  |
| 3. Strato resistente portato - massetto di ripartizione dei carichi  | sp. 4,00 cm  |
| 4. Strato resistente portante - lamiera grecata con getto collaborante   | sp. 12,00 cm |
| 5. Strato resistente portante - trave in acciaio HEB 240   |              |
| 6. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata   | sp. 42,00 cm |
| 7. Strato di isolamento termoacustico - materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio)   | sp. 4,00 cm  |
| 8. Strato di finitura esterna - controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113) | sp. 0,125 cm |



PARTIZIONE ORIZZONTALE P.O. 03 – solaio interpiano locale riscaldato e non

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
P.O. 03	50	/	/

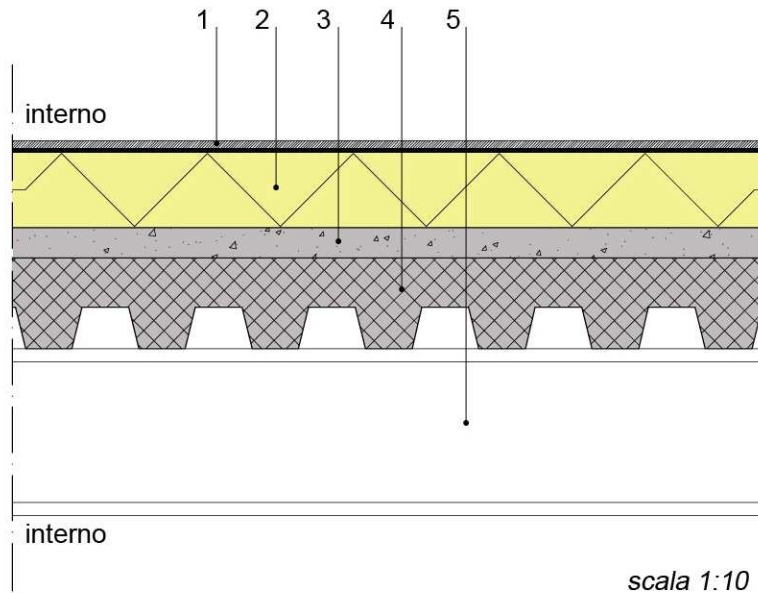


Fig. 5.16 – Composizione stratigrafica della chiusura P.O.04

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato di finitura interna - pavimento in legno fissato tramite colla sp. 0,5 cm            | sp. 1,00 cm  |
| 2. Strato di termoisolamento - pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8) | sp. 10,00 cm |
| 3. Strato resistente portato - massetto di ripartizione dei carichi                            | sp. 4,00 cm  |
| 4. Strato resistente portante - lamiera grecata con getto collaborante                         | sp. 12,00 cm |
| 5. Strato resistente portante - trave in acciaio IPE 220                                       |              |

CHIUSURA VERTICALE C.V. 01 – muro contro terra, locali non riscaldati

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO $U$ (W/m <sup>2</sup> K)
C.V. 01	41	/	/

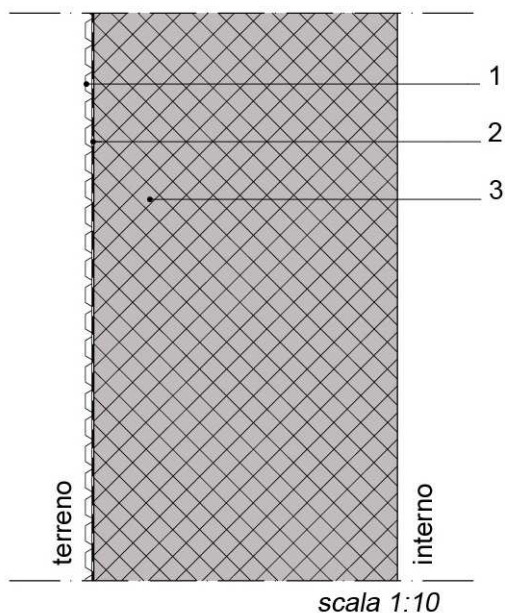


Fig. 5.17 – Composizione stratigrafica della chiusura C.V.01

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato di finitura esterna - membrana bugnata in polietilene ad alta densità (HDPE) | sp. 0,50 cm  |
| 2. Strato di tenuta all'acqua - guaina bituminosa (tipo Pluvitec)                      | sp. 0,30 cm  |
| 3. Strato resistente portante - muro in cemento armato                                 | sp. 40,00 cm |



CHIUSURA VERTICALE C.V. 02 – muro esistente di confine

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA STATO DI FATTO $U_{es}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
C.V. 02	50	2,901	0,34	0,225

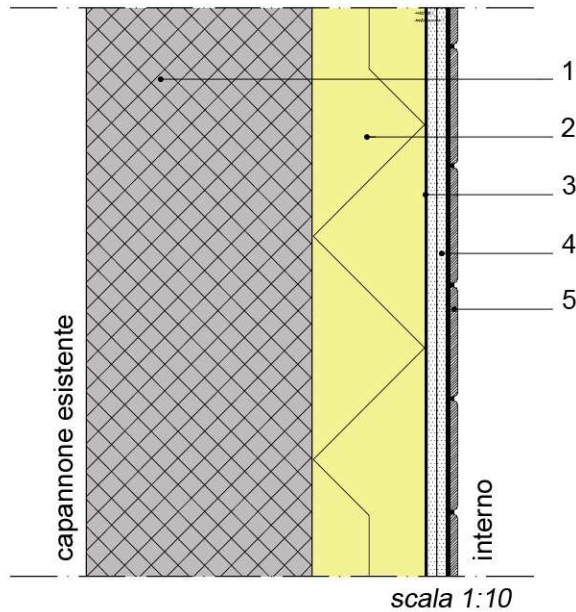


Fig. 5.18 – Composizione stratigrafica della chiusura C.V.02

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Strato resistente portante - muro in cemento armato   | sp. 30,00 cm |
| 2. Strato di termoisolamento - pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8) | sp. 15,00 cm |
| 3. Strato di tenuta al vapore - barriera al vapore (tipo Pluvitec)                             | sp. 0,25 cm  |
| 4. Strato di finitura - doppia lastra di cartongesso (tipo Knauf acquapanel)                   | sp. 0,125 cm |
| 5. Strato di finitura interna - piastrelle in ceramica 15x15 cm fissate con colla sp. 0,5 cm   | sp. 1,00 cm  |

Mese	Press. Ester...	Interf. 1	Interf. 2	Interf. 3	Interf. 4	Press. Interna
Ottobre	1644,05	1696,93	4058,50	4070,67	4100,34	4130,20
	1285,00	1307,43	1311,16	3180,01	3180,19	3180,38
Novembre	1177,80	1230,35	4000,86	4016,79	4055,69	4094,91
	988,00	1013,94	1018,26	3179,95	3180,16	3180,38
Dicembre	904,15	953,81	3957,27	3976,00	4021,82	4068,11
	754,00	782,71	787,49	3179,90	3180,14	3180,38
Gennaio	820,58	868,84	3941,72	3961,45	4009,73	4058,52
	676,00	705,63	710,57	3179,88	3180,13	3180,38
Febbraio	929,36	979,40	3961,72	3980,17	4025,29	4070,85
	735,00	763,93	768,76	3179,90	3180,14	3180,38
Marzo	1209,61	1262,35	4005,36	4020,99	4059,17	4097,67
	875,00	902,28	906,82	3179,92	3180,15	3180,38
Aprile	1541,61	1594,82	4047,14	4060,05	4091,55	4123,26
	1106,00	1130,54	1134,63	3179,97	3180,17	3180,38
Maggio	1831,94	1883,70	4077,88	4088,77	4115,32	4142,03
	1314,00	1336,08	1339,76	3180,01	3180,19	3180,38
Giugno	2364,43	2410,02	4124,93	4132,71	4151,65	4170,66
	1666,00	1683,92	1686,90	3180,08	3180,23	3180,38
Luglio	2751,68	2790,49	4153,86	4159,70	4173,93	4188,20
	1844,00	1859,81	1862,45	3180,12	3180,25	3180,38
Agosto	2670,08	2710,46	4148,06	4154,29	4169,46	4184,69
	1855,00	1870,68	1873,30	3180,12	3180,25	3180,38
Settembre	2237,19	2284,61	4114,56	4123,03	4143,65	4164,36
	1671,00	1688,86	1691,84	3180,08	3180,23	3180,38

Tab. 5.10 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia. – Mese critico: Febbraio

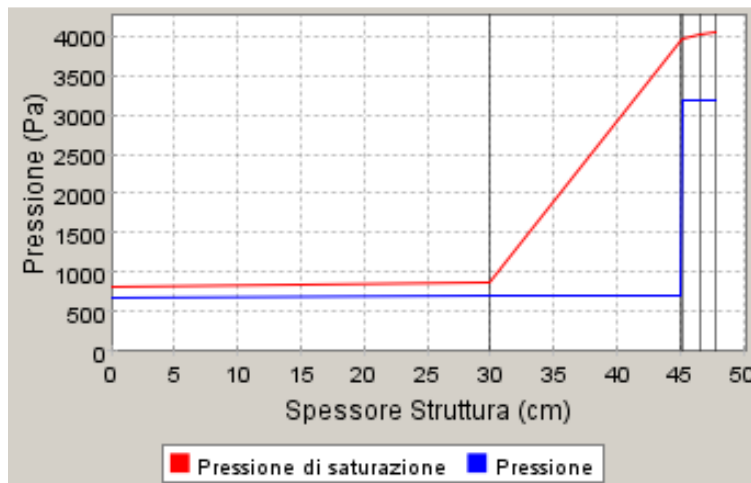
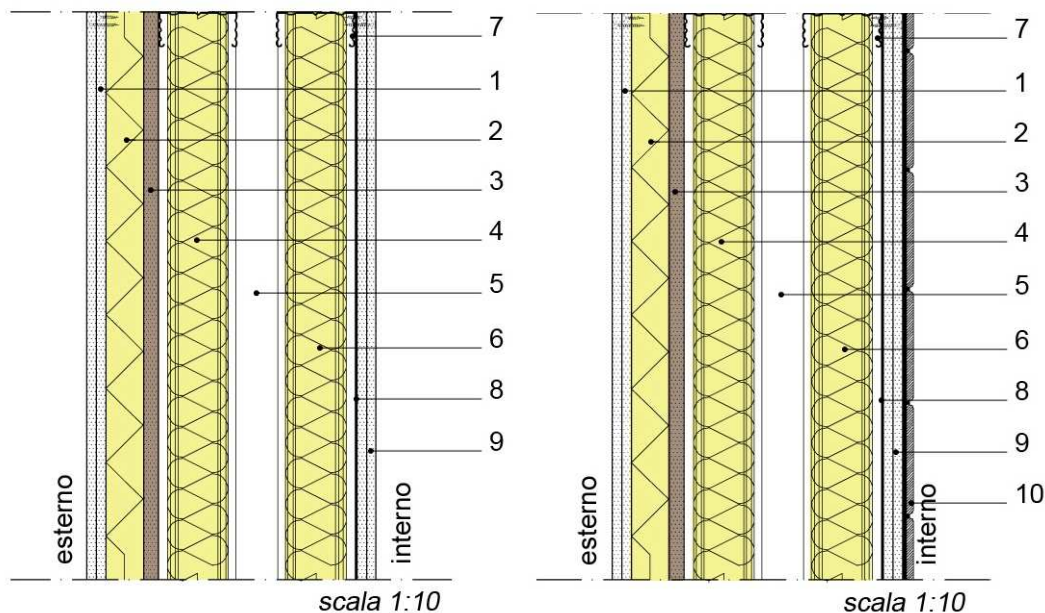


Fig. 5.19 – Diagramma di Glaser – Febbraio. Condensa non presente.



CHIUSURA VERTICALE C.V. 03 – parete esterna perimetrale.

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO U (W/m <sup>2</sup> K)
C.V. 03	38/40	0,340	0,157



Figg. 5.20, 5.21 – Composizione stratigrafica della chiusura C.V.03

1. Strato di finitura esterna - doppia lastra di cartongesso  
(lastre tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
2. Strato di termoisolamento - pannelli in polistirene espanso estruso  
(tipo Greypor F100 TK8) sp. 5,00 cm
3. Strato resistente portante - lastra Duripanel sp. 2,00 cm
4. Strato di termoisolamento - pannelli rigiri in lana di roccia  
(tipo Knauf isoroccia) sp. 8,00 cm
5. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata sp. 10,00 cm
6. Strato di termoisolamento - pannelli rigiri in lana di roccia  
(tipo Knauf isoroccia) sp. 8,00 cm
7. Elemento di fissaggio - profilo a C 100/50 sp. 0,6 mm
8. Strato di termoisolamento - barriera al vapore (tipo Pluvitec) sp. 0,25 cm
9. Strato di finitura interna- doppia lastra di cartongesso  
(tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
10. Strato di finitura interna - piastrelle in ceramica 15x15 cm  
fissate con colla sp. 0,5 cm

Mese	Press....	Interf. 1	Interf. 2	Interf. 3	Interf. 4	Interf. 5	Interf. 6	Interf. 7	Interf. 8	Interf. 9	Press...
Ottobre	1635,53	1645,14	1654,80	1887,86	1898,31	2333,26	2382,05	2911,10	2915,03	2930,96	2946,96
	1285,00	1285,03	1285,05	1285,68	1285,79	1285,81	1285,83	1285,85	2236,58	2236,61	2236,63
Novem...	1170,35	1181,30	1192,33	1468,43	1481,25	2044,48	2111,13	2874,33	2880,25	2904,33	2928,59
	988,00	988,03	988,07	988,90	989,03	989,06	989,09	989,12	2236,57	2236,60	2236,63
Dicem...	897,59	908,55	919,63	1205,29	1218,92	1845,25	1922,54	2846,49	2853,91	2884,12	2914,61
	754,00	754,04	754,08	755,07	755,22	755,26	755,30	755,33	2236,55	2236,59	2236,63
Gennaio	814,34	825,16	836,10	1121,50	1135,26	1778,01	1858,54	2836,55	2844,50	2876,89	2909,60
	676,00	676,04	676,08	677,12	677,29	677,32	677,36	677,40	2236,55	2236,59	2236,63
Febbr...	922,71	933,70	944,80	1230,22	1243,80	1864,87	1941,18	2849,33	2856,60	2886,19	2916,04
	735,00	735,04	735,08	736,08	736,24	736,27	736,31	736,34	2236,55	2236,59	2236,63
Marzo	1202,08	1212,97	1223,96	1498,07	1510,77	2065,94	2131,35	2877,20	2882,97	2906,41	2930,03
	875,00	875,04	875,07	875,98	876,12	876,15	876,19	876,22	2236,56	2236,60	2236,63
Aprile	1533,29	1543,30	1553,38	1798,20	1809,26	2273,98	2326,65	2903,86	2908,18	2925,72	2943,35
	1106,00	1106,03	1106,06	1106,81	1106,93	1106,96	1106,99	1107,01	2236,57	2236,60	2236,63
Maggio	1823,11	1831,82	1840,57	2049,28	2058,54	2437,14	2478,87	2923,45	2926,70	2939,88	2953,11
	1314,00	1314,02	1314,05	1314,66	1314,76	1314,78	1314,81	1314,83	2236,58	2236,61	2236,63
Giugno	2355,02	2360,32	2365,64	2489,24	2494,58	2704,47	2726,67	2953,42	2955,02	2961,49	2967,97
	1666,00	1666,02	1666,03	1666,41	1666,47	1666,48	1666,50	1666,51	2236,60	2236,62	2236,63
Luglio	2742,06	2744,23	2746,41	2796,23	2798,35	2879,75	2888,15	2971,83	2972,40	2974,74	2977,07
	1844,00	1844,01	1844,02	1844,28	1844,32	1844,33	1844,34	1844,35	2236,61	2236,62	2236,63
Agosto	2660,49	2663,36	2666,24	2732,31	2735,14	2843,93	2855,20	2968,14	2968,92	2972,08	2975,25
	1855,00	1855,01	1855,02	1855,27	1855,32	1855,32	1855,33	1855,34	2236,61	2236,62	2236,63
Sette...	2227,88	2234,10	2240,34	2386,17	2392,51	2643,69	2670,50	2946,82	2948,78	2956,73	2964,70
	1671,00	1671,02	1671,03	1671,41	1671,47	1671,48	1671,49	1671,51	2236,60	2236,62	2236,63

Tab. 5.11 – Profilo delle pressioni all'interno della stratigrafia. – Mese critico: Gennaio.

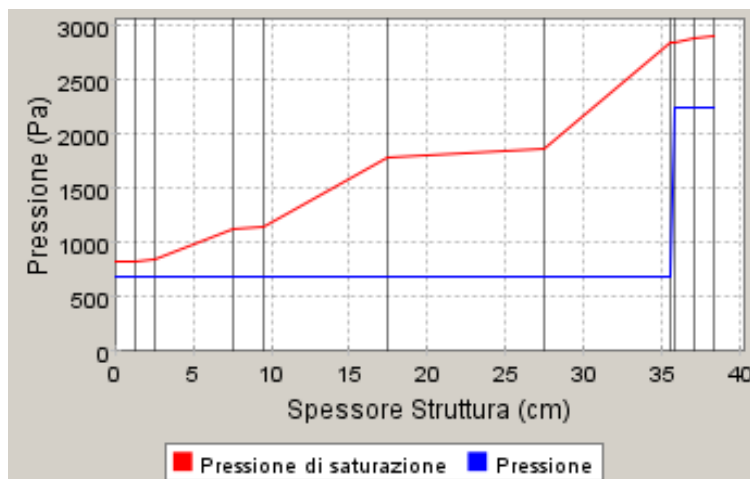
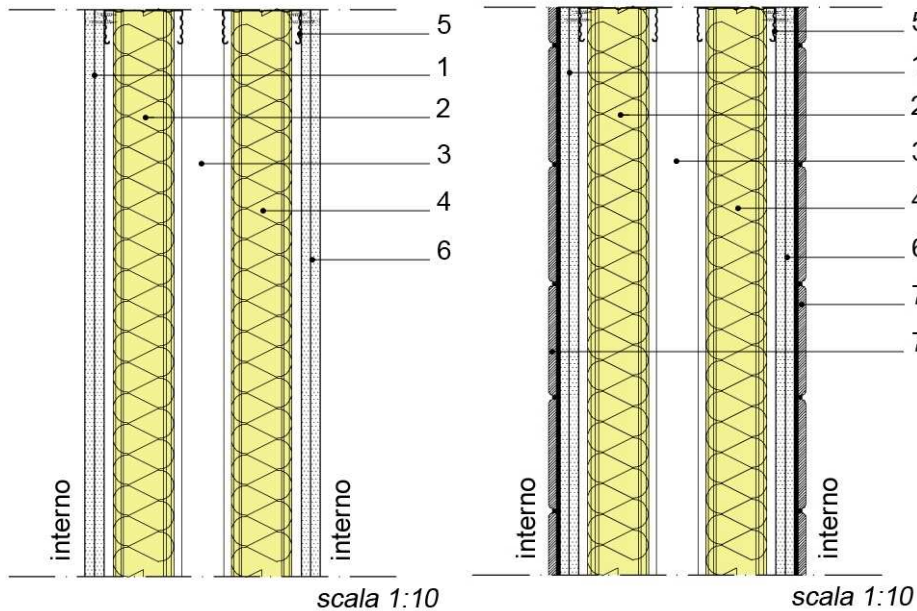


Fig. 5.22 – Diagramma di Glaser – Gennaio. Condensa non presente.



PARTIZIONE VERTICALE P.V. 01 – divisorio interno

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ ( $W/m^2K$ )	TRASMITTANZA PACCHETTO $U$ ( $W/m^2K$ )
P.V. 01	30/32/34	/	/



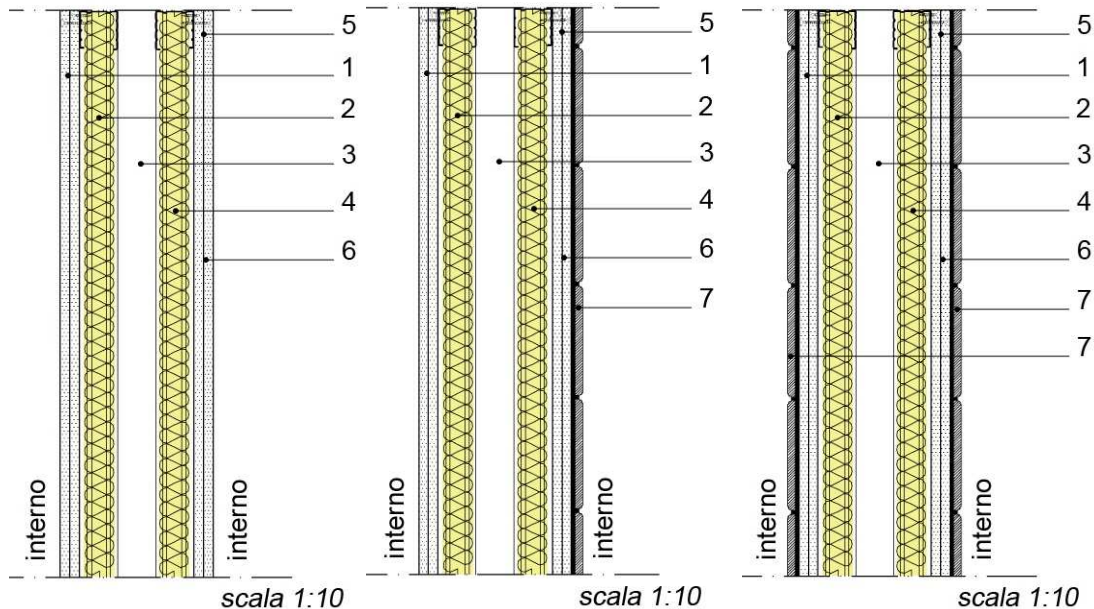
Figg. 5.23, 5.24 – Composizione stratigrafica della chiusura P.V.01

1. Strato di finitura interna - doppia lastra di cartongesso  
(lastre tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
2. Strato di termoisolamento - pannelli rigiri in lana di roccia  
(tipo Knauf isoroccia) sp. 8,00 cm
3. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata sp. 10,00 cm
4. Strato di termoisolamento - pannelli rigiri in lana di roccia  
(tipo Knauf isoroccia) sp. 8,00 cm
5. Elemento di fissaggio - profilo a C 100/50 sp. 0,6 mm
6. Strato di finitura interna - doppia lastra di cartongesso  
(tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
7. Strato di finitura interna - piastrelle in ceramica 15x15 cm  
fissate con colla sp. 0,5 cm sp. 1,00 cm



PARTIZIONE VERTICALE P.V. 02 – divisorio interno

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ (W/m <sup>2</sup> K)	TRASMITTANZA PACCHETTO $U$ (W/m <sup>2</sup> K)
P.V. 02	20/22/24	/	/



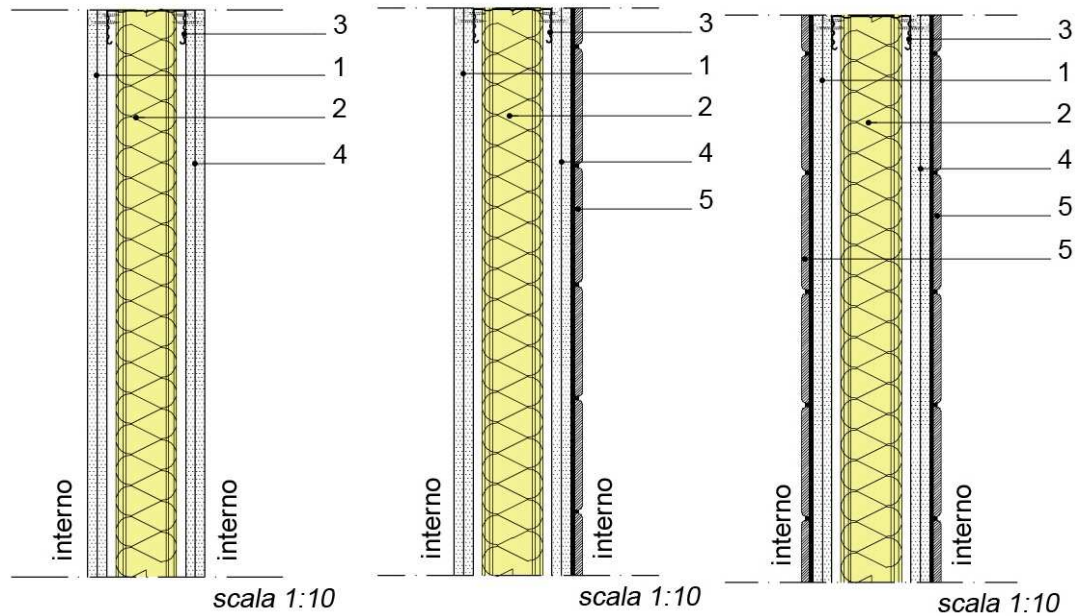
Figg. 5.25, 5.26, 5.27 – Composizione stratigrafica della chiusura P.V.02

1. Strato di finitura interna - doppia lastra di cartongesso  
(lastre tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
2. Strato di termoisolamento - pannelli rigiri in lana di roccia  
(tipo Knauf isoroccia) sp. 4,00 cm
3. Strato di termoisolamento - camera d'aria non ventilata sp. 5,00 cm
4. Strato di termoisolamento - pannelli rigiri in lana di roccia  
(tipo Knauf isoroccia) sp. 4,00 cm
5. Elemento di fissaggio - profilo a C 50/50 sp. 0,6 mm
6. Strato di finitura - doppia lastra di cartongesso  
(tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
7. Strato di finitura interna – piastrelle in ceramica 15x15 cm  
fissate con colla sp. 0,5 cm sp. 1,00 cm



PARTIZIONE VERTICALE P.V. 03 – divisorio interno

CODICE PACCHETTO	SPESSORE (cm)	TRASMITTANZA LIMITE $U_{lim}$ ( $W/m^2K$ )	TRASMITTANZA PACCHETTO $U$ ( $W/m^2K$ )
P.V. 03	15/17/19	/	/



Figg. 5.28, 5.29, 5.30 – Composizione stratigrafica della chiusura P.V.03

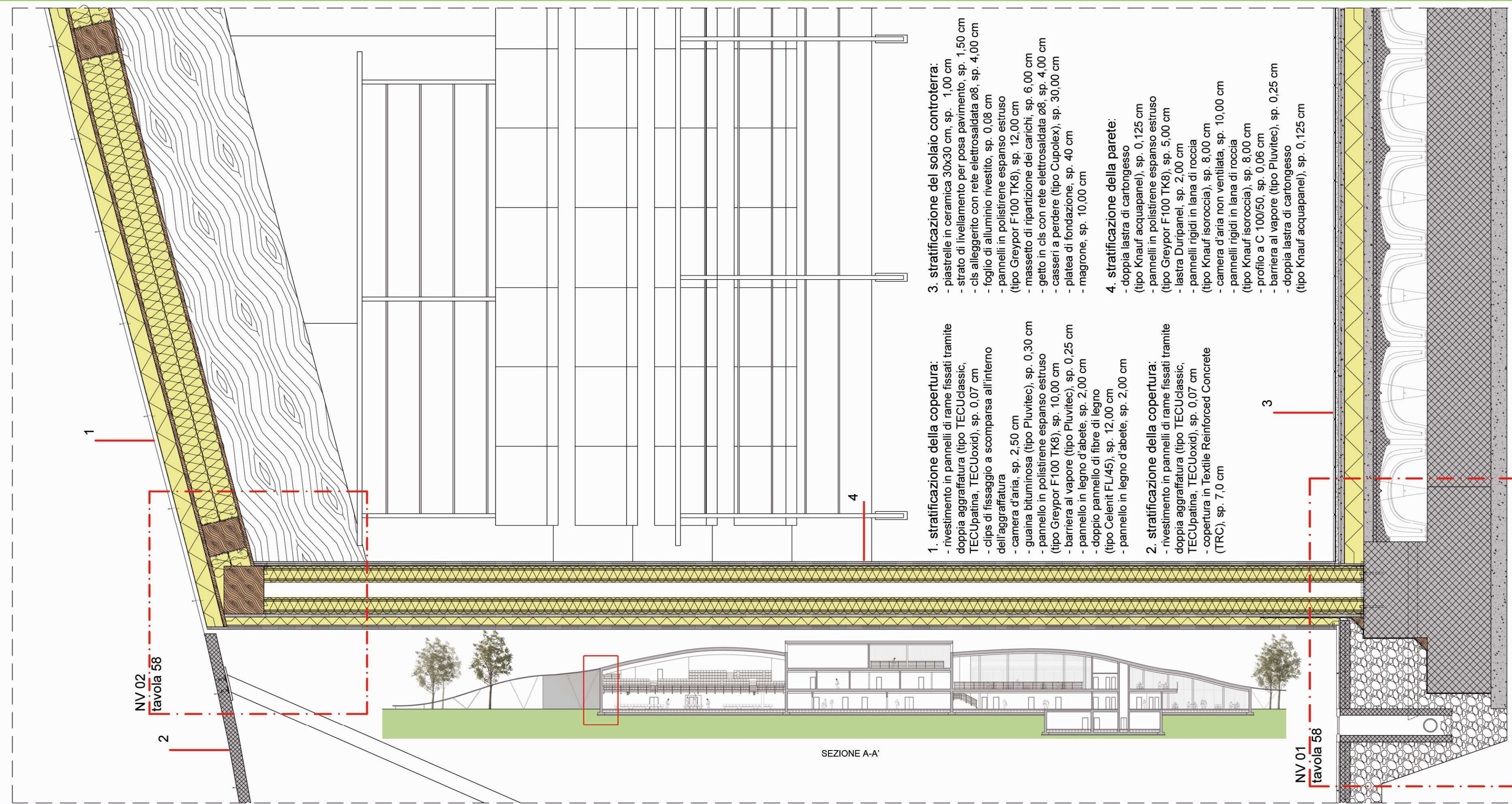
1. Strato di finitura interna – piastrelle in ceramica 15x15 cm  
fissate con colla sp. 0,5 cm sp. 1,00 cm
2. Strato di finitura - doppia lastra di cartongesso  
(lastre tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
3. Strato di termoisolamento - pannelli rigidi in lana di roccia  
(tipo Knauf isorocchia) sp. 8,00 cm
4. Elemento di fissaggio - profilo a C 100/50 sp. 0,6 mm
5. Strato di finitura - doppia lastra di cartongesso  
(tipo Knauf acquapanel) sp. 0,125 cm
6. Strato di finitura interna – piastrelle in ceramica 15x15 cm  
fissate con colla sp. 0,5 cm sp. 1,00 cm



## **5.2 Sezioni tecnologiche**

Successivamente alla definizione di tutti i pacchetti tecnologici dell'edificio si procede studiando le sezioni intere più significative.

Per quanto riguarda le parti esistenti, si è intervenuto sostituendo gli elementi che non garantivano più le specifiche richieste, ovvero i serramenti e i manti impermeabili. I primi non garantivano più una tenuta termica adeguata, mentre i secondi non mantenevano più la tenuta all'acqua necessaria.



**1. stratificazione della copertura:**

- rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm
- clips di fissaggio a scomparsa all'interno dell'aggraffatura
- camera d'aria, sp. 2,50 cm
- guaina bituminosa (tipo Pluvitec), sp. 0,30 cm
- pannello in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 10,00 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- pannello in legno d'abete, sp. 2,00 cm
- doppio pannello di fibre di legno (tipo Celenit FL/45), sp. 12,00 cm
- pannello in legno d'abete, sp. 2,00 cm

**2. stratificazione della copertura:**

- rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm
- copertura in Textile Reinforced Concrete (TRC), sp. 7,0 cm

**3. stratificazione del solaio controterra:**

- piastrelle in ceramica 30x30 cm, sp. 1,00 cm
- strato di livellamento per posa pavimento, sp. 1,50 cm
- cls alleggerito con rete elettrosaldata Ø8, sp. 4,00 cm
- foglio di alluminio rivestito, sp. 0,08 cm
- pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 12,00 cm
- massetto di ripartizione dei carichi, sp. 6,00 cm
- getto in cls con rete elettrosaldata Ø8, sp. 4,00 cm
- casseri a perdere (tipo Cupolex), sp. 30,00 cm
- platea di fondazione, sp. 40 cm
- magrone, sp. 10,00 cm

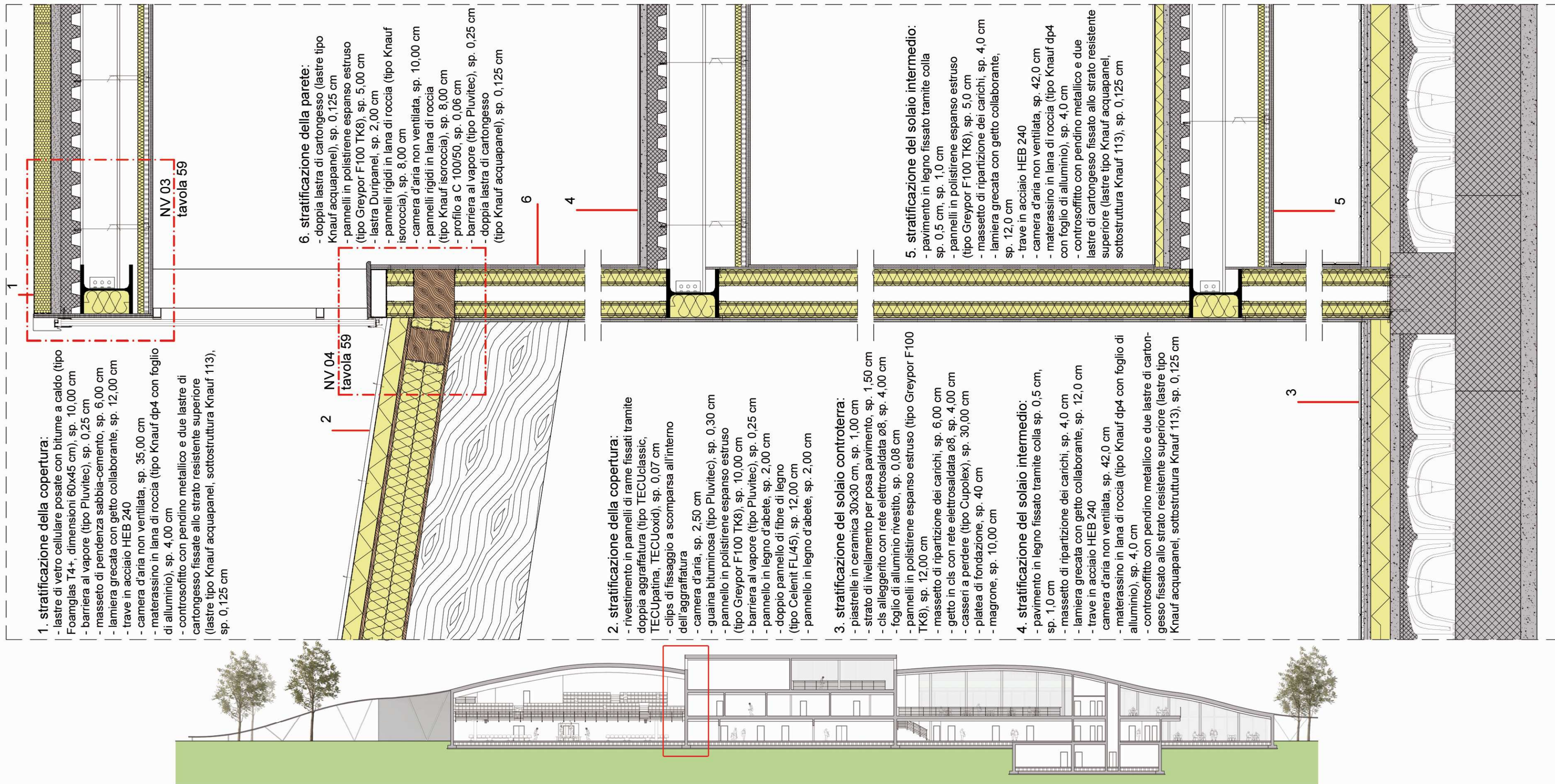
**4. stratificazione della parete:**

- doppia lastra di cartongesso (tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm
- pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 5,00 cm
- lastra Duripanel, sp. 2,00 cm
- pannelli rigidi in lana di roccia (tipo Knauf isoroccia), sp. 8,00 cm
- camera d'aria non ventilata, sp. 10,00 cm
- pannelli rigidi in lana di roccia (tipo Knauf isoroccia), sp. 8,00 cm
- profilo a C 100/50, sp. 0,06 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- doppia lastra di cartongesso (tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm

3

SEZIONE A-A'

TAVOLA 54: SEZIONE DETTAGLIATA  
scala 1:20



**1. stratificazione della copertura:**

- lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm), sp. 10,00 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- massetto di pendenza sabbia-cemento, sp. 6,00 cm
- lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,00 cm
- trave in acciaio HEB 240
- camera d'aria non ventilata, sp. 35,00 cm
- materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,00 cm
- controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113), sp. 0,125 cm

**6. stratificazione della parete:**

- doppia lastra di cartongesso (lastre tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm
- pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 5,00 cm
- lastra Duripanel, sp. 2,00 cm
- pannelli rigidi in lana di roccia (tipo Knauf isoroccia), sp. 8,00 cm
- camera d'aria non ventilata, sp. 10,00 cm
- pannelli rigidi in lana di roccia (tipo Knauf isoroccia), sp. 8,00 cm
- profilo a C 100/50, sp. 0,06 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- doppia lastra di cartongesso (tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm

**2. stratificazione della copertura:**

- rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm
- clips di fissaggio a scomparsa all'interno dell'aggraffatura
- camera d'aria, sp. 2,50 cm
- guaina bituminosa (tipo Pluvitec), sp. 0,30 cm
- pannello in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 10,00 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- pannello in legno d'abete, sp. 2,00 cm
- doppio pannello di fibre di legno (tipo Celenit FL/45), sp. 12,00 cm
- pannello in legno d'abete, sp. 2,00 cm

**3. stratificazione del solaio controterra:**

- piastrelle in ceramica 30x30 cm, sp. 1,00 cm
- strato di livellamento per posa pavimento, sp. 1,50 cm
- cls alleggerito con rete elettrosaldata Ø8, sp. 4,00 cm
- foglio di alluminio rivestito, sp. 0,08 cm
- pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 12,00 cm
- massetto di ripartizione dei carichi, sp. 6,00 cm
- getto in cls con rete elettrosaldata Ø8, sp. 4,00 cm
- casseri a perdere (tipo Cupolex), sp. 30,00 cm
- platea di fondazione, sp. 40 cm
- magrone, sp. 10,00 cm

**4. stratificazione del solaio intermedio:**

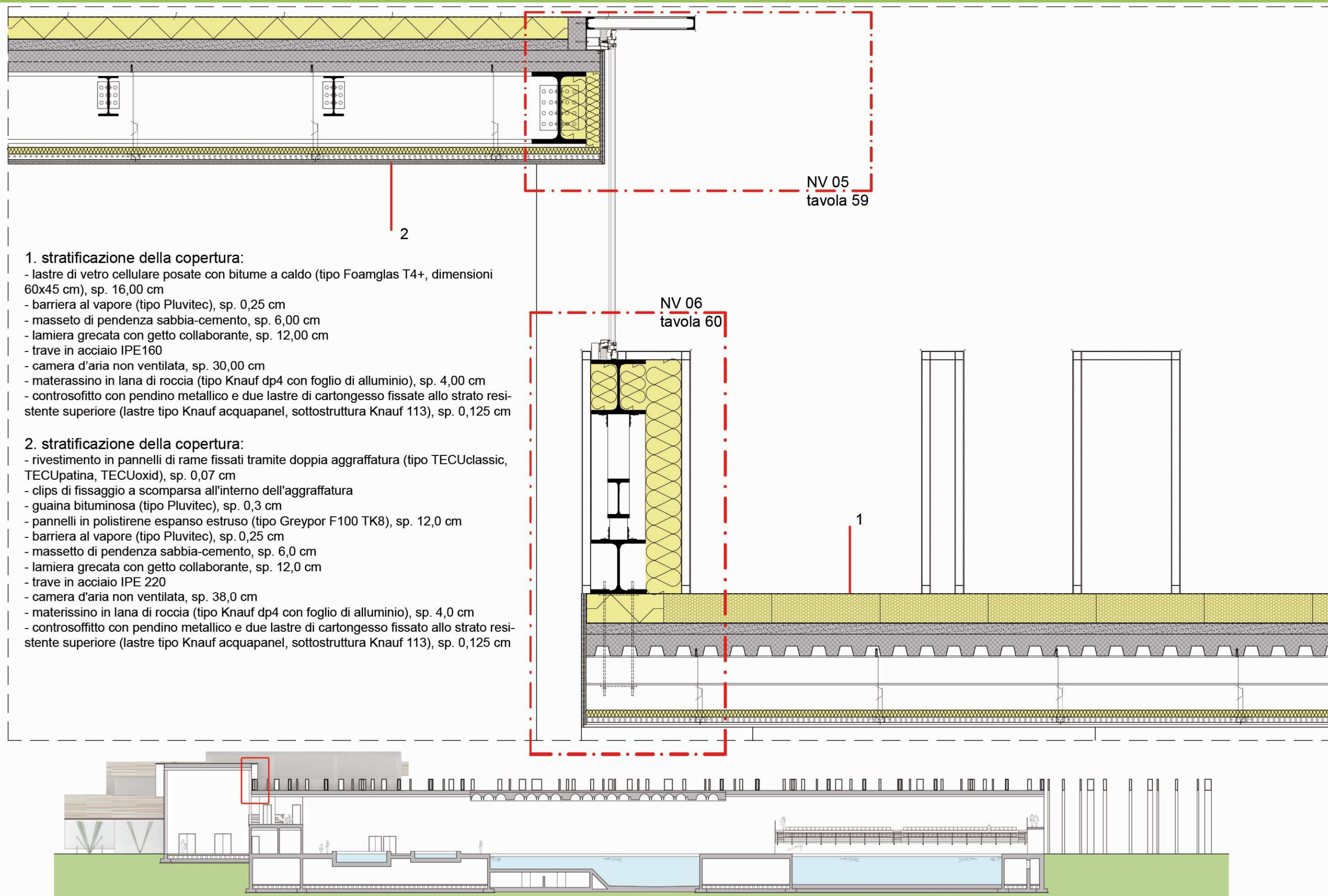
- pavimento in legno fissato tramite colla sp. 1,0 cm
- massetto di ripartizione dei carichi, sp. 4,0 cm
- lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,0 cm
- trave in acciaio HEB 240
- camera d'aria non ventilata, sp. 42,0 cm
- materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,0 cm
- controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113), sp. 0,125 cm

**5. stratificazione del solaio intermedio:**

- pavimento in legno fissato tramite colla sp. 0,5 cm, sp. 1,0 cm
- pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 5,0 cm
- massetto di ripartizione dei carichi, sp. 4,0 cm
- lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,0 cm
- trave in acciaio HEB 240
- camera d'aria non ventilata, sp. 42,0 cm
- materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,0 cm
- controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113), sp. 0,125 cm

SEZIONE A-A'

TAVOLA 55: SEZIONE DETTAGLIATA  
scala 1:20



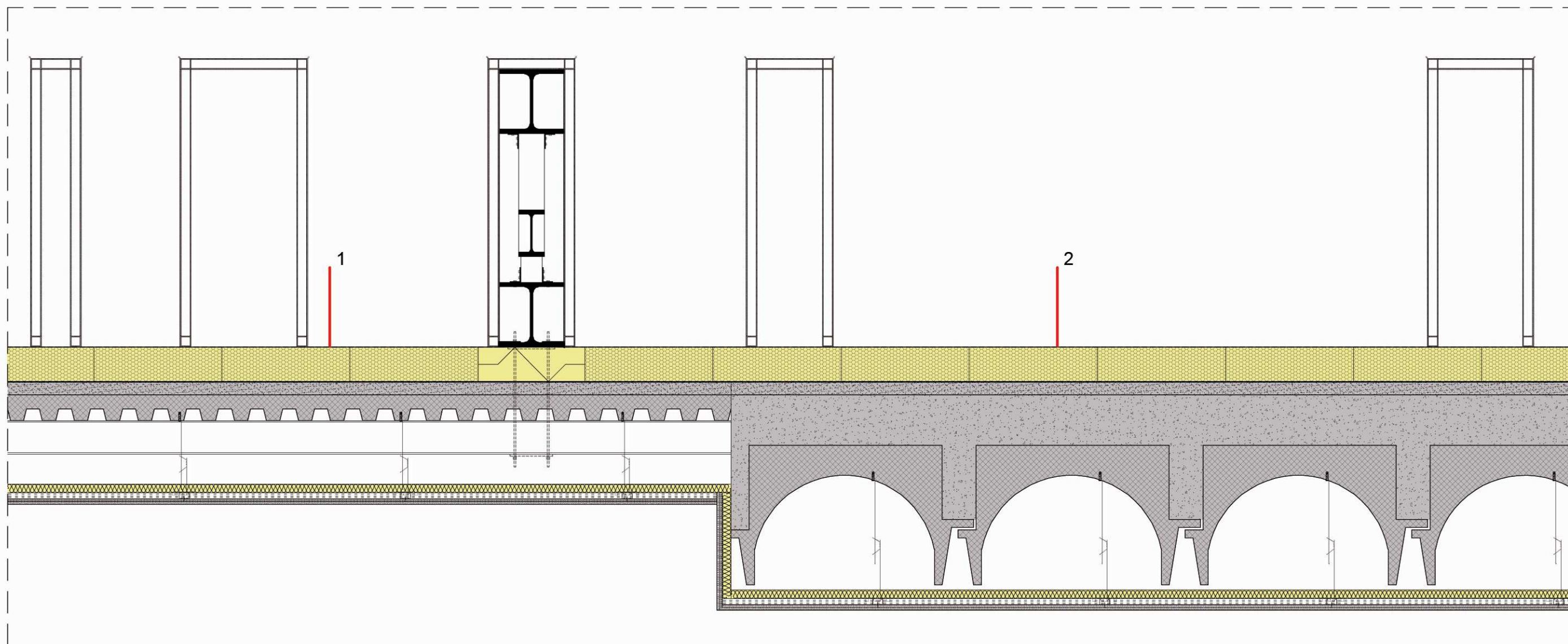
**1. stratificazione della copertura:**

- lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm), sp. 16,00 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- masseto di pendenza sabbia-cemento, sp. 6,00 cm
- lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,00 cm
- trave in acciaio IPE160
- camera d'aria non ventilata, sp. 30,00 cm
- materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,00 cm
- controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113), sp. 0,125 cm

**2. stratificazione della copertura:**

- rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm
- clips di fissaggio a scomparsa all'interno dell'aggraffatura
- guaina bituminosa (tipo Pluvitec), sp. 0,3 cm
- pannelli in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 12,0 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- masseto di pendenza sabbia-cemento, sp. 6,0 cm
- lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,0 cm
- trave in acciaio IPE 220
- camera d'aria non ventilata, sp. 38,0 cm
- materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,0 cm
- controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissato allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113), sp. 0,125 cm

SEZIONE B-B'

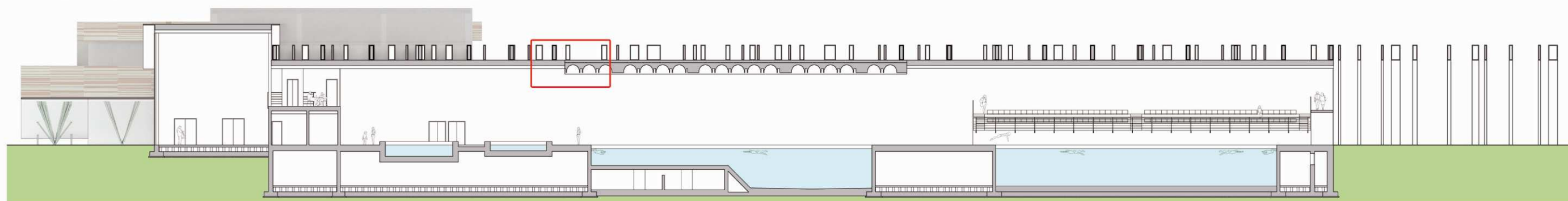


**1. stratificazione della copertura:**

- lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm), sp. 16,00 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- masseto di pendenza sabbia-cemento, sp. 6,00 cm
- lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,00 cm
- trave in acciaio IPE160
- camera d'aria non ventilata, sp. 30,00 cm
- materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,00 cm
- controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113), sp. 0,125 cm

**2. stratificazione della copertura:**

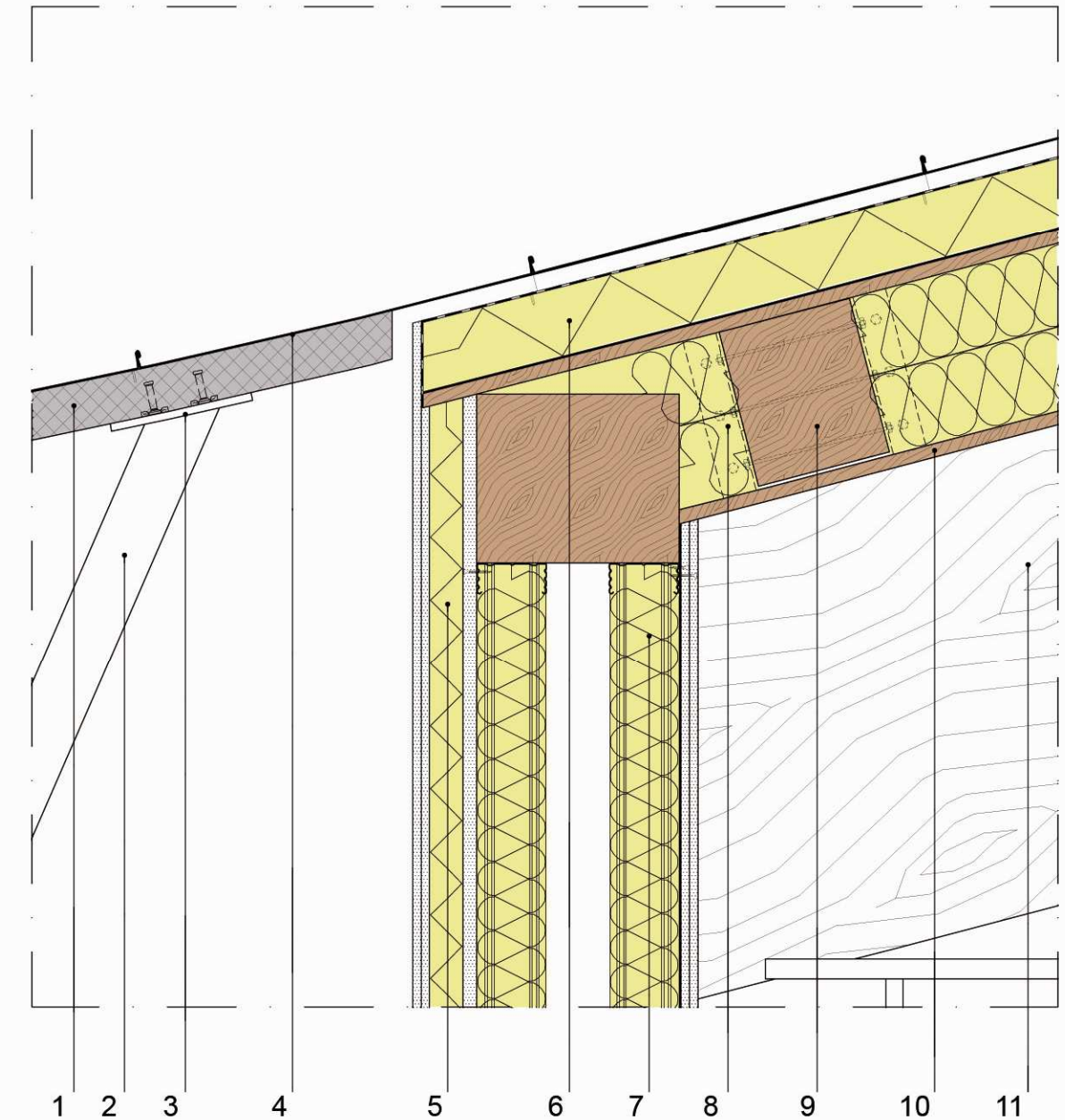
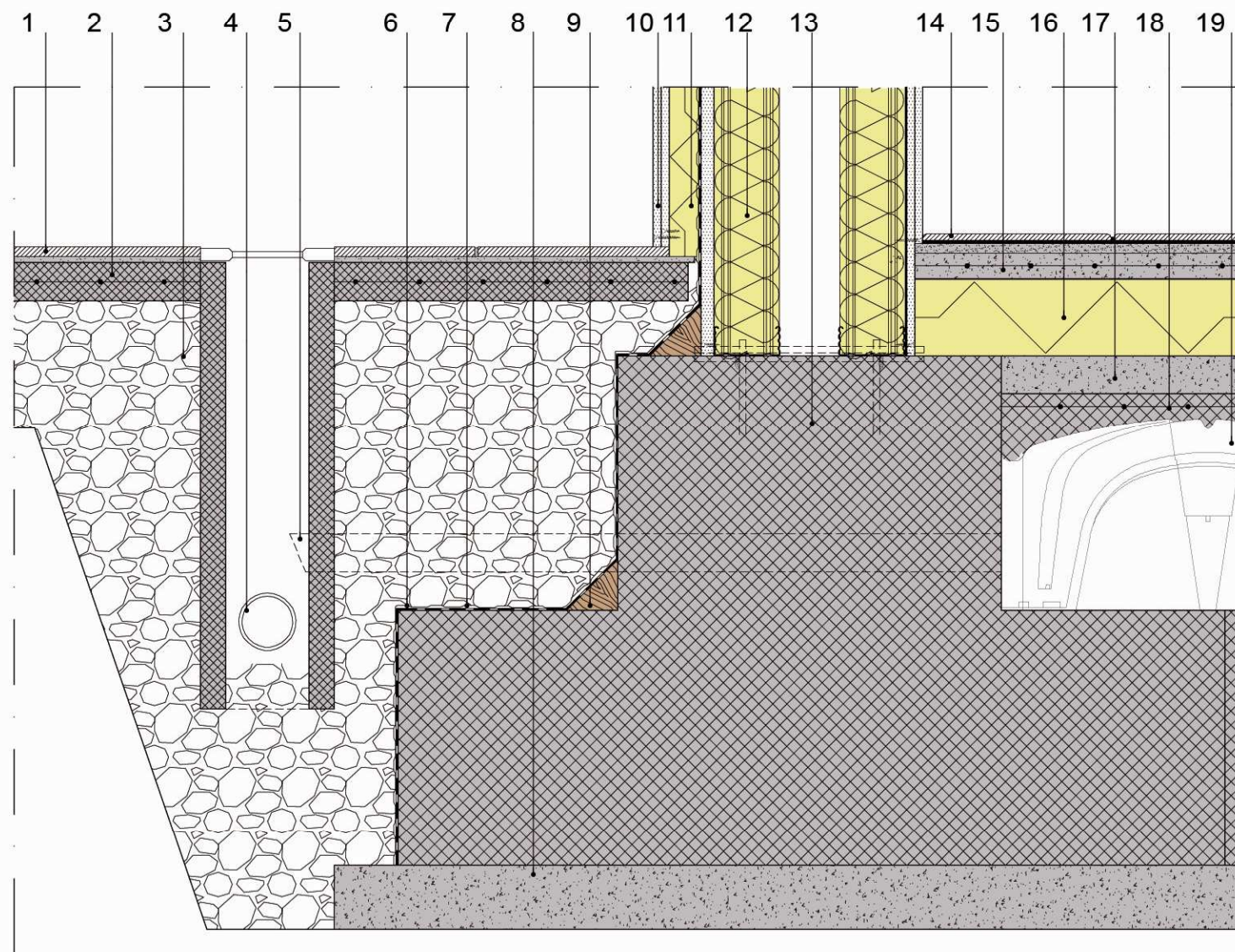
- lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm), sp. 16,00 cm
- barriera al vapore (tipo Pluvitec), sp. 0,25 cm
- masseto di pendenza sabbia-cemento, sp. 6,00 cm
- struttura esistente composta da tegoli prefabbricati in cemento armato e getto di completamento in c.a., sp. 89,00 cm
- materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,00 cm
- controsoffitto con pendino metallico e due lastre di cartongesso fissate allo strato resistente superiore (lastre tipo Knauf acquapanel, sottostruttura Knauf 113), sp. 0,125 cm



SEZIONE B-B'

## NODO 01

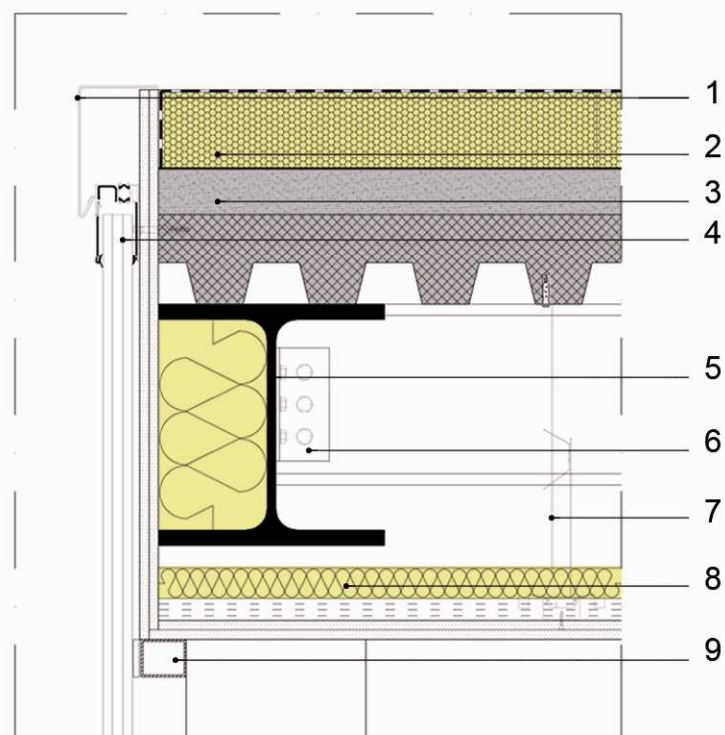
- 01\_ pavimentazione esterna con piastrelle di ceramica, sp. 1,5 cm
- 02\_ masseto in cls alleggerito con rete elettrosaldata  $\phi 8$  mm, sp. 0,6 cm
- 03\_ terra di riporto in ghiaia drenante
- 04\_ tubo in plastica per raccolta dell'acqua piovana,  $\phi 90$  mm
- 05\_ tubo in plastica per l'aerazione del vespaio,  $\phi 60$  mm
- 06\_ membrana bugnata in polietilene estruso, ps. 0,16 cm
- 07\_ guaina bituminosa
- 08\_ magrone di fondazione, sp. 10 cm
- 09\_ tassello in legno
- 10\_ doppia lastra in cartongesso (tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm
- 11\_ pannello in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 5,00 cm
- 12\_ pannello rigido in lana di roccia (tipo Knauf isoroccia), sp. 8,00 cm
- 13\_ plinto di fondazione, sp. 40 cm
- 14\_ piastrelle in ceramica 30x30 cm, sp. 1,00 cm
- 15\_ cls alleggerito con rete elettrosaldata  $\phi 8$ , sp. 4,00 cm
- 16\_ pannello in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 12,00 cm
- 17\_ massetto di ripartizione dei carichi, sp. 6,00 cm
- 18\_ getto di completamento in cls con rete elettrosaldata  $\phi 8$ , sp. 4,00 cm
- 19\_ casseri a perdere (tipo Cupolex), sp. 30,00 cm



## NODO 02

- 01\_ copertura in Textile Reinforced Concrete (TRC), sp. 7,0 cm
- 02\_ pilastro in acciaio  $\phi 10$
- 03\_ piastra di fissaggio tra il pilastro in acciaio e la copertura in TRC, sp. 1,2 cm
- 04\_ rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm
- 05\_ pannello in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 5,00 cm
- 06\_ pannello in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 10,00 cm
- 07\_ pannello rigido in lana di roccia (tipo Knauf isoroccia), sp. 8,00 cm
- 08\_ piastra a bicchiere di ancoraggio tra la trave principale e i travetti
- 09\_ travetti in legno 16x24 cm
- 10\_ pannello in legno d'abete, sp. 2,00 cm
- 11\_ trave lamellare 26x120 cm



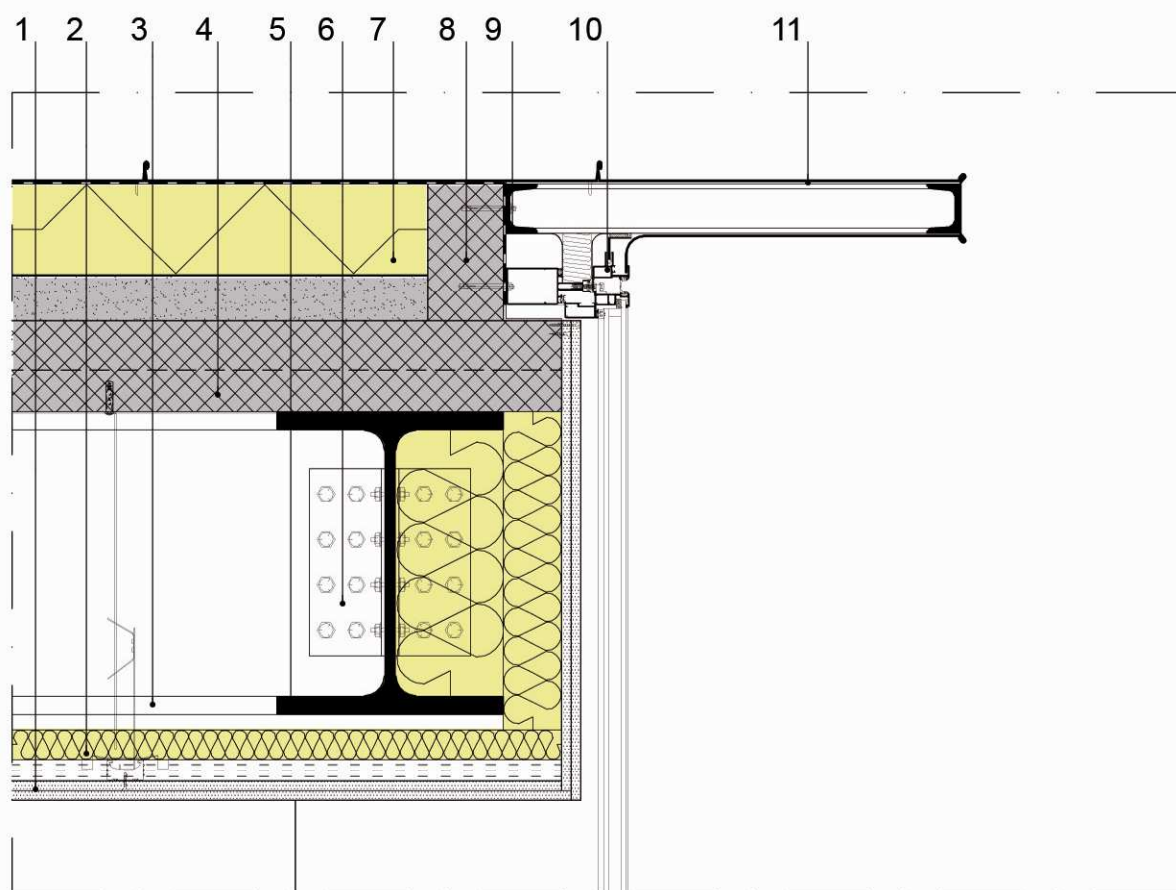
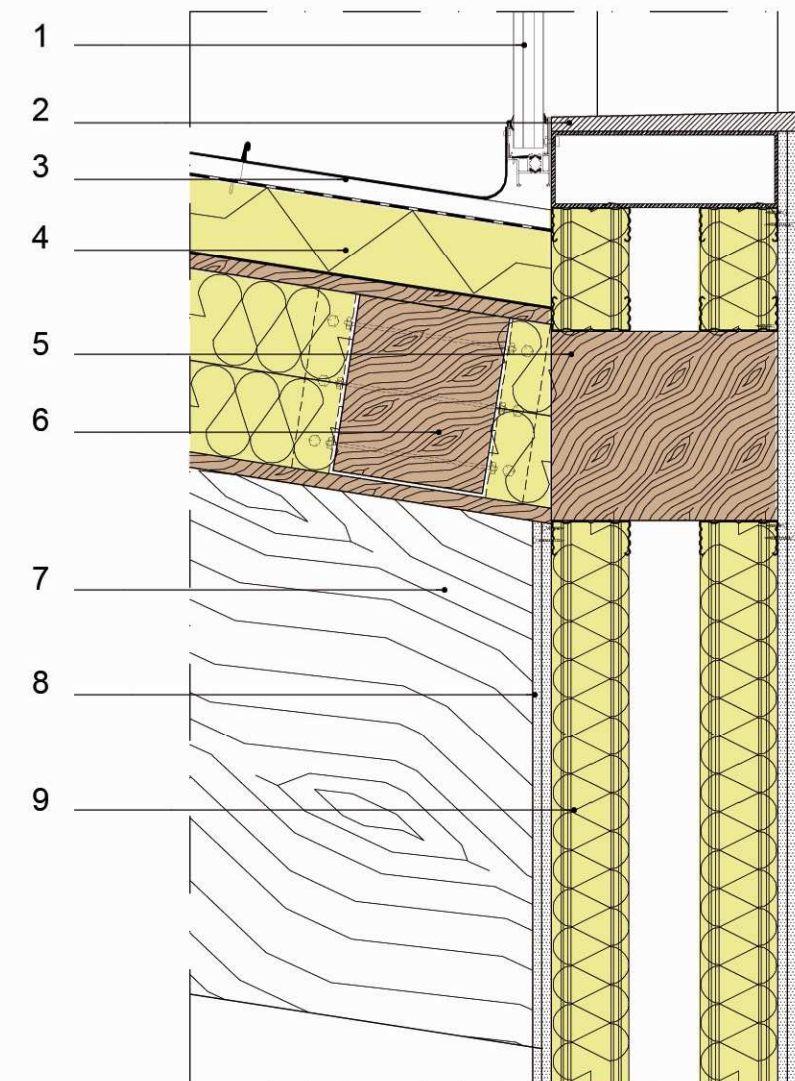


### NODO 03

- 01\_ scossalina metallica, sp. 0,06 cm
- 02\_ lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm), sp. 10,00 cm
- 03\_ massetto di pendenza sabbia-cemento, sp. 6,00 cm
- 04\_ serramento in policarbonato, sp. 4,0 cm
- 05\_ trave di bordo in acciaio HEB 320
- 06\_ piastra di ancoraggio in acciaio tra la trave di bordo e la secondaria
- 07\_ pendino metallico di ancoraggio del controsoffitto (Knauf 113)
- 08\_ materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,00 cm
- 09\_ doppia lastra di cartongesso (lastre tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm

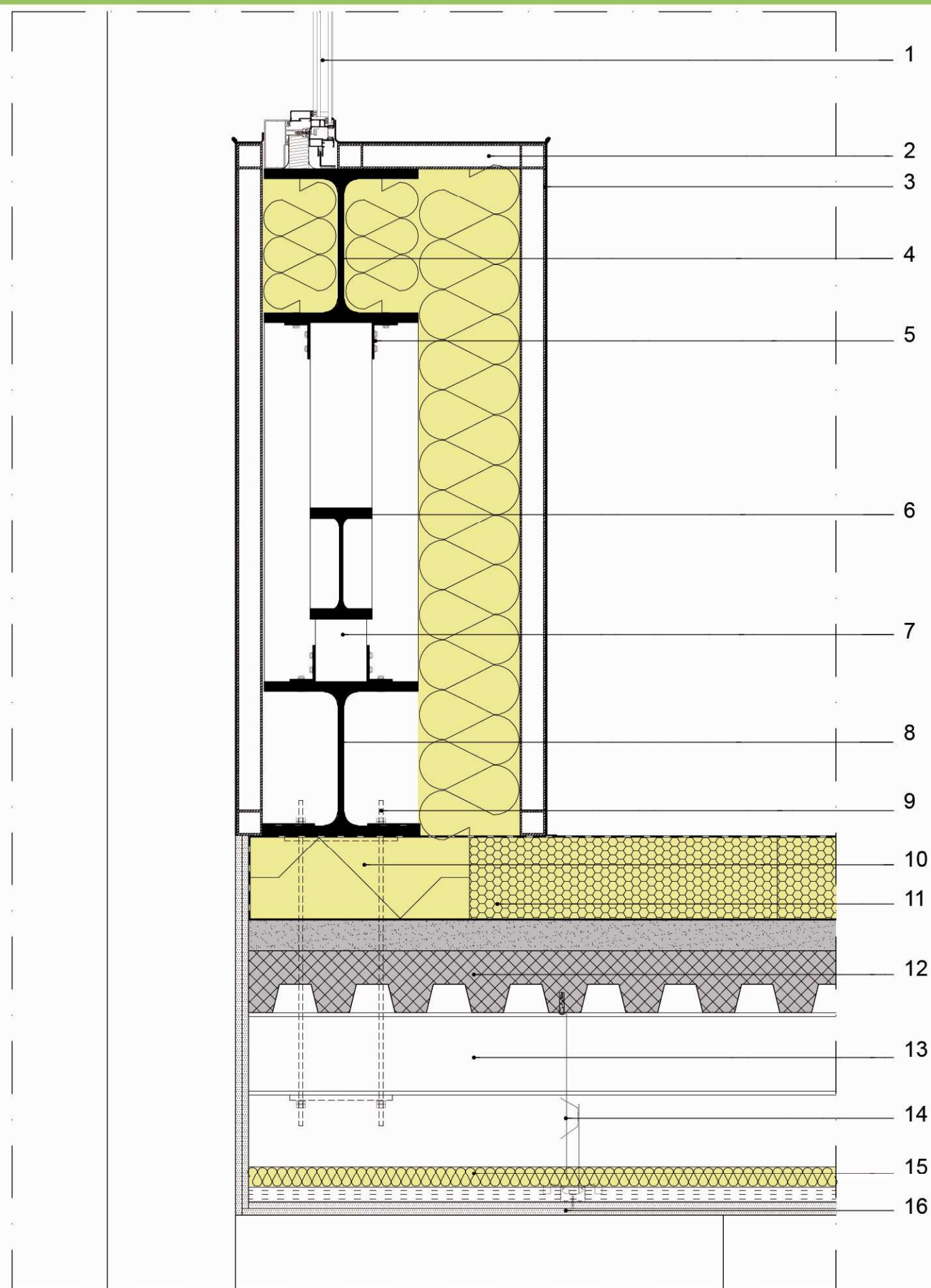
### NODO 04

- 01\_ serramento in policarbonato, sp. 4,0 cm
- 02\_ mensola in granito, sp. 2,0 cm
- 03\_ rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm
- 04\_ pannello in polistirene espanso estruso (tipo Greypor F100 TK8), sp. 10,00 cm
- 05\_ trave di bordo in legno 30x20 cm
- 06\_ travetto in legno 16x24 cm
- 07\_ trave principale in legno lamellare 26x120 cm
- 08\_ doppia lastra di cartongesso (tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm
- 09\_ pannello rigido in lana di roccia (tipo Knauf isoroccia), sp. 8,00 cm



### NODO 05

- 01\_ doppia lastra di cartongesso (tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm
- 02\_ materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,00 cm
- 03\_ trave principale in acciaio HEB 400
- 04\_ lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,00 cm
- 05\_ trave di bordo in acciaio HEB 400
- 06\_ piastra di ancoraggio tra la trave principale e la trave di bordo
- 07\_ lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm), sp. 16,00 cm
- 08\_ cordolo in cls armato
- 09\_ profilo UPN 65
- 10\_ serramento tipo Metra Poliedra Sky 50, vetro opalino
- 11\_ rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm



### NODO 06

- 01\_ serramento tipo Metra Poliedra Sky 50, vetro opalino
- 02\_ sistema di fissaggio del rivestimento attraverso tubolari in acciaio, sp. 0,50 cm
- 03\_ rivestimento in pannelli di rame fissati tramite doppia aggraffatura (tipo TECUclassic, TECUpatina, TECUoxid), sp. 0,07 cm
- 04\_ corrente superiore compresso della reticolare, trave in acciaio HEB 300
- 05\_ piastra di ancoraggio in acciaio, sp. 0,5 cm
- 06\_ tirante digonale della reticolare, trave in acciaio HEB 120
- 07\_ puntone verticale della reticolare, trave in acciaio HEB 100
- 08\_ corrente inferiore teso della reticolare, trave in acciaio HEB 300
- 09\_ sistema di fissaggio tra la trave reticolare e la trave secondaria
- 10\_ isolante schiumato, sp. 16 cm
- 11\_ lastre di vetro cellulare posate con bitume a caldo (tipo Foamglas T4+, dimensioni 60x45 cm), sp. 16,00 cm
- 12\_ lamiera grecata con getto collaborante, sp. 12,00 cm
- 13\_ trave secondaria in acciaio IPE160
- 14\_ pendino metallico di ancoraggio del controsoffitto (Knauf 113)
- 15\_ materassino in lana di roccia (tipo Knauf dp4 con foglio di alluminio), sp. 4,00 cm
- 16\_ doppia lastra di cartongesso (lastre tipo Knauf acquapanel), sp. 0,125 cm

## CAPITOLO 6 – STRUTTURALE

*In questo capitolo vengono riportati i calcoli effettuati per dimensionare le strutture degli edifici coinvolti dal nostro progetto. In particolar modo verrà descritto ampiamente quello che è stato il nostro più ampio e innovativo approfondimento di tesi, ovvero il processo di dimensionamento ed analisi, tramite metodo degli elementi finiti (FEM), della copertura in calcestruzzo fibrorinforzato ad altissime prestazioni (UHPRFC) in accoppiamento con rete in fibra di vetro, dando luogo ai cosiddetti Textile Reinforced Concrete (TRC)*

### 6.1 Introduzione

Di seguito vengono riportati i vari calcoli eseguiti per dimensionare e, conseguentemente, verificare, nel rispetto della normativa vigente, i vari elementi strutturali presenti nel complesso.

### 6.2 Azioni sulla costruzione

Al fine di dimensionare e verificare il sistema strutturale dell'edificio, è necessario prima di tutto valutare le azioni che gravano sulla costruzione.

Tali azioni si suddividono in:

- Carichi permanenti strutturali [ $G_1$ ], la cui valutazione è conseguente al progetto e alla verifica degli elementi strutturali;
- Carichi permanenti non strutturali [ $G_2$ ];
- Carichi variabili [ $Q_k$ ];
- Azioni del vento;
- Azioni della neve.

#### 6.2.1 Carichi permanenti non strutturali [ $g_2, k$ ]

Con la dicitura *carichi permanenti non struttura* si indicano tutti i carichi non rimovibili durante l'esercizio dell'edificio, quindi le partizioni orizzontali e verticali, la copertura e le chiusure verticali esterne. Perciò viene calcolato il peso proprio [ $kN/m^2$ ] delle soluzioni tecnologiche utilizzate.



### 6.2.1.1 Chiusure verticali

Il carico proveniente dalle chiusure verticali grava direttamente sulle travi di bordo dell'impalcato e si traduce in un carico uniformemente distribuito su di esse. Per poter dimensionare e verificare queste strutture è necessario quindi determinare il peso delle chiusure verticali, facendo riferimento al peso proprio dei materiali che le compongono:

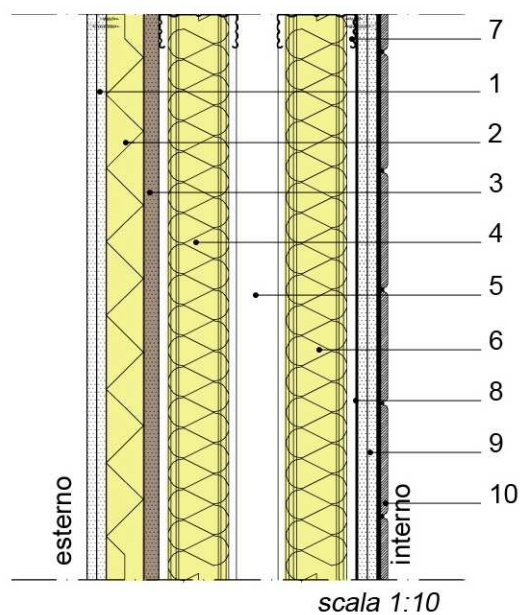


Fig. 6.1 - Composizione chiusura verticale C.V. 03. Peso  $0,785 \text{ kN/m}^2$

### 6.2.1.2 Chiusure orizzontali

Per dimensionare e verificare le strutture di copertura dobbiamo valutare il carico gravante su di esse, a partire dal peso degli elementi non strutturali portati. Tale carico é ottenuto in base ai pesi propri dei materiali impiegati per realizzare il solaio di copertura:

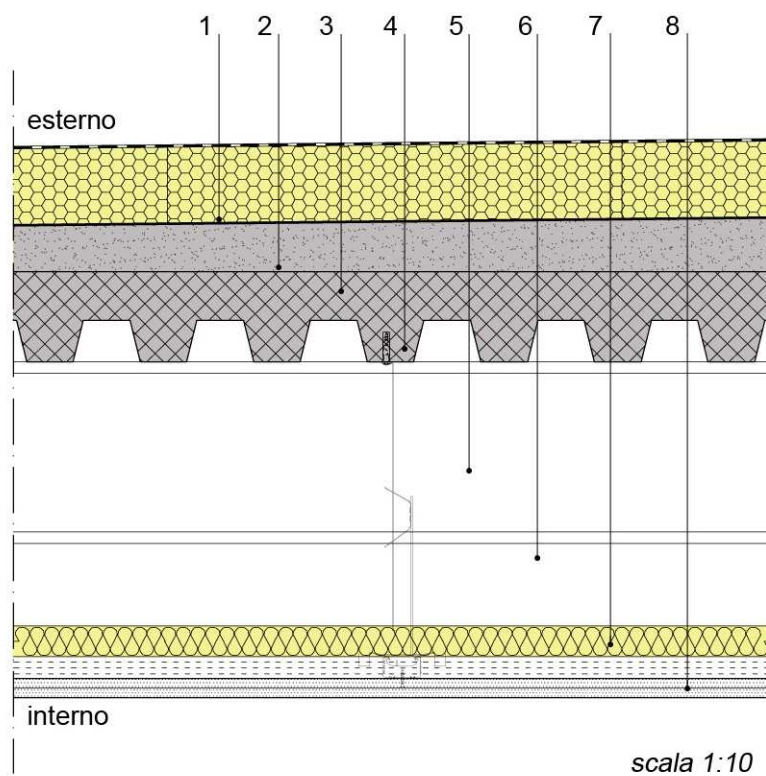
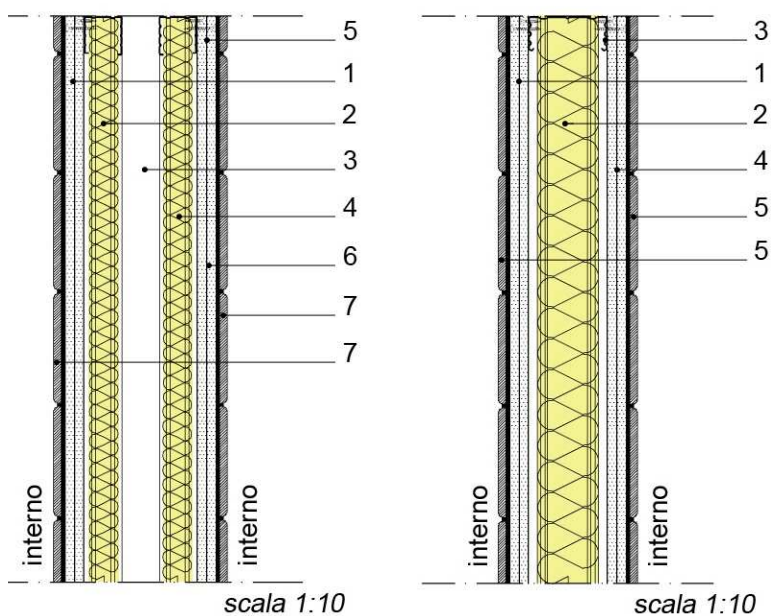


Fig. 6.2 - Composizione chiusura orizzontale C.O. 07. Peso  $1,25 \text{ kN/m}^2$

### 6.2.1.3 Partizioni interne verticali

Il peso delle partizioni interne verticali é stato valutato in base ai pesi propri dei materiali impiegati per realizzarle. Si considera, a favore di sicurezza, che tutte le partizioni verticali comprese nel piano tipo dell'edificio siano riassumibili nelle due seguenti, che rappresentano quelle aventi peso maggiore:



Figg. 6.3, 6.4 - Composizione partizioni verticali P.V. 02-03. Peso 2,12 kN/m.

In base a quanto previsto dal DM 14 gennaio 2008 il peso proprio degli elementi divisorii interni può essere ragguagliato a un carico uniformemente distribuito, funzione del peso totale ripartito appena calcolato.

Secondo il Decreto Ministeriale, per elementi divisorii interni con peso totale ripartito, come nel nostro caso, tale che:

$$1,00 \leq G_2 \leq 2,00 \frac{kN}{m}$$

Il peso proprio degli elementi divisorii interni viene ragguagliato al carico uniformemente distribuito:

$$g_{2,1} = 0,80 \frac{kN}{m^2}$$

#### 6.2.1.4 Partizioni interne orizzontali

Il peso delle partizioni interne orizzontali è stato valutato in base ai pesi propri dei materiali impiegati per realizzarle. Nel calcolo è escluso il peso della lamiera grecata con getto collaborante che rientra nei carichi permanenti strutturali  $[G_1]$ .

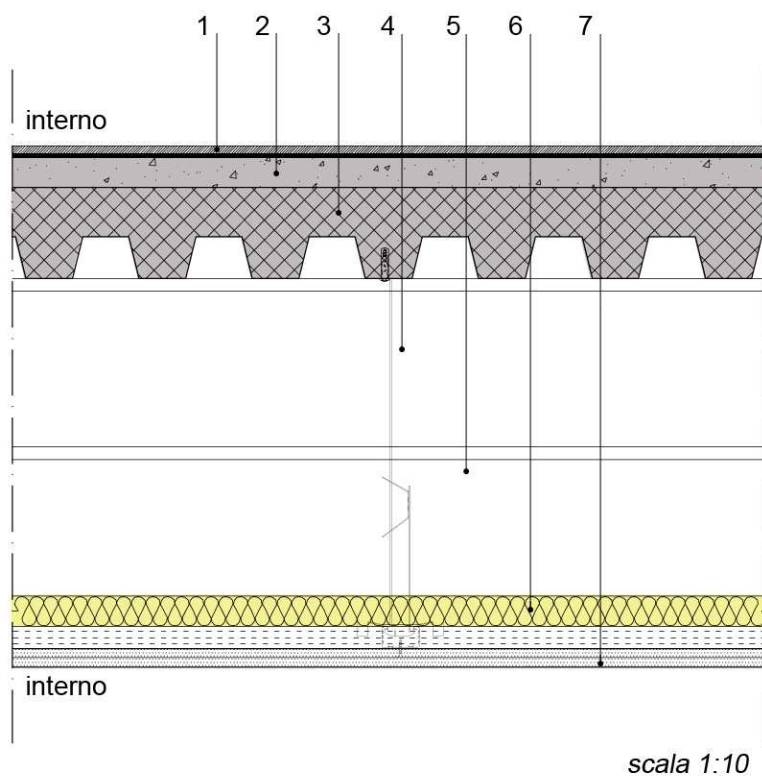


Fig. 6.5 - Composizione partizione orizzontale P.O. 01. Peso  $0,95 \text{ kN/m}^2$ .

### 6.2.2 Carichi variabili [qk]

I carichi variabili rappresentano i carichi legati alla destinazione d'uso dell'edificio. I loro valori sono indicati nel DM 14 gennaio 2008, nella Tabella 3.1.II, riportata di seguito.



Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	<b>Uffici.</b> Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b> Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	$\geq 6,00$ —	6,00 —	1,00* —
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b> Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	<b>Coperture e sottotetti</b> Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 secondo categoria di appartenenza —
* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati				
** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso				

Tab. 6.1 – Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici.

### 6.2.3 Azione sismica

Con riferimento al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla *pericolosità sismica di base* del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.



Nel caso specifico si assume un valore di progetto pari al 5% dei carichi verticali totali.

## 6.2.4 Azione del vento

Le azioni del vento vengono valutate con riferimento al *DM 14 gennaio 2008 Nuove norme tecniche per le costruzioni, capitolo 3, paragrafo 3.3.*

Le azioni esercitate dal vento sono azioni di tipo dinamico, tuttavia con il DM 14 gennaio 2008 se si tratta di costruzioni usuali, tali azioni dinamiche vengono ricondotte a azioni statiche equivalenti.

### 6.2.4.1 Velocità di riferimento

La velocità di riferimento del vento, con riferimento al *DM 14 gennaio 2008, capitolo 3, paragrafo 3.3, capoverso 3.3.2*, è data da:

- $v_b = v_{b,0}$  per  $a_s \leq a_0$
- $v_b = v_{b,0} + k_a(a_s - a_0)$  per  $a_0 < a_s \leq 1500$  m

dove:

$a_s$  = altitudine sul livello del mare del sito dove sorge l'edificio, cioè 201 m slm;

$v_b, a_0, k_a$  = coefficienti forniti nella *Tabella 3.3.1* del DM 14 gennaio 2008 in funzione della località geografica dove sorge l'edificio:



Fig. 6.6 - Zonizzazione per carico del vento.



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

Tab. 6.2 – Valori dei coefficienti  $v_b, a_0, k_a$ .

#### 6.2.4.2 Pressione del vento

La pressione esercitata dal vento è data dall'espressione:

$$p = q_b + c_e + c_p + c_d$$

essendo:

$q_b$  = pressione cinetica di riferimento;

$c_e$  = coefficiente di esposizione;

$c_p$  = coefficiente di forma;

$c_d$  = coefficiente dinamico.

#### 6.2.4.3 Pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento è data dall'espressione:

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

essendo:

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

$v_b$  = velocità di riferimento del vento (m/s).

È stata calcolata in precedenza la velocità di riferimento del vento, pari a 25 m/s, quindi la pressione cinetica di riferimento risulta pari a:

$$q_b = 0,39 \frac{kN}{m^2}$$

#### 6.2.4.4 Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione dipende dalla quota sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito dove sorge l'edificio.

Per altezze sul suolo non superiori a 200 m, come nel nostro caso, il DM 14 gennaio 2008 fornisce le seguenti formule per il calcolo del coefficiente di esposizione:

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

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

essendo:

$k_0, z_0, z_{min}$  = parametri forniti nella *Tabella 3.3.II* del DM 14 gennaio 2008 in funzione dell'esposizione del sito dove sorge l'edificio;

$c_t$  = coefficiente di topografia, posto pari ad 1.

L'edificio in progetto ha un'altezza totale fuori terra di 12,05 m.

Per valutare il coefficiente di esposizione si rende necessario effettuare alcuni passaggi: va prima di tutto stabilita la classe di rugosità del terreno, definita nella *Tabella 3.3.III* del DM 14 gennaio 2008:

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,.....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Tab. 6.3 – Classi di rugosità del terreno

L'edificio è collocato in una zona periferica del Comune, con bassa densità insediativa e con altezza media degli edifici non superiore a 12 metri. Perciò si è scelta la classe di rugosità del terreno C. Si è visto in precedenza che l'edificio si colloca in Zona I, perciò per determinare la categoria di appartenenza facciamo riferimento alla *Figura 3.3.2* del DM 14 gennaio 2008:



Fig. 6.7 - Categorie di azione del vento.

Per la classe di rugosità del sito C, scegliamo la categoria in base alla collocazione del sito stesso e alla sua altitudine rispetto al livello del mare: il complesso si trova ad oltre 30 km dal mare, ad un'altitudine di 201 m slm, per cui risulta che il sito è in categoria III. Determinata la categoria, è possibile ricavare i valori dei parametri necessari alla valutazione del coefficiente di esposizione dalla *Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione* del DM 14 gennaio 2008:

Categoria di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Tab. 6.4 - Parametri per la determinazione del coefficiente di esposizione.

Per il coefficiente di topografia unitario si ha un andamento del coefficiente di esposizione con la quota del tipo rappresentato in *Figura 3.3.3* del DM 14 gennaio 2008:

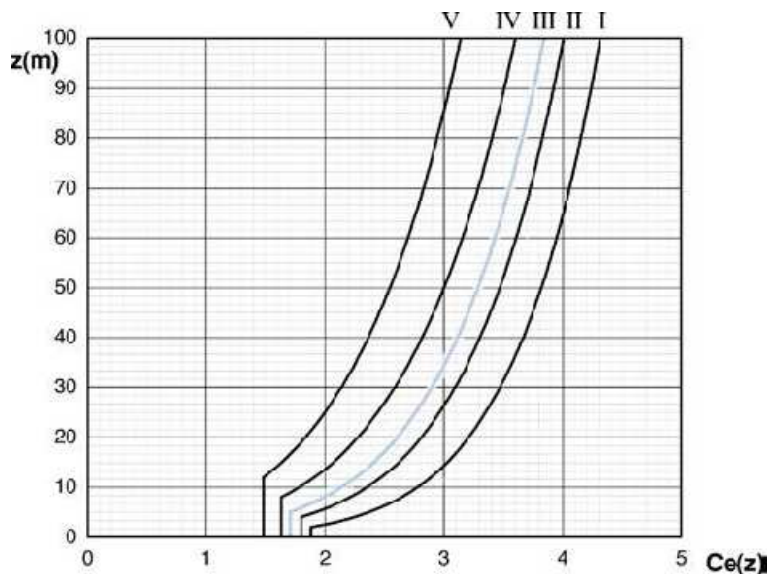


Fig. 6.8 - Andamento del coefficiente di esposizione.

Pertanto, sugli edifici in progetto si avrà un coefficiente di esposizione costante fino ad un'altezza pari a 5 metri, ed un coefficiente di esposizione crescente al crescere dell'altezza al di sopra dei 5 metri.

Si avrà quindi:

$$c_e(z = 5m) = 1,71$$

$$c_e(z = 12,05m) = 2,32$$

#### 6.2.4.5 Coefficiente di forma

Il coefficiente di forma dipende dalla geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Tab. 6.5 - Valori del coefficiente di forma.

Il coefficiente  $c_p$  è dato dalla somma di due contributi:

- La pressione esterna, per elementi sopravento (cioè direttamente investiti dal vento), con inclinazione sull'orizzontale  $\alpha \geq 60^\circ$  è pari a:  $C_{pe} = + 0,8$ ;



- La pressione interna, per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie minore di 1/3 di quella totale, è pari a:  $c_{pi} = \pm 0,2$ .

Si assume il segno della pressione interna che da luogo alla combinazione più sfavorevole. Il coefficiente di forma, pertanto, è pari a:  $c_p = 1.0$

#### 6.2.4.6 Coefficiente dinamico

Secondo quanto stabilito nel DM 14 gennaio 2008 *il coefficiente dinamico tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.*

In base a quanto previsto da DM, assumiamo un coefficiente dinamico unitario:  $c_d = 1$ .

Valutati tutti i coefficienti e stimata la pressione cinetica di riferimento, è possibile calcolare la pressione esercitata dal vento attraverso l'espressione:

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

Si è visto che il coefficiente di esposizione varia con l'altezza dell'edificio, perciò, fino ad un'altezza sul suolo di 5 metri, la pressione esercitata dal vento risulta pari a:

$$p = 0,67 \frac{kN}{m^2}$$

Mentre per altezze superiori a 8 metri si considera che la pressione esercitata dal vento abbia andamento lineare crescente con la quota, fino a raggiungere un massimo in corrispondenza del filo copertura dell'edificio, cioè fino a 12,05 metri dal suolo, pari a:

$$p = 0,90 \frac{kN}{m^2}$$

#### 6.2.5 Azione della neve

Le azioni della neve vengono valutate con riferimento al *Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 Nuove norme tecniche per le costruzioni, capitolo 3, paragrafo 3.4.*

##### 6.2.5.1 Carico da neve

Il carico da neve viene valutato mediante l'espressione:

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

essendo:

$q_b$  = carico neve sulla copertura;

$\mu_i$  = coefficiente di forma della copertura;

$q_{sk}$  = valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>] per un periodo di ritorno di 50 anni;

$C_E$  = coefficiente di esposizione;

$C_t$  = coefficiente termico.

### 6.2.5.2 Coefficiente di forma

Il valore del coefficiente di forma della copertura dipende dall'inclinazione della copertura stessa. Nel nostro caso si ha copertura piana, per cui, con riferimento alla *Tabella 3.4. Il Valori del coefficiente di forma* del DM 14 gennaio 2008:

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Tab. 6.6 - Valori del coefficiente di forma.

### 6.2.5.3 Valore caratteristico del carico da neve al suolo

Il DM 14 gennaio 2008 fornisce, per località poste a quota inferiore a 1500 m, i valori caratteristici minimi del carico da neve al suolo, suddivisi in Zone.

Il nostro edificio si trova in provincia di Lecco, per cui nella Zona I – Alpina. Inoltre l'edificio sorge ad una quota superiore a 200 m slm, per cui si ha:

$$q_{sk} = 1,39 \left[ 1 + \left( \frac{a_s}{728} \right)^2 \right] \frac{kN}{m^2}$$

Dove  $a_s$  è la quota effettiva dove sorge l'edificio, pari a 201 m slm.

Pertanto il valore caratteristico del carico da neve al suolo risulta pari a:

$$q_{sk} = 1,495 \frac{kN}{m^2}$$

### 6.2.5.4 Coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione modifica il valore del carico da neve in copertura in base alle caratteristiche dell'area in cui sorge l'edificio. Il valore del coefficiente di esposizione è indicato nella *Tabella 3.4.1 – Valori di  $C_E$  per diverse classi di topografia* del DM 14 gennaio 2008:



Topografia	Descrizione	C <sub>E</sub>
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti.	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Tab. 6.7 - Valori del coefficiente di esposizione.

### 6.2.5.5 Coefficiente termico

Viene utilizzato per tener conto della riduzione del carico da neve a causa del suo scioglimento, dovuto alla perdita di calore da parte dell'edificio.

Non avendo a disposizione uno studio specifico si assume  $c_t = 1$ .

Quindi il carico da neve sulla copertura, considerando il valore caratteristico del carico da neve al suolo, i valori del coefficiente di forma, del coefficiente di esposizione e del coefficiente termico, risulta pari a:

$$q_s = 1,197 \frac{kN}{m^2}$$

### 6.3 Dimensionamento elementi caratteristici.

Si procede ora al dimensionamento degli elementi caratteristici (soffitto, orditura principale e secondaria, sia interpiano che di copertura, pilastro) del complesso. Si è scelto di andare a considerare gli elementi maggiormente sollecitati in termini di carichi agenti, nel nostro caso corrispondenti a quelli presenti nello spogliatoio delle piscine sui quali "grava" la palestra fitness del centro Pratogrande.

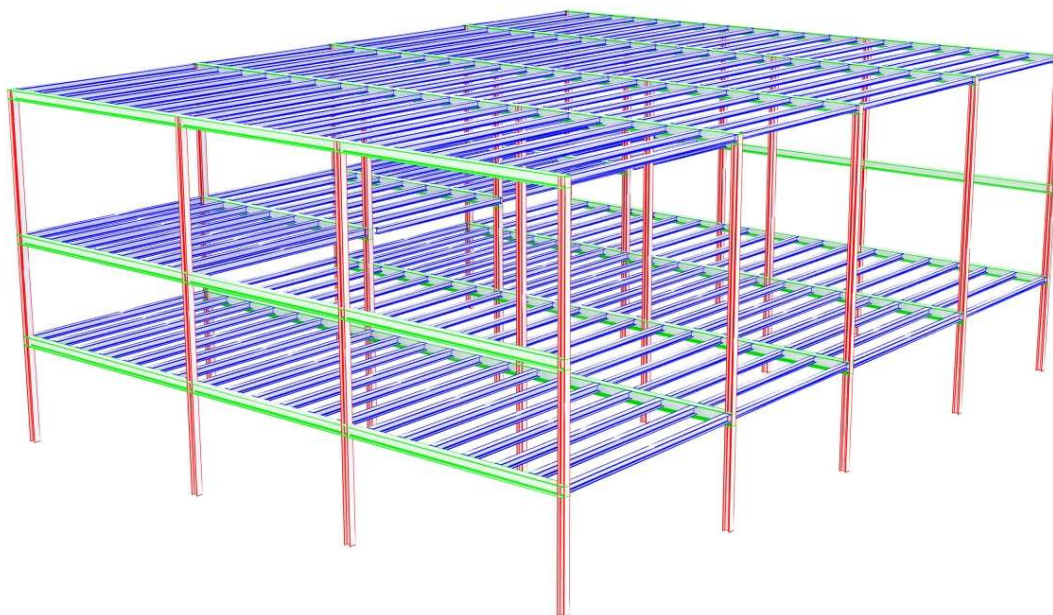


Fig. 6.9 - 3d strutturale degli elementi dimensionati e verificati.



### 6.3.1 Dimensionamento solaio in lamiera grecata interpiano

Lo schema statico di riferimento per la lamiera grecata è quello di una trave su due appoggi:

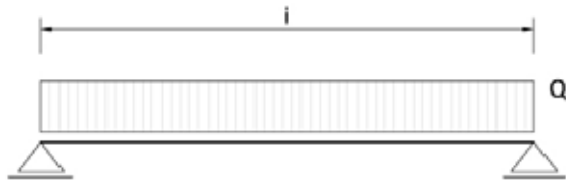


Fig. 6.10 - Schema statico lamiera grecata

Con riferimento al DM 14 gennaio 2008, in fase di dimensionamento consideriamo stati limite di esercizio irreversibili e quindi utilizziamo la *Combinazione caratteristica rara delle azioni*:

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

Nella combinazione caratteristica rara delle azioni, il termine  $G_1$  rappresenta il carico permanente strutturale, ovvero il peso proprio del sistema lamiera grecata e getto collaborante. Tale peso è incognito ed è quello che si sta dimensionando, quindi si ipotizza il valore di  $G_1$  in base ai valori forniti produttori, poi si controlla che le ipotesi fatte siano corrette. Si è deciso di utilizzare una lamiera grecata tipo A55/P600, di altezza 55 mm e spessore 0,6 mm. Il peso della lamiera grecata è:

$$g_{1,1} = 0,08 \frac{kN}{m^2}$$

Si considera inoltre un getto collaborante in calcestruzzo tale che l'altezza del solaio sia 120 mm. Il peso del getto collaborante è:

$$g_{1,2} = 2,40 \frac{kN}{m^2}$$

Il sistema lamiera grecata – getto collaborante è il seguente:

Il carico permanente strutturale risulta:

$$G_1 = 2,48 \frac{kN}{m^2}$$

Il termine  $G_2$  rappresenta il carico permanente non strutturale, che comprende il peso degli elementi di finitura del solaio  $g_{2,2} = 0,95 \frac{kN}{m^2}$  e il peso ripartito delle partizioni verticali  $g_{2,1} = 0,80 \frac{kN}{m^2}$ , già calcolate in precedenza.

Il carico permanente non strutturale risulta:



$$G_2 = 1,75 \frac{kN}{m^2}$$

Il termine  $Q_{k1}$  rappresenta i carichi variabili, in questo caso il carico di esercizio per la categoria C3 – Palestre pari a:

$$Q_1 = 5,00 \frac{kN}{m^2}$$

In questo caso avendo soltanto un carico variabile, per la combinazione rara delle azioni non utilizziamo nessun coefficiente di combinazione.

La combinazione dei carichi caratteristica rara che ne risulta è:

$$Q = 9,23 \frac{kN}{m^2}$$

L'interasse tra gli appoggi del solaio è pari a 1,20 m. Dei valori tabulati assumiamo quello più prossimo all'interasse reale, ovvero 1,50 m a favore di sicurezza.

Per una lamiera grecata tipo A55/P600 posata ad interasse di 1,50 m, il carico massimo (sovraccarico e peso proprio) è pari a:

$$Q_{max} = 8,39 \frac{kN}{m^2}$$

La lamiera grecata risulta correttamente dimensionata, infatti:

$$Q = 6,71 \frac{kN}{m^2} < Q_{max}$$

### 6.3.2 Dimensionamento dei profili di orditura secondaria – travetti T1

Con riferimento al DM 14 gennaio 2008, in fase di dimensionamento si considerano stati limite di esercizio irreversibili e quindi si utilizza la *Combinazione caratteristica rara delle azioni*.

$$G_1 + G_2 + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \psi_{03}Q_{k3} + \dots$$

Il termine  $G_1$  rappresenta il carico permanente strutturale, che comprende il carico dovuto al sistema lamiera grecata e getto collaborante e il peso proprio del profilo in progetto. Tale peso è incognito ed è quello che si sta dimensionando, pertanto in fase di predimensionamento viene trascurato. Verrà poi considerato nel controllo del predimensionamento e nelle verifiche. Il carico permanente strutturale è già stato calcolato nel dimensionamento della lamiera grecata. Il carico permanente strutturale, a meno del peso proprio, è pari a:

$$G_1 = 2,48 \frac{kN}{m^2}$$

Anche il carico permanente non strutturale  $G_2$  è già stato calcolato nel dimensionamento della lamiera grecata. Il carico permanente non strutturale è pari a:

$$G_2 = 1,75 \frac{kN}{m^2}$$

Il termine  $Q_{K1}$  rappresenta i carichi variabili, in questo caso il carico di esercizio per la categoria C3 - Palestre, anch'esso già visto in fase di dimensionamento della lamiera grecata. Il carico variabile è pari a:

$$Q_1 = 5,00 \frac{kN}{m^2}$$

La combinazione dei carichi caratteristica rara che ne risulta è:

$$Q = 9,29 \frac{kN}{m^2}$$

L'interasse tra i profili di orditura secondaria è:

$$i = 1,20 \text{ m}$$

Il carico agente risulta perciò:

$$P = Q \cdot i = 9,29 \cdot 1,20 = 11,07 \frac{kN}{m}$$

Per dimensionare l'orditura secondaria facciamo riferimento al modulo d'inerzia. Calcoliamo il modulo d'inerzia minimo tale da garantire che il profilo sia in grado di portare il carico agente senza subire deformazioni eccessive. Scegliamo poi il profilo commerciale che abbia modulo d'inerzia superiore al minimo calcolato e controlliamo, attraverso il calcolo della freccia reale, di aver scelto il profilo corretto, ovvero quello che garantisce di avere una deformazione inferiore al limite stabilito dalla normativa.

Lo schema statico dei profili di orditura secondaria è quello di una trave isostatica su due appoggi, caricata da un carico distribuito uniforme:

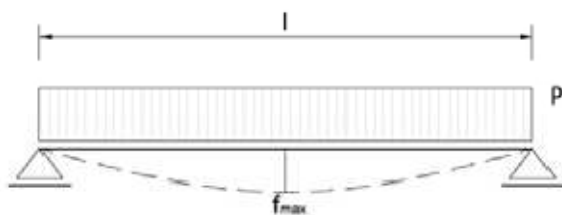


Fig. 6.11 - Schema statico orditura secondaria.

In base al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, la freccia massima deve essere:

$$f_{max} = \frac{l}{250} = \frac{7,75}{250} = 0,031 \text{ m}$$

Per lo schema statico di trave isostatica su due appoggi con carico uniformemente distribuito, il modulo d'inerzia risulta pari a:



$$J_{min} = \frac{5}{384} \frac{Pl^4}{Ef_{max}}$$

in cui:

- Il carico agente è pari a:  $P = 11,07 \frac{kN}{m}$
- La luce dell'orditura secondaria è pari a:  $l = 7,75 m$
- Il modulo di Young dell'acciaio è:  $E = 210 GPa$

Quindi il modulo d'inerzia minimo risulta:

$$J_{min} = \frac{5}{384} \frac{Pl^4}{Ef_{max}} = \frac{5}{384} \frac{11,07 \cdot 7,75^4}{210 \cdot 10^6 \cdot 0,031} = 7,991 \cdot 10^{-5} m^4$$

Dalla tabella dei profili HEB della Norma UNI 4398-78 si seleziona il profilo avente modulo d'inerzia superiore al minimo calcolato, ovvero HEB 240, avente modulo di inerzia pari a  $11,26 \cdot 10^{-5} m^4$ .

Si verifica che la deformazione complessiva subita dal profilo sia inferiore ai limiti stabiliti da normativa. Si determina l'effettiva deformazione del profilo, includendo il peso proprio dello stesso:

$$f = \frac{5}{384} \frac{Pl^4}{EJ_X} = 0,024 m$$
$$f \leq f_{MAX}$$

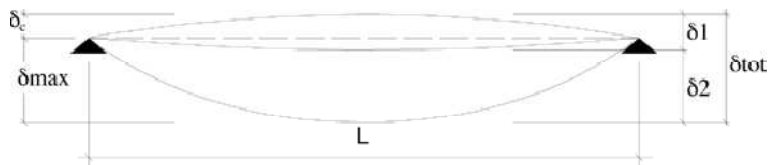
Le reazioni vincolari per lo schema statico di trave isostatica su due appoggi risultano:

$$V_{T1} = \frac{Pl}{2} = \frac{9,03 \cdot 5,90}{2} = 46,14 kN$$

### 6.3.2.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

Per effettuare le verifiche agli stati limite di esercizio facciamo riferimento al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, Capitolo 4, Paragrafo 4.2.4.2.

Tali verifiche operano un controllo sullo spostamento ortogonale all'asse dell'elemento in progetto:



essendo:

$\delta_C$  = monta iniziale della trave;

$\delta_1$  = spostamento elastico dovuto ai carichi permanenti;

$\delta_2$  = spostamento elastico dovuto ai carichi variabili;

$\delta_{MAX}$  = spostamento nello stato finale, depurato della monta iniziale:  $\delta_{MAX} = \delta_1 + \delta_2$

Il Decreto Ministeriale impone il controllo degli spostamenti dovuti ai carichi variabili e degli spostamenti totali, fissando dei limiti superiori di spostamento verticale:

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{MAX}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

*In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.*

Tab. 6.8 - Valori di frecce ammissibili.

Noti i carichi agenti sul profilo di orditura secondaria si determina la più gravosa tra le combinazioni delle azioni allo stato limite di esercizio, che risulta essere la combinazione caratteristica rara.

Lo schema statico del profilo di orditura secondaria si è visto essere quello di una trave isostatica su due appoggi caricata con carico distribuito uniforme.

Per lo schema statico di trave isostatica su due appoggi con carico distribuito uniforme, includendo il peso proprio del profilo e il carico variabile, la deformazione massima (in mezzzeria) è pari a:

$$f = \frac{5 Pl^4}{384 EJ_x} = 0,014 m$$

La freccia massima ammissibile, dovuta ai soli carichi variabili è, per il Decreto Ministeriale, pari a:

$$f = \frac{l}{300} = \frac{7,75}{300} = 0,026 m$$

$$f \leq f_{MAX}$$



Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse del profilo è definito dal Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 come:

$$\delta_{MAX} = \delta_1 + \delta_2$$

Comprende quindi sia i carichi permanenti, strutturali e non, sia i carichi variabili. Si utilizza, pertanto, la combinazione più gravosa delle azioni, che si è visto essere la combinazione caratteristica rara.

Si determina quindi la freccia massima per lo schema statico di trave isostatica su due appoggi con carico uniformemente distribuito:

$$f = \frac{5}{384} \frac{Pl^4}{EJ_X} = 0,024 \text{ m}$$

La freccia massima ammissibile è, per il Decreto Ministeriale, pari a:

$$f_{max} = \frac{l}{250} = \frac{7,75}{250} = 0,031 \text{ m}$$
$$f \leq f_{MAX}$$

### 6.3.2.2 Verifiche agli stati limite ultimi

Le modalità di verifica allo stato limite ultimo sono indicate nel Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, paragrafo 4.2.4.1. Per i travetti T1 che costituiscono l'orditura secondaria, progettati con profili HEB 240 è necessario verificare:

- La resistenza delle membrature per la flessione monoassiale (retta);
- La resistenza delle membrature per l'azione tagliante;

Per le verifiche agli stati limite ultimi si fa riferimento alla combinazione fondamentale delle azioni:

$$p = \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_1$$

I carichi agenti sul profilo di orditura secondaria sono:

- Il carico permanente strutturale  $G_1$ ;
- Il carico permanente non strutturale  $G_2$ ;
- Il carico variabile  $Q_1$ .

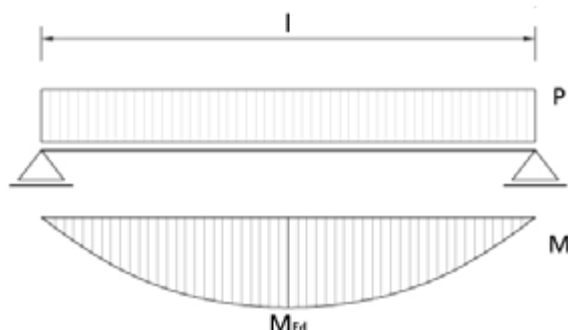
I coefficienti  $\gamma_{G1}$ ,  $\gamma_{G2}$  e  $\gamma_{Q1}$  sono indicati nel Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 nella *Tabella 2.5.I*.

#### 6.3.2.2.1 Resistenza delle membrature. Flessione monoassiale retta.

La verifica di resistenza, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale, prevede che:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Lo schema statico dei profili di orditura secondaria e il diagramma del momento flettente sono i seguenti:



Il momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$  (momento massimo) si ha in mezzeria e vale:

$$M_{Ed} = \frac{pl^2}{8} = \frac{17,10 \cdot 7,75^2}{8} = 128,37 \text{ kNm}$$

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione  $M_{c,Ed}$  dipende dalla classe della sezione. Per determinare la classe della sezione facciamo riferimento al *Paragrafo 3.1 – Classificazione delle sezioni*, e alle relative *Tabelle 4.2.I, 4.2.II, 4.2.III* del Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008:

*Le sezioni trasversali degli elementi strutturali si classificano in funzione della loro capacità rotazionale  $C_\theta$  definita come:*

$$C_\theta = \theta_r / \theta_y - 1$$

*Essendo  $\theta_r$  e  $\theta_y$  curvature corrispondenti rispettivamente al raggiungimento della deformazione ultima e dallo snervamento. Si distinguono le seguenti classi di sezioni:*

- *classe 1: quando la sezione è in grado di sviluppare una cerniera plastica avente la capacità rotazionale richiesta per l'analisi strutturale condotta con il metodo plastico di cui al § 4.2.3.2 senza subire riduzioni della resistenza. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale  $C_\theta \geq 3$*
- *classe 2: quando la sezione è in grado di sviluppare il proprio momento resistente plastico, ma con capacità rotazionale limitata. Possono generalmente classificarsi come tali le sezioni con capacità rotazionale  $C_\theta \geq 1,5$*



- classe 3 classe 4: quando nella sezione le tensioni calcolate nelle fibre estreme compresse possono raggiungere la tensione di snervamento, ma l'instabilità locale impedisce lo sviluppo del momento resistente plastico;

quando, per determinarne la resistenza flettente, tagliante o normale, è necessario tener conto degli effetti dell'instabilità locale in fase elastica nelle parti compresse che compongono la sezione. In tal caso nel calcolo della resistenza la sezione geometrica effettiva può sostituirsi con una sezione efficace

Le tabelle forniscono indicazioni per definire se una sezione appartiene alle classi 1, 2 o 3; il metodo di classificazione proposto dipende dal rapporto tra la larghezza e lo spessore delle parti della sezione soggette a compressione:

		Parti interne compresse				
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\epsilon$	$c/t \leq 38\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 124\epsilon$	$c/t \leq 42\epsilon$	quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62\epsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	$f_{yk}$	235	275	355	420	460
	$\epsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Tab. 6.9 - Parametri per la determinazione della classe della sezione.



Noti i valori dimensionali del profilo selezionato, si estrapola la classe, che è risultata essere Classe 1.

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione  $M_{c,Ed}$  vale, per le sezioni di classe 1:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

essendo:

$\gamma_{M0}$  = coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, che per sezioni di Classe 1 vale, in base alla Tabella 4.2.V del DM 14 gennaio 2008, 1,05;

$f_{yk}$  = tensione di snervamento per acciaio S275 pari a 275 MPa;

$W_{pl}$  = modulo resistente plastico minimo del profilo HEB 240 pari a  $1,049 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione  $M_{c,Ed}$  risulta quindi:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 234,78 \text{ kNm}$$

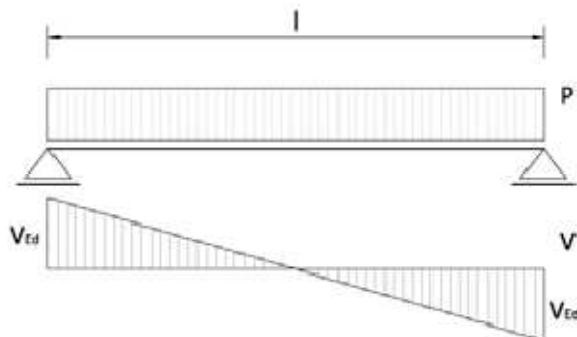
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

### 6.3.2.2 Resistenza delle membrature: taglio.

La verifica di resistenza, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale, prevede che:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Lo schema statico dei profili di orditura secondaria e il diagramma del taglio agente sono i seguenti:



Il valore di calcolo d'azione tagliante  $V_{Ed}$  vale:



$$V_{Ed} = \frac{pl}{2} = \frac{12,85 \cdot 5,90}{2} = 66,26 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Ed}$ , in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_V f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

essendo:

$\gamma_{M0}$  = coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature e la stabilità, che per sezioni di Classe 1 vale, in base alla Tabella 4.2.V del DM 14 gennaio 2008, 1,05;

$f_{yk}$  = tensione di snervamento per acciaio S275 pari a 275 MPa;

$A_V$  = area resistente a taglio del profilo pari a  $3,32 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ .

La resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Rd}$  risulta quindi:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_V f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 428,99 \text{ kN}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Analogamente ai travetti T1 sono stati dimensionati e, successivamente verificati, anche i travetti T2, di lunghezza pari a 6,75 m. Per questi ultimi è risultato sufficiente un profilo HEB 200.

### 6.3.3 Dimensionamento dei profili di orditura primaria

Con riferimento al DM 14 gennaio 2008, in fase di dimensionamento consideriamo stati limite di esercizio irreversibili e quindi utilizziamo la *Combinazione caratteristica rara delle azioni*.

Lo schema statico del profilo di orditura primaria è il seguente:

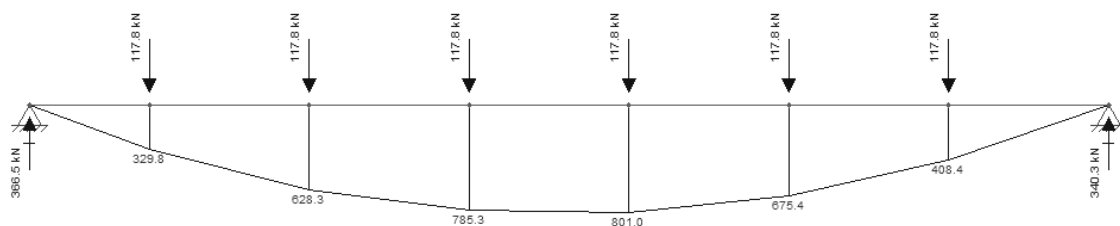


Fig. 6.12 - Schema statico orditura principale

Sull'orditura primaria agisce il carico uniformemente distribuito dovuto al peso proprio (incognito) e i carichi concentrati nei punti di appoggio dei profili di orditura secondaria.

La luce dei profili è:

$$l = 8,10 \text{ m}$$

La larghezza di influenza è pari a:

$$l_i = 7,75 \text{ m}$$

Ciascun carico concentrato agente sul profilo di orditura principale è dato dalla somma dei contributi della reazione vincolare esercitata dai travetti T1 e della reazione vincolare esercitata dai travetti T2.

Noto il valore del momento massimo agente, si è potuto andare determinare il valore del modulo di resistenza plastico minimo della sezione, pari a :

$$W_{pl} = M_{pl,Rd} = \frac{M_{ed} \gamma_{M0}}{f_{yk}} = 2,57 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

e, quindi a selezionare un profilo con un valore ad esso superiore che, in questo caso, è risultato essere il profilo HEB 400, avente modulo di resistenza plastico pari a  $3,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .

### 6.3.3.1 Verifiche agli stati limite di esercizio

Le verifiche si conducono analogamente a quanto già visto per le verifiche agli stati limite di esercizio dei travetti T1 di orditura secondaria.

Per lo schema statico di trave isostatica su due appoggi con carico distribuito uniforme, la deformazione massima (in mezzeria) è pari a:

$$f = \frac{5}{384} \frac{Pl^4}{EJ_x} = 0,017 \text{ m}$$

$$f \leq f_{MAX}$$

La freccia massima ammissibile, dovuta ai soli carichi variabili è, per il Decreto Ministeriale, pari a:

$$f_{\delta_2} = \frac{l}{300} = \frac{8,10}{300} = 0,027 \text{ m}$$

Il valore totale dello spostamento ortogonale all'asse del profilo è definito dal Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008 come:

$$\delta_{MAX} = \delta_1 + \delta_2$$

Comprende quindi sia i carichi permanenti, strutturali e non, sia i carichi variabili, ed è pari a 0,029 m.

La freccia massima ammissibile è, per il Decreto Ministeriale, pari a:

$$f_{max} = \frac{l}{250} = \frac{8,10}{250} = 0,032 \text{ m}$$

$$f \leq f_{MAX}$$



### 6.3.3.2 Verifiche agli stati limite ultimi

Le verifiche agli stati limite ultimi vengono condotte come precedentemente descritto per i travetti T1.

#### 6.3.3.2.1 Resistenza delle membrature. Flessione monoassiale retta.

La verifica di resistenza, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale, prevede che:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Il momento flettente di calcolo  $M_{Ed}$  (momento massimo) si ha in mezzeria e vale:

$$M_{Ed} = \frac{pl^2}{8} = 801,0 \text{ kNm}$$

La resistenza di calcolo a flessione retta della sezione  $M_{c,Ed}$  vale:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 843,86 \text{ kNm}$$
$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

#### 6.3.3.2.2 Resistenza delle membrature: taglio.

La verifica di resistenza, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale, prevede che:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Il valore di calcolo dell'azione tagliante  $V_{Ed}$  vale:

$$V_{Ed} = \frac{pl}{2} = 192,66 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a taglio  $V_{c,Ed}$ , in assenza di torsione, vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_V f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 1058,48 \text{ kN}$$
$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Analogamente ai profili di orditura principale sono stati dimensionati e, successivamente verificati, anche i profili di orditura di bordo. Per questi ultimi è risultato sufficiente un profilo HEB 320.

### 6.3.4 Dimensionamento degli elementi di copertura

Per il dimensionamento e le conseguenti verifiche degli elementi componenti la copertura della palestra fitness del Centro Pratogrande, sono stati adottati i medesimi procedimenti illustrati in precedenza, a patto di tenere in debito conto della presenza del carico da neve, determinato al paragrafo 6.2.5.

La sezione strutturale della copertura è risultata così composta:

- solaio in lamiera grecata tipo A55/P600;
- profilo di orditura secondaria T1 HEB 200;
- profilo di orditura secondaria T2 HEB 180;
- profilo di orditura principale HEB 320;
- profilo di orditura di bordo HEB 320.

### 6.3.5 Dimensionamento pilastro centrato

Viene ora dimensionato il pilastro centrato con riferimento alla combinazione fondamentale delle azioni:

$$p = \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_{Q1}Q_1 + \dots$$

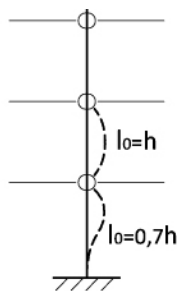
Lo schema statico del pilastro è una mensola incastrata alla base, caricata da una serie di carichi assiali che corrispondono alle reazioni vincolari delle strutture dei diversi impalcati. In corrispondenza di ciascun impalcato, il pilastro è soggetto a quattro carichi assiali:

- le due reazioni vincolari esercitate dai profili di orditura primaria;
- la reazione vincolare esercitate dai profili T1 di orditura secondaria;
- la reazione vincolare esercitate dai profili T2 di orditura secondaria.

Per quanto riguarda gli impalcati di solaio e di copertura è già stato determinato, in fase di verifica degli elementi strutturali, il valore delle reazioni vincolari esercitate sui pilastri, come azioni taglianti di calcolo  $V_{Ed}$ . Il coefficiente moltiplicativo dei carichi permanenti non strutturali è:  $\gamma_{G2} = 1,50$

L'impalcato tipo è caratterizzato da un carico permanente strutturale dato dalla somma del peso delle partizioni interne orizzontali e del peso ripartito equivalente delle partizioni interne verticali, nella combinazione fondamentale delle azioni, tenuto conto del coefficiente moltiplicativo.

Per dimensionare il pilastro centrato viene utilizzato il metodo omega.



Dallo schema statico del pilastro si vede che si hanno due impalcati di solaio e un impalcato di copertura, per cui alla base del pilastro si ha un'azione assiale pari a:

$$N = N_{cop} + 3N_i = 1505,03 \text{ kN}$$

Il pilastro ha altezza:  $H = 12,05 \text{ m}$

La presenza delle strutture ai diversi livelli di impalcato fungono da vincoli per gli spostamenti del pilastro, per cui la massima larghezza di libera inflessione è:  $l_0 = h = 4,90 \text{ m}$ .

Il materiale con cui è realizzato il pilastro è acciaio S275, caratterizzato dalla tensione di snervamento pari a:  $f_{yk} = 275 \text{ MPa}$ .

Secondo quanto indicato dal Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, la resistenza delle sezioni di Classe 1-2-3-4 è:  $\gamma_{M0} = 1,05$ .

Quindi la tensione di progetto per l'acciaio S275 è:

$$f_d = \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{275}{1,05} = 261,91 \text{ MPa}$$

Si può, pertanto, calcolare la sezione minima del pilastro:

$$A_{min} = \frac{N}{f_d} = \frac{1505,03}{261,91 \cdot 10^3} = 5,746 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Dalla tabella dei Profili HEB della Norma UNI 4398-78 viene selezionato il profilo avente modulo d'inerzia superiore al minimo calcolato, che in questo caso è risultato essere il profilo HEB 240, avente area della sezione pari a  $1,06 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ .

Si può quindi calcolare la snellezza adimensionale come:

$$\lambda = \frac{l_0}{i_{min}} = 80,59$$

Le norme tecniche del CNR n. 182 del 21 dicembre 1997 forniscono i valori del coefficiente omega. Per una snellezza adimensionale determinata come sopra, per profili HEB in acciaio s275, si ha:

$$\omega = 1,76$$

Noto il peso proprio del pilastro, è possibile calcolare l'azione assiale totale alla base dello stesso:



$$N = N_{cop} + 3N_i + \gamma_{G1}pH = 1518,06 \text{ kN}$$

Noti il coefficiente omega, il carico assiale totale e la sezione del profilo, si può controllare che il profilo scelto sia correttamente dimensionato:

$$f'_d = \frac{\omega N}{A} = 252,06 \text{ MPa}$$
$$f'_d \leq f_d$$

### 6.3.5.1 Verifiche agli stati limite ultimi

Le modalità di verifica allo stato limite ultimo sono indicate nel Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, paragrafo 4.2.4.1.

Per i pilastri, progettati con profili HEB 240 bisogna verificare:

- La resistenza delle membrature a compressione;
- La stabilità delle membrature per le aste compresse.

Per le verifiche agli stati limite ultimi si fa riferimento alla combinazione fondamentale delle azioni, che per il pilastro è un'azione assiale alla base pari a:

$$N = N_{cop} + 3N_i + \gamma_{G1}pH = 1518,06 \text{ kN}$$

#### 6.3.5.1.1 Resistenza delle membrature: compressione

La verifica di resistenza, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale, prevede che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$

La forza di compressione di calcolo è l'azione assiale alla base, cioè:

$$N_{Ed} = 1518,06 \text{ kN}$$

La resistenza di calcolo a compressione della sezione  $N_{c,Ed}$  dipende dalla classe della sezione.

Per determinare la classe della sezione facciamo riferimento alle Tabelle 4.2.I, 4.2.II, 4.2.III del Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

Come visto in precedenza, le tabelle forniscono indicazioni per definire se una sezione appartiene alle classi 1, 2 o 3 la sezione in oggetto è di classe 1.

La resistenza di calcolo a compressione della sezione  $N_{c,Ed}$  vale, per le sezioni di classe 1:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 2776,19 \text{ kN}$$
$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1$$



### 6.3.5.1.2 Stabilità delle membrature: aste compresse

La verifica di resistenza, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale, prevede che:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

La forza di compressione di calcolo è l'azione assiale alla base, cioè:

$$N_{Ed} = 1518,06 \text{ kN}$$

La resistenza all'instabilità dell'asta compressa  $N_{b,Ed}$  dipende dalla classe della sezione. La sezione è di classe 1, quindi, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

essendo:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \leq 1$$

in cui:

- Il coefficiente  $\phi$  è pari a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,71$$

- $\alpha$  è il fattore di imperfezione, ricavato dalla Tabella 4.2.VI del Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, risulta pari a: 0,34.
- la snellezza adimensionale  $\lambda$  è pari a:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_{yk}}{N_{cr}}} = 0,55$$

- il carico critico euleriano è:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} = 9719,98 \text{ kN}$$

Quindi il coefficiente  $\chi$  risulta:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,46^2}} = 0,86$$

Si può quindi calcolare la resistenza all'instabilità dell'asta compressa  $N_{b,Ed}$  che risulta:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}} = 239,44$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$



### 6.3.6 Dimensionamento trave reticolare di copertura

Come detto in precedenza, alcuni dei “portali” presenti nei locali vasche, contengono le travi reticolari estradossate di copertura delle nuove porzioni di edificio. Per poterle dimensionare e, quindi, verificare, è stato preventivamente necessario dimensionare il solaio e l’orditura secondaria che su di esse gravano. Per farlo sono state adottate le medesime metodologie viste fino a questo momento. Successivamente si è potuto, una volta fissata la geometria della trave stessa, andarla a caricare con i carichi concentrati derivanti dai travetti (debitamente corretti con i coefficienti moltiplicativi della combinazione di carico), componendone lo schema statico di seguito.

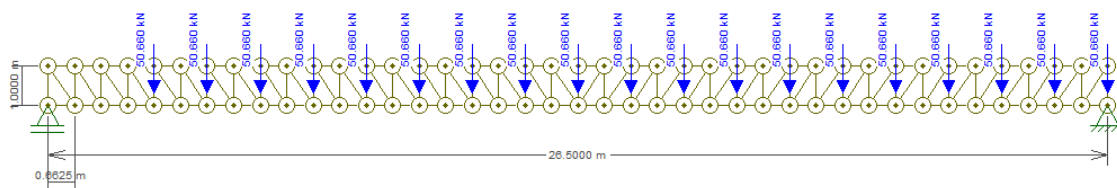


Fig. 6.13 - Schema statico trave reticolare.

Con l’ausilio del software di calcolo Ftool, sono stati estrapolati i dati della massima azione assiale [ $N_{sd}$ ] per ciascuna delle 4 tipologie di elemento componente la trave, ovvero:

- corrente superiore compresso -  $N_{sd} = 3307,56$  kN;
- corrente inferiore teso -  $N_{sd} = 3322,66$  kN;
- tirante diagonale -  $N_{sd} = 478,74$  kN;
- puntone verticale -  $N_{sd} = 574,27$  kN.

Questo ha consentito di determinare un’area minima di sezione di ciascun profilo definita come:

$$A_{min} = N_{sd} / f_{yk} [m^2]$$

essendo

$f_{yk}$  = tensione di snervamento dell’acciaio, pari a 235 MPa, nel caso dell’acciaio S235.

Facendo riferimento al prontuario per i profili HEB della Norma UNI 4398-78, sono stati selezionati i profili con area di sezione superiore all’area minima e sono risultati essere:

- corrente superiore compresso HEB 300;
- corrente inferiore teso HEB 300;
- tirante diagonale HEB 120;
- puntone verticale HEB 100.



### 6.3.6.1 Verifiche di resistenza

In seguito al dimensionamento, la trave reticolare è stata verificata. La verifica di resistenza, come visto in precedenza, si scrive:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

La resistenza all'instabilità dell'asta compressa  $N_{b,Rd}$  dipende dalla classe della sezione. Le sezioni che compongono la trave reticolare sono di classe 1, quindi, secondo quanto indicato nel Decreto Ministeriale:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

essendo:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \leq 1$$

in cui:

- Il coefficiente  $\phi$  è pari a:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

- $\alpha$  è il fattore di imperfezione, ricavato dalla Tabella 4.2.VI del Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, risulta pari a: 0,34.
- la snellezza adimensionale  $\lambda$  è pari a:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_{yk}}{N_{cr}}}$$

- il carico critico euleriano è:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

Per i vari elementi è risultato:

- corrente superiore compresso -  $N_{b,Rd} = 3337,00$  kN      VERIFICATO;
- corrente inferiore teso -  $N_{b,Rd} = 3337,00$  kN      VERIFICATO;
- tirante diagonale -  $N_{b,Rd} = 668,30$  kN      VERIFICATO;
- puntone verticale -  $N_{b,Rd} = 510,12$  kN      VERIFICATO.

### 6.3.6.2 Verifiche di deformazione

Per determinare la freccia reale presente nella trave reticolare di copertura, dal momento che, essendo una sezione composta, il calcolo del momento di inerzia equivalente poteva risultare complesso e non del tutto affidabile, si è preferito condurre

un'analisi ad elementi finiti attraverso il software Straus7. Di seguito si riporta il grafico di tale analisi.

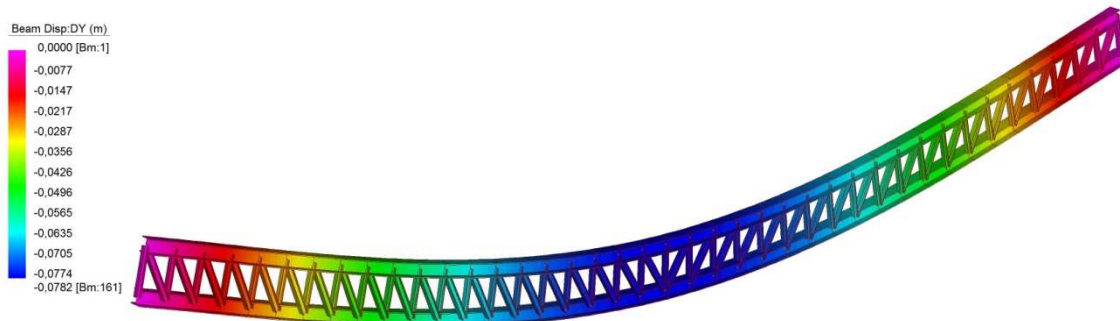


Fig. 6.14 - Deformata qualitativa e distribuzione degli spostamenti verticali.

In questo caso lo spostamento verticale massimo ammissibile risultata essere:

$$f_{max} = l/200 = 26,5/200 = 0,1325 \text{ m}$$

Dai grafici sopra riportati risulta una freccia massima pari a 0,0782 m, inferiore, pertanto, al massimo valore ammissibile.

### 6.3.7 Dimensionamento elementi di copertura in legno lamellare

Per la copertura della palestra comunale si è scelto di adottare, sia per le luci di grande entità, che per la resa estetica e funzionale, un doppio ordito composto da elementi in legno lamellare con classe di resistenza gl32h. Per il dimensionamento si è fatto riferimento a dati forniti dal produttore e si è scelto di adottare le seguenti sezioni:

- ordito principale: trave 26 x 110 cm;
- ordito secondario: travetti 16 x 24 cm;
- controventature: travetti 16 x 24 cm.

Sempre attraverso un predimensionamento di massima sono stati selezionati i profili per i pilastri, la cui scelta è ricaduta su HEB 300.

Successivamente è stata effettuata una verifica degli spostamenti attraverso, con l'ausilio del software Straus7<sup>®</sup>, un'analisi ad elementi finiti. Di seguito si riportano gli output *grafici* di tali analisi.

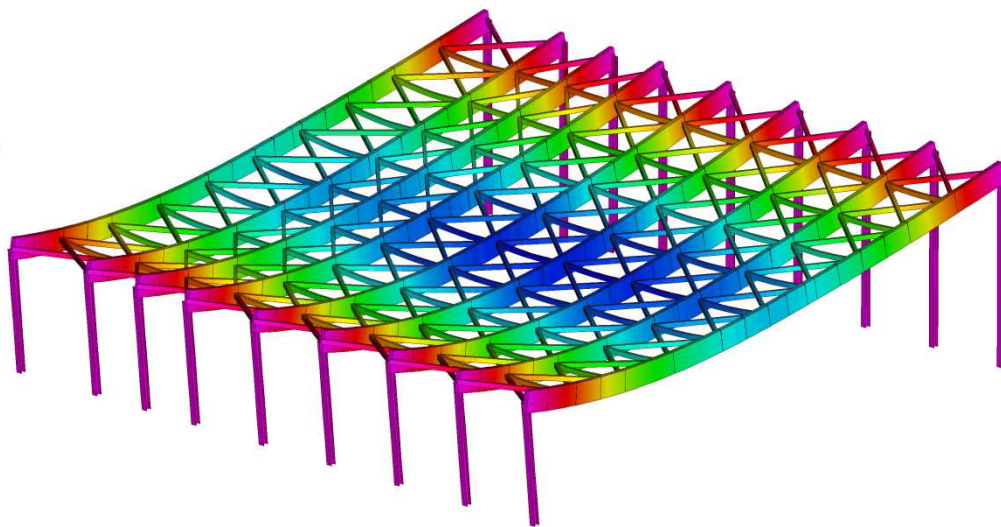
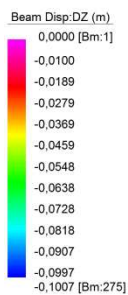


Fig. 6.15 - Deformata qualitativa e distribuzione degli spostamenti verticali.

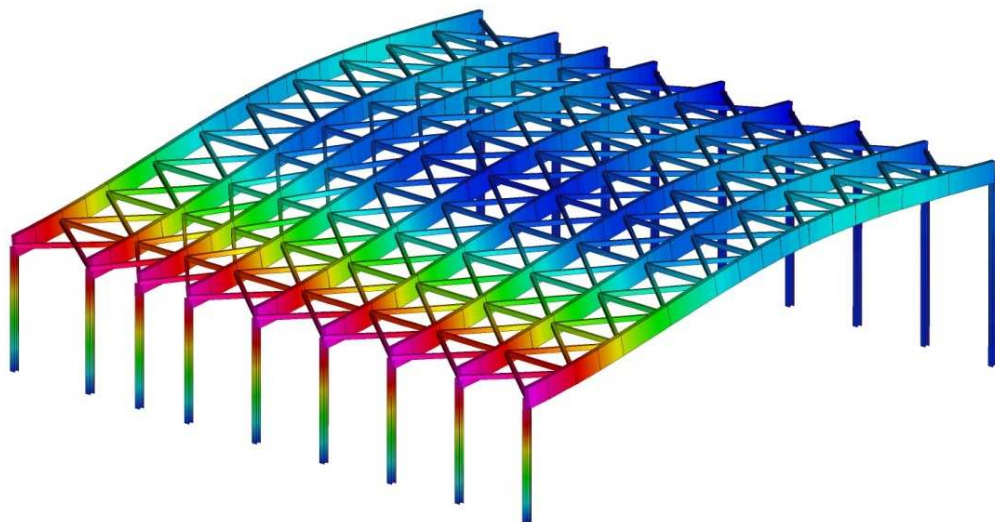
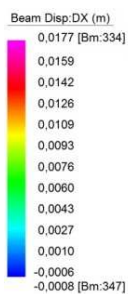


Fig. 6.16 - Distribuzione degli spostamenti orizzontali longitudinalmente all'ordito principale.

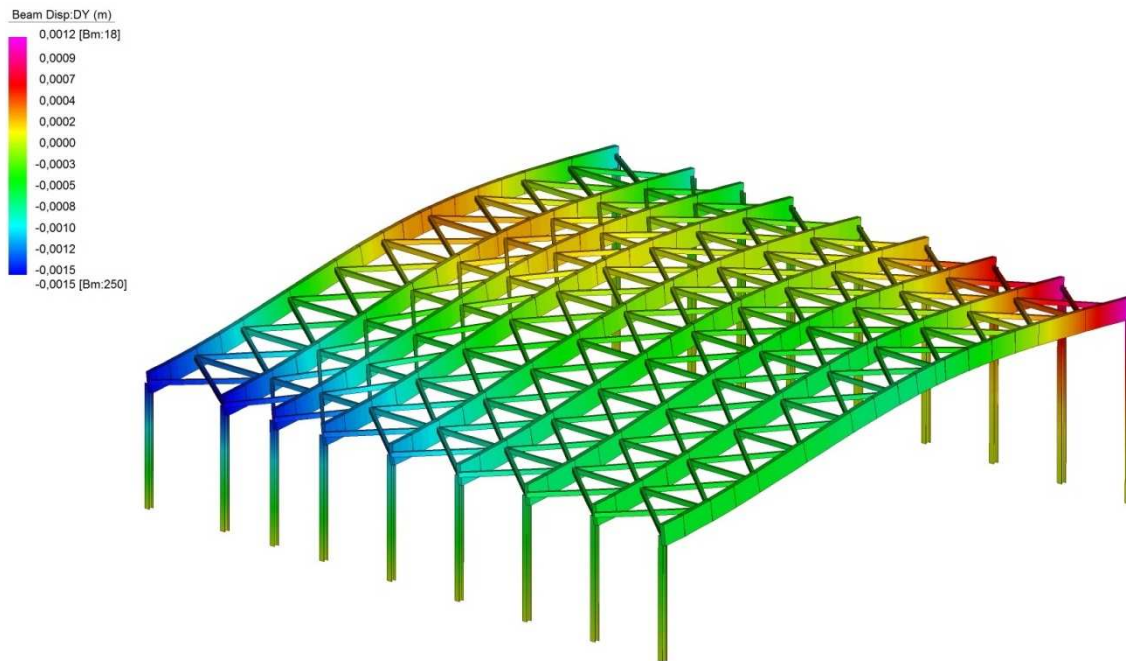


Fig. 6.17 - Distribuzione degli spostamenti orizzontali trasversalmente all'ordito principale.

In questo caso lo spostamento verticale massimo ammissibile risultata essere:

$$f_{max} = l/200 = 32,85/200 = 0,164 \text{ m}$$

Dai grafici sopra riportati risulta una freccia massima pari a 0,1001 m, inferiore, pertanto, al massimo valore ammissibile.

### 6.3.8 Dimensionamento copertura esterna in TRC

Il calcestruzzo fibrorinforzato, o *FRC* (*fiber reinforced concrete*), è un conglomerato cementizio all'interno del quale vengono disperse in modo casuale fibre corte rispetto alle dimensioni dell'elemento. A differenza del tradizionale rinforzo con barre d'acciaio, le fibre non aumentano la resistenza del calcestruzzo ma, grazie alla loro diffusione omogenea, sono più efficaci nel migliorare il comportamento post-fessurativo del materiale. Il loro scopo è quindi quello di accrescere la duttilità, o meglio la capacità di assorbire energia, attraverso il controllo della propagazione delle fessure.

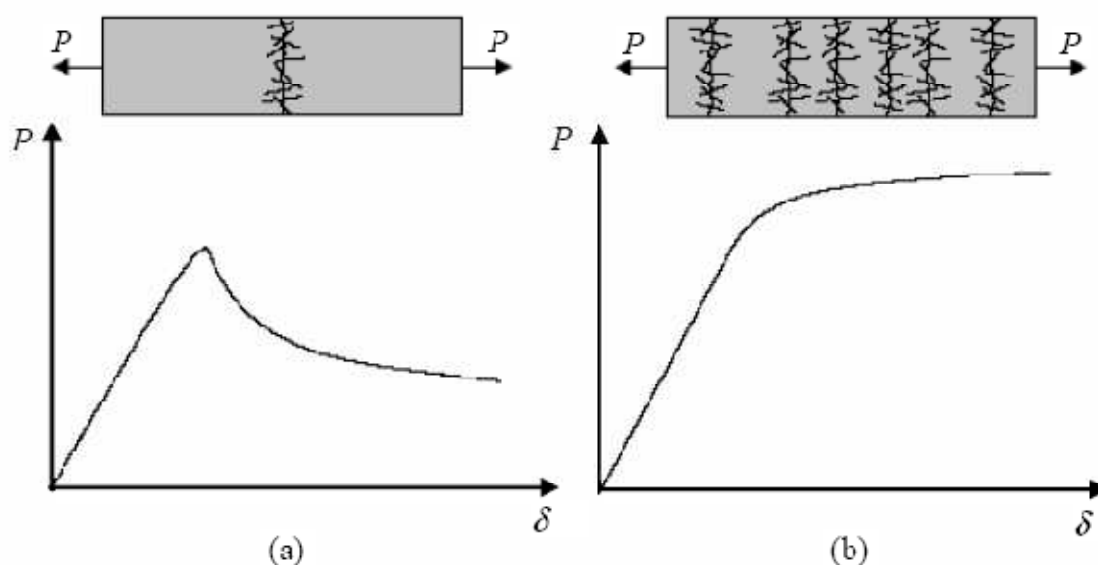


Fig. 6.18 – Curva carico  $P$  – spostamento  $\delta$  per conglomerati fibrorinforzati caratterizzati da: basse percentuali di fibre (a) e alte percentuali di fibre (b).

Durante una prova di carico su un elemento in *FRC* si può assistere sostanzialmente a tre diversi comportamenti post-picco:

- La rottura può avvenire immediatamente dopo il raggiungimento della resistenza massima della matrice con la propagazione di una singola frattura. In questo caso la tensione trasmessa dalla matrice al momento della fessurazione è superiore alla resistenza di pull-out delle fibre, le quali non riescono a evitare la propagazione instabile della fessura. Il ramo della curva è degradante (*softening*) ed è tipico di un quantitativo basso di fibre (0,2%) e di un composito fragile;
- Si può avere una rapida perdita di resistenza e un successivo graduale assestamento verso un valore residuo costante. L'aumento della quantità di fibre non modifica la modalità di rottura locale, ma la propagazione è controllata dallo sfilamento delle fibre dalla matrice che si manifesta graficamente con una resistenza non nulla. Il comportamento è quasi fragile e si ha per un contenuto medio di fibre (1-2%);
- Si può superare il carico a rottura della matrice e incrementare ulteriormente la resistenza fino a raggiungere un valore costante. Un volume di fibre superiore al 2% rende duttile il comportamento del materiale e aumenta la dispersione di energia dovuta alla redistribuzione degli sforzi tra matrice e fibre. Il comportamento multifessurativo è definito in letteratura come *quasi-hardening* e



il calcestruzzo in grado di garantirlo prende il nome di *HPFRC* (*high performance fiber reinforced concrete*) o *UHPFRC* (*ultra high performance fiber reinforced concrete*) nel caso di forte resistenza a compressione.

I diversi comportamenti del materiale *FRC* dipendono dalla sua struttura interna; pertanto, nei paragrafi successivi si analizzeranno nel dettaglio i tre componenti che formano il composito: la matrice cementizia, le fibre e l'interfaccia fibra-matrice.

#### **6.3.8.1 La Matrice Cementizia**

I principali ingredienti della matrice per *FRC* non variano rispetto a quelli dei tradizionali materiali cementizi, che sono: cemento Portland, acqua e aggregati di varie dimensioni. La scelta della qualità dei componenti e delle loro proporzioni di miscela dipende dalle particolari richieste di resistenza, di compattezza, di lavorabilità e di durabilità. La scelta di aggregati a granulometria fine, ad esempio, migliora la compattezza del prodotto, creando un materiale più omogeneo e quindi più resistente a trazione, ma riduce la lavorabilità, a meno di non aumentare il rapporto acqua/cemento, che però indebolisce la resistenza a compressione. Come già accennato, questo problema è stato risolto dalla diffusione di additivi chimici fluidificanti e superfluidificanti, introdotti nei primi anni '70 e ora largamente utilizzati, che migliorano le proprietà allo stato fresco senza compromettere le caratteristiche del prodotto indurito. Le miscele con questi additivi sono definite *Calcestruzzi autocompattanti* (*CSS*) e, oltre a non aver bisogno di essere vibrati, sono in grado di gestire anche grandi quantità di fibre garantendo comunque una distribuzione omogenea senza fenomeni di segregazione.

Un'altra possibile modifica consiste nel sostituire parte del cemento con aggregati minerali in particolato fine, che abbattano i costi di produzione di un composito molto compatto, o con le aggiunte pozzolaniche, come la loppa d'altoforno, la cenere volante e il fumo di silice [29] [30] che, oltre ad essere fini, durante il processo di idratazione convertono la calce  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , altamente alcalina, in gel C-S-H (silicati di calcio idrati) responsabile della resistenza meccanica del calcestruzzo, realizzando così compositi *UHPFRC*. Anche le modalità di confezionamento della matrice influenzano l'efficienza del rinforzo, soprattutto nei casi che prevedono grossi volumi di fibre lunghe, le quali hanno la tendenza a raggrupparsi in ciuffi o grovigli (*fiber balling*) che compromettono l'omogeneità all'interno dell'impasto e ostacolano alcune fasi del getto. Il fenomeno si può evitare producendo una matrice maggiormente viscosa e introducendo le fibre in modo graduale tenendo sotto controllo la velocità di miscelazione. Lo sfruttamento



massimo delle tecnologie produttive consente di ottenere un'ulteriore categoria di *HPFRC* che prende il nome di *SIFCON* (*slurry infiltrated concrete*), nel quale è introdotta tramite sifonatura una percentuale di fibre addirittura superiore al 20% senza correre il rischio di accumuli o segregazione.

### 6.3.8.2 Fibre

Le fibre disponibili sul mercato sono innumerevoli e possono essere caratterizzate in funzione del materiale in cui sono prodotte, delle proprietà chimico/fisiche, delle proprietà meccaniche e della geometria.

Le fibre metalliche, solitamente in acciaio, hanno modulo elastico pari a 200 MPa, grande resistenza a trazione e comportamento duttile. Le fibre minerali invece hanno un modulo elastico intermedio tra acciaio e calcestruzzo e un comportamento fragile mentre le fibre polimeriche, come pure quelle naturali, hanno una rigidità paragonabile a quella della matrice (escluse le *Kevlar*), ma un comportamento molto duttile.

In generale l'efficienza delle fibre come rinforzo può essere determinata attraverso questi parametri:

- Il *rapporto d'aspetto*, definito come rapporto tra la lunghezza e il diametro della fibra, che influenza il trasferimento degli sforzi tra matrice e fibra ed è uno dei responsabili della lavorabilità della matrice allo stato fresco;
- La *rugosità della superficie e la sagomatura*, di cui alcuni esempi sono riportati in Fig. 3.6, che incidono sulla qualità del contatto meccanico tra matrice-fibra e determinano il meccanismo di pull-out;
- La *resistenza a trazione, il modulo elastico e il comportamento a rottura* che determinano il quantitativo di energia che riescono a dissipare in fase fessurativa;
- La *percentuale volumetrica* rispetto al totale, solitamente compresa tra 0,2% e 2%, da cui dipende la distanza relativa tra le fibre all'interno del composto e quindi la diffusione dello sforzo e, a livello macroscopico, il comportamento fragile o duttile.

#### 6.3.8.2.1 Fibre in acciaio

Secondo la norma *CNR\_DT 204* del 2006 [34] le fibre in acciaio utilizzabili in applicazioni strutturali hanno lunghezza compresa tra 6 mm e 70 mm e un diametro





equivalente di 0,15,1,20 mm e sono classificabili in base al processo produttivo, alla forma ed al tipo di materiale.

Esistono tre classi per distinguere il processo produttivo:

- Da filo trafilato (Tipo A)
- Da lamiera tagliata (Tipo B)
- Da altre fabbricazioni (Tipo C)

Due classi per definire la forma:

- Rettilinee
- Sagomate (uncinate, ondulate,..)

E tre classi per il materiale:

- Acciaio a basso contenuto di carbonio ( $C < 0,2$ , Tipo 1)
- Acciaio con alto contenuto di carbonio ( $C > 0,2$ , Tipo 2)
- Acciaio inox (Tipo 3)

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, le fibre possono essere distinte in tre categorie (R1,R2,R3) riassunte nella tabella sottostante:

Diametro equivalente [mm]	Resistenza minima a trazione [N/mm <sup>2</sup> ]												Prova di piegamento alternato tutte le classi assenza di rotture
	R1				R2				R3				
	1)		2)		1)		2)		1)		2)		
	$R_m$	$R_{p_{0,2}}$	$R_m$	$R_{p_{0,2}}$	$R_m$	$R_{p_{0,2}}$	$R_m$	$R_{p_{0,2}}$	$R_m$	$R_{p_{0,2}}$	$R_m$	$R_{p_{0,2}}$	
$0.15 \leq d_f < 0.50$	400	320	480	400	800	720	1080	900	1700	1360	2040	1700	
$0.50 \leq d_f < 0.80$	350	280	450	350	800	640	1040	800	1550	1240	2015	1550	
$0.80 \leq d_f \leq 1.20$	300	240	390	300	700	560	910	700	1400	1120	1820	1400	
1) Per fibre rettilinee 2) Per fibre sagomate													

Tab 6.10 - Caratteristiche meccaniche delle fibre in acciaio secondo CNR DT 204

Dove con  $R_m$  e  $R_{p_{0,2}}$  si intendono rispettivamente la resistenza a trazione e la resistenza a scostamento dalla proporzionalità con un'estensione non proporzionale pari allo 0,2% della lunghezza di base dell'estensimetro.

### 6.3.8.2.2 Fibre in vetro

Le fibre di vetro sono utilizzate principalmente per la produzione di elementi sottili immersi in malta molto fine e sono prodotte a partire da una soluzione di sabbia, allumina e calcare che viene miscelata a secco e portata a fusione (circa 1260°C) in una fornace a refrattari. Il vetro fuso viene alimentato direttamente su boccole di platino ed estratto meccanicamente attraverso appositi fori ed estratti sotto forma di filamenti con diametro di 10µm. Questi vengono raffreddati rapidamente con uno spruzzo



d'acqua, immersi in una soluzione polimerica che crea uno strato protettivo e poi raccolti, con o senza una leggera torsione, in gruppi fino a formare una fibra (*strand*). Le fibre così prodotte possono essere raccolte in fili (*roving*) utilizzati in ulteriori processi produttivi, oppure tagliate per produrre fibre più corte di lunghezza compresa tra 0,4 e 0,6 mm. Come dimostrato sperimentalmente il vetro E si deteriora rapidamente a contatto con soluzioni alcaline poiché gli ioni OH<sup>-</sup> spezzano il legame Si-O-Si.

Proprietà	vetro E	vetro AR
Densità (kg/m <sup>3</sup> )	2540	2780
Resistenza a trazione (MPa)	3500	2500
Modulo elastico (GPa)	72,5	70,0
Deformazione a rottura (%)	4,8	3,6

Tab. 6.11 - Caratteristiche meccaniche del vetro E e del vetro AR

Per limitare la corrosione si agisce sia diminuendo l'alcalinità della matrice cementizia sia utilizzando una particolare miscela di vetro sviluppata da *Majumdar* che, grazie all'aggiunta di zirconio (ZrO<sub>2</sub>) al 16%, è in grado di creare legami chimici Zr-O, meno soggetti agli attacchi degli ioni OH<sup>-</sup>. Tale miscela prende il nome di vetro AR (alcalino-resistente). Le proprietà della fibra sono inferiori rispetto a quelle del singolo filamento, a causa del meccanismo complesso di interazione tra i filamenti. Pertanto, per ottenere un composto di buona qualità la matrice cementizia deve essere molto fine e il volume di fibre superiore al 5%. Anche il processo produttivo influisce sulla qualità del prodotto e i metodi più diffusi sono la *Premiscelazione*, che prevede l'aggiunta graduale di fibre durante la miscelazione e da cui si ottiene un prodotto finale mediocre e soggetto a segregazione, lo *Spray-up*, dove fibre e malta vengono spruzzati contemporaneamente sulla superficie in lavorazione con risultato finale di alta qualità, e l'*Estrusione*, in cui il composto premiscelato viene spinto meccanicamente attraverso uno stampo che ne determina la forma.

### 6.3.8.2.3 Fibre in carbonio

Le fibre di carbonio si presentano sotto forma di nastri composti da migliaia di filamenti, del diametro compreso tra 7 e 15 µm, costituiti da cristalli di grafite esagonale disposti per piani di densità atomica elevata, legati da forze trasversali di interazione debole tipo *Van der Waals*.

Per ottenere l'elevato modulo elastico e la resistenza finale, i piani di grafite devono collaborare in maniera perfetta attraverso il legame debole. I metodi per modificare la struttura del carbonio si basano sulla pirolisi di precursori organici quali le fibre di poliacrilonitrile nel metodo *PAN* e i derivati del petrolio (*petroleum pitch*) nel metodo *PITCH*. In entrambi i processi, le fibre vengono prima orientate a temperatura intorno a 200°C, poi sottoposte a un trattamento di carbonizzazione a 1500°C in atmosfera inerte che elimina gli elementi chimici estranei, e subiscono infine un trattamento di grafitizzazione a 3000°C che permette la completa formazione della struttura cristallina. In tabella sono riportate le principali caratteristiche meccaniche delle due categorie di fibre.

Proprietà	PAN		PITCH
	tipo I	tipo II	
<i>Diametro (μm)</i>	7,0 - 9,7	7,6 - 8,6	
<i>Densità (kg/m<sup>3</sup>)</i>	1950	1650	1600
<i>Resistenza a trazione (MPa)</i>	2200	2700	600 - 750
<i>Modulo elastico (GPa)</i>	390	250,0	30 - 32
<i>Deformazione a rottura (%)</i>	0,5	1	2,0 - 2,4

Tab. 6.12 - Caratteristiche meccaniche delle fibre PAN e PITCH in carbonio

Le fibre di carbonio *PAN* sono di qualità migliore rispetto alle *PITCH* che però con un costo decisamente inferiore presentano comunque qualità superiori rispetto alle fibre polimeriche. I processi di produzione del *CFRC* sono del tutto simili a quelli del *GFRC*, mentre il contenuto massimo di fibre dipende dalla dimensione granulometrica della matrice e dallo spazio tra i filamenti: per fibre disposte casualmente il volume è del 4-5% mentre per fibre allineate è possibile raggiungere anche il 12%.

#### 6.3.8.2.4 Fibre polimeriche

L'interesse nei confronti delle fibre polimeriche come rinforzo per *FRC* è cresciuto negli ultimi anni soprattutto per la loro capacità di accrescere la duttilità, la resistenza agli impatti e il controllo di fessurazione, oltre a ridurre gli effetti negativi del ritiro e della viscosità. Le caratteristiche meccaniche e fisiche delle principali fibre in commercio sono riportate di seguito.



Proprietà	Acrilica	Nylon	Poliestere	Polietilene	Polipropilene	PVA
Diametro ( $\mu\text{m}$ )	12,7-104,1	22,86	19,81	25,4-1016	\	14-600
Densità ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	1,16-1,18	1,14	1,36	0,92- 0,96	0,9	1,3
Resistenza a trazione (MPa)	269-1000	965	276-1103	76 - 586	130-689	880-1600
Modulo elastico (GPa)	13,7-19,3	5,2	17,2	5	3,4-4,8	25- 40
Deformazione a rottura (%)	7,5-50	20	12-150	3- 80	15	6-10

Tab. 6.13 - Caratteristiche meccaniche delle principali fibre polimeriche

Una considerazione particolare meritano le fibre in arammide, introdotte sul mercato dalla *DuPont Company* con il nome commerciale di *Kevlar*, che, grazie alla composizione con catene di poliammidi aromatiche perfettamente orientate, sviluppano elevata tenacità, modulo elastico e resistenza anche a temperature maggiore rispetto alle altre fibre sintetiche. Queste fibre, a differenza di quelle in carbonio e in vetro, hanno comportamento duttile e la rottura avviene per strizione e sfibramento.

### 6.3.8.2.5 Fibre naturali

Le fibre naturali sono state sviluppate negli ultimi anni per la realizzazione di abitazioni a basso costo e possono essere ricavate dalla macerazione e dall'essiccamento delle radici, come nelle fibre la juta e il lino, dalla raschiatura delle foglie di agave e di acaba, dal prelievo dello strato superficiale di frutti e semi di piante, come nelle fibre di cocco, e infine dal trattamento meccanico della cellulosa del legno delle canne di bambù e dalla canna da zucchero.

Tutte le fibre naturali hanno una microstruttura complessa, composta da centinaia di celle di lunghezza compresa tra i 2 e i 5 mm, e di diametro inferiore a 0,2 mm, unite attraverso la lignina, un collante naturale. Essendo in materiale organico sono vulnerabili all'attacco biologico, influenzato dall'umidità, e all'attacco alcalino, che decompone la lignina. Le loro principali proprietà meccaniche sono riportate in tabella.

Proprietà	Juta	Agave	Cocco	Canna da zucchero
Diametro (mm)	0,1-0,2	\	0,1-0,4	0,2-0,4
Lunghezza (mm)	1800	\	50-350	50-300
Resistenza a trazione (MPa)	250-350	280-750	120-200	170-290
Modulo elastico (GPa)	26-32	13-26	19-26	15-29
Deformazione a rottura (%)	1,5-1,9	3-5	10-25	\

Tab. 6.14 - Caratteristiche meccaniche delle principali fibre naturali

### 6.3.8.3 Interfaccia Fibra-Matrice

In tutti i composti cementizi la microstruttura della matrice in prossimità delle fibre di rinforzo presenta una composizione particolare e prende il nome di *zona di transizione d'interfaccia (ITZ)*. Questa particolare configurazione si genera nelle prime fasi di maturazione quando le particelle di cemento reagiscono con l'acqua producendo un gel di silicati di calcio idrati (C-S-H), responsabili della resistenza ultima del calcestruzzo, e dei cristalli esagonali di idrossido di calcio (CH), o portlandite, molto fragili e di dimensioni maggiori. Le particelle di acqua sono infatti attratte sulla superficie dalle fibre all'interno della miscela e creano uno strato ad alta porosità nella zona d'interfaccia. A maturazione avvenuta l'acqua consumata dal processo chimico lascia dei vuoti che favoriscono la concentrazione dei cristalli di portlandite. Nel suo complesso la *ITZ* presenta quindi una stratigrafia come quella schematizzata in figura, dove alla pellicola protettiva della fibra seguono uno strato di portlandite cristallizzata con matrice più porosa e uno di matrice più compatta.

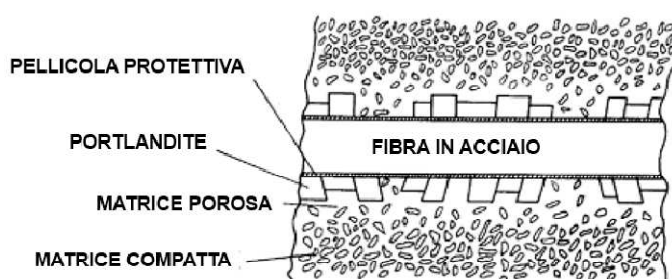


Fig. 6.19 - Particolare della Zona di transizione d'interfaccia (ITZ)

Prove di pull-out sulle fibre evidenziano che la componente più debole del legame fibra-matrice non è il contatto diretto tra i due materiali, ma lo strato immediatamente successivo ricco di cristalli di CH.

Questa zona è responsabile della resistenza del *FRC* e la rottura per trazione del composto avviene inizialmente con la formazione contemporanea di fessure all'interfaccia e nella matrice, le quali poi si uniscono e propagano instabilmente fino al collasso, come mostrato in figura

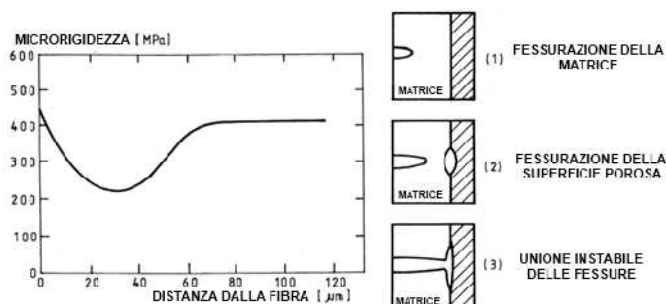


Fig. 6.20 - Variazione della rigidezza della matrice e propagazione delle fessure nella ITZ

Si può migliorare l'adesione chimica introducendo forti percentuali di cenere volante o di fumo di silice che, come già accennato, riducono la cristallizzazione di CH e assottigliano la ITZ. Nonostante i vantaggi di un *mix design* adeguato, a volte al legame chimico bisogna aggiungere un legame di tipo meccanico aumentando la rugosità superficiale delle fibre o sagomando appositi ancoraggi.

#### 6.3.8.4 Meccanica della frattura del FRC

Il comportamento meccanico dei calcestruzzi FRC è influenzato da molti fattori legati alla geometria delle fibre, alla loro quantità, alla loro dispersione e al loro orientamento, oltre che alle caratteristiche della matrice cementizia, alla geometria e alle dimensioni dell'elemento. Il miglioramento della resistenza a trazione di un materiale fragile come il calcestruzzo dipende principalmente da come le fibre riescono a cucire tra loro i lembi delle fessure (effetto *bridging*). Per meglio comprendere quest'ultimo meccanismo è fondamentale conoscere ciò che avviene a livello della mesoscala al crescere del carico.

##### 6.3.8.4.1 Comportamento fessurativo del calcestruzzo

Quando le sollecitazioni superano la resistenza a trazione del calcestruzzo ordinario, nel materiale si forma una fessura che immediatamente si propaga instabilmente fino al collasso. Di seguito si riporta una schematizzazione in cui è possibile identificare tre zone distinte: la parte più esterna, dove i lembi sono separati (*free crack*) e privi di sforzi, la zona intermedia, dove l'ingranamento degli aggregati (*aggregate interlock*) è in grado di trasferire degli sforzi, e la zona più interna (*process zone*) micro fessurata e sollecitata da sforzi più intensi.

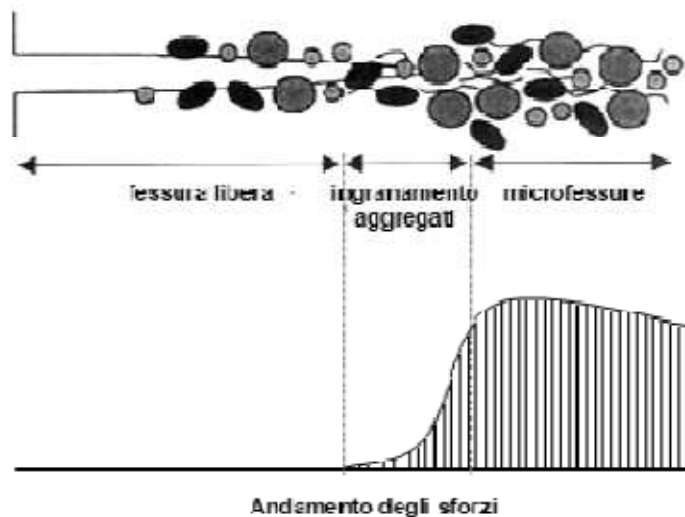


Fig. 6.21 – Particolare della generica fessura nel cls e andamento degli sforzi secondo FCM

Il processo fessurativo può essere interpretato come un bilancio tra l'energia immessa nel sistema attraverso il carico applicato e l'energia di frattura dissipata dalla rottura dei legami interni della matrice. Nel caso del calcestruzzo bianco, l'energia che crea una prima fessura è subito superiore rispetto a quella necessaria a superare la presenza degli aggregati, ed è, pertanto, sufficiente a causare la diffusione instabile della frattura la rottura fragile del composto.

#### 6.3.8.4.2 Comportamento fessurativo del FRC

Per migliorare il comportamento del materiale è necessario introdurre ulteriori ostacoli che richiedano l'immissione di una maggior quantità di energia per essere superati. Nel FRC tale ruolo è svolto dalle fibre, che sfruttano la resistenza del contatto con la matrice per assumere gli sforzi di trazione e limitare l'apertura delle fessure. In questo modo la frattura che si crea al raggiungimento della resistenza a trazione della matrice non riesce a propagarsi verso l'interno e, per aumentare l'ampiezza della fessura, è necessario introdurre ulteriore energia nel sistema. Questo meccanismo si palesa a livello microscopico con un comportamento a rottura duttile con una resistenza residua per basse concentrazioni di rinforzo, mentre, se il quantitativo di fibre è più elevato, la struttura dissipa meno energia per creare nuove fratture piuttosto che per rompere il legame tra fibre e matrice, dando così luogo al fenomeno della multifessurazione.

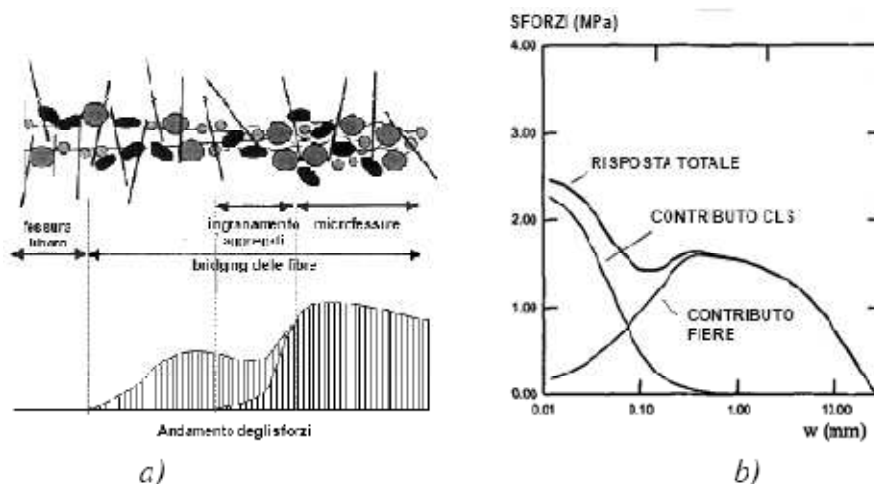


Fig. 6.22 – a) Particolare della generica fessura nel FRC e andamento degli sforzi secondo FCM; b) distribuzione degli sforzi nella matrice e nelle fibre in funzione dell'apertura di fessura.

In figura si può vedere come, nelle fase iniziali della fessurazione, la risposta sia affidata quasi completamente alla resistenza del calcestruzzo e, al crescere dell'apertura di fessura, gran parte dello sforzo si trasferisca alle fibre. L'area sottesa dalle diverse curve rappresenta qualitativamente l'energia di frattura del composito e si nota come l'energia immagazzinata dalle fibre compori un contributo sostanziale nel bilancio complessivo.

### 6.3.8.5 Meccanismi di rottura

I principali meccanismi di dissipazione del *FRC* sono la rottura della matrice e il trasferimento degli sforzi tra fibra e matrice (*bridging*) con conseguente perdita di aderenza tra matrice e fibra (*debonding*) e sfilamento della fibra (*pull-out*) ai quali bisogna aggiungere la possibile rottura della stessa fibra. L'ordine con cui si attivano i diversi meccanismi determina il grado di efficienza del rinforzo fibroso, il quale è legato alla lunghezza delle fibre, alla loro geometria e al loro orientamento rispetto alla giacitura della fessura.



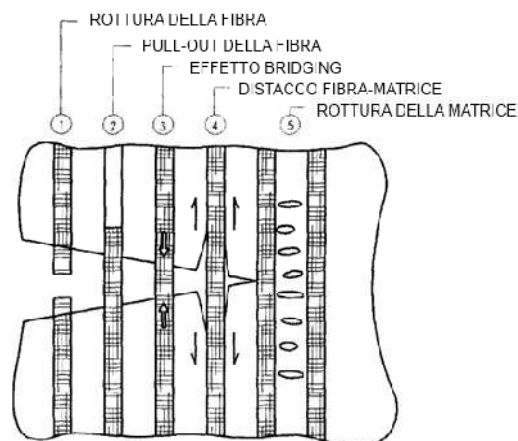


Fig. 6.23 - Principali meccanismi di rottura del FRC.

### 6.3.8.5.1 Pull-out

Come detto, il trasferimento degli sforzi tra matrice e fibra ha un ruolo fondamentale tra i meccanismi di dissipazione di energia e segue andamenti differenti a seconda dello stato fessurativo. Quando la matrice è ancora intatta le parti si deformano in maniera congruente tra loro, gli sforzi si trasferiscono con andamento non lineare, il contatto è di tipo chimico e segue un andamento elastico. Nel momento in cui si rompe il legame chimico nascono delle deformazioni relative tra fibra e matrice e l'adesione è garantita fino a rottura dall'attrito meccanico. Il diagramma di pull'out di seguito riportato mostra come il legame di contatto di penda da due valori,  $T_{au}$  e  $T_{fu}$ , rispettivamente resistenza a taglio di aderenza e di attrito, e il passaggio da uno all'altro nella singola fibra avviene in modo brusco.

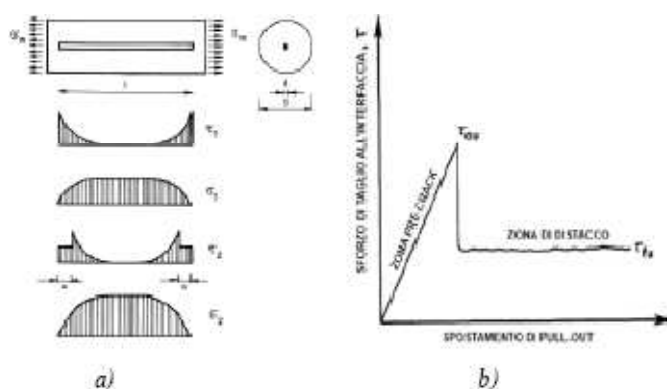


Fig. 6.24 – a) Andamento tensionale lungo la fibra; b) Pull-out della generica fibra.

### 6.3.8.5.2 Lunghezza critica

Ogni tipo di fibra ha una lunghezza critica definibile come la minima lunghezza necessaria perché lo sforzo trasferito sia pari alla resistenza a trazione del materiale. Se la fibra è troppo corta non può sfruttare tutte le sue potenzialità e la rottura avviene per sfilamento con una minore dissipazione di energia. Diversi studi a riguardo hanno dimostrato che solo con fibre lunghe da 5 a 10 volte la loro lunghezza critica si ottiene l'efficienza del 90% del rinforzo fibroso.

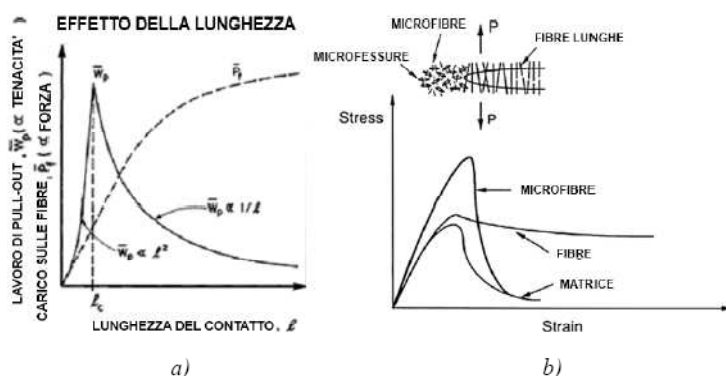


Fig. 6.25 – a) confronto tra la resistenza di pull-out e la resistenza della fibra e b) comportamento a trazione del FRC con fibre e microfibre.

A tal proposito, recentemente l'interesse sperimentale si è orientato verso gli *HFRC*, *hybrid fiber reinforced concrete*, realizzati introducendo nella matrice delle fibre di diversi materiali e dimensioni. Questo nuovo sviluppo vuole combinare le potenzialità delle diverse fibre e sfruttarle nelle varie fasi del comportamento strutturale per migliorare sia la capacità residua che la resistenza a trazione. Come mostrato in Fig. 3.19b, infatti, le fibre utilizzate tradizionalmente migliorano il comportamento nella fase post-fessurata mentre l'introduzione di fibre corte in materiale polimerico permette di controllare anche la microfessurazione del calcestruzzo nella fase elastica.

### 6.3.8.5.3 Direzione delle fibre

Nelle considerazioni fatte finora, si è supposto che la generica fibra fosse sempre orientata perpendicolarmente alla superficie della fessura. Tuttavia, tale ipotesi non corrisponde alla realtà delle applicazioni, dove le fibre sono orientate casualmente. In queste situazioni alle sollecitazioni di trazione si aggiungono delle flessioni locali dovute alla curvatura mentre al taglio all'interfaccia si associano anche delle compressioni localizzate sulla matrice. Questi nuovi sforzi dipendono dall'angolo di orientamento della fibra e influenzano negativamente l'efficienza delle fibre in vetro e in

carbonio, fragili e sensibili alle minime curvatures, mentre migliorano il meccanismo di adesione e di plasticizzazione delle fibre in acciaio, più resistenti e duttili. Come mostrato in figura, l'efficienza massima si ha per angoli compresi tra 30° e 50°.

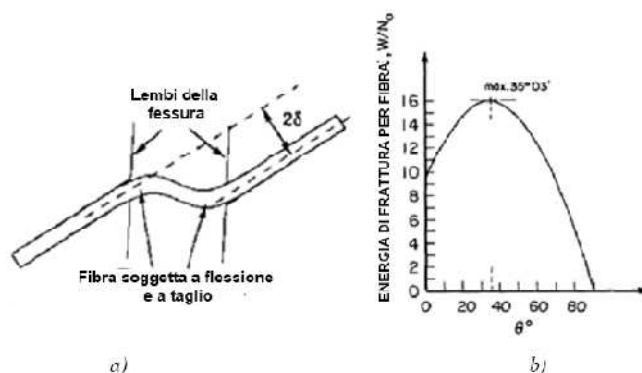


Fig. 6.26 – a) Particolare della fibra orientata; b) efficienza della fibra in funzione dell'inclinazione

### 6.3.8.6 Comportamento Meccanico del FRC

Di seguito vengono descritte le principali proprietà meccaniche, sotto varie condizioni e tipologie, di sforzo dei compositi descritti precedentemente.

#### 6.3.8.6.1 Distribuzione e orientamento delle Fibre

Quanto descritto nel paragrafo precedente sui meccanismi della singola fibra deve essere esteso a tutte le fibre presenti in un elemento di dimensioni reali e ciò ne influenza il comportamento meccanico globale. Come mostrato in letteratura, la capacità resistente di un composto FRC dipende dalla distribuzione delle fibre all'interno della sezione, dal numero di fibre coinvolte nel processo fessurativo, dalla loro lunghezza e dal loro orientamento medio rispetto alla giacitura della fessura e alla direzione di carico.

Gli FRC sono distinti solitamente per contenuto medio di fibre, con l'implicita supposizione che le fibre siano distribuite omogeneamente nella matrice e con un'orientazione casuale. Tuttavia, la forte variabilità dei risultati sperimentali indica che queste due ipotesi sono difficilmente confermate nella realtà. I compositi fibrorinforzati, soprattutto se ad alte prestazioni, sono infatti difficilmente riproducibili, perché sul loro comportamento influiscono molte variabili poco controllabili. Alcune di queste sono la viscosità della matrice, che tende a far fluire il composto in modo diverso se a contatto con le superfici del cassero, mostrando il cosiddetto "effetto parete", o la vibrazione



della matrice, che tende ad allineare le fibre secondo piani perpendicolari rispetto alla direzione della gravità.

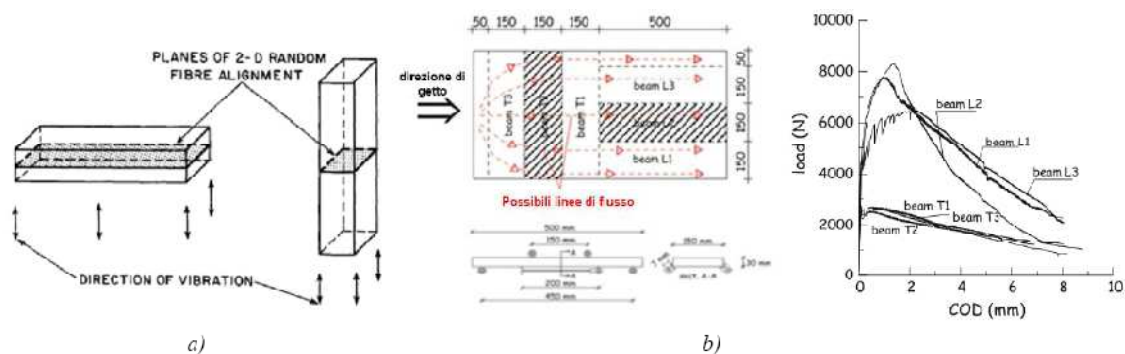


Fig. 6.27 – a) Piani di orientamento delle fibre in funzione della direzione di vibrazione e b) confronto del comportamento flessionale in funzione dell'orientamento delle fibre

Per ridurre le variabili in gioco e migliorare la distribuzione delle fibre è possibile utilizzare i calcestruzzi auto compattanti, la cui miscela è sufficientemente viscosa da evitare la segregazione delle fibre ma consente anche di allineare le fibre secondo la direzione di getto. La figura precedente mostra come sia possibile incrementare le capacità meccaniche del prodotto semplicemente adottando modalità di getto in funzione della direzione degli sforzi che l'elemento strutturale subirà in opera.

### 6.3.8.6.2 Comportamento a compressione del FRC

I compositi FRC non registrano particolari incrementi di resistenza a compressione rispetto al tradizionale calcestruzzo; si può tuttavia notare un sostanziale miglioramento della duttilità e dell'energia assorbita nel tratto *softening* successivo al picco.

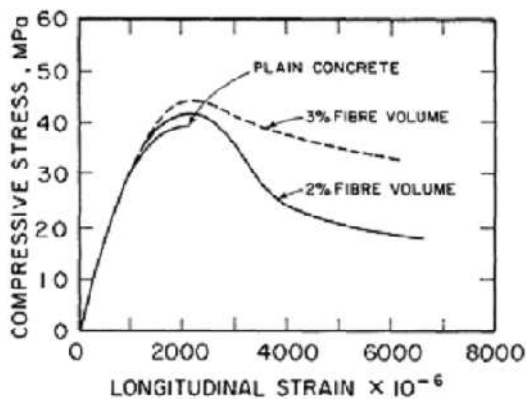


Fig. 6.28 – Comportamento a compressione del FRC al variare del volume di fibre

### 6.3.8.6.3 Comportamento a trazione del FRC

Il comportamento a trazione è maggiormente influenzato dalla presenza di fibre. A differenza del comportamento fragile registrato nel calcestruzzo tradizionale, infatti, nei composti FRC la curva sforzo/deformazione non si limita al ramo elastico ma prosegue in un comportamento degradante o incrudente in funzione della percentuale volumetrica di fibre e del loro orientamento. Buona parte della sperimentazione si è concentrata sulla valutazione del comportamento tensionale del composito FRC individuando lo spartiacque tra comportamento *softening* e *hardening* nella percentuale volumetrica di fibre pari al 2%.

Come mostrato in figura, un aumento della percentuale di fibre comporta una maggiore dissipazione di energia e una multi-fessurazione con rottura più stabile. In letteratura ai materiali in grado di sviluppare un comportamento incrudente è stata associata la definizione di *HPFRC* (*high performance fiber reinforced concrete*).

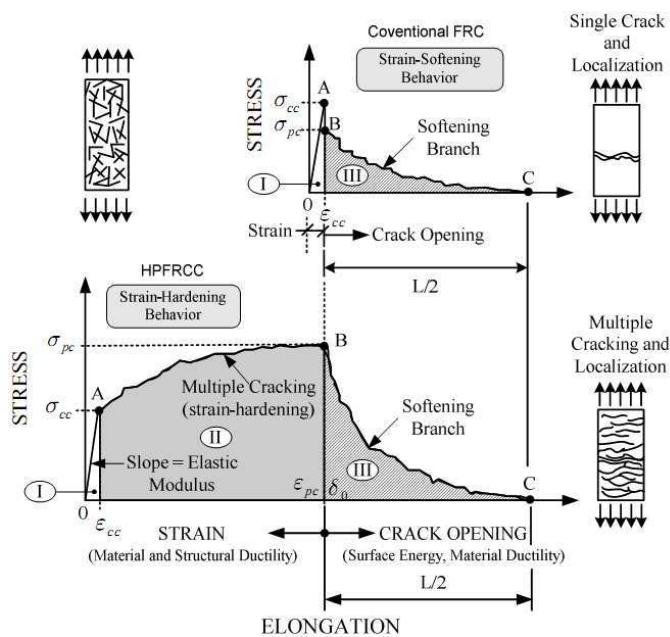


Fig. 6.29 – Comportamento a trazione softening e hardening del FRC in funzione del volume di fibre

### 6.3.8.6.4 Comportamento a flessione del FRC

Il comportamento flessionale accoppia i comportamenti a compressione e a trazione del FRC. La variazione lineare delle deformazioni, tipica della flessione, e l'iperstaticità intrinseca delle fibre favoriscono una propagazione più graduale delle fessure incrementando notevolmente l'efficienza del rinforzo. È stato infatti dimostrato sperimentalmente che è possibile raggiungere un comportamento flessionale

includente anche da un composito che presentava un comportamento a trazione degradante come illustrato di seguito. A causa delle note difficoltà nella realizzazione di prove di trazione monoassiale, le prove a flessione su travetti intagliati sono utilizzate come metodo standard per la classificazione del *FRC*.

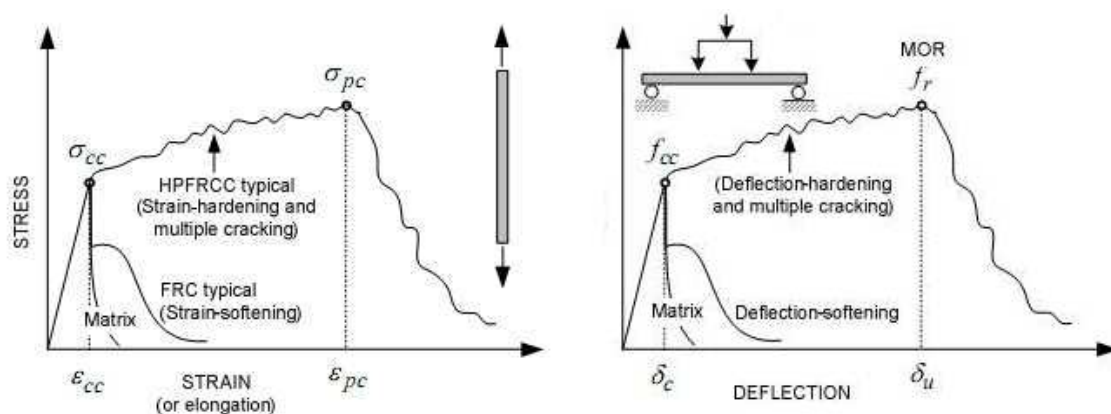


Fig. 6.30 – Confronto tra prove a trazione e a flessione del *FRC* in funzione del comportamento softening o hardening del materiale

### 6.3.8.7 Normative di riferimento e modelli costitutivi

Di seguito si riportano i più importanti riferimenti normativi in sull'argomento e le principali teorie di modellazione costitutiva.

#### 6.3.8.7.1 Linea Guida CNR-DT 204/2006

Nel 2006 il Centro Nazionale di Ricerca ha pubblicato la linea guida “*Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo di strutture di calcestruzzo fibrorinforzato*” con lo scopo di fornire, all'interno della normativa nazionale vigente, un documento di tipo orientativo in grado di disciplinare l'impiego del *FRC* in ambito strutturale. Le istruzioni considerano il calcestruzzo fibrorinforzato come un materiale omogeneo, le cui caratteristiche sono influenzate dal dosaggio e dalle proprietà dei singoli componenti, e forniscono procedure di calcolo basandosi sui principi di progettazione agli Stati Limite, seguendo lo stile degli Eurocodici. La *CNR-DT 204* distingue due comportamenti a trazione in funzione del rapporto volumetrico di fibre: per volumi compresi tra 0,3 e 2% il comportamento è considerato degradante (*softening*) mentre per volumi superiori il comportamento è includente (*hardening*) con multifessurazione.

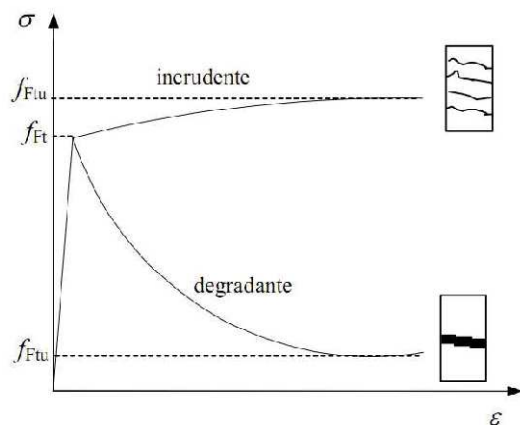


Fig. 6.31 – Comportamento a trazione del FRC in funzione della percentuale di fibre

I valori di resistenza di prima fessurazione e di resistenza residua ultima possono essere determinati in forma preliminare attraverso una formula che tiene conto della frazione volumetrica, del rapporto d'aspetto e dell'aderenza:

$$F_{ftu} = \omega \cdot V_f \cdot \frac{l_f}{d_f} \cdot \tau_m$$

essendo:

$\omega$  = coefficiente che tiene conto dell'effettivo orientamento delle fibre;

$V_f$  = frazione volumetrica di fibre;

$l_f$  = lunghezza delle fibre;

$d_f$  = diametro nominale delle fibre;

$\tau_m$  = sforzo tangenziale medio di adesione.

Dato che l'equazione fornisce un valore approssimato che non tiene conto di molti altri fattori, le istruzioni suggeriscono un approccio prestazionale che identifichi la curva costitutiva a trazione attraverso opportune prove su campioni in FRC. Il legame sforzo nominale - apertura di fessura è determinabile mediante prove di trazione uniassiale o di flessione. Poiché la prova uniassiale conforme alla UNI U73041440 è di difficile esecuzione si preferisce utilizzare le prove a flessione eseguite su provini intagliati standard in conformità alla UNI 11039. Nel caso di elementi sottili inflessi dove la direzione di getto, le modalità di miscelazione e l'effetto parete giocano un ruolo rilevante, la CNR-DT 204 suggerisce di eseguire prove a flessione su provini strutturali secondo la UNI 11188.

Sulla base dei dati sperimentali si possono definire dei legami semplificati Sforzo-COD con comportamento rigido-plastico oppure lineare, attraverso la determinazione della



resistenza residua di esercizio  $F_{fts}$ , definita come resistenza post-fessurazione con apertura di fessura compatibile con l'esercizio, e della resistenza ultima residua  $F_{ftu}$ .

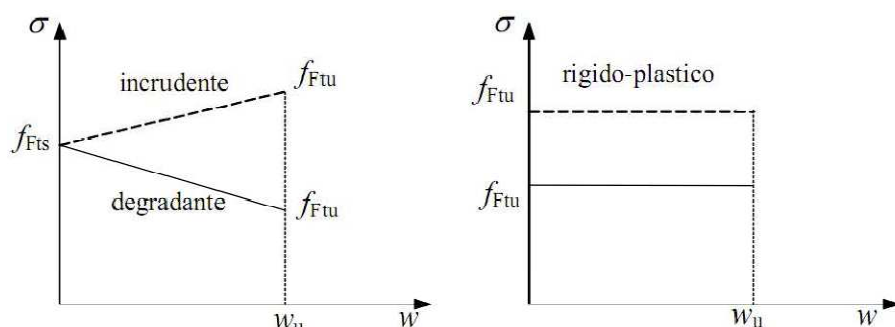


Fig. 6.32 – Legami costitutivi semplificati tensione-apertura di fessura

I valori di  $F_{fts}$  e  $F_{ftu}$  sono ricavati dall'elaborazione dei valori caratteristici di resistenza equivalenti  $f_{eq1}$  e  $f_{eq2}$ , definiti come valori medi della tensione nominale valutati in precisi intervalli di apertura di fessura. Tali intervalli e le rispettive resistenze dipendono dal tipo di provino su cui vengono eseguite le prove e il loro calcolo è riportato successivamente.

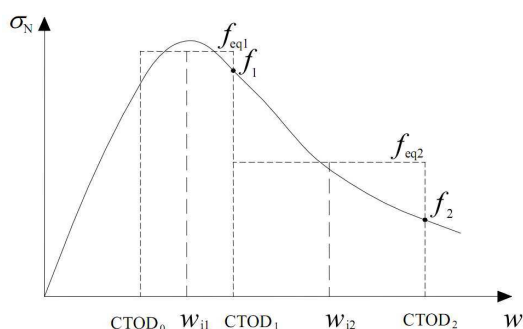


Fig. 6.33 – Definizione di resistenza equivalente puntuale e media

È possibile determinare il legame tensione-deformazione distribuendo il fenomeno tipicamente locale della fessurazione su una lunghezza opportuna chiamata lunghezza caratteristica  $l_{cs}$ . La deformazione è assunta a questo punto pari a:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{l_{cs}}$$

Nel caso di modelli cinematici alla *Eulero-Bernoulli* con ipotesi di sezione piana la lunghezza caratteristica è valutata pari a:

$$l_{cs} = \min (s_{rm}, y)$$



con:

$$s_{rm} = \xi \cdot \left( 50 + 0,25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi}{\rho} \right)$$

essendo:

$s_{rm}$  = valore medio della distanza tra le fessure;

$y$  = distanza dell'asse neutro dal bordo teso della sezione valutata in fase elastica fessurata trascurando la resistenza a trazione (pre e post-fessurazione) del fibrorinforzato;

$\xi$  = coefficiente adimensionale da assumersi pari a 1 per  $l_f/d_f < 50$ , pari a  $50 \cdot l_f/d_f$  per  $50 \leq l_f/d_f \leq 50$  e pari a 0,5 per  $l_f/d_f > 100$ ;

$d_f$  = diametro delle fibre;

$l_f$  = lunghezza delle fibre;

$\phi$  = diametro delle barre di armatura;

$k_1$  = coefficiente pari a 0,8 per barre snervate e pari a 1,6 per barre lisce;

$k_2$  = coefficiente pari a 0,5 per flessione pura o composta con  $y \leq h$  e pari a 1,0 per trazione e flessione composta con  $y > h$ ;

$h$  = altezza della sezione;

$\rho$  = rapporto geometrico tra area delle armature e area della parte tesa della sezione.

Nel caso di sezioni prive di armatura tradizionale soggette a flessione, presso-flessione o tenso-flessione la quantità  $s_{rm}$  è presa pari all'altezza della sezione del provino. Per modelli cinematici differenti, come ad esempio nell'impiego di elementi finiti, la valutazione della  $l_c$  deve essere coerente con le ipotesi del modello scelto.

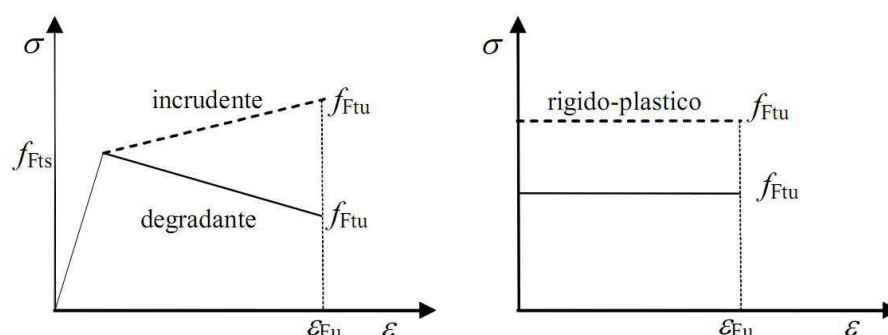


Fig. 6.34 – Legami costitutivi semplificati tensione-deformazione

### 6.3.8.7.2 Modello Elastico Lineare

Il modello elastico lineare ricava i due valori di riferimento  $f_{Fts}$  e  $f_{Ftu}$  da semplici considerazioni di equilibrio sulla sezione del provino valutate nelle condizioni di *SLE* e



SLU. Le equazioni sono definite sulla base dei valori equivalenti di resistenza a flessione:

$$\begin{cases} f_{Fts} = 0,45 \cdot f_{eq1} \\ f_{Ftu} = k \cdot \left[ f_{Fts} - \frac{w_u}{w_{i2}} \cdot (f_{Fts} - 0,5 \cdot f_{eq2} + 0,2 \cdot f_{eq1}) \right] \geq 0 \end{cases}$$

essendo:

$f_{eq1}, f_{eq2}$  = resistenze equivalenti post-fessurazione significative rispettivamente per lo stato limite di esercizio e per lo stato limite ultimo;

$k$  = coefficiente da assumersi pari a 0,7 per le sezioni interamente tese e pari a 1 negli altri casi;

$w_{i2}$  = valore medio delle aperture di fessura corrispondenti agli estremi dell'intervallo in cui è valutato  $f_{eq2}$ .

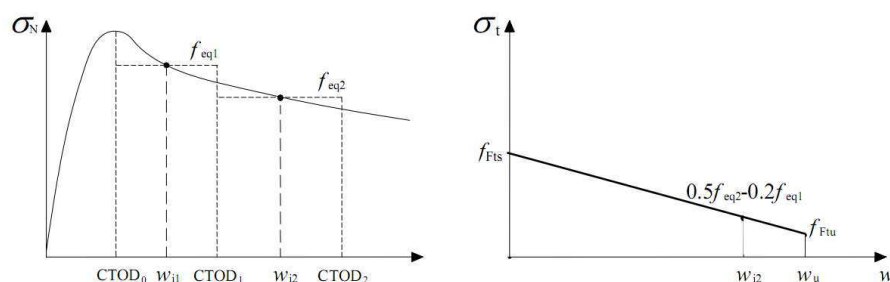


Fig. 6.35 – Valori delle resistenze a trazione determinati sulla base dei risultati della prova di flessione per materiali degradanti

La prima equazione è ricavabile supponendo che per valori di apertura di fessura di piccola entità, tipici della situazione di esercizio ( $w < 0,6$  mm), valgano le seguenti ipotesi:

- sezioni piane;
- comportamento del materiale elasto-plastico a trazione;
- comportamento del materiale elastico lineare a compressione.

Se si prendono come incognite la tensione  $f_{Fts}$  e la curvatura  $\chi$  in corrispondenza della sezione critica e si assume lo stesso modulo di elasticità a trazione e compressione è possibile risolvere il sistema:

$$\begin{cases} N = 0 \\ M(\varepsilon_{F1}) = \frac{f_{eq1} \cdot b \cdot h^2}{6} \end{cases}$$

Ipotizzando che al lembo teso la deformazione valga:

$$\varepsilon_{F1} = \frac{w_{i1}}{l_{cs}}$$

Con  $w_{i1}$  valore medio delle aperture di fessura  $CTOD_0$  e  $CTOD_1$ .

La seconda si ottiene ipotizzando un legame lineare tra i punti di ascissa  $w_{i1}$  e  $w_{i2}$ , esteso fino al punto di ascissa  $w_u$ . Il valore di tensione relativo a  $w_{i2}$  si ricava dall'equilibrio alla rotazione assumendo che la risultante delle compressioni,  $C$ , sia applicata puntualmente alla fibra di estradosso e che il comportamento sia di tipo rigido-lineare:

$$M(\varepsilon_{F2}) = \frac{f_{eq2} \cdot b \cdot h^2}{6}$$

con:

$$\varepsilon_{F2} = \frac{w_{i2}}{l_{cs}}$$

e  $w_{i1}$  valore medio delle aperture di fessura  $CTOD_1$  e  $CTOD_2$ .

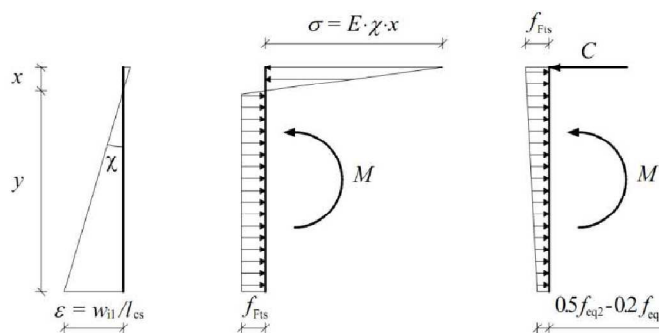


Fig. 6.36 – Diagrammi tensionali per la determinazione della resistenza a trazione

### 6.3.8.7.3 Modello Rigido-Plastico

Il modello rigido-plastico individua un unico valore di riferimento,  $f_{Fts}$ , sulla base del comportamento ultimo. Tale valore si calcola come:

$$f_{Ftu} = \frac{f_{eq2}}{3}$$

Ricavata imponendo l'equilibrio alla rotazione allo  $SLU$  come in precedenza ma tenendo conto di un diagramma di sforzi di trazione costante:

$$M_u = \frac{f_{Ftu} \cdot b \cdot h^2}{2}$$



#### 6.3.8.7.4 UNI 11039

La norma prevede prove a flessione su quattro punti in controllo di *CMOD* (apertura alla base dell'intaglio) da effettuare su provini prismatici intagliati in mezzera derivanti da campioni di calcestruzzo *FRC*. I provini sono prismi retti a base quadrata di dimensioni 150 mm x 150 mm x 60 mm con un intaglio di profondità di 45 mm e larghezza compresa tra 3 e 5 mm. Il banco di prova è costituito da due cilindri metallici d'acciaio superiori liberi di ruotare e da due cilindri inferiori, uno fisso e uno in grado di ruotare. I cilindri devono avere diametro compreso tra 20 e 40 mm e lunghezza almeno di 25 cm. Trasduttori di forza e di spostamento valutano rispettivamente il carico applicato e gli *CTOD* (Apertura all'apice dell'intaglio) e *CMOD* (Apertura alla base dell'intaglio).

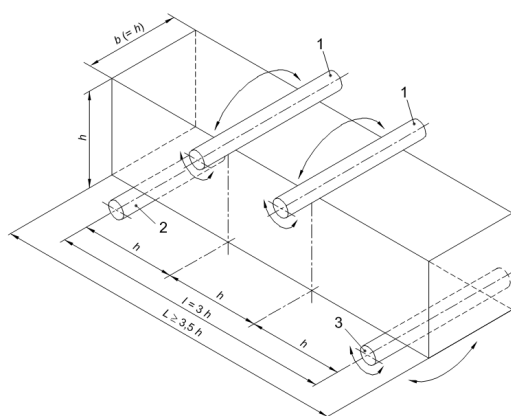


Fig. 6.37 – Configurazione di carico per travetti intagliati testati a flessione su 4 punti

I parametri di resistenza si valutano a partire dalle curve sperimentali carico -  $CTOD_m$  (valore medio dei  $CTOD$  valutati sui diversi lati). La determinazione del  $CTOD_0$ , corrispondente al carico massimo, può essere effettuata per via diretta a partire da provini in calcestruzzo base oppure può essere convenzionalmente preso pari a  $25 \mu_m$ . La resistenza di prima fessurazione  $f_{1f}$  è valutata a partire dal carico massimo  $P_{1f}$  valutato nell'intervallo di spostamento compreso tra 0 e  $CTOD_0$  tramite questa relazione:

$$f_{1f} = \frac{P_{1f} \cdot L}{b \cdot (h - a)^2}$$

essendo:

$L$  = distanza tra i coltelli inferiori;

$P_{1f}$  = carico di prima fessurazione;

$a$  = profondità dell'intaglio;

$b$  = base del provino;

$h$  = altezza del provino.

Le resistenze equivalenti corrispondenti allo *SLE* e allo *SLU* sono  $f_{eq(0-0,6)}$  valutata nel campo di aperture di fessura compreso tra [0-0,6 mm] e  $f_{eq(0,6-3)}$  nel campo [0,6-3 mm] e sono calcolate con:

$$f_{eq(0-0,6)} = \frac{L}{b \cdot (h - a)^2} \cdot \frac{U_1}{0,6}$$

$$f_{eq(0,6-3)} = \frac{L}{b \cdot (h - a)^2} \cdot \frac{U_2}{2,4}$$

Dove  $U_1$  e  $U_2$  sono le aree sottese dalla curva carico -  $CTOD_m$  nei due intervalli specificati:

$$U_1 = \int_0^{0,6} P(CTOD) \cdot d(CTOD)$$

$$U_2 = \int_{0,6}^3 P(CTOD) \cdot d(CTOD)$$

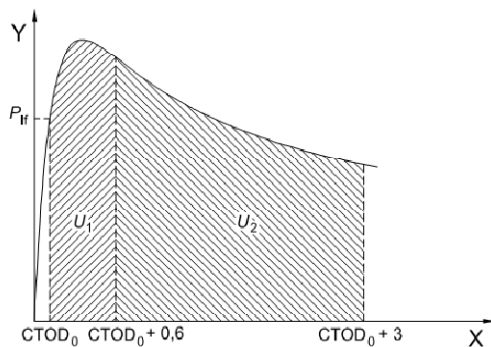


Fig. 6.38 – Corrispondenza fisica dei due parametri  $U_1$  e  $U_2$

Possiamo classificare il *FRC* in funzione della resistenza a compressione, della consistenza, della resistenza a prima fessurazione  $f_{If}$  e degli indici di duttilità  $D_0$  e  $D_1$ . I primi due indici sono ricavabili dalla norma UNI EN 206-1 mentre gli indici di duttilità valgono:



$$D_0 = \frac{f_{eq(0-0,6)}}{f_{lf}}$$

$$D_1 = \frac{f_{eq(0,6-3)}}{f_{eq(0-0,6)}}$$

### Classi di resistenza di prima fessurazione

Classe	F <sub>2,0</sub>	F <sub>2,5</sub>	F <sub>3,0</sub>	F <sub>3,7</sub>	F <sub>4,5</sub>	F <sub>5,5</sub>	F <sub>6,5</sub>	F <sub>7,7</sub>	F <sub>9,0</sub>
Resistenza caratteristica minima $f_{f,ck}$ [MPa]	2	2,5	3	3,7	4,5	5,5	6,5	7,7	9,0

### Classi di duttilità

Indici di duttilità (valori caratteristici minimi)	Classi di duttilità						
	$D_{S0}$	$D_{S1}$	$D_{S2}$	$D_P$	$D_{H0}$	$D_{H1}$	$D_{H2}$
$D_0$	<sup>1)</sup>	≥0,5	≥0,7	≥0,9	≥1,1	≥1,3	≥1,55
$D_1$	≥0,3	≥0,5	≥0,7	≥0,9	≥1,1	≥1,3 <sup>2)</sup>	≥1,55 <sup>2)</sup>
	Comportamento softening			Comportamento plastico	Comportamento hardening		
	1) Valori dell'indice di duttilità $D_0 < 0,5$ sono tipici di calcestruzzi non rinforzati con fibre di acciaio. 2) Le classi $D_{H1}$ e $D_{H2}$ dell'indice $D_1$ sono caratteristiche di SFRC ad altissime prestazioni la cui formulazione richiede l'utilizzo di speciali rinforzi fibrosi opportunamente dosati e di calcestruzzi di base progettati ad hoc.						

Tab. 6.15 – Classificazione di Resistenza e Duttilità del FRC

La designazione comprende:

- classe di resistenza a compressione;
- classe di consistenza;
- classe di esposizione;
- dimensione massima dell'aggregato;
- classe di resistenza a prima fessurazione;
- classe di duttilità.

Un esempio di designazione è:

SFRC UNI 11039-1 – C<sub>30/37</sub> – S4 – 20 – XC2 – F<sub>3,5</sub> – D<sub>P</sub> – D<sub>S2</sub>

#### 6.3.8.7.5 UNI 11188

La presente norma tiene conto delle “proprietà strutturali” del FRC che dipendono da alcuni fattori legati alla tecnologia esecutiva e a caratteristiche dimensionali quali:

grado di dispersione delle fibre, forma e dimensioni della struttura, direzione del getto, modalità di compattazione e di maturazione. Tali proprietà si determinano su provini della stessa dimensione significativa, nello stesso assetto e maturati nello stesso ambiente della struttura.

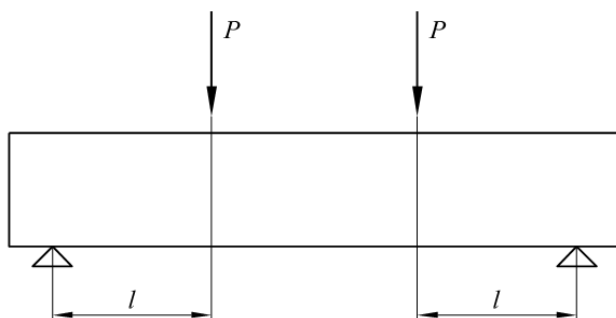


Fig. 6.39 – Configurazione di carico per travetti strutturali testati a flessione su 4 punti

La prova su quattro punti è effettuata su un provino non intagliato di lunghezza 600 mm e dimensioni trasversali uguali a quelle strutturali ma mai inferiori a 450 mm. Il provino può essere ottenuto per taglio dell'elemento strutturale oppure può essere gettato con le stesse modalità e giaciture dell'elemento stesso.

Le strumentazioni e il banco di prova hanno le stesse caratteristiche descritte nella *UNI 11039*. A partire dalla curva carico-spostamento  $P-\delta$  rilevata sperimentalmente si possono dedurre i seguenti valori:

- Carico di prima fessurazione  $P_f$  determinato considerando il valore massimo di carico nell'intervallo  $0 < \delta < 0,1$  mm. Lo spostamento corrispondente è  $\delta_f$ ;
- Carico equivalente post-picco  $P_{eq1}$  corrispondente al valore medio nell'intervallo  $3\delta_f < \delta < 5\delta_f$ ;
- Carico equivalente residuo  $P_{eq2}$  corrispondente al valore medio nell'intervallo  $0,8\delta_d < \delta < 1,2\delta_d$  essendo  $\delta_d = \min(0,02 l_{cs}, 3 \text{ mm})$ .

I valori di carico equivalente richiesti dalla *CNR DT 204* sono calcolati come:

$$P_{eq1} = \int_{3\delta_f}^{5\delta_f} P(\delta) \cdot d\delta$$

$$P_{eq2} = \int_{0,8\delta_d}^{1,2\delta_d} P(\delta) \cdot d\delta$$

Mentre le resistenze potranno essere semplicemente dedotte attraverso la:



$$f_{eq} = \frac{P_{eq} \cdot L}{\frac{b \cdot h^2}{6}}$$

### 6.3.8.7.6 CEB/FIP MODEL CODE 2010

In questo paragrafo sono riportate le principali innovazioni sull'uso del *FRC* che verranno introdotte nel nuovo *Ceb-Fip Model Code 2010*. Questo documento va ad aggiornare il *Ceb-Fip Model Code 1990* pubblicato nel 1993 con lo scopo di diventare il testo di riferimento per la definizione delle norme europee sul calcestruzzo. Una delle principali novità riguarda la classificazione dei composti fibrorinforzati. Come per la *UNI 11039*, la classificazione si basa sulla determinazione di alcuni valori di resistenza residua a partire dalle curve sforzo-apertura di fessura di origine sperimentale, ma in questo caso la prova a flessione è eseguita su tre punti e i valori di resistenza residua sono valutati in specifiche aperture di fessura e non sono valori equivalenti medi valutati in un intervallo. La norma di riferimento per l'esecuzione della prova è la *EN 14651* la quale prevede questo *set-up* di prova per la determinazione della curva carico - *CMOD* e richiede la valutazione di quattro diversi valori di resistenza residua, corrispondenti a  $CMOD = 0,5 ; 1,5 ; 2,5$  e  $3,5$  mm.

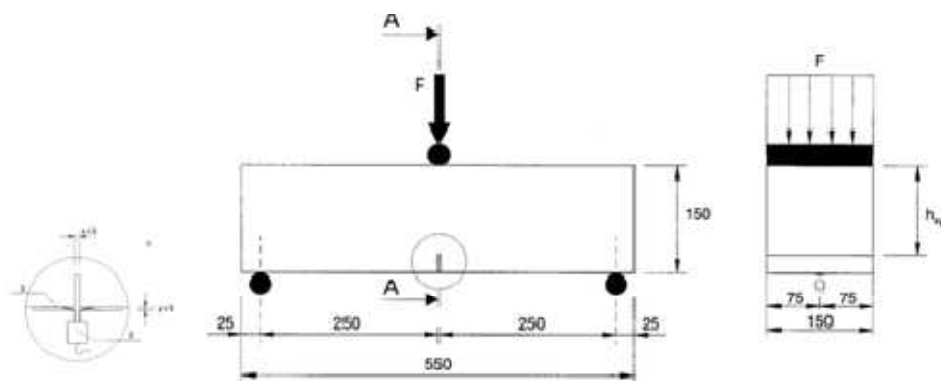


Fig. 6.40 – Configurazione di carico per travetti Rilem testati a flessione su 3 punti

Nel nuovo *Model Code* ci si limita a considerare le tensioni  $f_{R1}$  e  $f_{R3}$ , corrispondenti alle aperture di fessura 0,5 mm e 2,5 mm, considerate alle resistenze residue allo stato limite di esercizio e allo stato limite ultimo. Queste grandezze sono definite come:

$$f_{R,j} = \frac{3 \cdot F_j \cdot L}{2 \cdot b \cdot h_{sp}^2}$$

essendo:

$F_j$  = resistenza residua corrispondente all'apertura di fessura  $CMOD_j$ ;



$L$  = distanza tra i coltelli inferiori;

$b$  = base del provino;

$h_{sp}$  = altezza del provino depurata dell'intaglio.

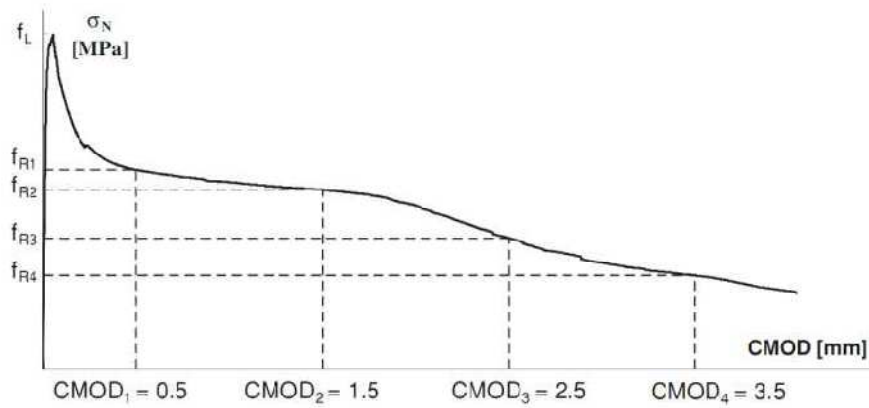


Fig. 6.41 – Comportamento flessionale softening e aperture di fessura equivalenti secondo MC2010

I modelli costitutivi in termini di tensione – apertura di fessura sono simili a quelli definiti nelle istruzioni *CNR DT 204*, riscritti introducendo i nuovi parametri:

- Modello a variazione lineare:

$$\begin{cases} f_{Fts} = 0,45 \cdot f_{R1} \\ f_{Ftu} = k \cdot \left[ f_{Fts} - \frac{w_u}{CMOD_3} \cdot (f_{Fts} - 0,5 \cdot f_{R2} + 0,2 \cdot f_{R1}) \right] \geq 0 \end{cases}$$

- Modello rigido plastico:

$$f_{Ftu} = \frac{f_{R1}}{3}$$

Dove  $w_u$  corrisponde al valore ultimo di apertura di fessura, non superiore a  $CMOD_3 = 2,5$  mm.

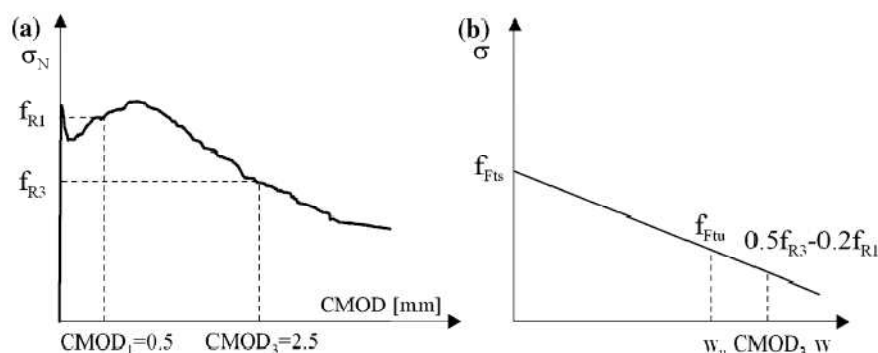


Fig. 6.42 – Generica curva sforzo – CMOD e corrispondente legame costitutivo semplificato

Ed anche i legami sforzo - deformazione si individuano introducendo la lunghezza caratteristica  $l_{cs}$ , la cui definizione non varia rispetto a quanto definito dalla CNR DT 204:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{l_{cs}}$$

essendo:

$$l_{cs} = \min (s_{rm}, y)$$

Le deformazioni corrispondenti alle tensioni notevoli sono quindi:

$$\varepsilon_{SLE} = \frac{CMOD_1}{l_{cs}}$$

$$\varepsilon_{SLU} = \frac{w_u}{l_{cs}} = \min \left( \varepsilon_{Ftu}, \frac{CMOD_3}{l_{cs}} \right)$$

Con  $\varepsilon_{Ftu}$  assunto pari al 2% in flessione e 1% in trazione pura.

Il MC2010 propone per le analisi numeriche una legge costitutiva più sofisticata che tiene conto del comportamento non fessurato del materiale. L'andamento sforzo - deformazione si completa quindi considerando, nella fase pre-picco, la relazione bilineare adottata dalla norma per il calcestruzzo bianco sottoposto a tensione uniassiale, che dipende dalla resistenza a trazione  $f_{ctm}$ :

$$\begin{cases} f_{ctm} = 0.3 \cdot (f_{ck})^{\frac{2}{3}} & \text{classe di resistenza} < C50 \\ f_{ctm} = 2.12 \cdot \ln(1 + 0.1 \cdot (f_{ck} + 8)) & \text{classe di resistenza} > C50 \end{cases}$$

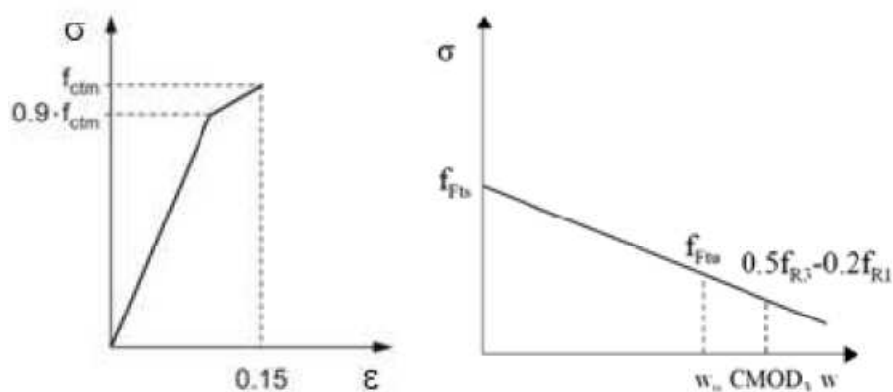


Fig. 6.43 – Legame costitutivo a trazione pre-picco per calcestruzzo e post-picco per FRC secondo MC2010

Sono proposte diverse modalità (Fig. 3.38) per comporre il tratto di legge costitutiva pre-picco e il tratto post-picco di propagazione della fessura, a seconda che il comportamento complessivo del materiale sia *softening* o *hardening*.

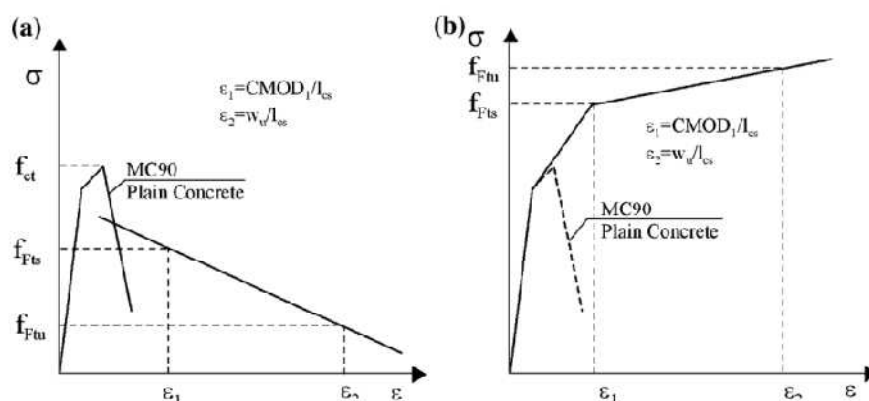


Fig. 6.44 – Possibili modelli di legame costitutivo sforzo-deformazione a trazione per FRC secondo MC2010

È necessario che il progettista tenga conto del fatto che il comportamento osservato nelle prove standard può discostarsi dal reale comportamento reale del *FRC* impiegato nella realizzazione di elementi strutturali. Per questo motivo il *MC2010* consente di realizzare dei test su provini strutturali, come quelli descritti nella *CNR DT 204*, per valutare l'effetto dell'orientazione delle fibre e determinare il fattore di orientazione  $K$  con cui modificare i valori di sforzo equivalente:



$$\begin{cases} f_{Fts,mod} = \frac{f_{Fts}}{K} \\ f_{Ftu,mod} = \frac{f_{Ftu}}{K} \end{cases}$$

La classificazione avviene correlando il comportamento allo *SLE*, la cui resistenza caratteristica è  $f_{R1k}$ , con quello allo *SLU*, rappresentato dal rapporto tra le resistenze caratteristiche  $f_{R3k}/f_{R1k}$ . Il primo parametro consente di scegliere un numero all'interno di questo intervallo:

1,0 ; 1,5 ; 2,0 ; 2,5 ; 3,0 ; 4,0 ; 5,0 ; 6,0 ; 7,0 ; 8,0 ; ... [MPa]

Mentre il secondo parametro determina una lettera in funzione dell'intervallo in cui è compreso:

- lettera a se  $0,5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0,7$
- lettera b se  $0,7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0,9$
- lettera c se  $0,9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1,1$
- lettera d se  $1,1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1,3$
- lettera e se  $1,3 \leq f_{R3k}/f_{R1k}$

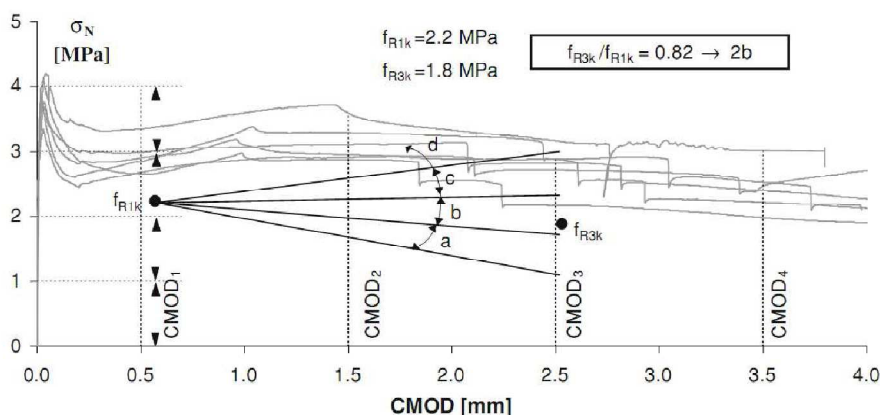


Fig. 6.45 – Classificazione del FRC secondo MC2010

### 6.3.8.8 Textile reinforced concrete (TRC)

Il calcestruzzo armato combina la resistenza a compressione del calcestruzzo e la resistenza a trazione delle barre d'acciaio per ottenere la capacità portante richiesta nella gran parte delle costruzioni civili, ma lo spessore dei copriferri necessari per proteggere l'acciaio vincola la geometria della struttura e appesantiscono le opere. Per snellire le strutture, lo sviluppo tecnologico si è orientato verso i compositi fibrorinforzati come l'*HPFRC* (*high performance fiber reinforced concrete*) e il *TRC*. Quest'ultimo

materiale composito riesce a sfruttare le potenzialità del c.a. e del *FRC* attraverso l'inserimento di uno o più strati di rete di fibra all'interno di una matrice di calcestruzzo a granulometria molto fine. La rete di fibra (*textile*), che può essere orientata secondo la direzione degli sforzi, garantisce infatti un rinforzo più diffuso rispetto a quello offerto dall'armatura tradizionale, e più efficace, a parità di materiale utilizzato, rispetto a quello ottenuto con la dispersione casuale di fibre corte in vetro.

La possibilità di ridurre gli spessori a pochi millimetri e la flessibilità del *textile* consentono di impiegare il *TRC* per realizzare elementi molto sottili, leggeri e di forme particolari. Nei paragrafi successivi saranno presentate le principali caratteristiche dei materiali che partecipano alla realizzazione di un composto *TRC*, le sue proprietà meccaniche, a breve e a lungo termine, e alcune delle opere realizzate finora con questo materiale innovativo.

#### 6.3.8.8.1 Reti di fibre (*Textile*)

Le proprietà, le qualità e la disposizione dei materiali utilizzati per realizzare le fibre hanno una notevole influenza sulle caratteristiche del *TRC*. Le fibre, per essere efficaci, devono avere tenacità, modulo elastico e deformazione a rottura molto più elevate rispetto alla matrice cementizia. Inoltre devono garantire un'adeguata aderenza, e resistere all'attacco alcalino senza perdere le loro proprietà nel tempo.

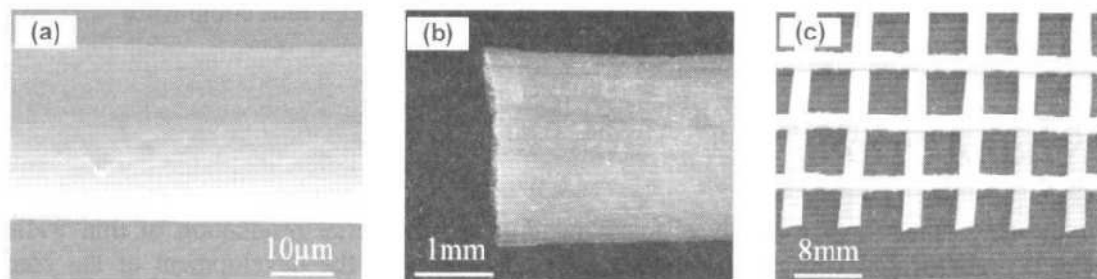


Fig. 6.46 – Textile a varie scale: a) un filamento; b) un filo; c) una rete

Le fibre, realizzate solitamente in vetro o in carbonio, sono composte da fasci di diverse centinaia di filamenti (*yarn*), semplicemente affiancati o leggermente torti. La dimensione delle fibre è valutata in *TEX*, un'unità di misura che valuta il peso in grammi di un chilometro di fibra.

I filamenti in fibra di vetro vengono ricoperti con una membrana polimerica e raccolti in fasci da 400 a 6600 pezzi. La loro densità di  $2.8 \text{ kg/dm}^3$  è relativamente alta, la loro tenacità supera i 1400 MPa, con deformazione ultima al 2% e il loro modulo elastico è



compreso tra 70-80 GPa. Le ottime proprietà d'aderenza con il calcestruzzo garantiscono alle fibre di vetro AR un ottimo rapporto qualità-prezzo.

Per quanto riguarda le reti in carbonio, le proprietà fisiche e meccaniche delle singole fibre sono eccellenti: la densità è pari a  $1,8 \text{ kg/dm}^3$ , la tenacità è compresa tra 3000-5000 MPa, il modulo elastico è di 200-250 GPa e la resistenza agli attacchi chimici è ottima. Tuttavia la cattiva aderenza con il calcestruzzo e l'elevato costo limitano fortemente il loro impiego nelle realizzazioni strutturali.

I filamenti di questi due materiali vengono combinati secondo gli stessi procedimenti impiegati nell'industria tessile per produrre una grande varietà di reti e tessuti, differenti per intreccio di trama, ordito e geometria.

#### **6.3.8.8.2 Matrice cementizia**

La matrice impiegata nei *TRC* deve essere fluida allo stato fresco, per riuscire a penetrare all'interno delle maglie del *textile* e garantire una buona aderenza, mentre in fase solida deve risultare compatta, resistente e chimicamente poco aggressiva. Per raggiungere un'alta lavorabilità si utilizzano aggregati molto fini ( $d_{\max} = 0,6 \text{ mm}$ ) che rendono il composito granulometricamente simile alle malte, ma con prestazioni meccaniche pari a quelle del calcestruzzo. In letteratura questo tipo di matrice prende il nome di micro calcestruzzo, o *fine concrete*. Come visto per gli *FRC*, con l'aggiunta al clinker di pozzolane, quali il fumo di silice e la cenere volante, si migliorano sia la lavorabilità del composto che la sua resistenza, e si riduce l'alcalinità della soluzione presente nei pori. Il fumo di silice infatti rilascia  $\text{SiO}_2$  nella soluzione dei pori del cemento indurito, il quale, reagendo con il  $\text{Ca(OH)}_2$ , forma del calcio silicato non aggressivo chimicamente. Per eliminare completamente l'idrossile di calcio serve un quantitativo di fumo di silice superiore al 25% in massa, ma tale quantità comprometterebbe la lavorabilità della matrice allo stato fresco. Per questo motivo è consigliabile limitarne l'apporto al 10% in massa e sostituire la restante parte con la cenere volante che consente di ottenere gli stessi risultati senza compromettere la fluidità del composto.

L'utilizzo di particolato così fine, abbinato a un rapporto a/c minimo, permette di confezionare un calcestruzzo compatto e impermeabile, che richiede l'aggiunta di additivi fluidificanti.

### 6.3.8.8.3 Comportamento fessurativo e meccanico del TRC

Il comportamento meccanico del TRC non può essere dedotto esclusivamente dall'analisi del comportamento dei singoli componenti, ma richiede la valutazione dell'interazione tra le parti. Serve conoscere i meccanismi di aderenza che avvengono a livello microscopico tra rinforzo e matrice per poter comprendere la risposta globale del composito: con un contatto debole il collasso può avvenire dopo un comportamento duttile, mentre ad un contatto forte corrisponde un materiale più resistente, ma fragile. Mentre tra l'acciaio e il calcestruzzo il contatto dipende inizialmente dall'adesione chimica e successivamente dall'ingranamento meccanico, attivato dalle irregolarità delle due superfici, nel caso del rinforzo in *textile* il contatto è influenzato da un ulteriore meccanismo. Ogni filo del *textile* è composto da migliaia di filamenti che entrano in contatto con la matrice in due modi diversi: quelli più esterni hanno una reale adesione con essa, mentre quelli più interni, non essendo raggiunti dalla miscela, lavorano per attrito tra loro. In questo modo i filamenti esterni hanno una lunghezza di trasferimento dello sforzo inferiore rispetto ai filamenti interni e, a parità di apertura di fessura, raggiungono prima la deformazione di rottura.

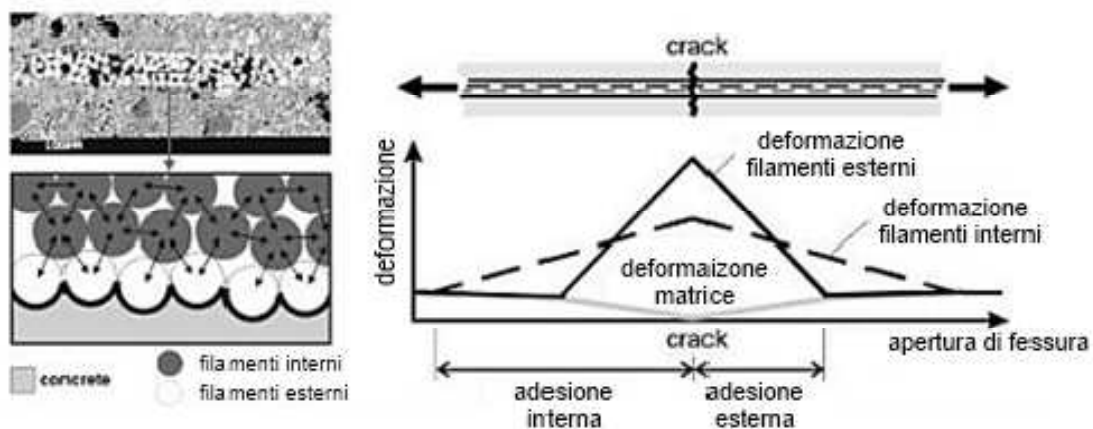


Fig. 6.47 – Particolare del contatto tra la matrice e il filo di textile e andamento delle deformazione dei filamenti interni e esterni lungo la fessura

Per sfruttare meglio le potenzialità del rinforzo si è provato a solidarizzare i filamenti, impregnandoli con resina epossidica. Nel diagramma Carico - Scorrimento riportato di seguito si può vedere un confronto qualitativo tra i risultati ottenuti per provini con fili senza e con resina: nel primo caso lo scorrimento relativo tra i filamenti interni ed esterni determina un comportamento *pseudo-duttile*, nel secondo caso il maggior



numero di filamenti coerenti con la matrice consente di raggiungere valori di carico superiori, ma comporta anche una rottura di tipo fragile.

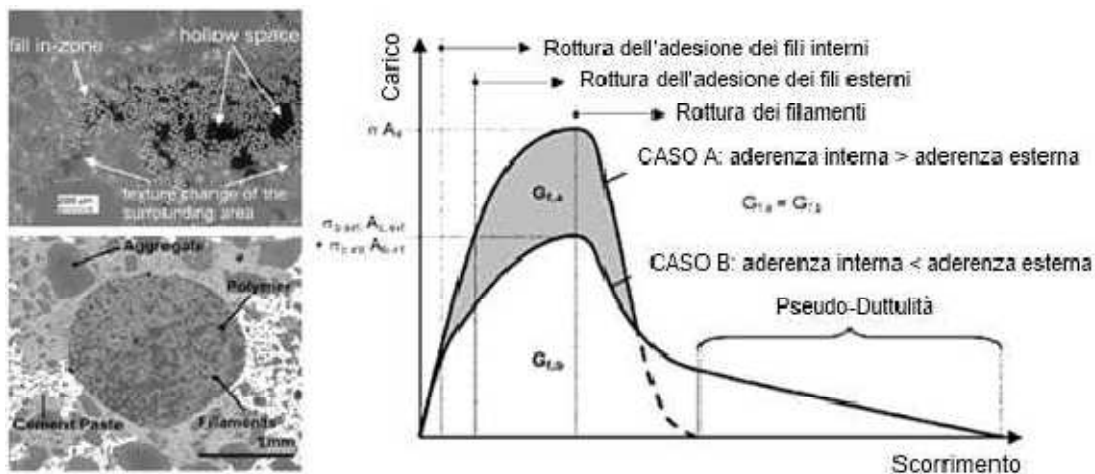


Fig. 6.48 – Particolare del contatto tra la matrice e il filo, non impregnato e impregnato, e loro comportamenti a trazione

Nel comportamento a trazione del *TRC* riportato in Fig. 4.9 è possibile individuare tre stadi:

- *Stadio I*: il comportamento è elastico e la pendenza della curva è legata alle rigidzze sia della malta che delle fibre, mentre lo sforzo di prima fessurazione dipende esclusivamente dalla resistenza a trazione della matrice;
- *Stadio II*: superata la resistenza a trazione del *fine concrete* inizia una fase leggermente incrudente, in cui lo sforzo viene ridistribuito ciclicamente tra matrice e rete durante un processo di fessurazione multipla. Il numero di fessure, la loro distanza e la loro apertura dipendono dalla geometria del rinforzo e dalla qualità dell'aderenza tra le parti;
- *Stadio III*: quando il calcestruzzo esaurisce tutte le sue potenzialità resistenti, il provino si stabilizza su una configurazione multifessurata e lo sforzo è trasferito al solo *textile*. La curva riprende a crescere con una pendenza inferiore di circa il 10-30% rispetto a quella del semplice rinforzo.



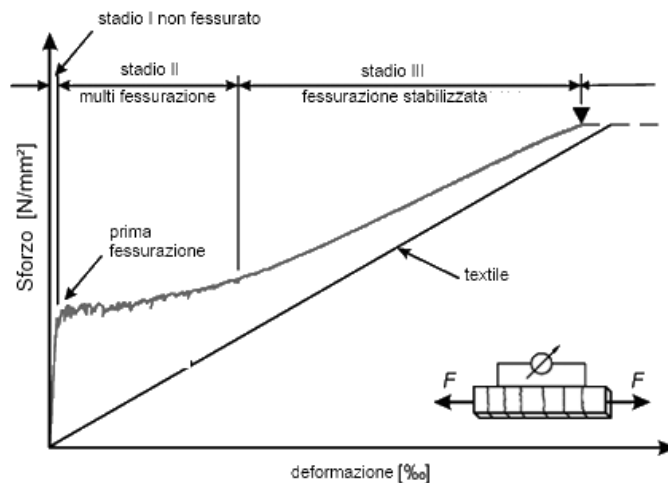


Fig. 6.49 – Comportamento a trazione del generico TRC

L'andamento duttile dei TRC nella fase post-fessurativa è influenzato dalla deformazione ultima delle fibre, e non dalla resistenza a *pull-out* come accade invece per gli FRC, oltre che dal tipo di materiale con cui è realizzata la rete: i composti con fibre di carbonio mostrano, infatti, una rigidità tre volte superiore a quelli con le fibre in vetro AR e una fessurazione meno profonda. Gli studi realizzati finora dimostrano però che il composito rompe per carichi pari a poco più della metà della resistenza del singolo filamento.

Esistono quindi dei fattori che anticipano la rottura del TRC e non consentono un completo sfruttamento delle potenzialità del *Textile*, e i principali sono:

- La variabilità delle proprietà dei filamenti in dipendenza del diametro e del materiale utilizzato;
- Il possibile danneggiamento dei filamenti durante le diverse fasi di produzione;
- L'aderenza tra i filamenti in funzione delle dimensioni, della geometria e delle pressioni trasversali;
- L'aderenza tra filamenti e matrice influenzata dalle sue dimensioni, dalla sua composizione e dalla storia di carico;
- L'orientazione delle fibre rispetto al carico;
- La differenza tra lo sforzo massimo  $f_t$  di un filo della rete e la resistenza del composito  $\sigma_{max}$ , quantificabile attraverso un coefficiente di efficienza  $k_1$  e pari a:

$$k_1 = \frac{f_t}{\sigma_{max}}$$

Le fibre in vetro AR hanno un'efficienza media del 40% mentre quelle in carbonio oltre il 65%. Come già accennato per gli FRC, le fibre in materiale fragile il vetro e il



carbonio hanno anche una struttura molecolare che le rende molto sensibili ai carichi trasversali e alla flessione. Analizzando microscopicamente una fessura è possibile vedere che si sviluppano determinati meccanismi tra fibra e matrice:

- Gli sforzi trasversali e di flessione provocano delle curvature che danneggiano i filamenti e ne riducono la capacità portante;
- I filamenti interni si incurvano meno rispetto a quelli esterni e generano una distribuzione di sforzi non uniforme che limita l'efficacia complessiva della fibra;
- Gli sforzi trasversali provocano delle compressioni sul filo che migliorano il contatto di aderenza tra i filamenti interni.

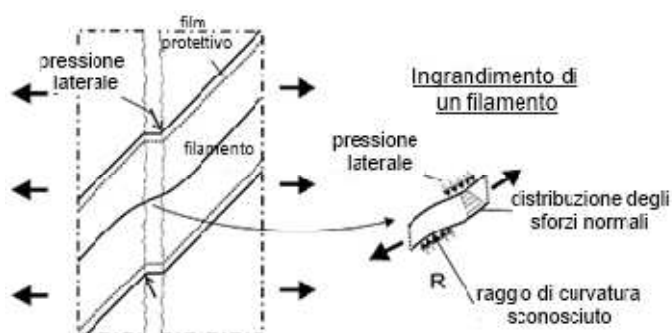


Fig. 6.50 – Particolare di una fessura attraversata da un filo di textile

Il diametro dei fili, la percentuale di rinforzo e l'orientamento delle fibre sono parametri che fanno prevalere un meccanismo rispetto agli altri e modificano il comportamento globale del composito. Sperimentalmente è emerso che l'aumento del diametro dei fili abbatta la resistenza complessiva, questo perché cresce la percentuale di fibre interne non a diretto contatto con la matrice cementizia. Come di seguito l'aumento percentuale del rinforzo migliora la resistenza a flessione del *textile* in carbonio lasciando quasi inalterato quello in fibra di vetro. Questo perché nelle fibre in carbonio la pressione laterale migliora l'aderenza tra le fibre interne mentre nelle fibre di vetro, più delicate, provoca un danneggiamento locale. Per conteggiare questo fenomeno si utilizza un coefficiente  $k_{fl,\rho}$  pari al rapporto tra la resistenza a flessione e a trazione:

$$k_{fl,\rho} = \frac{\sigma_{max,fl}}{\sigma_{max,t}}$$

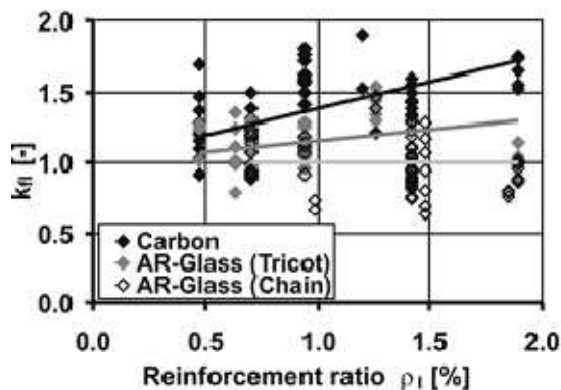


Fig. 6.51 – Variazione della resistenza a trazione del TRC in funzione della percentuale di rinforzo per diversi tipi di fibra

Anche l'orientamento variabile delle fibre rispetto alla direzione di carico attiva degli sforzi trasversali che riducono la capacità portante dell'elemento. Tale riduzione è quantificabile solo sperimentalmente con un coefficiente  $k_{0,\alpha}$ :

$$k_{0,\alpha} = \frac{\sigma_{max,\alpha}}{\sigma_{max}}$$

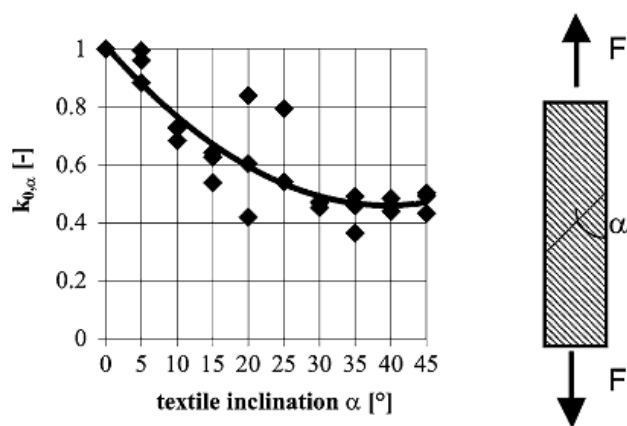


Fig. 6.52 – Variazione della resistenza a trazione del TRC in funzione dell'orientamento delle fibre

Un altro fattore che riduce la resistenza dell'intreccio rispetto a quella del singolo filamento è legato al processo di lavorazione che, cambiando la sezione dei fili, modifica la qualità dell'adesione tra i filamenti. La perdita di resistenza è ancora più influenzata dalla perdita di aderenza che si ha in prossimità delle sovrapposizioni tra trama e ordito, dove la penetrazione del calcestruzzo è più difficile. La sperimentazione



ha infatti evidenziato che l'orditura del *textile* può influire sia positivamente che negativamente sul comportamento complessivo del composito.

#### 6.3.8.8.4 Durabilità

Le applicazioni strutturali devono mantenere le caratteristiche meccaniche per tutta la loro vita utile, ma è provato sperimentalmente che i *TRC* in fibra di vetro perdono resistenza nel tempo a causa di alcuni meccanismi che modificano l'interfaccia tra matrice e fibra, quali:

- La corrosione dei filamenti in vetro AR dovuto all'attacco alcalino di ioni  $\text{OH}^-$  ;
- L'irrigidimento del contatto tra matrice e fili dovuto alla precipitazione della portlandite satura i vuoti presenti tra i filamenti;
- L'aumento delle cricche lungo le fibre immerse in soluzione alcalina e sottoposte a sforzo costante.

Come detto in precedenza, è possibile aumentare la resistenza all'attacco alcalino sia impiegando fibre di vetro AR, nel quale lo zirconio crea un sottile rivestimento sulla superficie dei filamenti, sia applicando un film in materiale polimerico sulle fibre a fine processo. È possibile modificare anche la composizione della matrice, con l'aggiunta di pozzolane al clinker, o favorire il processo di carbonatazione, il quale trasforma la portlandite in  $\text{Ca}(\text{CO})_3$ . Negli ultimi anni la sperimentazione sul *TRC* si è concentrata sulla valutazione dei meccanismi di danno e sui metodi per prevenirli, sottoponendo i provini a processi che accelerano il degrado come l'*hot water ageing* (letteralmente "invecchiamento in acqua calda"), che prevede la completa immersione dei provini in acqua a temperatura di  $50^\circ\text{C}$  per periodi di tempo nell'ordine delle decine di giorni, o il "*cycling ageing*" ("invecchiamento ciclico"), che sottopone i provini a cicli igrotermici. Gli studi di Purnell, e in seguito di Orłowsky, svolti su travetti sottoposti a invecchiamento forzato in acqua calda, hanno dimostrato, come si vede nelle figure di seguito, che l'utilizzo di una matrice meno aggressiva rende più duttile il comportamento a trazione del composito e aumenta l'energia di frattura nel comportamento a *pull-out*.

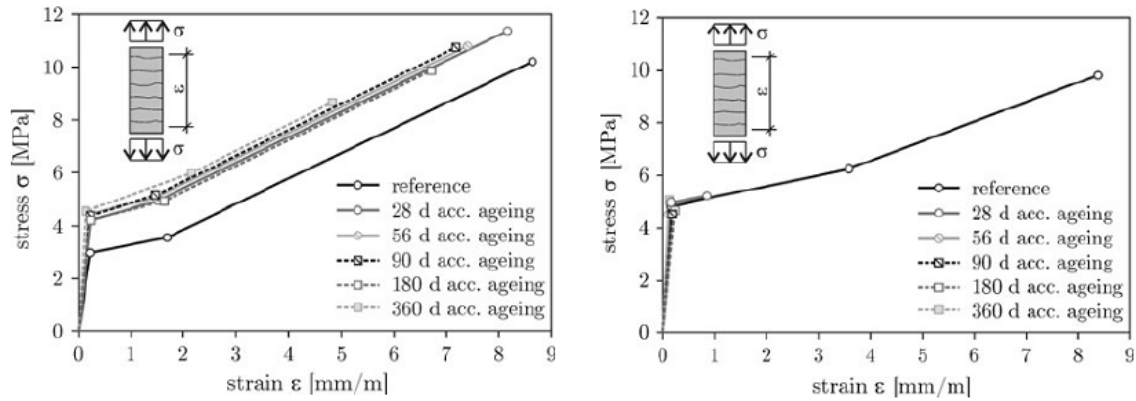


Fig. 6.53 – Comportamento a trazione di TRC realizzati con matrici alcaline e non alcaline, sottoposti a hot water ageing

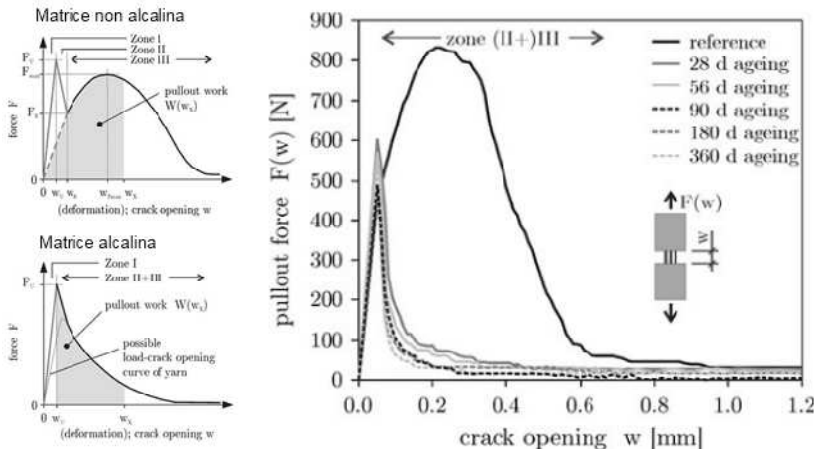


Fig. 6.54 – Comportamento a pull-out di TRC realizzati con matrice alcaline e non alcaline e sottoposti a hot water ageing

Purnell e Orlowsky sostengono inoltre la tesi secondo cui la principale causa di perdita di resistenza del composito risiede nella formazione progressiva e instabile di cricche lungo la superficie esterna delle fibre.

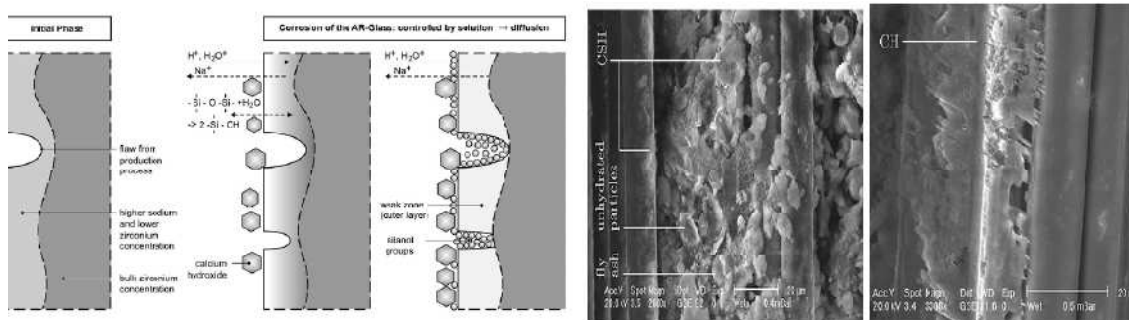


Fig. 6.55 – Formazione delle cricche lungo le superfici delle fibre e immagini al microscopio delle calcificazioni di CH

In altri studi è stato possibile confermare che, in una matrice poco alcalina, la percentuale di cristalli di portlandite è inferiore e l'interfaccia si mantiene duttile, evitando così un irrigidimento eccessivo che portava a rottura fragile per sforzi di trazione ridotti. Purnell e Orlowsky hanno sviluppato un modello teorico che stima la perdita di resistenza dei TRC, in funzione del tempo, valutando lo sforzo di rottura per fatica della fibra di vetro, dovuto alla diffusione delle cricche, attraverso la:

$$f_t = \frac{K_{Ic}}{A \cdot \sqrt{\pi a}}$$

essendo:

$f_t$  = sforzo ultimo al tempo  $t$ ;

$K_{Ic}$  = fattore di frattura (Mode I);

$A$  = fattore di forma;

$a$  = dimensione della cricca.

La perdita di resistenza in funzione del tempo può essere stimata con:

$$\Delta f_{l,t} = 1 - \frac{f_t}{f_{t=0}}$$

Dalle due precedenti relazioni si può ricavare:

$$\Delta f_{l,t} = 1 - \sqrt{\frac{a_0}{a}}$$

Nel modello proposto da Purnell (*Static fatigue model*) il flusso  $a$  di ioni OH<sup>-</sup> è continuo e la cricca cresce linearmente:

$$a = a_0 + k_1 \cdot t$$

Invece in quello proposto da Orlowsky (*Corrosion model*) la crescita del difetto è suddivisa in una fase iniziale lineare e in una successiva, in controllo di diffusione, legata alle progressive modifiche superficiali del vetro durante la corrosione:

$$a = a_0 + X$$

$$\left( \frac{X}{k_1} + \frac{X^2}{2k_2} \right) - t = 0$$

essendo:

$X$  = dimensione della cricca [nm];

$k_1$  = coefficiente della parte cinetica della reazione [nm/day];

$k_2$  = coefficiente della parte in controllo di diffusione della reazione [nm<sup>2</sup>/day].

### 6.3.8.9 Analisi agli Elementi Finiti

L'analisi agli elementi finiti (F.E.A.) è una tecnica di simulazione a computer utilizzata nelle analisi ingegneristiche. Questa tecnica di simulazione utilizza il Metodo degli elementi finiti (F.E.M.), il cui obiettivo è essenzialmente la risoluzione in forma discreta e approssimata di generali sistemi di equazioni alle derivate parziali riducendole ad un sistema di equazioni algebriche.

Benché quest'ultimo competa in alcuni ambiti limitati con altre strategie numeriche (metodo delle differenze finite, metodo dei volumi finiti, metodo degli elementi al contorno, metodo delle celle, metodo spettrale, etc.), il metodo F.E.M. mantiene una posizione dominante nel panorama delle tecniche numeriche di approssimazione e rappresenta il *kernel* di gran parte dei codici di analisi automatici disponibili in commercio.

In generale, il metodo agli elementi finiti si presta molto bene a risolvere equazioni alle derivate parziali quando il dominio ha forma complessa (come la copertura curvilinea oggetto di analisi), quando il dominio è variabile, quando l'accuratezza richiesta alla soluzione non è omogenea sul dominio e quando la soluzione cercata manca di regolarità.

Il Metodo F.E.M. si applica a corpi fisici suscettibili di essere suddivisi in un certo numero, anche molto grande, di elementi di forma definita e dimensioni contenute. Nel *continuum*, ogni singolo elemento finito viene considerato un campo di integrazione numerica di caratteristiche omogenee. La caratteristica principale del metodo degli elementi finiti è la discretizzazione attraverso la creazione di una griglia (*mesh*) composta da primitive (*elementi finiti*) di forma codificata (triangoli e quadrilateri per domini 2D, esaedri e tetraedri per domini 3D). Su ciascun elemento caratterizzato da questa forma elementare, la soluzione del problema è assunta essere espressa dalla combinazione lineare di funzioni dette *funzioni di base* o *funzioni di forma* (*shape*



*functions*). Da notare che talora la funzione viene approssimata, e non necessariamente sono i valori esatti della funzione quelli calcolati nei punti, ma i valori che forniscono il minor errore su tutta la soluzione. L'esempio tipico è quello che fa riferimento a funzioni polinomiali, sicché la soluzione complessiva del problema viene approssimata con una funzione polinomiale a pezzi. Il numero di coefficienti che identifica la soluzione su ogni elemento è dunque legato al grado del polinomio scelto. Questo, a sua volta, governa l'accuratezza della soluzione numerica trovata.

Nella sua forma originaria e tutt'ora più diffusa, il metodo agli elementi finiti viene utilizzato per risolvere problemi poggianti su leggi costitutive di tipo lineare. Tipici i problemi di sforzi - deformazioni in campo elastico, la diffusione del calore all'interno di un corpo materiale. Alcune soluzioni più raffinate consentono di esplorare il comportamento dei materiali anche in campo fortemente non lineare, ipotizzando comportamenti di tipo plastico o visco-plastico.

Inoltre, si considerano talora problematiche accoppiate, all'interno delle quali si possono risolvere simultaneamente diversi aspetti complementari riconducibili ciascuno per conto proprio ad un'analisi F.E.M. separata. Tipico in questo senso il problema geotecnico del comportamento di un dato terreno in presenza di moti di filtrazione di falda.

Per arrivare al modello agli elementi finiti si seguono delle fasi fondamentali, ognuna delle quali comporta l'inserimento di errori nella soluzione finale:

1. Modellazione: si passa dal sistema fisico ad un modello matematico, che astrae alcuni aspetti di interesse del sistema fisico, focalizzando l'attenzione su poche variabili aggregate di interesse e "filtrando" le rimanenti. Ad esempio nel calcolo del momento flettente di una trave non si prendono in considerazione le interazioni a livello molecolare. Il sistema fisico se complesso viene suddiviso in sottosistemi. Il sottosistema verrà poi suddiviso in elementi finiti ai quali verrà applicato un modello matematico. A differenza delle trattazioni analitiche è sufficiente che il modello matematico scelto sia adeguato alle geometrie semplici degli elementi finiti. La scelta di un tipo di elemento in un software equivale ad una scelta implicita del modello matematico che vi è alla base. L'errore che può portare l'utilizzo di un modello deve essere valutato con prove sperimentali, operazione in genere dispendiosa per tempo e risorse.
2. Discretizzazione: in una simulazione per via numerica è necessario passare da un numero infinito di gradi di libertà (condizione propria del *continuum*) ad un numero finito (situazione propria della *mesh*). La discretizzazione, nello spazio



o nel tempo, ha lo scopo di ottenere un modello discreto caratterizzato da un numero finito di gradi di libertà. Viene inserito un errore dato dalla discordanza con la soluzione esatta del modello matematico. Questo errore può essere valutato opportunamente se esiste un modello matematico adeguato all'intera struttura (quindi preferibile da utilizzare rispetto all'analisi F.E.M.) ed in assenza di errori numerici di calcolo, ciò può essere considerato vero utilizzando calcolatori elettronici.

Nel nostro caso la modellazione tridimensionale della copertura e dei suoi appoggi è stata realizzata attraverso il software Rhinoceros® per poi esportare il modello in formato .IGES (*Initial Graphics Exchange Specification*) e, successivamente, importarlo all'interno del software Straus7®, in cui è stata condotta l'analisi ad elementi finiti.

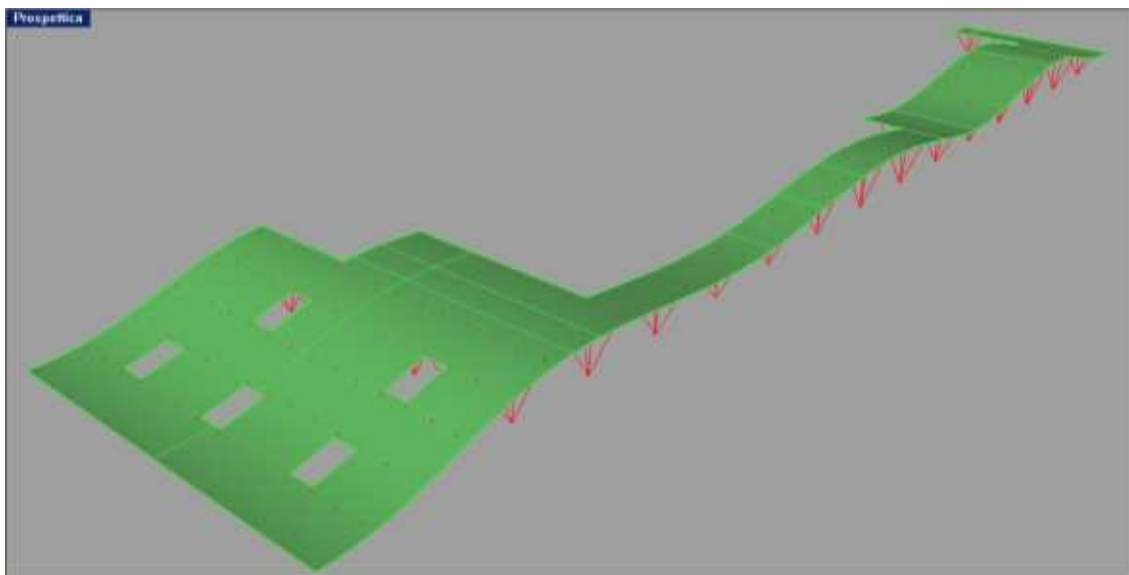


Fig. 6.56 – Vista prospettica del modello tridimensionale in Rhinoceros®

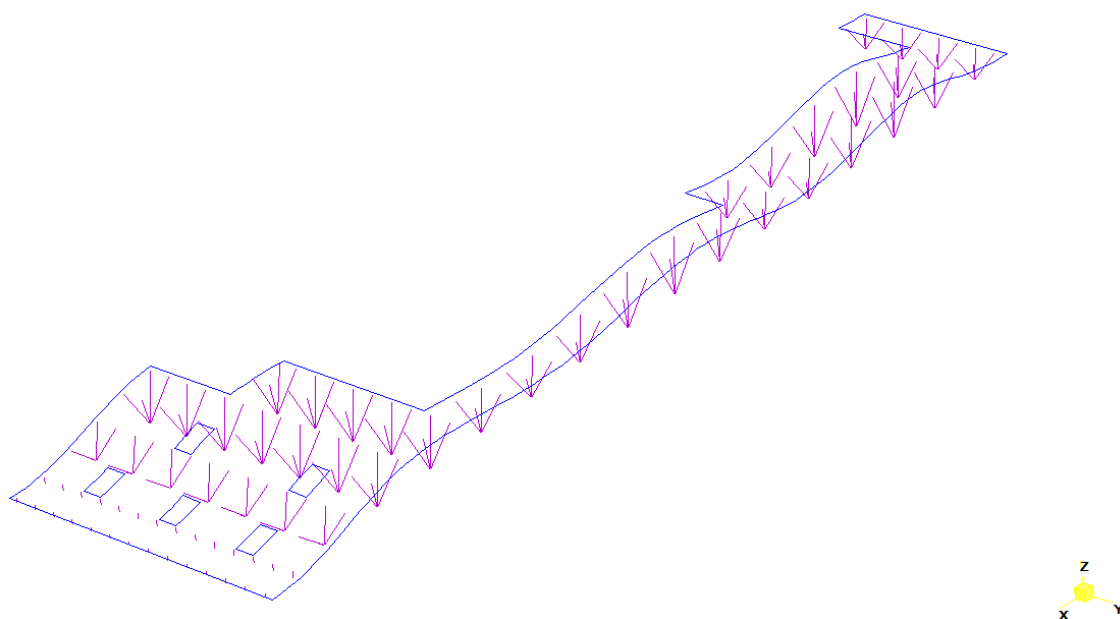


Fig. 6.57 – Vista assonometrica del modello in formato .IGES importato in Straus7<sup>®</sup>. La copertura, a questo punto, è un elemento face, mentre i pilastrini sono già elementi beams

Successivamente, in ambiente Straus7<sup>®</sup>, è stata realizzata la fase di discretizzazione del modello: attraverso il comando *Automeshing* → *Surface Mesh*, impostando dei valori di densità, grandezza e forma di maglia desiderati, il software genera automaticamente una *mesh* sufficientemente regolare, infittendola o meno dove necessario. Nel nostro caso, per stabilire la discretizzazione ottimale per il nostro modello, sono state condotte analisi preliminari su problemi a soluzione analitica nota (piastra rettangolare semplicemente appoggiata e semplicemente incastrata) che hanno permesso di giungere ad una maglia sufficientemente fitta da non trascurare errori troppo elevati, ma non troppo densa per non caricare il software di un onere computazionale inutile ai nostri scopi: come già accennato, ad un maggior numero di maglie corrisponde un maggior numero di gradi di libertà e, conseguentemente, di equazioni da risolvere.

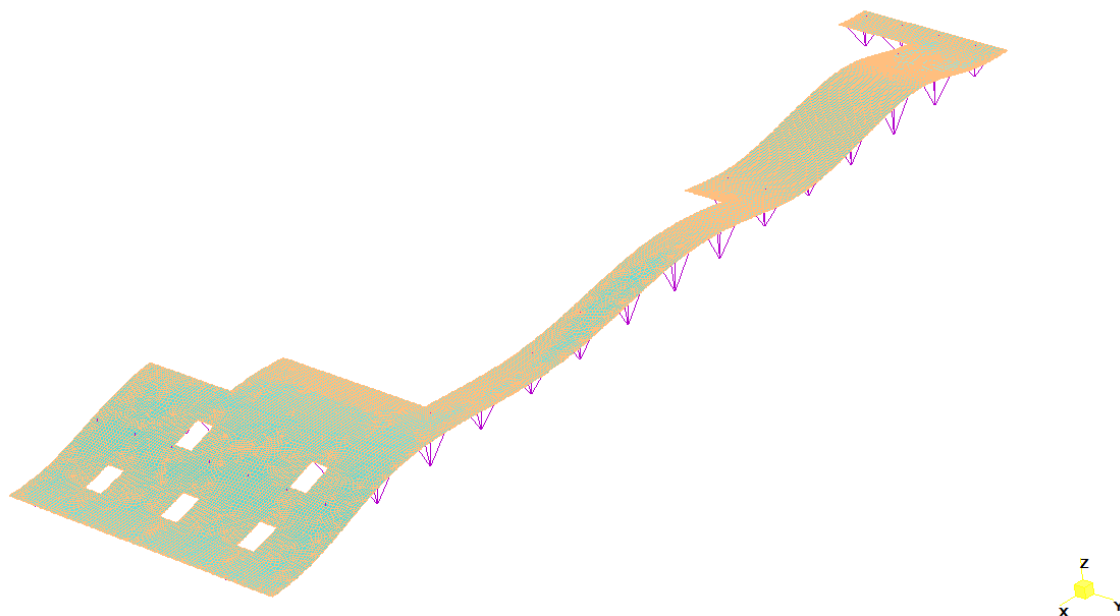


Fig. 6.58 – Vista assonometrica della mesh realizzata in Straus7<sup>®</sup>. La copertura è ora composta da una maglia di elementi plate.

Ogni elemento di un modello è caratterizzato da:

- Dimensione: 1D, 2D, 3D;
- Nodi (*nodes*): punti precisi dell'elemento che ne individuano la geometria. Su ogni nodo dell'elemento viene associato il valore di un campo o gradiente che interessa l'intera struttura. Nel nostro caso il campo è quello delle reazioni vincolari (*restraints*);
- Gradi di libertà: i possibili valori che possono assumere i campi o gradienti nei nodi, due nodi adiacenti hanno gli stessi valori;
- Forze sui nodi: forze esterne applicate sui nodi o l'effetto delle reazioni vincolari. Esiste una relazione di dualità tra forze e reazioni vincolari.

Detto  $f$  il vettore di forze esterne su un nodo ed  $u$  il vettore di DOF si assume linearità tra  $f$  e  $u$ :

$$Ku = f$$

dove  $K$  prende il nome di matrice di rigidezza (*stiffness matrix*). Questa relazione individua la dualità tra forze esterne e spostamenti. Il prodotto scalare  $fu$  è associato al valore del lavoro compiuto dalle forze esterne;

- Proprietà costitutive: le proprietà dell'elemento e del suo comportamento. In seguito verrà definito un materiale isotropo con comportamento lineare elastico, definito un modulo di Young ed un coefficiente di Poisson;



- Soluzione di un sistema di equazioni, anche non lineari risolte per via numerica dall'elaboratore. Viene introdotto un errore numerico trascurabile nel caso di sistemi lineari.

Tutti i programmi (compreso Straus7<sup>®</sup>) che impiegano il metodo degli elementi finiti per l'analisi strutturale sono dotati di una libreria di elementi finiti (in campo elastico lineare ma anche in quello elasto-plastico) monodimensionali, bidimensionali e tridimensionali per facilitare la modellazione di una struttura reale.

I più comuni sono i seguenti.

- asta o biella o truss (1D): elemento rettilineo a 2 nodi che ha rigidità solo per le traslazioni e pertanto è atto a trasmettere solo forze assiali;
- trave o beam (1D): elemento rettilineo a 2 nodi capace di trasferire ai nodi a cui è connesso rigidità per tutti e 6 i gradi di libertà e pertanto atto a trasmettere tutte le tipologie di sollecitazioni (forze assiali e taglienti e momenti flettenti e torcenti). Utilizzato per la modellazione di strutture intelaiate, nel nostro caso è l'elemento per i pilastri della copertura;
- molla o boundary o spring (1D): elemento rettilineo a due nodi dotato di rigidità assiale e/o rotazionale utilizzato per modellare vari tipi di vincolo elastico quali ad esempio gli spostamenti imposti;
- rigido o rigid o rigid link (1D): elemento rettilineo a 2 nodi infinitamente rigido usato per modellare un legame infinitamente rigido tra due elementi finiti, nel nostro caso è stato utilizzato per connettere le estremità superiori dei pilastri ai corrispondenti nodi della *mesh* di copertura;
- lastra o stress plane (2D): elemento piano a 3 o 4 nodi per stati di sforzo piano che possiede solo due gradi di libertà per nodo corrispondenti alle traslazioni nel suo piano (rigidità membranale) e pertanto atto a trasmettere solo gli sforzi lungo il suo piano. Non trasferisce alcuna rigidità per gli altri gradi di libertà;
- piastra o shear panel (2D): elemento piano a 3 o 4 nodi che possiede solo tre gradi di libertà per nodo corrispondenti alla traslazione perpendicolare al suo piano e alle rotazioni rispetto ai due assi giacenti nel piano (rigidità flessionale), e pertanto atto a trasmettere solo lo sforzo tagliente e i 2 momenti flettenti. Non trasferisce alcuna rigidità per gli altri gradi di libertà;
- lastra-piastra o plate o shell (2D): elemento piano a 3 o 4 nodi costituito dalla sovrapposizione dell'elemento piastra e dell'elemento lastra e che pertanto è

dotato sia di rigidità flessionale che membranale, nel nostro caso è stato l'elemento utilizzato per la copertura;

- deformazione piana o *plane strain* (2D): elemento piano a 3 o 4 nodi per stati di deformazione piana che possiede solo due gradi di libertà per nodo corrispondenti alle traslazioni nel suo piano. Non trasferisce alcuna rigidità per gli altri gradi di libertà;
- assialsimmetrico o *axisymmetric* (2D): elemento piano a 3 o 4 nodi che rappresenta un settore di un radiante di una struttura a simmetria radiale;
- brick o elemento solido (3D): elemento da 4 a 27 nodi che possiede solo tre gradi di libertà per nodo corrispondenti alle tre traslazioni. Non trasferisce alcuna rigidità per gli altri gradi di libertà. È un elemento finito in grado di modellare elementi strutturali solidi nei quali cioè non vi sia una dimensione trascurabile rispetto alle altre. Questo elemento è in grado di interpretare uno stato tensionale tridimensionale.

La definizione della geometria del modello che idealizza la struttura reale viene effettuata posizionando dei nodi, o punti nodali, sulla struttura in corrispondenza di punti caratteristici. Nel posizionare i nodi sulla struttura bisogna tenere presente alcune considerazioni:

- il numero dei nodi deve essere sufficiente a descrivere la geometria della struttura. Ad esempio in corrispondenza dell'innesto trave-pilastro, dei cambi di direzione, etc.;
- i nodi devono essere posizionati anche nei punti e sulle linee di continuità. Ad esempio dove cambiano le caratteristiche dei materiali, le caratteristiche delle sezioni, etc.;
- si possono posizionare dei nodi in punti non necessari per la definizione geometrica della struttura ma di cui si vogliono conoscere gli spostamenti e le sollecitazioni interne;
- se il software non lo prevede si devono posizionare dei nodi in corrispondenza di punti in cui sono applicati carichi concentrati o masse nodali;
- si devono mettere nodi in tutti i punti che si intendono vincolare;
- nel caso di strutture bidimensionali (piastre, lastre, ecc.) la suddivisione (*mesh*) in elementi finiti bidimensionali deve essere sufficientemente fitta per cogliere le variazioni di sforzo o di spostamento nelle regioni importanti ai fini dell'analisi.

Nel nostro caso si è andata a vincolare la struttura incernierando i pilastri sia alla base che in sommità, dopo averli, come già detto, connessi alla *mesh* di copertura attraverso



dei *rigid links*. Successivamente, alla copertura sono stati assegnate le proprietà fisiche e meccaniche del calcestruzzo utilizzato e lo spessore imposto, in questo caso pari a 7 centimetri. Ad essa sono poi stati applicati i carichi distribuiti, precedentemente calcolati, pari al carico da neve e al rivestimento in rame; il peso proprio viene computato automaticamente dal software.

Oltre che della copertura sono stati stabiliti ed assegnati i parametri dimensionali e meccanici dei pilastri su cui appoggia, costituiti da profili cavi in acciaio dal diametro esterno pari a 10 centimetri e spessore 1 centimetro.

Si è poi condotta una prima indagine dei risultati della struttura siffatta, facendo eseguire al software la risoluzione del sistema di 119985 equazioni lineari attraverso il comando *solver* → *linear static*. Ad una prima analisi dei risultati ottenuti è apparso subito evidente come la distribuzione degli spostamenti orizzontali lungo la direzione principale x fosse molto poco uniforme, evidenziando una sorta di “torsione” di tutta la copertura attorno ad un asse verticale immaginario.

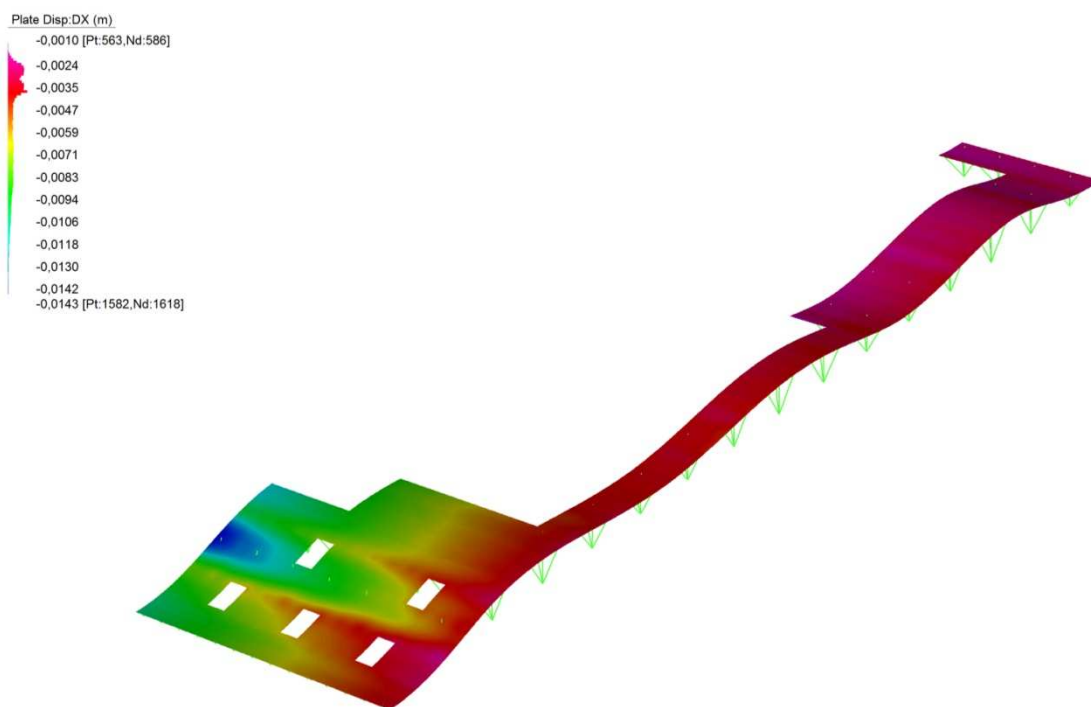


Fig. 6.59 – Distribuzione degli spostamenti in direzione x. Si noti l'andamento anomalo e localizzato degli stessi.

Per evitare (o, quantomeno, contenere) questo comportamento indesiderato si è deciso di inserire una serie di elementi di controvento (profili in acciaio ad L 75x75x10 mm), incernierati tra le due file di pilastri di minor altezza, che limitassero gli

spostamenti in direzione orizzontale. Di Seguito si riportano il posizionamento degli elementi di controvento e la distribuzione degli spostamenti orizzontali dopo il loro inserimento.

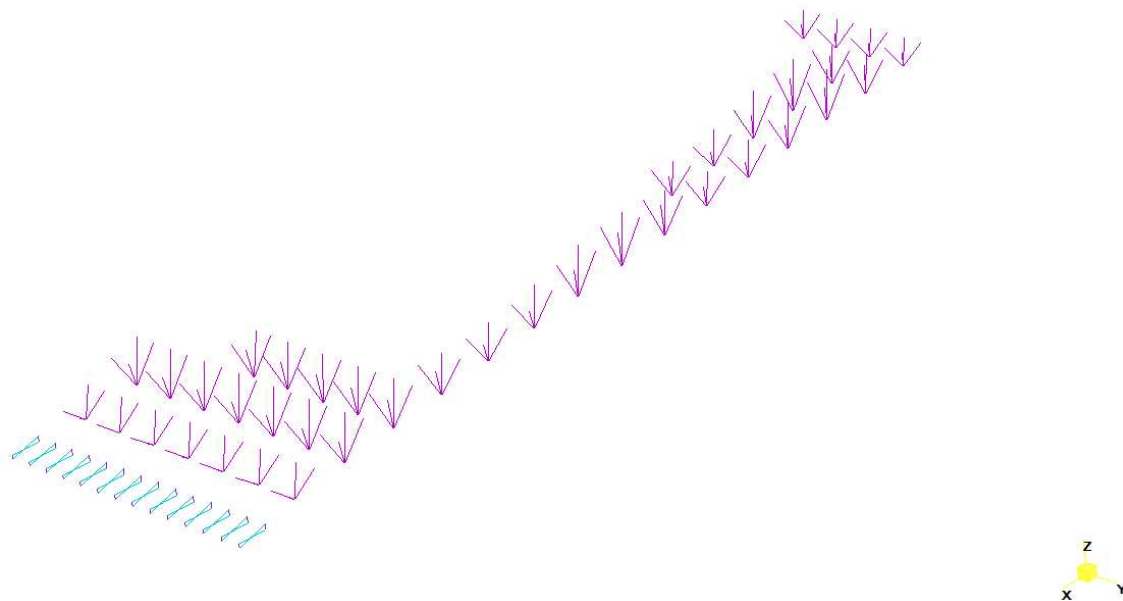


Fig. 6.60 – In basso a destra l’inserimento degli elementi di controvento.

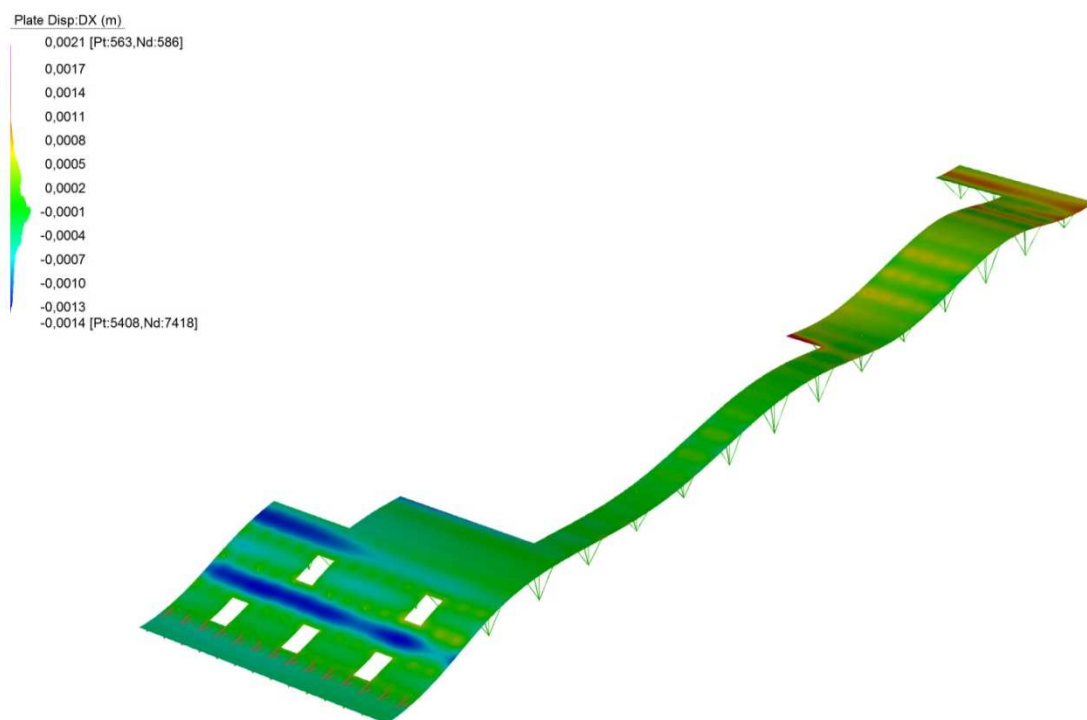


Fig. 6.61 – Distribuzione degli spostamenti in direzione x dopo l’inserimento dei controventi. Gli spostamenti sono ora ridotti entro 2 mm e distribuiti in maniera più uniforme.



A seguito di questa prima correzione, sono state condotte tutte le analisi che hanno consentito di estrapolare i dati necessari alla caratterizzazione, ovvero alla sua classe, del calcestruzzo fibrorinforzato necessario per la realizzazione della copertura con le geometrie precedentemente imposte.

In primo luogo sono quindi stati estrapolati i dati relativi ai momenti flettenti agenti nelle due direzioni principali  $m_{xx}$  e  $m_{yy}$ , oltre che il momento torcente agente  $m_{xy} = m_{yx}$ . Si riportano di seguito le rappresentazioni grafiche di tali analisi.

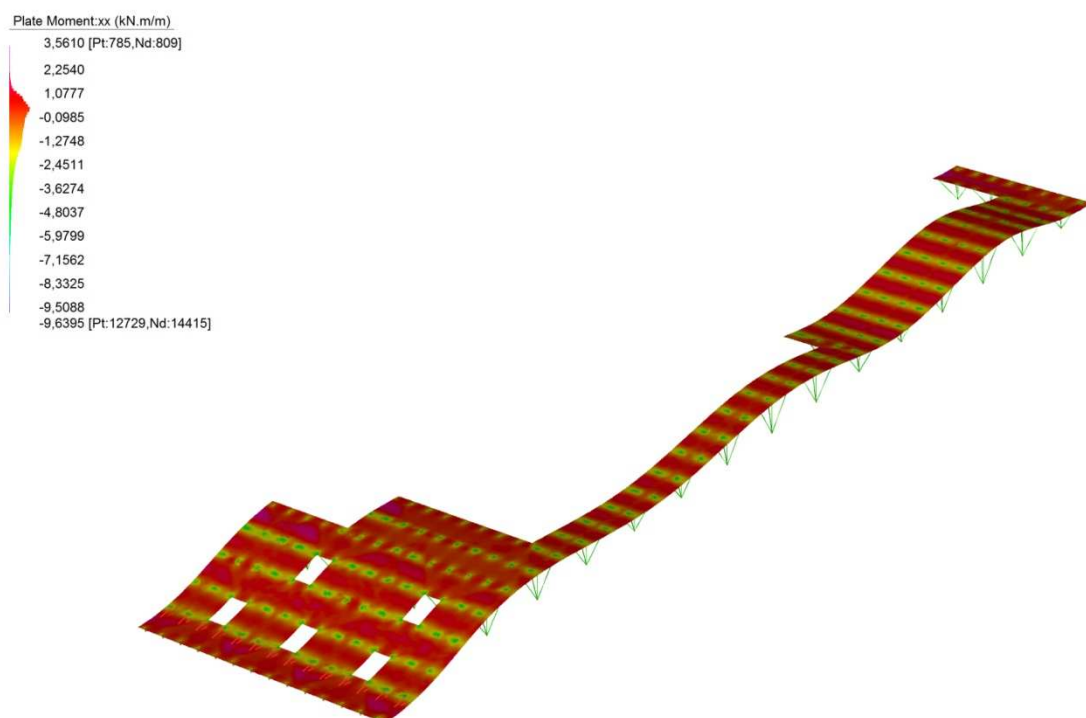


Fig. 6.62 – Distribuzione del momento flettente  $m_{xx}$ .



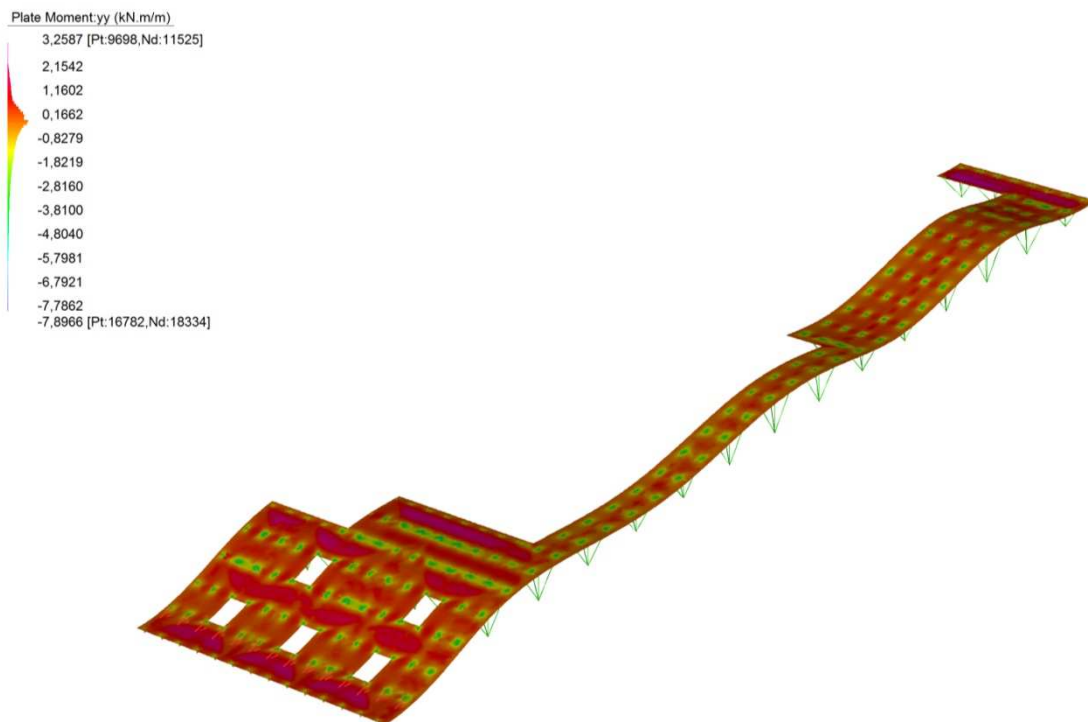


Fig. 6.63 – Distribuzione del momento flettente  $m_{yy}$ .

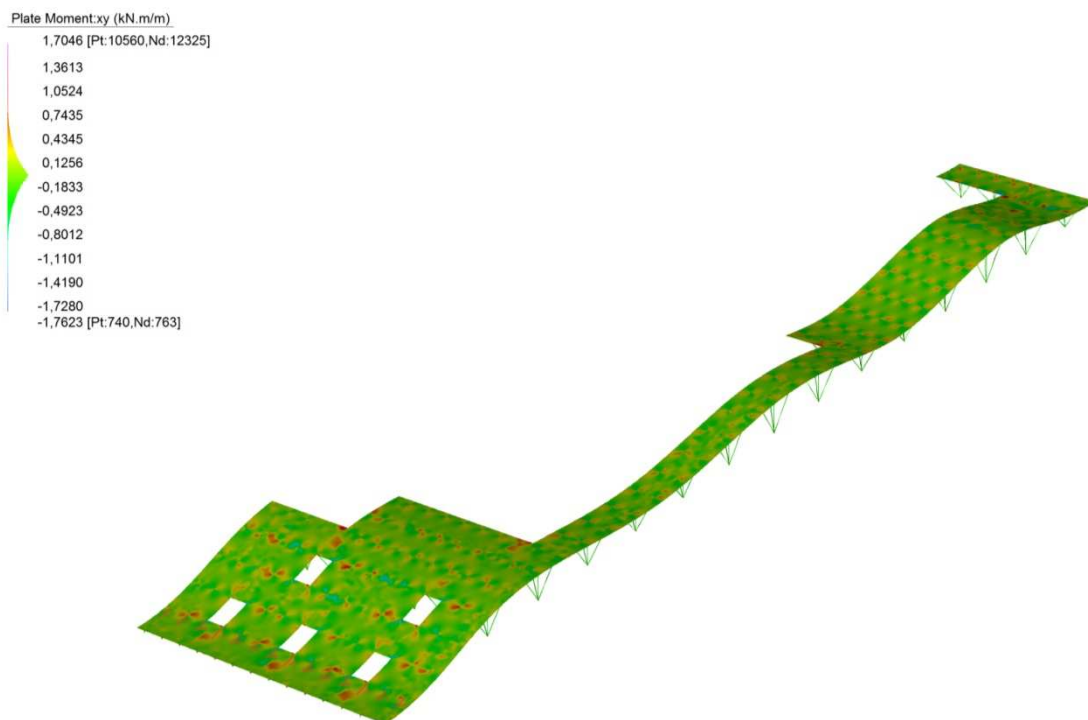


Fig. 6.64 – Distribuzione del momento torcente  $m_{xy}$ .

Il software dispone di uno strumento in grado di individuare i picchi di sollecitazione (o di altri valori, quali spostamenti, reazioni vincolari, etc.) richiesti dall'utente per i vari



elementi (nodi, aste, piastre, etc.). In questo senso la maglia complessivamente più sollecitata per quanto riguarda i tre momenti sopra citati è risultata essere, come si riporta di seguito, la numero 13758.

	xx (kN.m/m)	yy (kN.m/m)	xy (kN.m/m)
Centroid	-5,5774	-6,2900	0,1383
GP:1	-3,8675	-3,6397	0,8461
GP:2	-5,8815	-3,9692	-0,0725
GP:3	-3,5798	-5,4990	0,0300
GP:4	-8,9809	-12,0523	-0,2506

Tab. 6.16 – Valori di picco di momento agente.

Riguardo a questi valori si rende opportuna una precisazione: il software assume gli elementi *beam*, utilizzati per i pilastri di sostegno, come perfettamente monodimensionali. Questo, essendo un’astrazione dal punto di vista fisico, comporta irrimediabilmente un’approssimazione, trascurando i cosiddetti effetti di “appoggio diffuso” –dovuti alle reali dimensioni della sezione dell’asta– tra piastra e pilastro, riducendoli ad appoggio puntuale. Questo porta ad una sovrastima delle azioni, tra cui i momenti sopra determinati, in corrispondenza del nodo pilastro-piastra, ovvero in corrispondenza di quei punti, come verificabile nelle figure sopra riportate, le sollecitazioni raggiungono i loro valori di picco. Per non commettere errori macroscopici di dimensionamento si è ritenuto opportuno operare una ragionevole riduzione di tali valori di picco come segue:

$m_{xx}$	$m_{yy}$	$m_{xy}$
-8	-11	-0,25

Tab. 6.17 – Valori corretti di picco di momento agente, espressi in kN·m/m

Successivamente sono poi stati determinati i valori dei momenti resistenti di progetto principali definiti come segue:

$$m^*_{xx} = |m_{xx}| + |m_{xy}|;$$

$$m^*_{yy} = |m_{yy}| + |m_{xy}|$$

E quindi del valore della resistenza ultima residua  $F_{ftu}$  definita come:

$$F_{ftu} = (M_{rd} \cdot b) / (h^2 / 2) \text{ [MPa]}$$

essendo:

$$M_{rd} = \max(m^*_{xx}, m^*_{yy}) \text{ [N·mm/mm]};$$

$b$  = lunghezza del concio di piastra, posta pari a 1000 mm;

$h$  = spessore della piastra [mm].

Si e poi potuto procedere alla determinazione del valore  $F_{R3k}$  di resistenza residua a trazione (per un'apertura di fessura di 2,5 mm):

$$F_{R3k} = 3 \cdot \gamma_F \cdot F_{ftu} \text{ [MPa]}$$

essendo

$\gamma_F$  = coefficiente di sicurezza pari a 1,5.

Si riportano di seguito, tabulati, i valori dei parametri determinati sopra descritti.

$m^*_{xx}$	$m^*_{yy}$	$F_{ftu}$	$F_{R3k}$
8,25	11,25	4,59	20,66

Tab. 6.18 – Valori caratteristici determinati

Ricordando quanto detto in precedenza, la classificazione dei FRC prevede una sigla composta di un numero intero, espressione del comportamento allo *SLE*, la cui resistenza caratteristica è  $f_{R1k}$ , e di una lettera, espressione del comportamento allo *SLU*, e data dal rapporto tra le resistenze caratteristiche  $f_{R3k}/f_{R1k}$ . In questo senso, noto il valore di  $f_{R3k}$  si può approdare a due classi di calcestruzzo differenti, come si riporta di seguito.

$F_{R1k}$	$F_{R3k}/F_{R1k}$	Classe
15	1,38	<b>15e</b>
17	1,22	<b>17d</b>

Tab. 6.19 – Determinazione della classe di calcestruzzo

Tra i due si è scelto di adottare il calcestruzzo di classe 15e, dal momento che è meno problematico, in fase di realizzazione del mix design, perseguire un valore di resistenza a trazione  $F_{R1k}$  pari a 15 Mpa, piuttosto che uno più elevato.

Una volta stabilita la classe del calcestruzzo si è passati alla determinazione del quantitativo necessario di rete di vetro da inserire per la formazione del TRC. In questo senso si è basato su evidenze derivanti da prove di laboratorio, come illustrato di seguito.

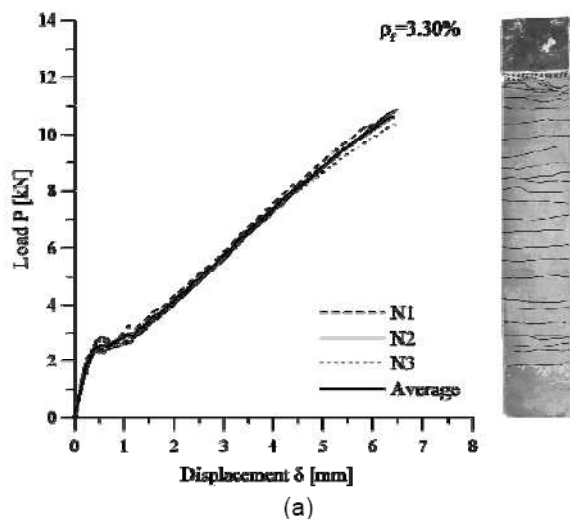


Fig. 6.65 – Curva carico-deformazione in tensione uniassiale di TRC

Dal grafico in figura si può vedere come, un provino delle dimensioni di 7x30 cm, con inserito uno strato di rete in fibra di vetro, sia in grado di sopportare, a trazione, prima di andare a rottura, un carico massimo pari a 11 kN; riducendo questo valore di una fattore di sicurezza pari a 3 e facendo le debite proporzioni, si può facilmente ricavare come una striscia larga un metro, con sia in grado di sopportare 50 kN.

Per sapere gli strati necessari, ancora una volta sono stati estrapolati i dati da Straus7<sup>®</sup> di sforzo di trazione nelle due direzioni principali  $x$  e  $y$ . Di seguito si riportano gli *output* grafici di tali analisi.

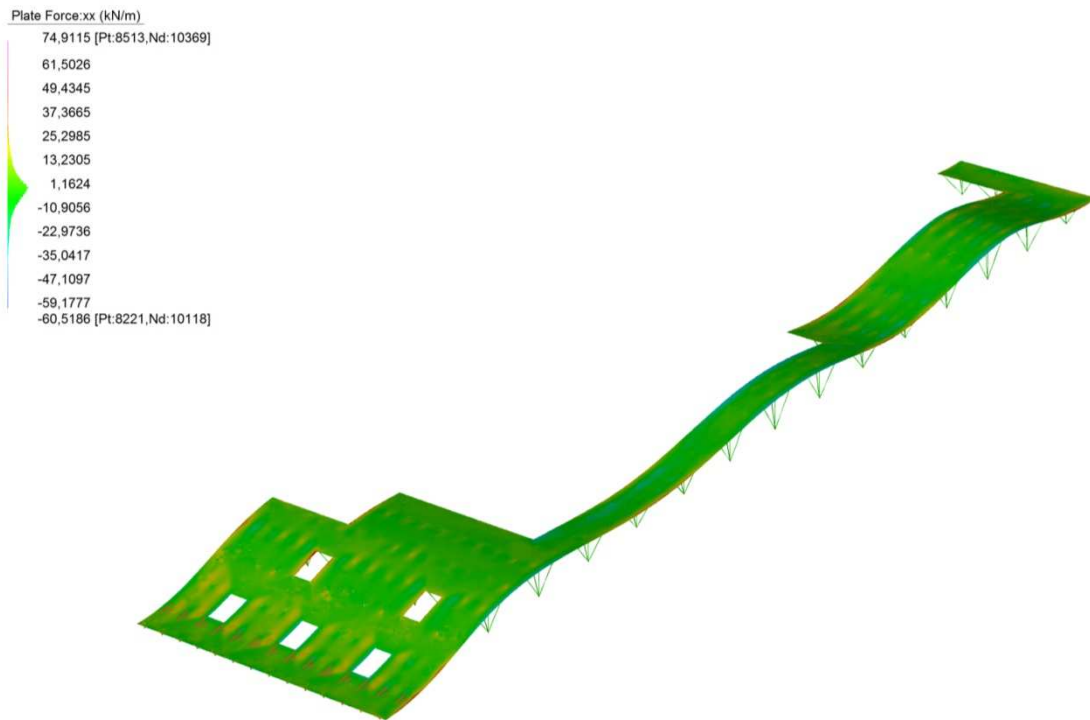


Fig. 6.66 – Distribuzione degli sforzi principali  $F_{xx}$

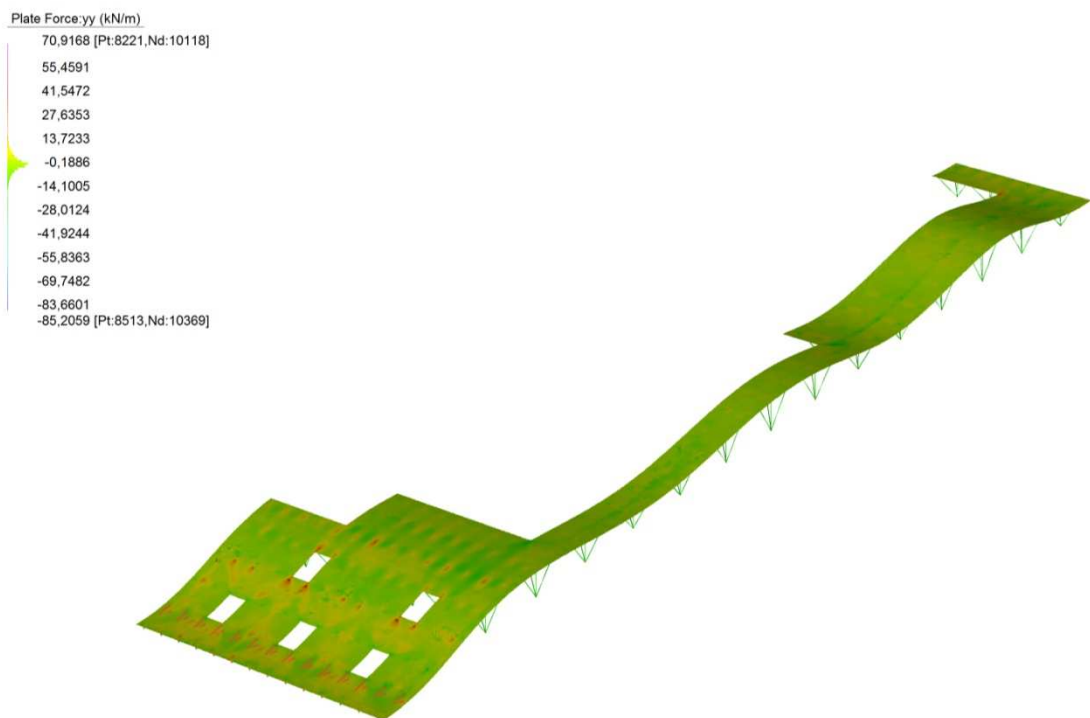


Fig. 6.67 – Distribuzione degli sforzi principali  $F_{yy}$



I valori massimi di sforzo di trazione, presenti solo localmente, come desumibile dalle figure sopra riportate, si attestano su valori pari a 70-75 kN/m, per i quali si rendono necessari due strati di rete in fibra di vetro.

A seguito dei dimensionamenti sono state effettuate le opportune verifiche. Dapprima si è verificato il rispetto della freccia (spostamento in direzione verticale z) massima ammissibile.

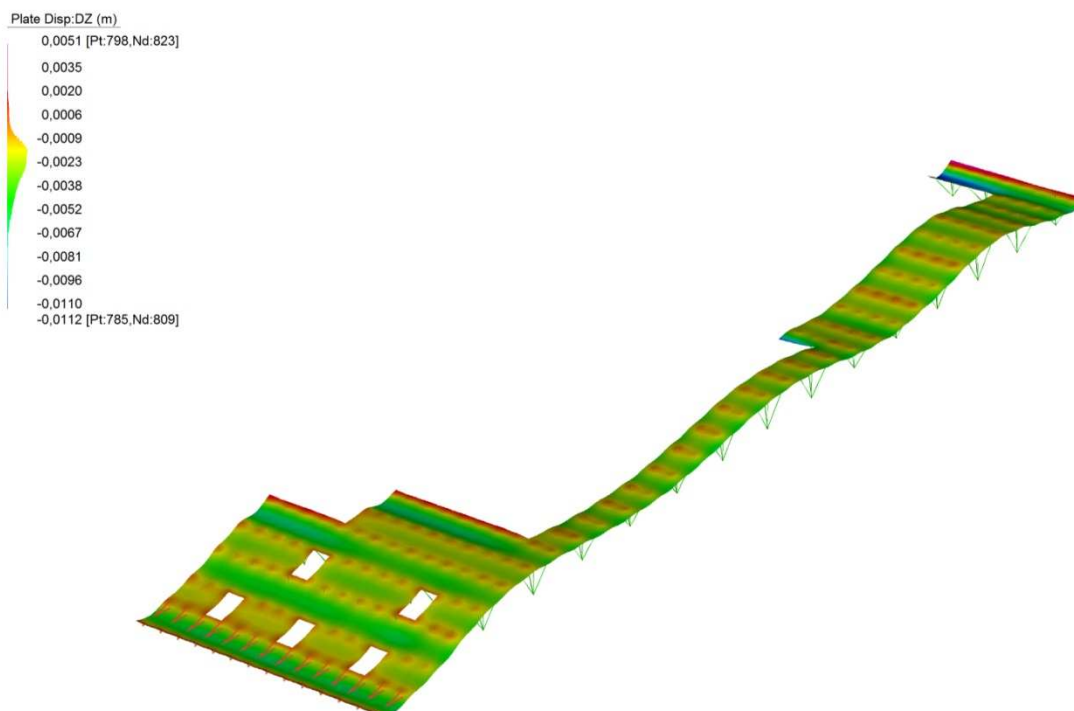


Fig. 6.68 – Distribuzione degli spostamenti verticali e deformata qualitativa.

Dal grafico in figura si può vedere come la stragrande maggioranza dell'area della copertura abbia dei valori di spostamento verticale contenuti entro il centimetro. La verifica della freccia massima ammissibile per piastre di copertura si scrive:

$$f_{adm} = l_{max}/200 \text{ [m]}$$

essendo:

$l_{max}$  = luce massima, pari alla diagonale nel caso di piastra rettangolare [m].

Nel nostro caso, essendo la copertura appoggiata su una maglia di pilastri di 3 x 5 m, la luce massima varrà:

$$\sqrt{3^2 + 5^2} = 5,83 \text{ m}$$

e, pertanto, la freccia ammissibile:

$$f_{adm} = 5,83/200 = 0,029 \text{ m} > f_{max} = 0,0112 \text{ m VERIFICATO}$$

Da ultimo, si è passati ad effettuare la verifica al punzonamento.

Sebbene l'aspetto flessionale sia uno dei più importanti e quello maggiormente trattato fino a questo punto, all'interno della struttura sono presenti anche forze di taglio e bisogna tenerne debitamente in conto. Queste ultime sono massime in corrispondenza di appoggi o carichi concentrati: considerando una piastra appoggiata su colonne, l'intera reazione trasmessa dal pilastro deve essere distribuita nel calcestruzzo all'interfaccia tra colonna e piastra; vi sono notevoli sollecitazioni di taglio, oltre che momenti negativi molto elevati, e di conseguenza una notevole concentrazione di sforzi. Per questo motivo si può verificare una rottura improvvisa per penetrazione attraverso la piastra, con la formazione di fessure diagonali che attraversano lo spessore del calcestruzzo. Questo tipo di rottura è definito, appunto, punzonamento.

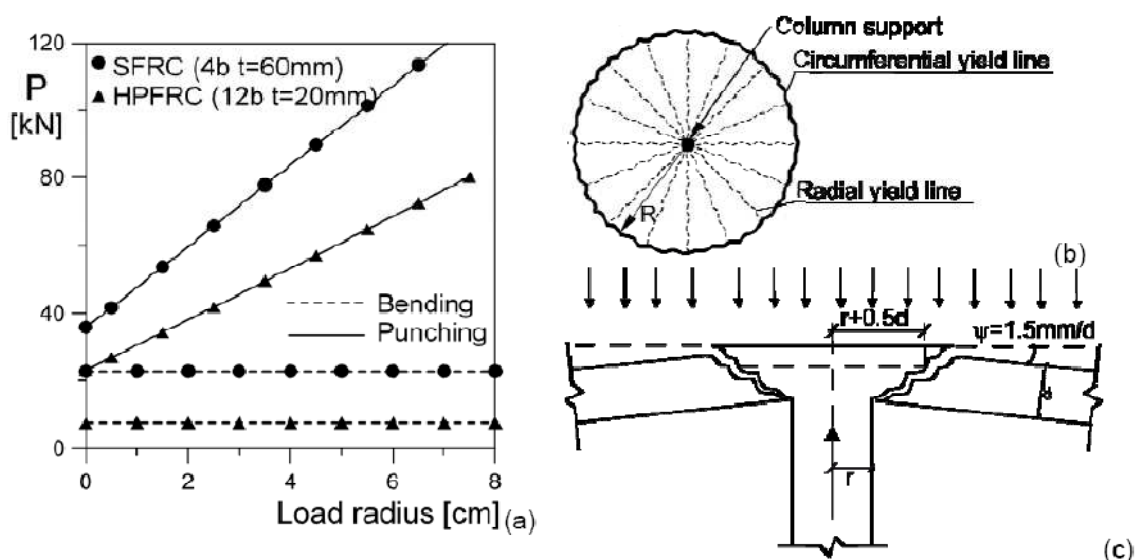


Fig. 6.69 – Capacità di carico rispetto ai meccanismi di flessione e punzonamento: (a) curve carico – raggio d'impronta di carico; (b) meccanismo di rottura per flessione; (c) meccanismo di rottura per punzonamento.

In accordo a quanto riportato sul *Ceb-Fip Model Code 2010* il valore di taglio resistente a punzonatura si determina come segue:

$$V_{Rd,F} = V_{Rd,c} + V_{Rd,f}$$



con:

$$V_{Rd,f} = \frac{f_{Ftuk}}{\gamma_F} b_0 d_v$$

$$V_{Rd,c} = k_{\psi} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} b_0 d_v$$

essendo:

$f_{Ftuk}$  = valore di resistenza a trazione in corrispondenza di un'apertura di fessura pari a 1,5 mm [Mpa];

$b_0$  = perimetro critico di punzonamento [mm];

$d_v$  = spessore della piastra [mm];

$\gamma_F, \gamma_c$  = fattori di sicurezza, entrambi pari a 1,5;

$f_{ck}$  = resistenza caratteristica a compressione pari a 100 MPa;

$k_{\psi}$  = coefficiente pari a  $1 / (1,5 + 0,9 \cdot k_{dg} \cdot \psi \cdot d_v)$ ;

$k_{dg}$  = coefficiente pari a  $32 / (16 + d_g)$ ;

$d_g$  = diametro massimo dell'aggregato, pari 2 mm;

$\psi$  = coefficiente pari a  $w_u / d_v$  ( $w_u = 1,5$  mm).

Nel nostro caso è risultato essere

$$V_{Rd,f} = 24,084 \text{ kN}$$

Questo valore deve risultare minore, affinché la verifica a punzonamento sia soddisfatta, con il massimo tra valori di *end forces* (in direzione z) sulle estremità superiori dei pilastri estrapolati da Straus7<sup>®</sup> e riportati di seguito.

	End1	End2
F1 (kN)	0,0103	0,0103
F2 (kN)	0,0020	0,0020
F3 (kN)	-37,4686	-37,4686
M1 (kN.m)	0,0000	0,0477
M2 (kN.m)	0,0000	0,0093
M3 (kN.m)	0,0000	0,0000
FX (kN)	20,1354	-20,1354
FY (kN)	12,0835	-12,0835
FZ (kN)	-29,1968	29,1968
MX (kN.m)	0,0000	-0,0183
MY (kN.m)	0,0000	0,0446
MZ (kN.m)	0,0000	0,0058

Tab. 6.20 – Valori di end forces. Si evidenzia quello necessario alla verifica a punzonamento.

Come si può vedere la verifica non è soddisfatta. Per ovviare a questo inconveniente si è deciso di inserire una piastra di distribuzione in acciaio, di diametro pari a 20 cm e



spessore 1,2 cm. Si è poi condotta, sempre all'interno di Straus7, una verifica sulla piastra stessa, accertandosi che rimanesse in campo elastico (a favore di sicurezza si è imposto che gli sforzi agenti di Von Mises fossero inferiori ai due terzi della tensione di snervamento dell'acciaio), dopo averla preventivamente “caricata” con uno sforzo distribuito, risultante in circa 11 MPa, pari alla massima *end force* (pari a 30 kN, arrotondando sempre a favore di sicurezza) “spalmata” sulla superficie di sezione del pilastro cavo in acciaio, pari a 28,27 mm<sup>2</sup>. Di seguito si riportano i risultati di tale analisi.

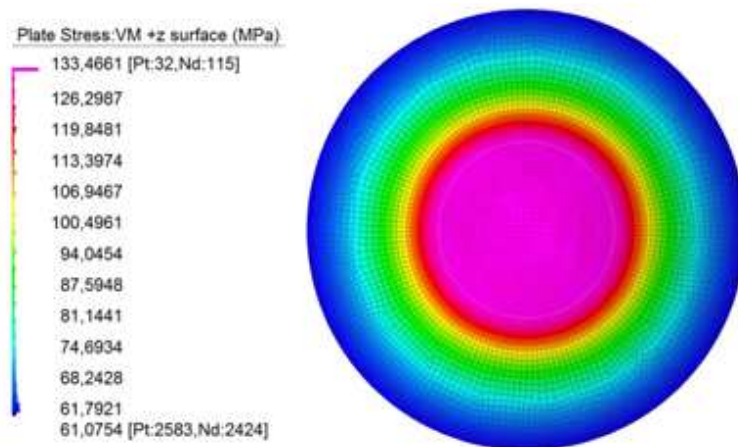


Fig. 6.70 – Distribuzione degli sforzi di Von Mises

Successivamente è stato, quindi, calcolato nuovamente il valore di taglio resistente a punzonamento, tenendo in debito conto della presenza della piastra, che è risultato essere:

$$V_{Rd,f} = 38,25 \text{ kN} > 30 \text{ kN VERIFICATO}$$

#### 6.4 Connessioni con le strutture esistenti

Se pur non analizzata dettagliatamente, grande attenzione è stata posta nel connettere gli elementi strutturali di nuova realizzazione con quelli esistenti. Per quanto le nuove strutture siano completamente indipendenti da quelle degli edifici attuali, il creare un reticolo strutturale unico senza soluzione di continuità potrebbe comportare grossi rischi, soprattutto in termini di movimenti differenziali delle due strutture.

La diversità tipologica delle due parti ed i dubbi sulla capacità resistente del terreno - potrebbe risultare diversa da quella del terreno già caricato, a causa della possibilità di fenomeni di consolidazione monodimensionale- hanno spinto ad escludere una



connessione monolitica tra le parti, eliminando i rischi di fessurazione connessi, particolarmente pericolosi per la tenuta all'acqua.

Altri possibili problemi derivavano dalla realizzazione di nuove opere di fondazione in aderenza a quelle esistenti e dalla capacità resistente della struttura esistente; per la prima questione, si è scelto di mantenere (ad eccezione per le strutture in calcestruzzo armato presenti nel piano interrato, rese solidali ai muri esistenti attigui, cercando di realizzare delle fondazioni il più possibile in aderenza alla struttura già presente) uno scarto minimo tra le nuove fondazioni e quelle esistenti. In questo senso non sono stati effettuati dimensionamenti di dettaglio delle nuove strutture di fondazione, ipotizzando di adottare la medesima tipologia costruttiva già presente.

Circa la possibile capacità resistente inadeguata delle attuali strutture a seguito degli interventi, si è cercato, per quanto fosse possibile, di gravare su di esse con nuovi carichi agenti. Tuttavia, laddove questo non fosse stato possibile, sono stati ipotizzati interventi di consolidamento strutturale atti a incrementare la capacità portante degli elementi che lo richiedessero; in particolar modo, per i pilastri del piano che lo necessitavano, è stato previsto un intervento di "incamiciatura", aumentandone la sezione resistente, oltre che l'armatura sia longitudinale che trasversale. Per le travi di bordo in c.a. esistenti dove si è prevista l'intervenuta azione di nuovi carichi, si è ipotizzato, per non alternarne eccessivamente le caratteristiche geometriche, un intervento di consolidamento strutturale a flessione tramite applicazione di strisce in CFRP (*carbon fiber reinforced polymer*) con resine epossidiche.



*Figg. 6.71, 6.72 – Esempi di incamiciatura pilastro in c.a. e consolidamento trave in c.a. tramite applicazione di strisce di CFRP.*



### **6.5 Considerazioni ergotecniche sulla realizzazione delle strutture**

Le problematiche inerenti alla cantieristica nelle fasi di realizzazione delle strutture sono, nel nostro caso, legate prevalentemente alle dimensioni ingenti delle travi lamellare dell'ordito principale di copertura della palestra comunale (32,85 m) delle travi reticolari di copertura dei locali vasche (26,50 m).

Per non avere problematiche di gestione del cantiere, si è pensato di far arrivare questi elementi solo una volta che siano stati demoliti i fabbricati esistenti la cui presenza non è più prevista in progetto; così facendo si realizza lo spazio necessario allo stoccaggio delle travi, come mostrato nella tav. 61, riportata di seguito. Per non creare, inoltre problematiche di viabilità, il trasporto avverrà durante le ore notturne, con l'utilizzo di mezzi speciali, che accederanno direttamente al cantiere dalla soprastante Via Statale, onde evitare manovre difficoltose.

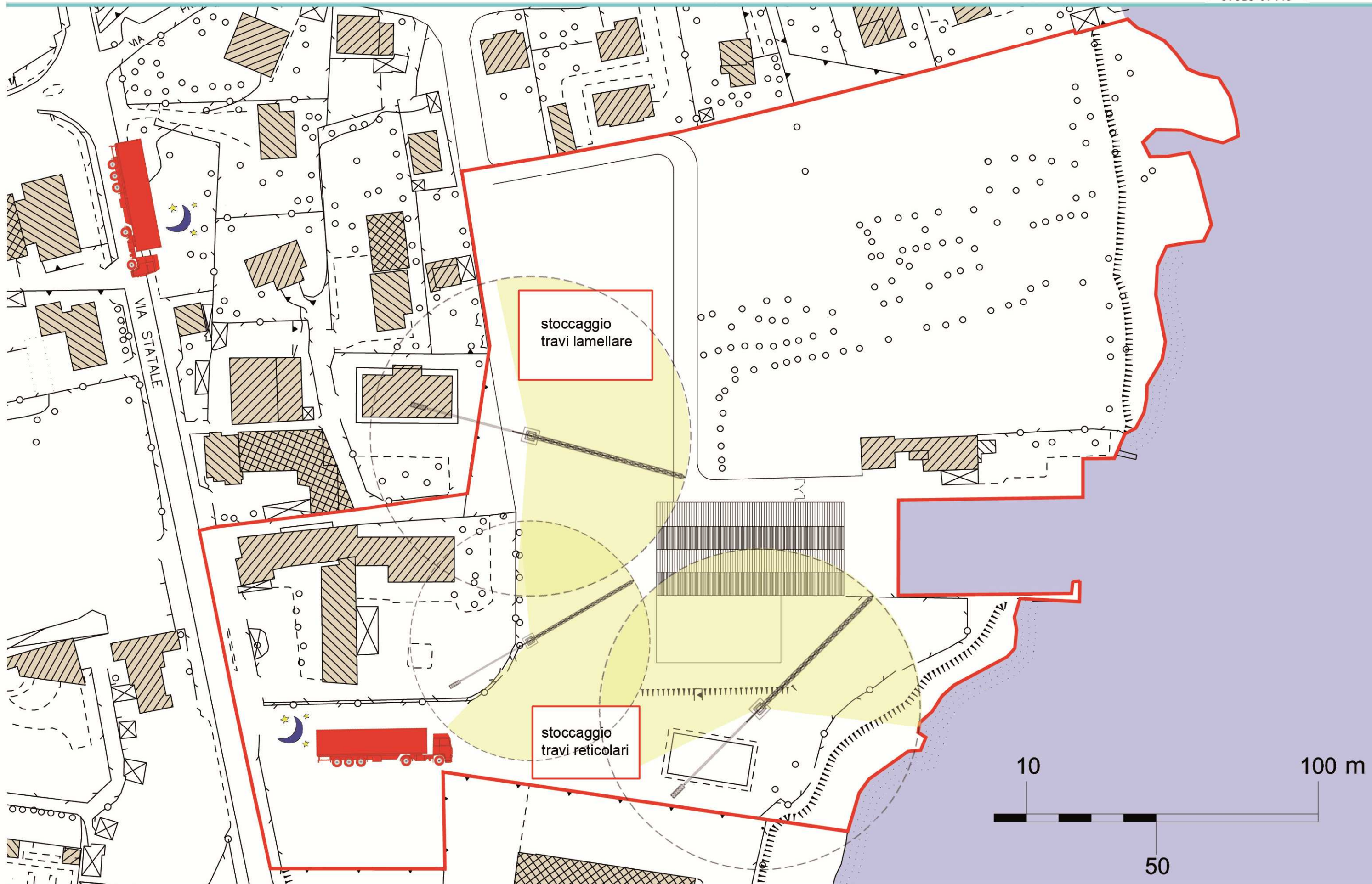


TAVOLA 61 - SCHEMA DI CANTIERE fuori scala



Per quanto riguarda, invece, la realizzazione della copertura in TRC, il calcestruzzo viene gettato in opera analogamente ad uno tradizionale: successivamente alla posa dei pilastri di sostegno, viene realizzata la cassetta necessaria al getto, predisponendo, mediante l'ausilio di distanziatori, le dure reti in fibra di vetro da inserire.

Il calcestruzzo fresco deve poter essere prodotto, trasportato e messo in opera in modo semplice e senza dar luogo a perdite di omogeneità. Le proprietà dello stato fresco possono essere descritte con termini come consistenza, fluidità, mobilità, pompabilità e durezza, ma si preferisce racchiuderli nella definizione di lavorabilità, intesa come lavoro meccanico o energia necessaria per produrre un composto compatto senza fenomeni di segregazione. Inoltre, come già detto nel corso della trattazione, i calcestruzzi autocompattanti (SCC) migliorano le operazioni di getto, riducendo i tempi e i costi di lavorazione, e garantiscono un prodotto finito compatto e omogeneo. La miscela fresca è infatti più fluida e, senza dover essere vibrata, riesce a filtrare anche nelle zone più congestionate, riducendo i fenomeni di polluzione e di segregazione. Gli SCC sono ideali per la produzione di FRC perché consentono di raggiungere un grado di viscosità della matrice tale da permettere la dispersione omogenea e casuale delle fibre. Tuttavia, per ottenere dei buoni risultati sono necessari controlli rigorosi in fase di produzione e un'attenzione particolare all'aumento del calore di idratazione e al ritiro. Il ritiro è il fenomeno di perdita di volume a temperatura costante e senza l'applicazione di carichi esterni, legato alla quantità di acqua presente nel composto, che può avere effetti significativi sulla durabilità a lungo termine della struttura. Il giorno successivo al getto si manifesta il cosiddetto ritiro autogeno dovuto al consumo dell'acqua nei pori da parte della reazione d'idratazione, il quale può essere suddiviso in 4 fasi.

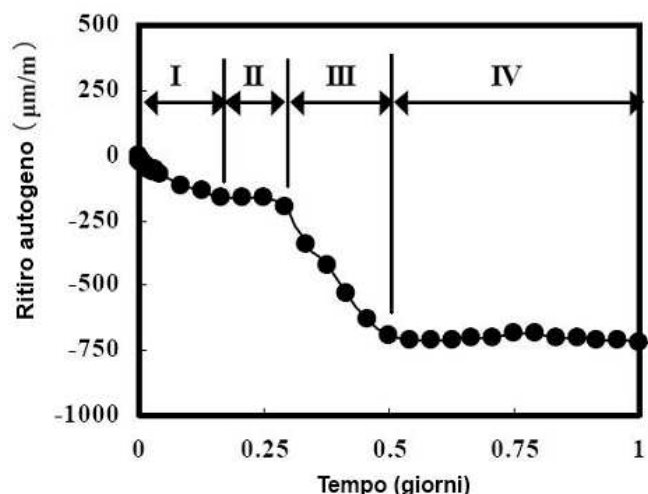


Fig. 6.73 - Andamento del ritiro autogeno in funzione del tempo

Ad un periodo iniziale con crescita moderata, seguono un periodo induttivo costante ed uno con un brusco aumento delle deformazioni, fino all'esaurimento del fenomeno nel periodo decelerato che stabilizza le deformazioni. Oltre a dipendere dal contenuto di acqua nella miscela il ritiro autogeno è fortemente influenzato dal tipo di cemento usato, dalla presenza di aggiunte minerali, dal dosaggio degli additivi e dalla temperatura di maturazione. Il calcestruzzo ad alte prestazioni, essendo prodotto con aggregato fine e rapporto a/c basso, presenta, rispetto al calcestruzzo ordinario, fenomeni di ritiro autogeno amplificati, che possono portare alla perdita di compattezza e alla rottura prematura. Per ridurre queste deformazioni superficiali si può aumentare il dosaggio di cenere volante all'interno del *mix design* oppure introdurre microfibre che limitano la microfessurazione della matrice. Quando il calcestruzzo è indurito e viene esposto all'aria, la perdita progressivamente di parte dell'acqua contenuta nei suoi pori attiva il ritiro igrometrico che dipende dagli stessi parametri riportati qui sopra e che può essere ridotto mantenendo elevata l'umidità relativa dell'ambiente di maturazione o addirittura immergendo in acqua l'intero elemento.

## CAPITOLO 7 – IMPIANTISTICO

*In questo capitolo viene effettuato un dimensionamento di massima dei sottosistemi impiantistici a servizio del Centro Sportivo, dopo aver preventivamente determinato dispersioni e carichi termici presenti, sia in fase invernale che in fase estiva. In conclusione si prospetta un'ipotesi progettuale per la produzione del calore necessario al Centro Sportivo.*

*Oltre ai calcoli effettuati vengono riportate anche motivazioni e ragioni delle principali scelte progettuali effettuate.*

### 7.1 Stima degli apporti di calore

In primo vengono quantificate le dispersioni di calore dell'involucro edilizio che dovranno essere integrate mediante il sistema impiantistico.

#### 7.1.1 Carico termico invernale

Per il calcolo del carico termico invernale vanno definiti tutti gli elementi che concorrono alla dispersione del calore per convezione, conduzione e ventilazione.

Si dovranno così considerare i seguenti parametri:

- ubicazione ed orientamento dell'edificio;
- dimensioni delle aree di progetto;
- temperatura e umidità di progetto delle varie aree;
- proprietà termoigrometriche delle superfici opache e trasparenti;
- quantità di aria di rinnovo necessaria;
- eventuale quantità di umidità da somministrare o immettere.

Il calcolo delle dispersioni termiche è avvenuto assumendo come costanti le temperature degli ambienti da riscaldare e dell'aria esterna; in virtù del fatto che nel periodo invernale l'escursione termica giornaliera è contenuta (cfr.: 2.1).

Per la valutazione del carico termico si fa così riferimento alla quantità di calore dispersa, in regime stazionario, dalle pareti delimitanti l'edificio e alla quantità di calore necessaria per il riscaldamento dell'aria esterna immessa nell'ambiente per fenomeni di ventilazione naturale o forzata.

Il fabbisogno termico  $[Q_T]$  è dato dalla somma:

$$Q_T = Q_D + Q_V$$



essendo:

$Q_D$  = calore disperso per conduzione e convezione attraverso chiusure o partizioni;

$Q_V$  = calore disperso per ventilazione.

Di seguito vengono tabulati i valori delle condizioni esterne di progetto utilizzate in fase di calcolo. Come temperatura è stata assunta, a favore di sicurezza, la minima relativa all'area di progetto, individuata dalla media statistica dei valori stagionali di riferimento.

Località di progetto	Garlate
Latitudine	45°51' 09" N
Zona climatica	E
Gradi giorno	2361
Temperatura esterna di progetto	-5°C
Temperatura terreno di progetto	10°C
Temperatura superficiale falda di progetto	13°C

Tab 7.1 – Condizioni esterne di progetto

Per quanto riguarda le condizioni interne di progetto di seguito vengono riportati i valori utilizzati in fase di calcolo. Tali valori, atti a mantenere il comfort termoigrometrico ideale per ogni area in base alla propria attività di competenza, sono stati estrapolati dalla normativa di riferimenti, in particolare la UNI 10339 e la normativa del C.O.N.I.

Locale	T. interna di progetto [°C]	U.R. di progetto [%]
Locali vasche	28	70
Spogliatoi piscina	24	
Centro benessere		50±5
Spogliatoi c. benessere		
Palestra fitness		
Spogliatoi p. fitness		
Atrio		
Ristorante – bar		
Spalti p. comunale		
Spogliatoi p. comunale		
Palestra comunale	18	

Tab 7.2 – Condizioni interne di progetto

#### 7.1.1.1 Stima dispersioni di calore per trasmissione

Le dispersioni per conduzione sono ricavabili quantificando il flusso di calore tra l'ambiente interno e l'esterno (o gli ambienti adiacenti non riscaldati o riscaldati ad una temperatura di progetto inferiore a quello in esame).

La formula per la determinazione del flusso di calore che attraversa la generica parete (nel caso di chiusure trasparenti a meno di un coefficiente correttivo dovuto all'esposizione) è:





$$Q_D = S \cdot U \cdot (t_i - t_e) \text{ [W]}$$

essendo :

$S$  = superficie della parete di scambio [ $\text{m}^2$ ];

$U$  = trasmittanza termica della parete [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ];

$t_i$  = temperatura interna di progetto [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$t_e$  = temperatura esterna di progetto (o, se inferiore, temperatura interna di progetto del locale adiacente) [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Nel caso di pavimentazioni orizzontali la formula assume la forma:

$$Q_D = Q_1 + Q_2 \text{ [W]}$$

dove [ $Q_1$ ] è il calore disperso lungo il perimetro verso l'esterno e [ $Q_2$ ] è il calore disperso attraverso la superficie del pavimento verso il suolo e si scrivono:

$$Q_1 = P \cdot (2 - h) \cdot K_1 \cdot (t_i - t_e)$$

$$Q_2 = K_2 \cdot S \cdot (t_i - t_a)$$

essendo:

$$\frac{1}{K_1} = \frac{1}{K} + \frac{2}{\lambda}$$

$$\frac{1}{K_2} = \frac{1}{K} + \frac{1}{C}$$

$K_1$  = trasmittanza termica fittizia verso l'esterno;

$K_2$  = trasmittanza termica fittizia verso il suolo;

$K$  = coefficiente globale di trasmissione del pavimento [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ];

$\lambda$  = coefficiente conduttività terreno umido (pari a 2,9 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]);

$C$  = conduttanza del terreno che, pari a 2 [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ];

$P$  = perimetro della pavimentazione [m];

$h$  = profondità del pavimento rispetto al terreno circostante [m];

$t_i$  = temperatura interna di progetto [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$t_e$  = temperatura del terreno di progetto [ $^{\circ}\text{C}$ ];

$t_a$  = temperatura superficiale della falda di progetto [ $^{\circ}\text{C}$ ].

### 7.1.1.2 Stima dispersioni di calore per ventilazione

Oltre alla potenza termica necessaria a sopperire alle dispersioni per trasmissione, vi è anche quella necessaria al riscaldamento dell'aria da sommare, come già visto, al primo contributo in modo da ottenere il valore corrispondente alla potenza termica necessaria per il riscaldamento dell'edificio (o, più correttamente, porzione di esso) in esame.



L'aria di rinnovo si divide in due tipologie: quella immessa per ventilazione naturale e quella immessa per ventilazione meccanica.

In un locale con pareti impermeabili, un aumento della temperatura provoca necessariamente un aumento di pressione dell'aria, la quale tende a fuoriuscire dal locale stesso; per questa ragione viene realizzato un foro nella parete mettendo in comunicazione l'ambiente interno con quello esterno. All'altezza del foro si viene a creare una zona, detta neutra, in cui le pressioni dell'aria interna ed esterna sono in equilibrio.

A causa della differente densità tra l'atmosfera interna e quella esterna, le pressioni sono positive sopra la zona neutra e negative al di sotto. Per la zona alta si ha:

$$p_e = p_o - \gamma_e \cdot h$$

$$p_i = p_o - \gamma_i \cdot h$$

essendo:

$p_o$  = pressione nella zona neutra;

$p_e, p_i$  = pressioni esterna ed interna;

$\gamma_e, \gamma_i$  = densità dell'aria esterna ed interna;

$h$  = quota rispetto alla zona neutra .

Se  $t_e > t_i$  e  $\gamma_e > \gamma_i$  allora si avrà, in base a quanto sopra, che  $p_i > p_e$  nelle zone situate più in alto rispetto zona neutra e in modo analogo, per i punti al di sotto della stessa, si avrà il viceversa.

Queste relazioni giustificano l'instaurarsi, attraverso ogni muro, soffitto, fessura o connessione, di una circolazione d'aria che, se fredda, entra dalla parte più bassa e, se riscaldata, esce dalla parte superiore dell'ambiente.

La quantità di aria di rinnovo dipende sostanzialmente dalla porosità degli elementi tecnici, dalle temperature esterna ed interna, dalla velocità del vento, dalla tipologia di serramenti. Una valutazione precisa e dettagliata di questo fenomeno è possibile solo attraverso calcoli molto complessi ed onerosi, oltre che un'analisi approfondita delle strutture utilizzate.

In ultima analisi si assumeranno i seguenti valori standard:

- per strutture tradizionali non coibentate con barriera a vapore in foglio catramato e serramenti semplici in legno o metallo: ricambio naturale  $> 0,6$  vol./h;
- per strutture coibentate con materiale espanso a celle chiuse e serramenti semplici particolarmente curati (o doppi): ricambio naturale  $< 0,4$  vol./h;

- per le strutture con caratteristiche intermedie si assumerà un valore compreso tra 0,4 e 0,6 vol./h.

Negli ambienti previsti in questo progetto, in base all'attività svolta o alla loro destinazione d'uso, possono avere luogo produzione di anidride carbonica, emissione di odori, fumi, vapore, etc; per questa ragioni si rende necessario garantire un certo quantitativo di aria di rinnovo al fine di garantire la salubrità, oltre che il comfort, degli ambienti stessi e dei loro fruitori.

Il flusso termico necessario a sopperire alle infiltrazioni di aria esterna (naturali o artificiali che siano) si esprime attraverso la formula:

$$Q_V = P \cdot c \cdot (t_i - t_e) [W]$$

essendo:

$P$  = portata dell'aria di infiltrazione (naturale o artificiale) [m<sup>3</sup>/h];

$c$  = calore specifico dell'aria (pari a 0,33 Wh/m<sup>3</sup>K assumendo il peso specifico dell'aria pari a 1,2 kg/m<sup>3</sup>);

$t_i$  = temperatura interna di progetto [°C];

$t_e$  = temperatura esterna di progetto [°C].

È opportuno rilevare che tale fabbisogno termico non comprende allo stesso tempo i contributi delle due tipologie d'infiltrazioni (naturali od artificiali), ma dei due valori è sufficiente prendere in considerazione quello maggiore.

Infatti, se l'apporto d'aria per ventilazione meccanica in un ambiente è maggiore rispetto a quello dovuto alla sola infiltrazione naturale, il locale si troverà in condizioni di sovrappressione ed saranno impedito le infiltrazioni di aria esterna.

Per questo motivo, nella maggior parte dei casi, per realizzare il ricambio artificiale o per sopperire alle infiltrazioni naturali, si preferisce prelevare l'aria esterna, trattarla in centrale ed immetterla, già in condizioni ottimali a garantirne il riscaldamento ed il comfort, negli ambienti da servire.

In base a quanto detto finora, vengono riportati di seguito, tabulati, i calcoli effettuati per i fabbisogni termici complessivi, in fase invernale di tutti gli ambienti di progetto.



Locali Piscine		Fabbisogno QD =	74960,57	Watt
<i>Dati di progetto</i>				
Sup.	2440 m <sup>2</sup>	Persone	150 nr.	
Vol.	16836 m <sup>3</sup>	Ricambi	21960 m <sup>3</sup> /h	
T. Int.	28 °C			
Ur	70 %			
<i>Calcolo carichi per trasmissione</i>		QD =	74960,5652	W
<u>Parete Esterna 1</u>		<u>Copertura 1</u>		
Sup.	407,1 m <sup>2</sup>	Sup.	1720 m <sup>2</sup>	
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C	
Trasmit.	0,225 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,178 W/(m <sup>2</sup> K)	
Q	3022,718	Q	10103,28	W
<u>Parete Esterna 2</u>		<u>Copertura 2</u>		
Sup.	121,44 m <sup>2</sup>	Sup.	720 m <sup>2</sup>	
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C	
Trasmit.	0,159 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,221 W/(m <sup>2</sup> K)	
Q	637,1957	Q	5250,96	W
<u>Pavimento su locale freddo</u>		<u>Facciata continua esposta a Sud</u>		
Sup.	2440 m <sup>2</sup>	Coeff.	0	
T. ext.	10 °C	Sup.	655,5 m <sup>2</sup>	
Trasmit.	0,233 W/(m <sup>2</sup> K)	T. ext.	-5 °C	
Q	10233,36	Trasmit.	1,6 W/(m <sup>2</sup> K)	
		Q	34610,4	W
		<u>Facciata continua esposta a Est</u>		
		Coeff.	0,15	
		Sup.	182,85 m <sup>2</sup>	
		T. ext.	-5 °C	
		Trasmit.	1,6 W/(m <sup>2</sup> K)	
		Q	11102,652	W

Tab. 7.3 – Fabbisogni termici invernali locali vasche.



<b>Spogl. piscina e centro est.</b>		<b>Fabbisogno QD =</b>		<b>4805,47 Watt</b>	
<i>Dati di progetto</i>					
Sup.	692 m <sup>2</sup>	Persone	150 nr.		
Vol.	2136 m <sup>3</sup>	Ricambi	10680 m <sup>3</sup> /h		
T. Int.	24 °C				
Ur	70 %				
<i>Calcolo carichi per trasmissione</i>		QD =	4805,47322	W	
<u>Parete Esterna 1</u>			<u>Parete Esterna 2</u>		
Sup.	76,95 m <sup>2</sup>	Sup.	57,6 m <sup>2</sup>		
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C		
Trasmit.	0,159 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,159 W/(m <sup>2</sup> K)		
Q	354,8165	Q	265,5936	W	
<u>Parete Interna 1</u>			<u>Parete Interna 2</u>		
Sup.	108,54 m <sup>2</sup>	Sup.	146,88 m <sup>2</sup>		
T. int. 2	18 °C	T. int. 2	20 °C		
Trasmit.	0,209 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,389 W/(m <sup>2</sup> K)		
Q	136,1092	Q	228,54528	W	
<u>Copertura C.E.</u>			<u>Pavimento Controtterra</u>		
Sup.	151 m <sup>2</sup>	Perim.	129 m		
T. ext.	-5 °C	Sup.	692 m <sup>2</sup>		
Trasmit.	0,2 W/(m <sup>2</sup> K)	T. ext.	10 °C		
Q	875,8	T. falda	13 °C		
<u>Copertura Spogliatoi</u>			Trasm.	0,233 W/(m <sup>2</sup> K)	
Sup.	541 m <sup>2</sup>	K1	0,20074272 W/(m <sup>2</sup> K)		
T. int. 2	20 °C	K2	0,20629611 W/(m <sup>2</sup> K)		
Trasmit.	0,3 W/(m <sup>2</sup> K)	Q1	725,082709 W		
Q	649,2	Q2	1570,32602 W		
		Q	2295,40873	W	

Tab. 7.4 – Fabbisogni termici invernali spogliatoi piscina e centro benessere



Spogliatoi centro benessere		Fabbisogno QD =	1359,41 Watt
<i>Dati di progetto</i>			
Sup.	120 m <sup>2</sup>	Persone	50 nr.
Vol.	288 m <sup>3</sup>	Ricambi	2016 m <sup>3</sup> /h
T. Int.	20 °C		
Ur	55 %		
<i>Calcolo carichi per trasmissione</i>		QD =	1359,40719 W
<u>Parete Esterna</u>		<u>Pavimento Controtterra</u>	
Sup.	102 m <sup>2</sup>	Perim.	45 m
T. ext.	-5 °C	Sup.	120 m <sup>2</sup>
Trasmit.	0,159 W/(m <sup>2</sup> K)	T. ext.	10 °C
Q	405,45 W	T. falda	13 °C
		Trasm.	0,233 W/(m <sup>2</sup> K)
<u>Copertura</u>		K1	0,20074272 W/(m <sup>2</sup> K)
Sup.	120 m <sup>2</sup>	K2	0,20629611 W/(m <sup>2</sup> K)
T. ext.	-5 °C	Q1	180,668449 W
Trasmit.	0,2 W/(m <sup>2</sup> K)	Q2	173,288736 W
Q	600 W	Q	353,957185 W

Tab. 7.5 – Fabbisogni termici invernali spogliatoi centro benessere.



<b>Palestra fitness Pratogrande</b>		<b>Fabbisogno QD =</b>	<b>10975,34 Watt</b>
<i>Dati di progetto</i>			
Sup.	800 m <sup>2</sup>	Persone	150 nr.
Vol.	5400 m <sup>3</sup>	Ricambi	4500 m <sup>3</sup> /h
T. Int.	20 °C		
Ur	55 %		
<i>Calcolo carichi per trasmissione</i>		QD =	10975,3445 W
<u>Parete Interna 1</u>		<u>Copertura</u>	
Sup.	152 m <sup>2</sup>	Sup.	677 m <sup>2</sup>
T. int. 2	18 °C	T. ext.	-5 °C
Trasmit.	0,158 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,24 W/(m <sup>2</sup> K)
Q	48,032 W	Q	4062 W
<u>Policarbonato esposto a Ovest</u>		<u>Policarbonato esposto a Nord</u>	
Coeff.	0,1	Coeff.	0,2
Sup.	115 m <sup>2</sup>	Sup.	37 m <sup>2</sup>
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C
Trasmit.	0,75 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,75 W/(m <sup>2</sup> K)
Q	2371,875 W	Q	832,5 W
<u>Policarbonato esposto a Est</u>		<u>Policarbonato esposto a Sud</u>	
Coeff.	0,15	Coeff.	0
Sup.	115 m <sup>2</sup>	Sup.	63 m <sup>2</sup>
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C
Trasmit.	0,75 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,75 W/(m <sup>2</sup> K)
Q	2479,688 W	Q	1181,25 W

Tab. 7.6 – Fabbisogni termici invernali palestra fitness Pratogrande.



<b>Atrio e Ristorante</b>		<b>Fabbisogno QD =</b>	<b>35017,4857</b>	<b>Watt</b>
<i>Dati di progetto</i>				
Sup.	870 m <sup>2</sup>	Persone	150 nr.	
Vol.	5880 m <sup>3</sup>	Ricambi	5940 m <sup>3</sup> /h	
T. Int.	20 °C			
Ur	55 %			
<i>Calcolo carichi per trasmissione</i>		QD =	35017,4857	W
<u>Parete Esterna 1</u>		<u>Copertura</u>		
Sup.	44,1 m <sup>2</sup>	Sup.	870 m <sup>2</sup>	
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C	
Trasmit.	0,157 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,2 W/(m <sup>2</sup> K)	
Q	173,0925 W	Q	4350 W	
<u>Pavimento Controtterra</u>		<u>Facciata continua esposta a Ovest</u>		
Perim.	138 m	Coeff.	0,1	
Sup.	870 m <sup>2</sup>	Sup.	447 m <sup>2</sup>	
T. ext.	10 °C	T. ext.	-5 °C	
T. falda	13 °C	Trasmit.	1,6 W/(m <sup>2</sup> K)	
Trasm.	0,233 W/(m <sup>2</sup> K)	Q	19668 W	
K1	0,200743 W/(m <sup>2</sup> K)	<u>Facciata continua esposta a Est</u>		
K2	0,206296 W/(m <sup>2</sup> K)	Coeff.	0,15	
Q1	554,0499 W	Sup.	196 m <sup>2</sup>	
Q2	1256,343 W	T. ext.	-5 °C	
Q	1810,393 W	Trasmit.	1,6 W/(m <sup>2</sup> K)	
		Q	9016 W	

Tab. 7.7 – Fabbisogni termici invernali atrio e risto-bar Centro Pratogrande.





<b>Spogl. palestra comunale</b>		<b>Fabbisogno QD =</b>		<b>3867,72 Watt</b>	
<i>Dati di progetto</i>					
Sup.	460 m <sup>2</sup>	Persone	100 nr.		
Vol.	1570 m <sup>3</sup>	Ricambi	7850 m <sup>3</sup> /h		
T. Int.	20 °C				
Ur	55 %				
<i>Calcolo carichi per trasmissione</i>		QD =	3867,71928	W	
<u>Parete Esterna 1</u>			<u>Parete Esterna 2</u>		
Sup.	142,81 m <sup>2</sup>	Sup.	66 m <sup>2</sup>		
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C		
Trasmit.	0,158 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,157 W/(m <sup>2</sup> K)		
Q	564,0995	W	Q	259,05	W
<u>Parete Esterna 3</u>			<u>Parete Interna</u>		
Sup.	60 m <sup>2</sup>	Sup.	82,81 m <sup>2</sup>		
T. ext.	-5 °C	T. int. 2	18 °C		
Trasmit.	0,157 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,389 W/(m <sup>2</sup> K)		
Q	235,5	W	Q	64,42618	W
<u>Copertura</u>			<u>Pavimento Controtterra</u>		
Sup.	460 m <sup>2</sup>	Perim.	105,7 m		
T. ext.	-5 °C	Sup.	460 m <sup>2</sup>		
Trasmit.	0,144 W/(m <sup>2</sup> K)	T. ext.	10 °C		
Q	1656	W	T. falda	13 °C	
-			Trasm.	0,233 W/(m <sup>2</sup> K)	
			K1	0,20074272 W/(m <sup>2</sup> K)	
			K2	0,20629611	
			Q1	424,370113	W
			Q2	664,273487	W
			Q	1088,6436	W

Tab. 7.8 – Fabbisogni termici invernali spogliatoi e zona ingresso Palestra Comunale.



<b>Palestra Comunale - campo</b>		<b>Fabbisogno QD = 9438,43523 Watt</b>	
<i>Dati di progetto</i>			
Sup.	710 m <sup>2</sup>	Persone	75 nr.
Vol.	6880 m <sup>3</sup>	Ricambi	2250 m <sup>3</sup> /h
T. Int.	18 °C		
Ur	55 %		
<i>Calcolo carichi per trasmissione</i>		QD =	9438,43523 W
<u>Parete Esterna 1</u>		<u>Copertura</u>	
Sup.	124,6 m <sup>2</sup>	Sup.	710 m <sup>2</sup>
T. ext.	-5 °C	T. ext.	-5 °C
Trasmit.	0,157 W/(m <sup>2</sup> K)	Trasmit.	0,144 W/(m <sup>2</sup> K)
Q	449,9306 W	Q	2351,52 W
<u>Pavimento Controtterra</u>		<u>Policarbonato esposto a Ovest</u>	
Perim.	108 m	Coeff.	0,1
Sup.	710 m <sup>2</sup>	Sup.	290 m <sup>2</sup>
T. ext.	10 °C	T. ext.	-5 °C
T. falda	13 °C	Trasmit.	0,75 W/(m <sup>2</sup> K)
Trasm.	0,233 W/(m <sup>2</sup> K)	Q	5502,75 W
K1	0,200743 W/(m <sup>2</sup> K)		
K2	0,206296 W/(m <sup>2</sup> K)		
Q1	346,8834 W		
Q2	732,3512 W		
Q	1079,235 W		

Tab. 7.9 – Fabbisogni termici invernali campo da gioco Palestra Comunale.

### 7.1.2 Carico termico estivo

Per i locali per i quali è necessario mantenere un comfort termoigrometrico ottimale anche durante la stagione estiva attraverso un condizionamento dell'aria, è necessario procedere ad un calcolo dei carichi termici anche in tale periodo, durante il quale, al fine di mantenere gli ambienti a valori di temperatura e umidità relative prefissate, deve essere sottratto il calore sensibile e latente, che si viene a creare nei vari ambienti per trasmissione, infiltrazione, irraggiamento o apporti interni (dovuti a fonti di calore quali apparecchi illuminanti, macchinari, persone, etc.).

Per quanto riguarda le condizioni esterne di progetto i dati raccolti e analizzati (cfr. cap. 2.2) mostrano come il comune di Garlate rientri tra le località con temperature tipiche delle medie latitudini, evidenziando periodi estivi abbastanza caldi, umidi e piovosi, soprattutto sul finire della stagione.

La normativa di riferimento considera Luglio come il mese più caldo, con una temperatura media di 22,6°C e fissa la temperatura massima a 31,9°C, con un'oscillazione ammissibile di 8°C. In fase di progettazione, per i locali dove si è



ritenuto opportuno fare ricorso ad un impianti di climatizzazione, si sono utilizzati i seguenti valori:

- temperatura esterna di progetto 32°C;
- umidità relativa esterna di progetto 70%;
- temperatura interna di progetto 26°C;
- umidità relativa interna di progetto 55%.

Per la determinazione del carico termico sono stati contabilizzati gli apporti di calore dovuti a fattori esterni, sensibili e latenti, e gli eventuali carichi termici dovuti alla produzione di calore interno agli ambienti.

Il tutto sintetizzato come segue:

$$Q = Q_i + Q_t + Q_v + Q_c \text{ [W]}$$

essendo:

$Q$  = carico termico totale dell'ambiente (sensibile e latente) [W];

$Q_i$  = carico termico per irraggiamento (sensibile) [W];

$Q_t$  = carico termico per trasmissione (sensibile) [W];

$Q_v$  = carico termico per ventilazione (sensibile + latente) [W];

$Q_c$  = carico termico interno (sensibile + latente) [W].

Vediamo ora nel dettaglio il significato e come si tiene in conto di ciascuno di questi contributi.

#### 7.1.2.1 Carico termico per irraggiamento

La radiazione solare incidente su una superficie varia con l'inclinazione della superficie stessa rispetto ai raggi del sole, e, conseguentemente, anche con l'ora del giorno e la latitudine del luogo.

Nella valutazione dell'apporto di calore per irraggiamento è opportuno operare una netta distinzione tra superfici trasparenti e superfici opache; dal momento che le prime trasmettono all'interno dei locali la maggior parte dell'energia solare su di esse incidente, risultando, pertanto, preponderanti a livello computazionale.

La formula che esprime il carico per irraggiamento (sensibile) trasmesso attraverso le superfici trasparenti è:

$$Q_i = S_v \cdot I \cdot C \cdot F$$

dove:

$S_v$  = area della superficie trasparente [m<sup>2</sup>];

$I$  = potenza massima incidente per unità di superficie, dipendente dall'esposizione e dal giorno [kcal/m<sup>2</sup>h];



$C$  = fattore di correzione;

$F$  = fattore di accumulo.

Si riportano di seguito i valori della radiazione solare massima in kcal/m<sup>2</sup>h in funzione delle singole esposizioni alle latitudini di 45° de I mese di Luglio.

Esposizione	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Orizz.
<i>I</i>	39	330	443	363	237	363	443	330	601

Tab. 7.10 – Radiazione solare massima mese di Luglio, lat. 45°N

Il fattore di correzione [ $C$ ] è dovuto alla natura del vetro e da eventuali protezioni del vetro stesso.

La temperatura delle superfici trasparenti si eleva in maniera differente a seconda della loro capacità termica e successivamente il calore viene ceduto all'aria ambiente per convezione e per irraggiamento. Per un vetro doppio come quello utilizzato nelle nostre facciate continue si adotta un valore di [ $C$ ] pari a 0,9.

Esiste un ritardo e uno smorzamento delle punte del carico termico dovuto all'insolazione diretta attraverso le superfici vetrate. Questo significa che se la determinazione della potenza frigorifera in un impianto di condizionamento estivo venisse fatta tenendo conto dei valori massimi dell'irraggiamento solare dedotti in precedenza l'impianto risulterebbe sovradimensionato.

Per tale motivo si introduce un fattore di accumulo che corrisponde a un coefficiente riduttivo da applicarsi alla radiazione massima incidente che tiene conto:

- della quantità di calore di irraggiamento assorbito dalle strutture;
- del ritardo con cui questo calore viene ceduto all'ambiente interno;
- del tipo di struttura e dell'orientamento della superficie trasparente.

Di seguito, sono riportati tabulati i valori dei fattori di accumulo maggiori per diverse ore del giorno relativamente a un periodo di funzionamento dell'impianto di 12 ore.

Ora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>F (OVEST)</b>	0,60	0,52	0,44	0,39	0,34	0,31	0,29	0,28	0,33	0,43	0,51	0,57
<b>F (EST)</b>	0,34	0,44	0,54	0,58	0,57	0,51	0,44	0,39	0,34	0,31	0,28	0,24
<b>F (NORD o ombra)</b>	0,81	0,84	0,86	0,89	0,91	0,93	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95

Tab. 7.11 – Valori orari di [ $F$ ]

### 7.1.2.2 Carico termico trasmissione

Il calcolo del carico termico per trasmissione attraverso le superfici opache richiede un'attenta analisi dei contributi di carico legati all'effetto congiunto della differenza di



temperatura tra aria esterna ed aria interna e della radiazione solare. Quest'ultima, infatti, è di fatto responsabile di un'azione "amplificatrice" dello scambio termico convettivo legato al differenziale termico esistente fra aria esterna ed aria interna.

Tale radiazione, assorbita dalle superfici esterne, dà luogo ad un effetto riscaldante che occorre contabilizzare per ottenere una corretta valutazione dei carichi termici agenti.

Il carico termico per trasmissione viene, pertanto, determinato mediante la seguente formula:

$$Q = U \times S \times \Delta T_e [W]$$

essendo:

$S$  = superficie della parete di scambio [ $m^2$ ];

$U$  = trasmittanza termica della parete [ $W/m^2K$ ];

$\Delta T_e$  = differenza di temperatura equivalente [ $^{\circ}C$ ]; tien e conto degli effetti di:

- apporto solare variabile ciclicamente durante la giornata;
- escursione termica giornaliera dell'aria esterna;
- caratteristiche inerziali delle strutture di delimitazione del volume condizionato riferite al peso per  $m^2$  di superficie.

I valori di [ $\Delta T_e$ ], con riferimento a muri e tetti di colore chiaro, medio o scuro, sono riportati, in base ad orientazione e peso dell'elemento tecnico, in tabelle apposite suddivise in fasce orarie, che riportiamo qui di seguito.

Orario del giorno	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$\Delta T_e$ (SUD)	-0,8	-1,4	-2	-1,4	-0,9	2,1	3,9	7	9	9,9	11	10
$\Delta T_e$ (TETTI)	1,3	0,8	0,6	1,1	2,5	4,5	7,3	11	13	16	18	19

Tab. 7.12 – Valori orari di [ $\Delta T_e$ ]

### 7.1.2.3 Carico termico per ventilazione

Anche nel condizionamento estivo, le infiltrazioni di aria esterna, naturali o artificiali che siano, concorrono alla determinazione del carico termico. Per quantificare il contributo dovuto all'infiltrazione d'aria esterna, si applicano le medesime considerazioni effettuate per il periodo invernale.

### 7.1.2.4 Carichi interni

#### Affollamento

L'organismo umano, per svolgere le proprie funzioni vitali, è sede di complesse trasformazioni chimiche mediante le quali l'energia degli alimenti viene trasformata ed



utilizzata; l'organismo sviluppa, così, internamente una quantità di calore, da contabilizzare, che cede all'ambiente esterno.

Il calore ceduto dall'organismo è in parte scambiato per convezione e irraggiamento (calore sensibile) e in parte è dovuto alla cessione di vapore acqueo mediante la respirazione o per evaporazione superficiale (calore latente).

Di seguito sono riportati, tabulati, i valori delle quantità di calore emesso (per ogni persona) in base all'attività effettuata.

<b>Grado di attività</b>	<b>Calore sensibile [W]</b>	<b>Calore latente [W]</b>
Attività atletica	150	294
Attività moderata	66	72
Lavoro leggero al banco	72	156
Lavoro sedentario	72	96
Lavoro sedentario	66	54

*Tab. 7.13 – Valori di calore emessi dalle persone*

### *Illuminazione*

I carichi interni dovuti a illuminazione richiedono un'attenta valutazione poiché una non corretta individuazione degli stessi potrebbe portare a commettere errori anche sostanziali nella stima dei carichi termici agenti.

Occorre precisare che ciò che la potenza elettrica assorbita dalle lampade non si traduce interamente in carico termico; nelle lampade incandescenti una parte della potenza assorbita (10% circa), infatti, si traduce in energia luminosa, mentre la restante parte viene dissipata in calore ambientale attraverso radiazione, convezione e conduzione. Tal energia contribuisce, quindi, alla definizione del carico di raffreddamento anche dopo l'eventuale spegnimento degli apparecchi illuminanti, visto lo sfasamento temporale indotto dai fenomeni di accumulo termico nelle strutture.

Per la stima dei carichi dovuti all'illuminazione, è stato adottato un valore pari a 10 W/m<sup>2</sup> per atrio, sala ristorante e bar.

### *Macchinari*

Alla definizione del carico termico totale contribuiscono altre sorgenti che possono essere presenti in ambiente e che dissipano in esso parte dell'energia elettrica assorbita. Per la stima dei carichi dovuti ai macchinari e all'illuminazione sono stati adottati i seguenti valori:

- 10 W/m<sup>2</sup> per ristorante-bar (cucina, macchine varie);
- 15 W/m<sup>2</sup> per atrio (computer, stampanti, telefoni, etc.).



Per tutti i carichi termici visti, poiché un'analisi oraria dell'effettiva presenza nel caso delle persone, o dell'effettivo funzionamento nel caso di dispositivi illuminanti e macchinari, sarebbe stata troppo complessa ed onerosa, sono stati introdotti ogni volta degli opportuni coefficienti di contemporaneità, con lo scopo di tenere in debito conto, per quanto grossolanamente, di questo fenomeno.

Da ultimo, è doveroso far osservare che, nel caso del calcolo dei carichi termici in regime estivo, questi ultimi sono strettamente legati al loro andamento orario durante la giornata. Come si è visto, infatti, i carichi termici agenti (soprattutto nel caso di irraggiamento e trasmissione) vengono valutati, ove possibile, ora per ora.

Questo comporta che il carico termico totale agente in fase estiva non possa essere, banalmente, la somma di tutti i contributi precedentemente calcolati, bensì sia rappresentato da un carico "di picco" che si verifica ad una determinata ora della giornata.

Per valutarlo sono stati sovrapposti gli effetti di ciascun apporto e, successivamente, si è andati ad individuare l'orario per cui si verificava il picco di carico termico, assumendo questo come il nostro valore di progetto. Essendo, per gli ambienti che si è scelto di andare a condizionare, il contributo massimo quello dovuto ad irraggiamento sulla facciata continua esposta ad Est, prevedibilmente è stato individuato il picco tra le ore 9 e le ore 10. Tuttavia, a seguito di considerazioni di tipo funzionale, è parso irrealistico prevedere il massimo affollamento e il funzionamento a pieno regime di macchinari e apparecchiature illuminanti durante queste fasce orarie. Si è scelto pertanto, per non incorrere in un sovradimensionamento dei sottosistemi impiantistici, di valutare il picco alle ore 12, assumendo il funzionamento dei dispositivi di illuminazione a mezzo carico.

Si riportano ora di seguito, tabulati, i calcoli effettuati per i fabbisogni termici complessivi, in fase estiva degli ambienti presi in considerazione (atrio e ristorante).



Facciata continua a Ovest

Fatt. C 0,9  
 Sup. 164 m<sup>2</sup>  
 I 443 kcal/hm<sup>2</sup>

Valori orari di F, Qi		
h	F	Qi [W]
6	0,60	45626,91
7	0,52	39543,32
8	0,44	33459,73
9	0,39	29657,49
10	0,34	25855,25
11	0,31	23573,90
12	0,29	22053,01
13	0,28	21292,56
14	0,33	25094,80
15	0,43	32699,28
16	0,51	38782,87
17	0,57	43345,56

Facciata continua a Est

Fatt. C 0,9  
 Sup. 196 m<sup>2</sup>  
 I 443 kcal/hm<sup>2</sup>

Valori orari di F, Qi		
h	F	Qi [W]
6	0,34	30900,17
7	0,44	39988,46
8	0,54	49076,75
9	0,58	52712,06
10	0,57	51803,23
11	0,51	46350,26
12	0,44	39988,46
13	0,39	35444,32
14	0,34	30900,17
15	0,31	28173,69
16	0,28	25447,20
17	0,24	21811,89

Tabb. 7.14, 7.15 – Carichi per irraggiamento

Facciata continua a Ovest in ombra

Fatt. C 0,9  
 Sup. 276 m<sup>2</sup>  
 I 39 kcal/hm<sup>2</sup>

Valori orari di F, Qi		
h	F	Qi
6	0,81	9126,01
7	0,84	9464,01
8	0,86	9689,34
9	0,89	10027,34
10	0,91	10252,68
11	0,93	10478,01
12	0,93	10478,01
13	0,94	10590,68
14	0,94	10590,68
15	0,95	10703,34
16	0,95	10703,34
17	0,95	10703,34

Tab. 7.16 – Carichi per irraggiamento





Parete Esterna SUD  
Sup. 44,1 m<sup>2</sup>  
Trasmit. 0,157 W/(m<sup>2</sup>K)

Copertura  
Sup. 870 m<sup>2</sup>  
Trasmit. 0,2 W/(m<sup>2</sup>K)

Valori orari di $\Delta t_e$ , $Q_t$		
h	$\Delta t_e$	$Q_t$ [W]
6	-0,80	-5,54
7	-1,40	-9,69
8	-2,00	-13,85
9	-1,40	-9,69
10	-0,90	-6,23
11	2,10	14,54
12	3,90	27,00
13	7,00	48,47
14	9,00	62,31
15	9,90	68,54
16	10,60	73,39
17	10,00	69,24

Valori orari di $\Delta t_e$ , $Q_t$		
h	$\Delta t_e$	$Q_t$ [W]
6	1,30	226,20
7	0,80	139,20
8	0,60	104,40
9	1,10	191,40
10	2,50	435,00
11	4,50	783,00
12	7,30	1270,20
13	10,80	1879,20
14	13,20	2296,80
15	15,70	2731,80
16	18,10	3149,40
17	19,00	3306,00

Tabb. 7.17, 7.18 – Carichi per trasmissione

## 7.2 Dimensionamento dei sottosistemi impiantistici

In questa sezione vengono dapprima analizzate le letture critiche che hanno condotto poi, in seguito, alle scelte e, quindi, al dimensionamento di massima dei sottosistemi impiantistici a servizio del complesso sportivo.

### 7.2.1 Impianto climatizzazione aria-aria

A seconda del fluido utilizzato per annullare il carico termico, gli impianti di condizionamento si distinguono in: ad aria, ad acqua e misti ad aria-acqua.

Nel nostro caso, a seguito di opportune valutazioni energetiche basate sull'osservazione dei carichi termici sopra riportati, si è deciso di andare ad adottare impianti cosiddetti "a tutt'aria", dove il compito di riscaldare o raffreddare gli ambienti è affidato all'aria che viene trasferita mediante una rete di canali ed immessa (e/o estratta) negli ambienti mediante bocchette e/o diffusori. In base a quanto sopra, risultava, infatti, evidente la convenienza, in termini energetici, di riscaldare/raffreddare l'aria in ogni caso necessaria al rinnovo, in modo che questa assolvesse anche al compito di mantenere le condizioni termo igrometriche desiderate all'interno dei locali. L'impianto di climatizzazione tutt'aria ha il compito di mantenere un ambiente in determinate condizioni di temperatura, umidità e salubrità dell'aria.

Il principio di funzionamento di un impianto a tutt'aria consiste nel trattare una certa quantità di aria, prelevata dall'ambiente stesso (aria di ricircolo) o dall'ambiente esterno



(aria di ricambio o di rinnovo), somministrando o togliendo ad essa calore e/o vapore acqueo, al fine di portarla alle condizioni di temperatura ed umidità relativa di progetto.

#### **7.2.1.1 Dimensionamento nel periodo invernale**

D'inverno gli edifici disperdono calore per trasmissione attraverso l'involucro che tende ad abbassare la temperatura dei locali; tali dispersioni sono compensate dall'unità di trattamento dell'aria, attraverso la quale si mantengono la temperatura e l'umidità relativa richieste nei locali e si garantisce il ricambio d'aria necessario.

Considerando le condizioni esterne pari a  $T_e = -5^\circ\text{C}$  e  $U.R. = 70\%$ , la macchina deve essere in grado di riscaldare l'aria in ingresso fino alla temperatura d'immissione imposta e portarla all'umidità relativa di progetto.

Queste trasformazioni necessitano di più fasi (e, conseguentemente, di più sezioni di macchinario) che avvengono nella centrale. La potenza totale delle varie U.T.A. è data dalla somma delle potenze in gioco nelle diverse fasi di seguito illustrate.

Fase 1 Ingresso dell'aria esterna AE per mezzo di serrande di presa a una temperatura pari a  $-5^\circ\text{C}$ ;

Fase 2 Passaggio dell'aria attraverso un recuperatore di energia statico a flussi incrociati a piastre. Questi apparecchi sono degli scambiatori che permettono il trasferimento di calore tra due flussi d'aria (immissione ed espulsione) sotto l'azione di una differenza di temperatura e consentono notevoli risparmi sui costi di esercizio negli impianti di raffrescamento e riscaldamento, permettendo, infatti, il recupero dell'energia latente che, diversamente, andrebbe perduta sotto forma di calore o freddo. Vengono definiti "statici" in quanto non hanno parti in movimento, garantendo così altissima affidabilità e sicurezza di funzionamento.

I due flussi d'aria (calda e fredda) all'entrata nel recuperatore vengono suddivisi in passaggi compresi fra due piastre che portano alternativamente aria calda e aria fredda. Questi passaggi sono sigillati, con soluzioni appropriate ad ogni applicazione, onde impedire ogni possibile contaminazione da un flusso d'aria all'altro. Lo scambio avviene attraverso le piastre che costituiscono le pareti dei passaggi e l'efficienza raggiunge valori compresi tra il 40% ed il 75%.

Fase 3 Riscaldamento sensibile dell'aria attraverso il passaggio in una batteria definita di pre-riscaldamento. Tale passaggio è necessario per raggiungere la temperatura che consente, nella fase successiva, di portare l'aria all'umidità richiesta nel locale.

Fase 4 Contatto tra l'aria secca e l'acqua. Questo passaggio permette all'acqua di evaporare e all'aria di diminuire la sua temperatura fino a che la sua umidità raggiunge



il valore richiesto da progetto. Tale processo è definito "umidificazione adiabatica" poiché non vi è scambio di calore fra l'apparecchiatura nella quale avviene il processo e l'esterno.

Fase 5 L'aria ha, a questo punto, l'umidità di progetto, ma la temperatura è inferiore a causa dell'umidificazione; per tale motivo viene fatta passare attraverso una seconda batteria definita di post-riscaldamento, fino a raggiungere il valore di progetto per l'aria di immissione.

Fase 6 Immissione dell'aria nell'ambiente interessato.

Fase 7 L'aria presente nei locali serviti dalla U.T.A., viene prelevata e reimpressa nella macchina, dove passa attraverso il recuperatore statico. Tale passaggio, come detto in precedenza, si rende utile per ottenere un risparmio energetico.

Fase 8 L'aria insalubre prelevata dai locali viene espulsa per garantirne il corretto rinnovo.

#### **7.2.1.2 Dimensionamento nel periodo estivo**

Come visto in precedenza, d'estate il bilancio energetico è dato dalla somma di due apporti di calore: latente e sensibile. Il calore latente è il carico termico creato dall'aumento di vapore nell'aria dovuto alla respirazione e alla traspirazione delle persone. Il calore sensibile proviene da scambi termici per radiazione e per trasmissione attraverso le chiusure opache e trasparenti, dagli apporti interni dovuti alla presenza degli occupanti e dall'uso di apparecchi elettrici che producono calore (elettrodomestici e luci).

In questo periodo le unità di trattamento dell'aria devono abbattere gli apporti di calore sensibile attraverso aria fredda e gestire il flusso di calore latente regolando l'umidità in modo da mantenere l'ambiente alle condizioni di progetto.

Considerando le condizioni esterne pari a  $T_e = 32^\circ\text{C}$  e U.R. = 70%, la macchina deve essere in grado di raffrescare l'aria in ingresso fino alla temperatura d'immissione imposta per poi portarla all'umidità di progetto. Nel caso dei locali per i quali la climatizzazione in fase estiva non era strettamente richiesta, l'U.T.A., dovendo in ogni caso garantire i necessari ricambi d'aria, è stata dimensionata in modo che l'aria di rinnovo venga immessa ad una temperatura di  $20^\circ\text{C}$ , assicurando, pertanto, un raffrescamento degli ambienti considerati, pur non dimensionato. Per quanto riguarda i locali vasche, pare opportuno ricordare che durante il periodo estivo non si rende necessario il dimensionamento dell'U.T.A. a loro servizio in quanto vengono aperti ed il rinnovo d'aria è garantito in via naturale.



Le caratteristiche tecniche dell'unità di trattamento dell'aria sono le medesime rispetto a quelle invernali, differenti sono invece le fasi del trattamento che, come in precedenza, permettono di definire la potenza totale dell'U.T.A.

Fase 1 Ingresso dell'aria esterna AE per mezzo di serrande di presa a una temperatura pari a 32°C;

Fase 2 Passaggio dell'aria attraverso il recuperatore statico a flussi incrociati a piastre.

Fase 3 Raffrescamento sensibile dell'aria attraverso il passaggio in una batteria definita di raffreddamento. L'aria è raffrescata oltre la sua temperatura di rugiada in modo da far condensare il vapore contenuto in essa; ciò fa sì che la sua umidità relativa si abbassi fino a raggiungere il valore di progetto.

Fase 4 L'aria ha, a questo punto, l'umidità di progetto, ma la temperatura è inferiore a quella desiderata; per tale motivo viene fatta passare attraverso una seconda batteria definita di post-riscaldamento, fino a raggiungere il valore di progetto per l'aria di immissione.

Fase 5 Immissione dell'aria nell'ambiente interessato.

Fase 6 L'aria presente nei locali serviti dalla U.T.A., viene prelevata e reimpressa nella macchina, dove passa attraverso il recuperatore statico.

Fase 7 L'aria insalubre prelevata dai locali viene espulsa per garantirne il corretto rinnovo.

Di seguito si riportano, tabulati, i calcoli effettuati per il dimensionamento delle cinque unità di trattamento dell'aria a servizio del complesso, oltre che ai relativi diagrammi psicrometrici da cui sono stati estrapolati i dati necessari a detti calcoli.

<b>Dati di progetto</b>		Inv.
Ricambi richiesti	m <sup>3</sup> /h	22000
Carico termico	kW	75,00
Temperatura di immissione	°C	35
Portata d'aria	m <sup>3</sup> /h	32467,53

<b>Condizioni di mandata</b>		Inv.
Portata in volume aria umida	m <sup>3</sup> /h	32500
xs	g/kgas	6,2
Temp. Bs	°C	35
U.R.	%	18
Densità aria umida	kg/m <sup>3</sup>	1,136
Portata in massa aria umida	kg/h	36920,0
Portata in massa aria secca	kgas/h	<b>36692,5</b>

<b>Condizioni di ripresa</b>		Inv.
Portata in massa aria secca	kgas/h	<b>36692,5</b>
xs	g/kgas	16,75
Temp. Bs	°C	28
U.R.	%	70
Entalpia specifica	kJ/kgas	71
Densità aria umida	kg/m3	1,14
Portata in massa aria umida	kg/h	37307,1
Portata in volume aria umida	m3/h	<b>32725,5</b>

<b>Condizioni aria esterna</b>		Inv.
xs	g/kgas	1,7
Temp. Bs	°C	-5
U.R.	%	70
Entalpia specifica	kJ/kgas	-0,8
Densità aria umida	kg/m3	1,314

<b>Terna di serrande</b>		Inv.
% ricircolo	%	30
Portata in volume aria umida ricircolo	m3/h	9750,0
Portata in volume aria umida esterna	m3/h	22750,0
Portata in massa aria secca ricircolo	kgas/h	11007,8
Portata in massa aria secca esterna	kgas/h	25684,8
Xs dopo miscelazione	g/kgas	6,2
Temp. dopo miscelazione	°C	4,9
Entalpia dopo miscelazione	kJ/kgas	20,7

<b>Batteria riscaldamento</b>		Inv.
Portata aria secca	kgas/h	36692,5
Temp. ingresso	°C	4,9
xs ingresso	g/kgas	6,2
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	20,7
Temp. uscita	°C	35
xs uscita	g/kgas	6,2
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	51
Potenza termica	kW	<b>308,4</b>
DT acqua calda	°C	10,0
Portata acqua calda	l/s	<b>7,37</b>

Tab. 7.19 – Dimensionamento U.T.A. 01, Locale vasche.



DIAGRAMMA PSICROMETRICO  
DIAGRAMA PSICROMÉTRICO  
DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE  
PSYCHROMETRISCHES DIAGRAM  
PSYCHROMETRIC CHART  
( $P_{atm}=1,013\text{bar}$ )

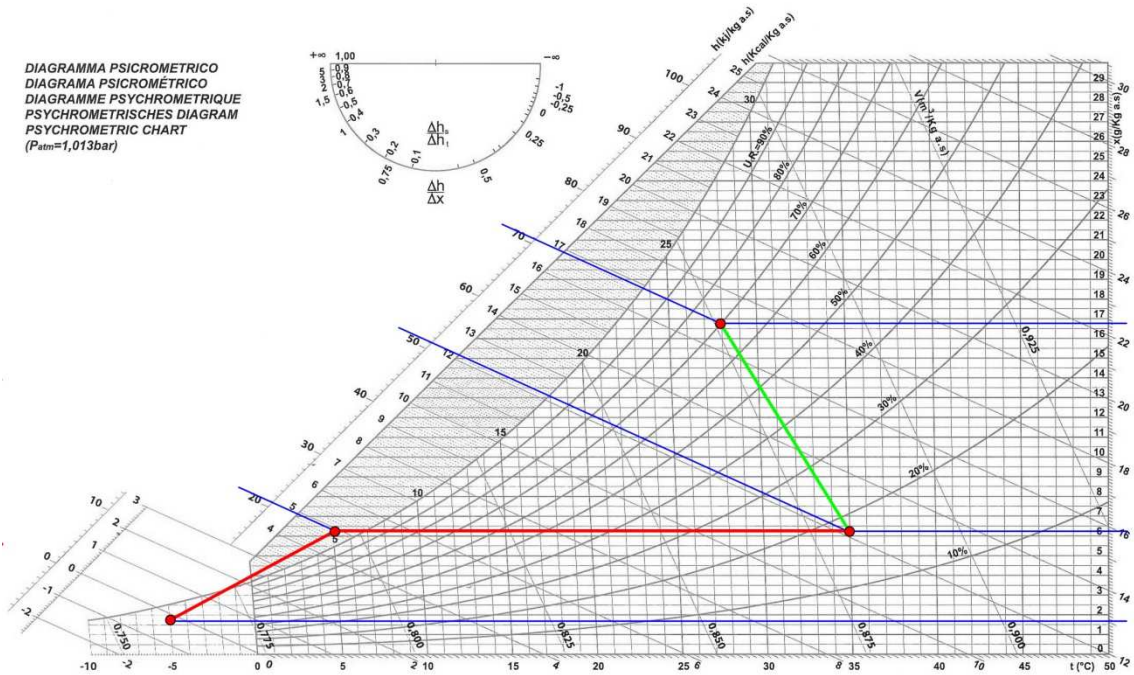


Fig. 7.1 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 01, fase invernale.

Dal diagramma psicrometrico sopra riportato appare evidente che, nel caso delle piscine coperte, la problematica principale sia il controllo dell'umidità ambientale. Si può, infatti vedere come, a differenza che negli altri casi, l'aria venga riscaldata senza umidificazione. La retta di esercizio (in verde in figura) nel caso di sola umidificazione sarebbe perfettamente verticale, nel nostro caso presenta la pendenza indicata a causa della presenza di un riscaldamento atto a sopperire ai carichi termici precedentemente determinati.

Pare anche opportuno far notare come il punto significativo corrispondente alla camera di miscela vada a ricadere nell'area del grafico detta "zona di nebbia". Tuttavia, come riportato in *Elementi di termoventilazione e condizionamento dell'aria*, a cura di AERMEC, la formazione di nebbia nella camera di miscela è generalmente trascurabile in quanto i successivi trattamenti di riscaldamento riportano l'aria nella zona non satura. Per la determinazione della temperatura del punto di miscela va però tenuto conto che le linee di temperatura, al di sopra della curva di saturazione, diventano parallele e hanno inclinazione, in prima approssimazione, uguale alle linee isoentalpiche (isoterme della nebbia).

<b>Dati di progetto</b>		Inv.	Est.
Ricambi richiesti	m3/h	10100	10100
Carico termico	kW	13,31	/
$\Delta T$	°C	3,99	/
Temperatura di immissione	°C	24	20

<b>Condizioni di mandata</b>		Inv.	Est.
Portata in volume aria umida	m3/h	10100	10100
xs	g/kgas	8,1	11,75
Temp. Bs	°C	24	20
U.R.	%	43	80
Densità aria umida	kg/m3	1,17	1,19
Portata in massa aria umida	kg/h	11817,0	12019,0
Portata in massa aria secca	kgas/h	<b>11722,1</b>	<b>11879,4</b>

<b>Recuperatore di calore</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	11722,1	11879,4
Temp. ingresso	°C	-5	32
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
U.R. ingresso	%	70	70
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	-0,8	86
Temperatura ripresa	°C	20	26
Efficienza	%	75	75
Potenza termica recuperata	kW	<b>62,1</b>	<b>15,2</b>
Temp. uscita	°C	13,75	27,5
xs uscita	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	18,1	82

<b>Batteria preriscaldamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	11722,1	11879,4
Temp. ingresso	°C	13,75	27,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	18,1	82
Temp. uscita	°C	29,7	27,5
xs uscita	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	34,5	82
Potenza termica	kW	<b>53,4</b>	<b>0,0</b>
DT acqua calda	°C	10	10,0
Portata acqua calda	l/s	<b>1,28</b>	<b>0,00</b>

<b>Batteria raffreddamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	11722,1	11879,4
Temp. ingresso	°C	29,7	27,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	34,5	82
Temp. uscita	°C	29,7	16,3
xs uscita	g/kgas	1,7	11,75
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	34,5	46
Potenza termica	kW	<b>0,0</b>	<b>118,8</b>
DT acqua fredda	°C	5,0	5,0
Portata acqua fredda	l/s	<b>0,00</b>	<b>5,68</b>
Portata acqua condensata	kg/h	0,0	111,1



Entalpia spec. saturazione	kJ/kgas		79,7
Potenzialità per calore latente	kW	0,0	111,2
Potenzialità per calore sensibile	kW	0,00	7,59

Umidificatore		Inv.	Est.
Temp. ingresso	°C	29,7	12,5
Temp. B.U.	°C	12	12,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	8,5
Efficienza	%	80	0,0
Temp. uscita	°C	13,7	12,5
xs uscita	g/kgas	8,1	8,5
Consumo di acqua	kg/h	75,0	0,0

Batteria post-riscaldamento		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	11722,1	11879,4
Temp. ingresso	°C	13,7	16,3
xs ingresso	g/kgas	8,1	11,75
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	34,5	46
Temp. uscita	°C	24	20
xs uscita	g/kgas	8,1	11,75
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	44,9	50
Potenza termica	kW	<b>33,9</b>	<b>13,2</b>
DT acqua calda	°C	10	10
Portata acqua calda	l/s	0,81	0,32

Tab. 7.20 – Dimensionamento U.T.A. 02, Palestra comunale.

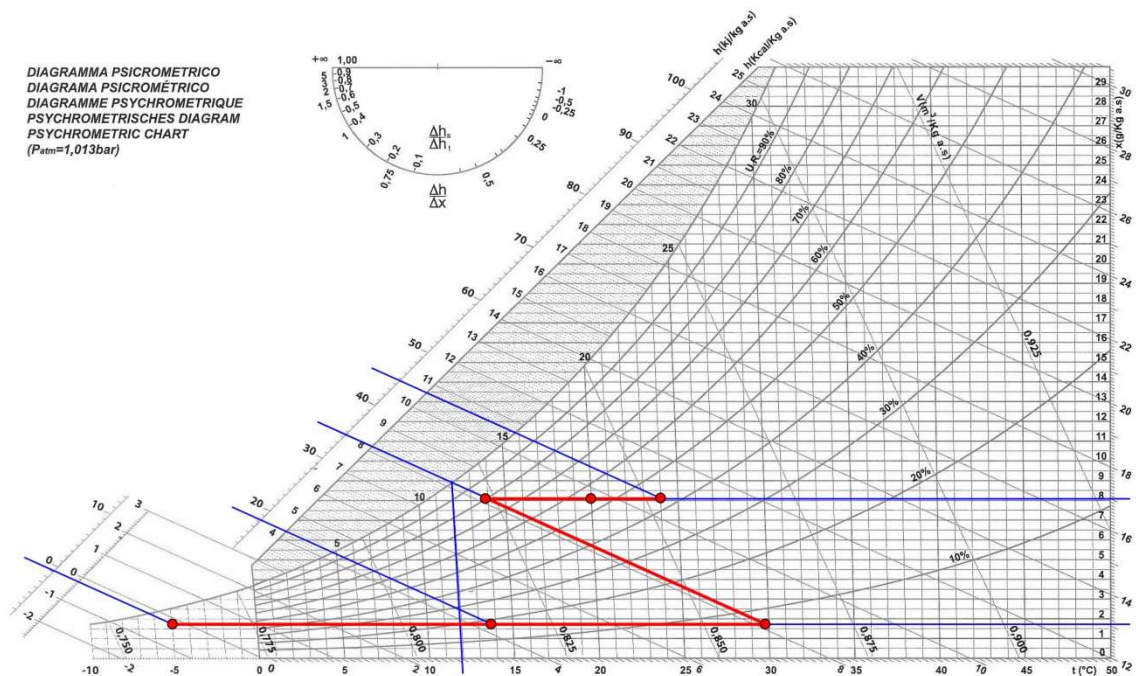


Fig. 7.2 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 02, fase invernale.



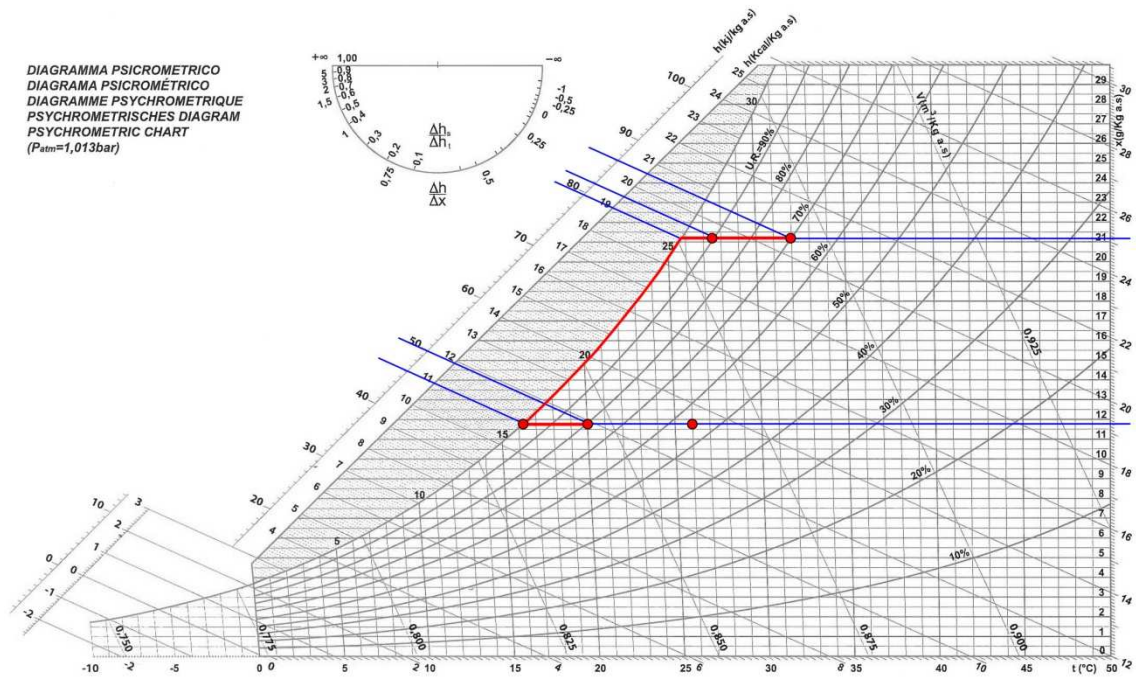


Fig. 7.3 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 02, fase estiva.

Dati di progetto		Inv.	Est.
Ricambi richiesti	m <sup>3</sup> /h	5940	5940
Carico termico	kW	35,02	114,24
Temperatura di immissione	°C	34	16
Portata d'aria	m <sup>3</sup> /h	7579,54	34618,69

Condizioni di mandata		Inv.	Est.
Portata in volume aria umida	m <sup>3</sup> /h	7600	34700
xs	g/kgas	8,1	11,25
Temp. Bs	°C	34	16
U.R.	%	42	95
Densità aria umida	kg/m <sup>3</sup>	1,136	1,19
Portata in massa aria umida	kg/h	8633,6	41293,0
Portata in massa aria secca	kgas/h	<b>8564,2</b>	<b>40833,6</b>

Condizioni di ripresa		Inv.	Est.
Portata in massa aria secca	kgas/h	<b>8564,2</b>	<b>40833,6</b>
xs	g/kgas	8,1	11,75
Temp. Bs	°C	20	26
U.R.	%	55	50
Entalpia specifica	kJ/kgas	41	52,8
Densità aria umida	kg/m <sup>3</sup>	1,19	1,176
Portata in massa aria umida	kg/h	8633,6	41313,4
Portata in volume aria umida	m <sup>3</sup> /h	<b>7255,1</b>	<b>35130,5</b>

Condizioni aria esterna		Inv.	Est.
xs	g/kgas	1,7	21,1
Temp. Bs	°C	-5	32
U.R.	%	70	70



Entalpia specifica	kJ/kgas	-0,8	86
Densità aria umida	kg/m3	1,314	1,12

<b>Terna di serrande</b>		Inv.	Est.
% ricircolo	%	20	30
Portata in volume aria umida ricircolo	m3/h	1520,0	10410,0
Portata in volume aria umida esterna	m3/h	6080,0	24290,0
Portata in massa aria secca ricircolo	kgas/h	1712,8	12250,1
Portata in massa aria secca esterna	kgas/h	6851,4	28583,5
Xs dopo miscelazione	g/kgas	3,0	18,3
Temp. dopo miscelazione	°C	0,0	30,2
Entalpia dopo miscelazione	kJ/kgas	7,6	76,0

<b>Batteria preriscaldamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	8564,2	40833,6
Temp. ingresso	°C	0,0	30,2
xs ingresso	g/kgas	3,0	18,3
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	7,6	76,0
Temp. uscita	°C	26,4	30,2
xs uscita	g/kgas	2,98	18,3
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	34,2	76,0
Potenza termica	kW	<b>63,4</b>	<b>0,0</b>
DT acqua calda	°C	10,0	10,0
Portata acqua calda	l/s	<b>1,51</b>	<b>0,00</b>

<b>Batteria raffreddamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	8564,2	40833,6
Temp. ingresso	°C	26,4	30,2
xs ingresso	g/kgas	2,98	18,3
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	34,2	76,0
Temp. uscita	°C	26,4	15,5
xs uscita	g/kgas	2,98	11,25
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	34,2	44
Potenza termica	kW	<b>0,0</b>	<b>363,4</b>
DT acqua fredda	°C	5,0	5,0
Portata acqua fredda	l/s	<b>0,00</b>	<b>17,36</b>
Portata acqua condensata	kg/h	0,0	287,7
Entalpia spec. saturazione	kJ/kgas		69,0
Potenzialità per calore latente	kW	0,0	283,6
Potenzialità per calore sensibile	kW	0,00	79,85

<b>Umidificatore</b>		Inv.	Est.
Temp. ingresso	°C	26,4	12,5
Temp. B.U.	°C	11,9	12,5
xs ingresso	g/kgas	2,98	8,5
Efficienza	%	80,0	0,0
Temp. uscita	°C	13,7	12,5
xs uscita	g/kgas	8,1	8,5
Consumo di acqua	kg/h	43,8	0,0

Batteria post-riscaldamento		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	8564,2	40833,6
Temp. ingresso	°C	13,7	15,5
xs ingresso	g/kgas	8,1	11,25
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	34,2	44
Temp. uscita	°C	34	16
xs uscita	g/kgas	8,1	11,25
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	55	44,7
Potenza termica	kW	<b>49,5</b>	<b>7,9</b>
DT acqua calda	°C	10	10
Portata acqua calda	l/s	1,18	0,19

Tab. 7.21 – Dimensionamento U.T.A. 03, Atrio e ristorante.

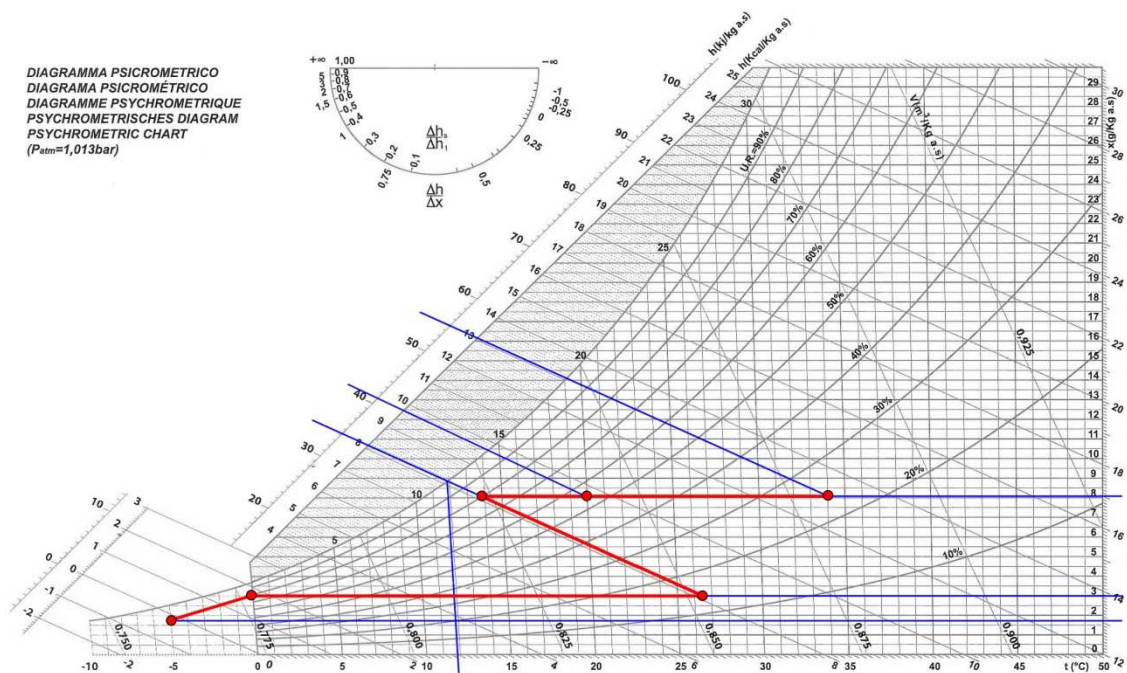


Fig. 7.4 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 03, fase invernale.

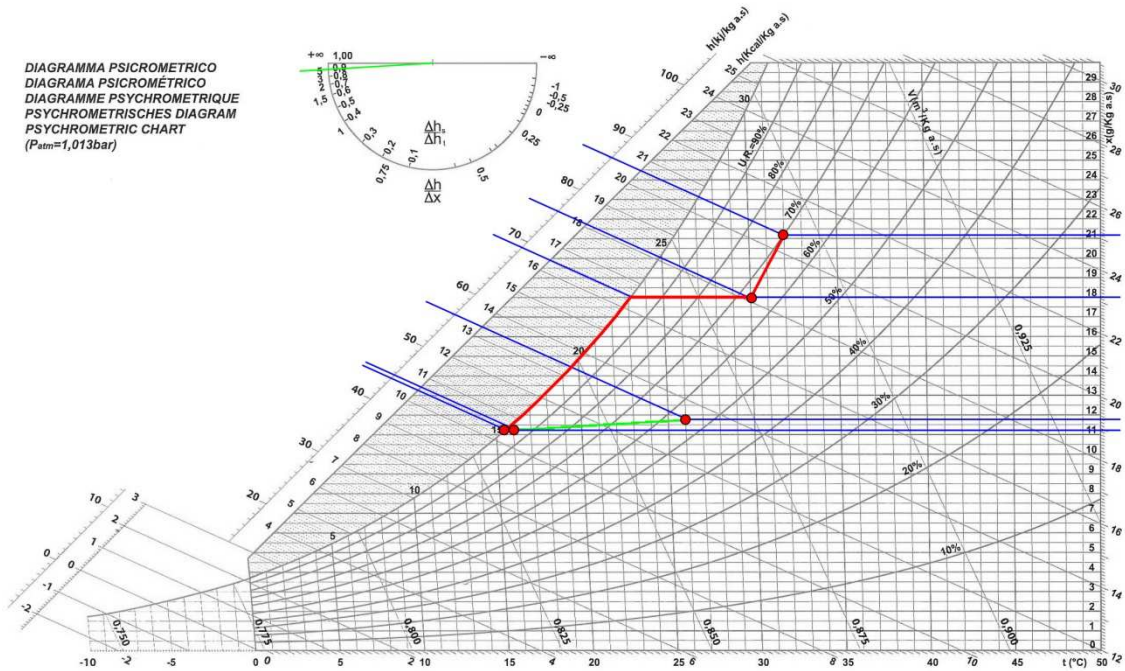


Fig. 7.5 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 03, fase estiva.

Dati di progetto		Inv.	Est.
Ricambi richiesti	m <sup>3</sup> /h	4500	4500
Carico termico	kW	10,98	/
ΔT	°C	7,39	/
Temperatura di immissione	°C	28	20

Condizioni di mandata		Inv.	Est.
Portata in volume aria umida	m <sup>3</sup> /h	4500	4500
xs	g/kgas	8,1	11,75
Temp. Bs	°C	28	20
U.R.	%	35	80
Densità aria umida	kg/m <sup>3</sup>	1,156	1,19
Portata in massa aria umida	kg/h	5202,0	5355,0
Portata in massa aria secca	kgas/h	<b>5160,2</b>	<b>5292,8</b>

Recuperatore di calore		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	5160,2	5292,8
Temp. ingresso	°C	-5	32
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
U.R. ingresso	%	70	70
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	-0,8	86
Temperatura ripresa	°C	20	26
Efficienza	%	75	75
Potenza termica recuperata	kW	<b>27,3</b>	<b>6,8</b>
Temp. uscita	°C	13,75	27,5
xs uscita	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	18,1	82

<b>Batteria preriscaldamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	5160,2	5292,8
Temp. ingresso	°C	13,75	27,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	18,1	82
Temp. uscita	°C	29,7	27,5
xs uscita	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	34,5	82
Potenza termica	kW	<b>23,5</b>	<b>0,0</b>
DT acqua calda	°C	10	10,0
Portata acqua calda	l/s	<b>0,56</b>	<b>0,00</b>

<b>Batteria raffreddamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	5160,2	5292,8
Temp. ingresso	°C	29,7	27,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	34,5	82
Temp. uscita	°C	29,7	16,3
xs uscita	g/kgas	1,7	11,75
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	34,5	46
Potenza termica	kW	<b>0,0</b>	<b>52,9</b>
DT acqua fredda	°C	5,0	5,0
Portata acqua fredda	l/s	<b>0,00</b>	<b>2,53</b>
Portata acqua condensata	kg/h	0,0	49,5
Entalpia spec. saturazione	kJ/kgas		79,7
Potenzialità per calore latente	kW	0,0	49,5
Potenzialità per calore sensibile	kW	0,00	3,38

<b>Umidificatore</b>		Inv.	Est.
Temp. ingresso	°C	29,7	12,5
Temp. B.U.	°C	12	12,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	8,5
Efficienza	%	80	0,0
Temp. uscita	°C	13,7	12,5
xs uscita	g/kgas	8,1	8,5
Consumo di acqua	kg/h	33,0	0,0

<b>Batteria post-riscaldamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	5160,2	5292,8
Temp. ingresso	°C	13,7	16,3
xs ingresso	g/kgas	8,1	11,75
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	34,5	46
Temp. uscita	°C	28	20
xs uscita	g/kgas	8,1	11,75
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	48,8	50
Potenza termica	kW	<b>20,5</b>	<b>5,9</b>
DT acqua calda	°C	10	10
Portata acqua calda	l/s	0,49	0,14

Tab. 7.22 – Dimensionamento U.T.A. 04, Palestra Fitness Centro Pratogrande.



DIAGRAMMA PSICROMETRICO  
 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO  
 DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE  
 PSYCHROMETRISCHES DIAGRAMM  
 PSYCHROMETRIC CHART  
 ( $P_{atm}=1,013\text{bar}$ )

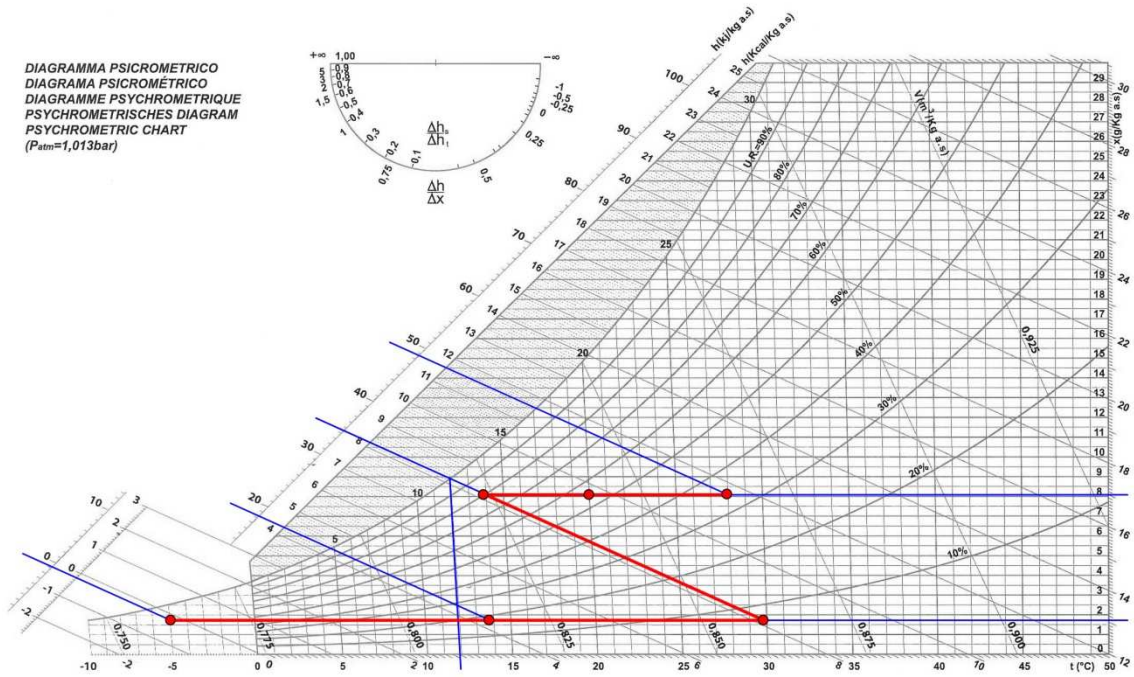


Fig. 7.6 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 04, fase invernale.

DIAGRAMMA PSICROMETRICO  
 DIAGRAMA PSICROMÉTRICO  
 DIAGRAMME PSYCHROMÉTRIQUE  
 PSYCHROMETRISCHES DIAGRAMM  
 PSYCHROMETRIC CHART  
 ( $P_{atm}=1,013\text{bar}$ )

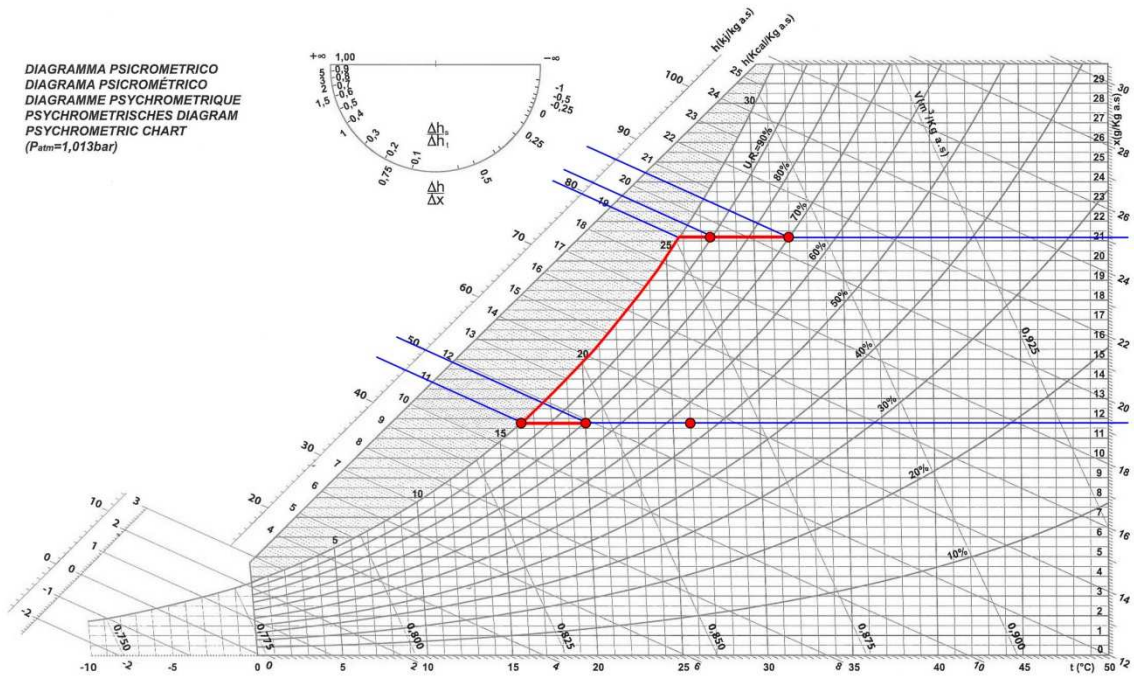


Fig. 7.7 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 04, fase estiva.

Dati di progetto		Inv.	Est.
Ricambi richiesti	m <sup>3</sup> /h	12700	12700
Carico termico	kW	6,16	/
ΔT	°C	1,47	/
Temperatura di immissione	°C	26	20



<b>Condizioni di mandata</b>		Inv.	Est.
Portata in volume aria umida	m <sup>3</sup> /h	12700	12700
xs	g/kgas	13,2	11,75
Temp. Bs	°C	26	20
U.R.	%	62	80
Densità aria umida	kg/m <sup>3</sup>	1,16	1,19
Portata in massa aria umida	kg/h	14732,0	15113,0
Portata in massa aria secca	kgas/h	<b>14540,1</b>	<b>14937,5</b>

<b>Recuperatore di calore</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	14540,1	14937,5
Temp. ingresso	°C	-5	32
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
U.R. ingresso	%	70	70
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	-0,8	86
Temperatura ripresa	°C	24	26
Efficienza	%	75	75
Potenza termica recuperata	kW	<b>89,8</b>	<b>19,1</b>
Temp. uscita	°C	16,75	27,5
xs uscita	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	21,2	82

<b>Batteria preriscaldamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	14540,1	14937,5
Temp. ingresso	°C	16,75	27,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	21,2	82
Temp. uscita	°C	51	27,5
xs uscita	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	55,8	82
Potenza termica	kW	<b>139,7</b>	<b>0,0</b>
DT acqua calda	°C	10	10,0
Portata acqua calda	l/s	<b>3,34</b>	<b>0,00</b>

<b>Batteria raffreddamento</b>		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	14540,1	14937,5
Temp. ingresso	°C	51	27,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	21,1
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	55,8	82
Temp. uscita	°C	51	16,3
xs uscita	g/kgas	1,7	11,75
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	55,8	46
Potenza termica	kW	<b>0,0</b>	<b>149,4</b>
DT acqua fredda	°C	5,0	5,0
Portata acqua fredda	l/s	<b>0,00</b>	<b>7,14</b>
Portata acqua condensata	kg/h	0,0	139,7
Entalpia spec. saturazione	kJ/kgas		79,7
Potenzialità per calore latente	kW	0,0	139,8
Potenzialità per calore sensibile	kW	0,00	9,54



**Umidificatore**

		Inv.	Est.
Temp. ingresso	°C	51	12,5
Temp. B.U.	°C	19,2	12,5
xs ingresso	g/kgas	1,7	8,5
Efficienza	%	80	0,0
Temp. uscita	°C	21,8	12,5
xs uscita	g/kgas	13,2	8,5
Consumo di acqua	kg/h	167,2	0,0

**Batteria post-riscaldamento**

		Inv.	Est.
Portata aria secca	kgas/h	14540,1	14937,5
Temp. ingresso	°C	21,8	16,3
xs ingresso	g/kgas	13,2	11,75
Entalpia spec. in ingresso	kJ/kgas	55,8	46
Temp. uscita	°C	26	20
xs uscita	g/kgas	13,2	11,75
Entalpia spec. in uscita	kJ/kgas	60	50
Potenza termica	kW	<b>17,0</b>	<b>16,6</b>
DT acqua calda	°C	10	10
Portata acqua calda	l/s	0,41	0,40

Tab. 7.23 – Dimensionamento U.T.A. 05, Centro estetico, spogliatoi piscine Centro Pratogrande

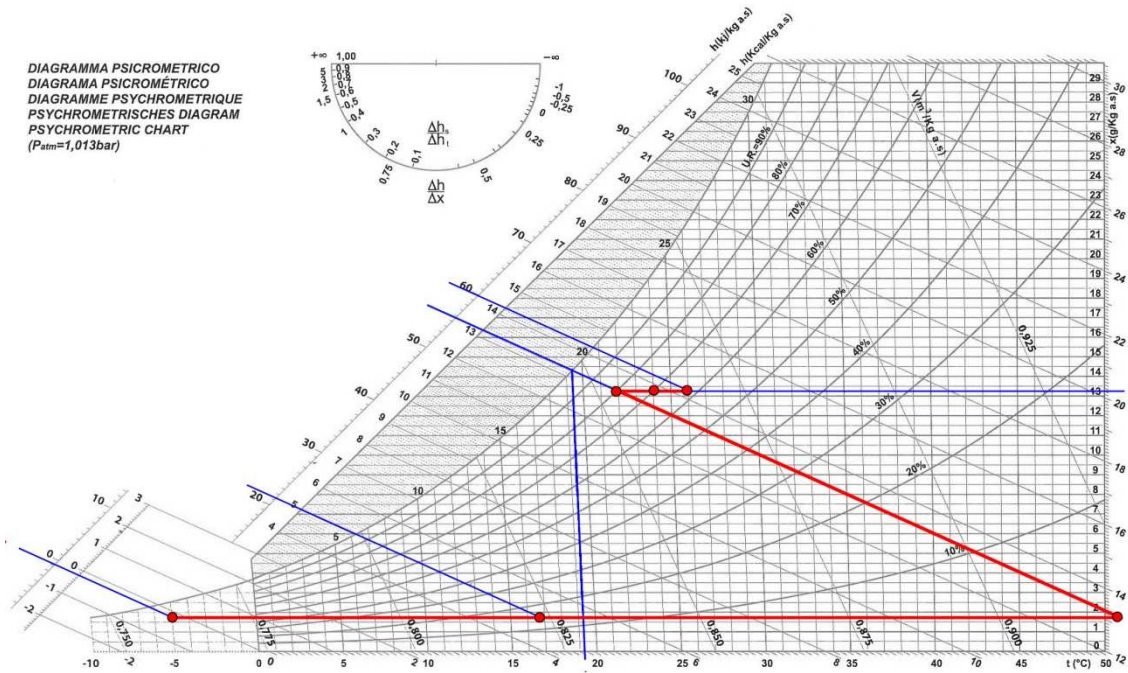


Fig. 7.8 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 05, fase invernale.



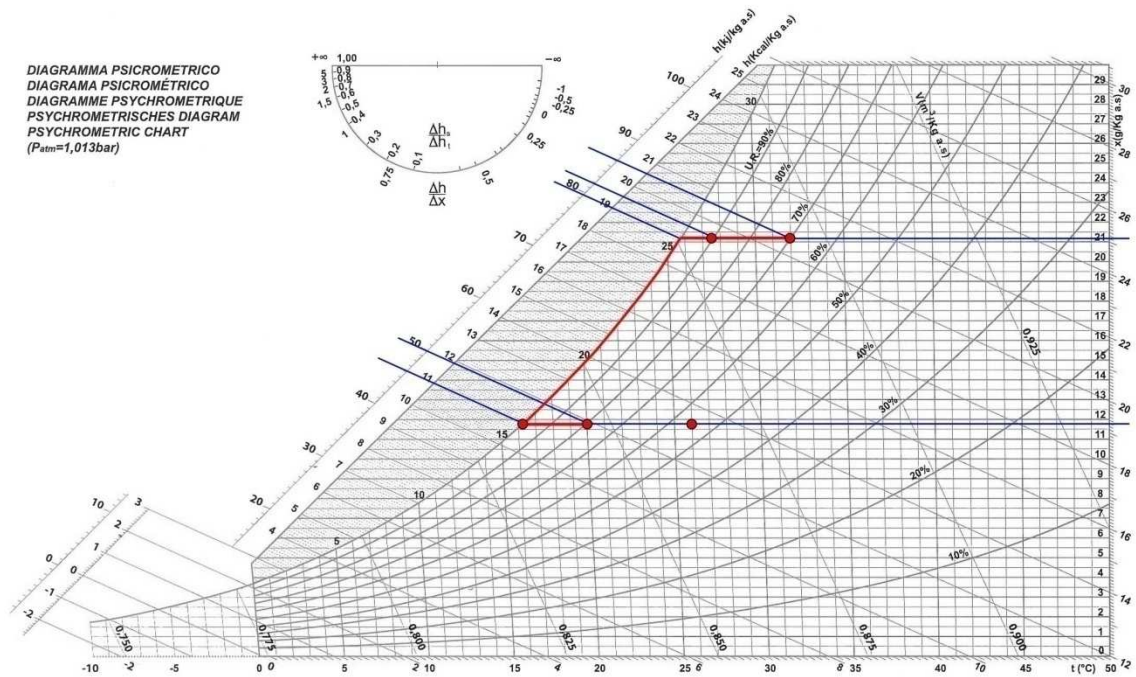


Fig. 7.9 – Diagramma psicrometrico – Punti significativi U.T.A. 05, fase estiva.

Si riportano di seguito delle illustrazioni schematiche delle varie tipologie di U.T.A. adottate, con indicate le varie sezioni che le compongono.

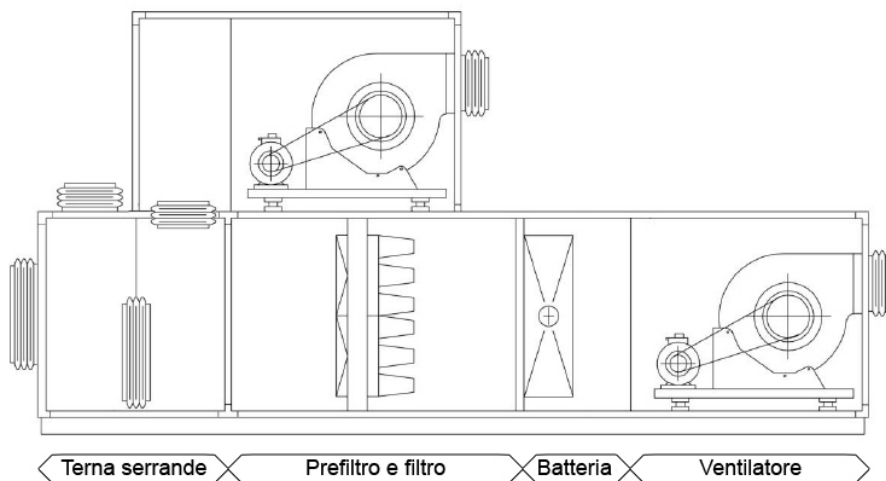


Fig. 7.10 – Schema U.T.A. 01.

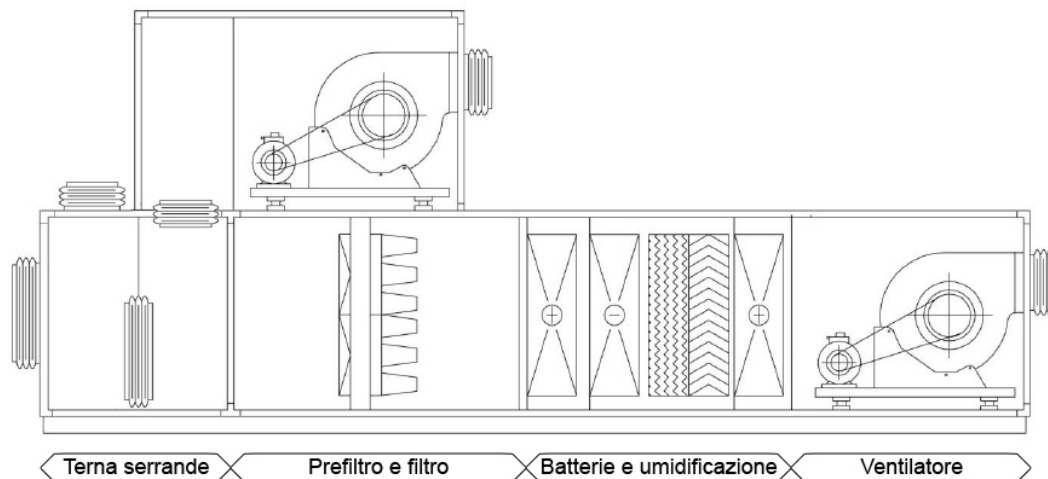


Fig. 7.11 – Schema U.T.A. 03.

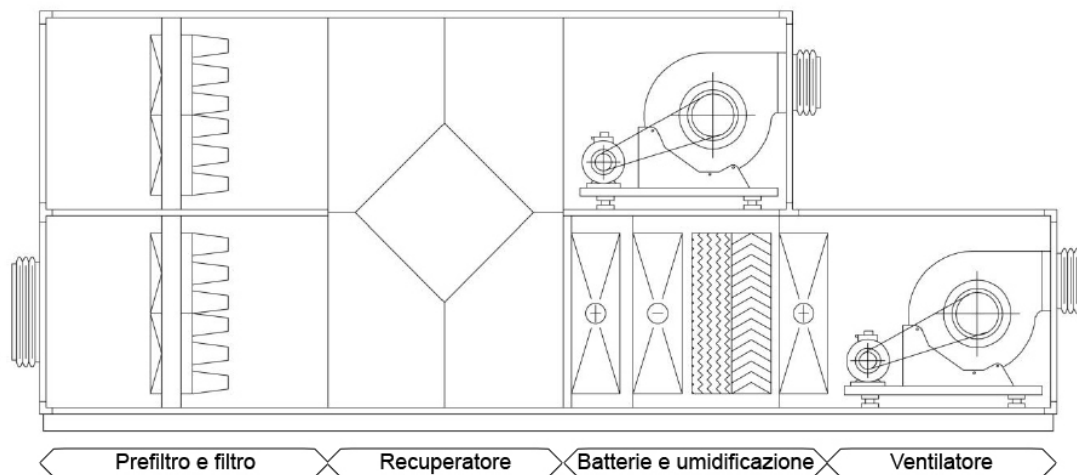


Fig. 7.12 – Schema U.T.A. 02-04-05.

### 7.2.1.3 Terminali di distribuzione dell'aria

Lo scopo dei terminali adibiti alla distribuzione d'aria in ambiente è di rendere uniformi, ai valori di progetto, i parametri di temperatura, umidità relativa, velocità e purezza dell'aria. Questi obiettivi possono essere conseguiti prevalentemente mediante tre metodologie:

- *Distribuzione a flusso turbolento.* Prevede un elevato grado di mescolamento ("induzione") fra l'aria immessa dagli appositi terminali ("aria primaria") ed aria presente in ambiente e richiamata in movimento per effetto di trascinamento da parte del flusso di aria primaria. La posizione dei terminali può essere varia in funzione delle applicazioni. Questa tipologia è caratterizzata da una portata di aria primaria modesta rispetto al totale movimento di aria provocato e da una

differenza di temperatura relativamente elevata fra aria immessa e condizioni ambientali medie. Per contro le velocità d'introduzione dell'aria sono abbastanza elevate (normalmente superiori a 2 m/s) con limite superiore che può arrivare oltre i 20 m/s.

- *Distribuzione a dislocazione.* Consiste nell'immissione localizzata di aria a velocità modesta (da 0,2 a 0,4 m/s), effettuata nella parte bassa dell'ambiente e con temperatura di poco inferiore a quella media del locale.
- *Distribuzione a flusso laminare orizzontale o verticale.* Consiste nell'immissione d'aria da ampie porzioni di parete o di soffitto, con velocità uniforme dell'ordine di 0,4-0,5 m/s, che attraversa l'ambiente con movimento simile a quello di un pistone fino a essere ripresa dal lato opposto a quello d'introduzione. In questo caso l'obiettivo principale è l'ottenimento di un elevato grado di purezza dell'aria ambiente con basso grado di turbolenza: la purezza dipende essenzialmente dalla qualità e quantità dell'aria immessa. Ne conseguono rilevanti portate d'aria con temperatura molto prossima a quella media dell'ambiente.

Generalmente per i locali adibiti ad attività sportive, si rende opportuno adottare una distribuzione a flusso turbolento per mezzo di terminali di emissione quali:

- diffusori a soffitto;
- canali forati.

La prima tipologia di terminali è stata adottata nei locali asserviti dall'impianto aria-aria di modeste volumetrie. I diffusori adottati sono di tipo circolare a coni concentrici, che ne permettono la regolazione. Presentano buone capacità nel trattamento dei carichi termici e offrono caratteristiche apprezzabili di diffusione dell'aria. Il dimensionamento avviene in base alla portata dell'aria necessaria e al rispetto dell'indice di rumorosità, dati dedotti dalle schede tecniche rilasciate dai produttori.

La seconda tipologia è stata adottata laddove vi era la necessità di trattare una notevole quantità d'aria oltre che, nel caso dei locali vasche, per mitigare l'evaporazione dell'acqua. I canali traforati, infatti, sono in grado di spingere l'aria immessa verso il pelo dell'acqua limitandone così l'evaporazione, fenomeno che incrementa l'umidità nell'ambiente, garantendone così un maggior controllo.

### **7.2.2 Calcolo del fabbisogno termico delle vasche**

Per mantenere la temperatura dell'acqua desiderata all'interno delle vasche natatorie, bisogna tenere in conto che questa, in virtù di vari fenomeni termodinamici, disperde



calore. Nel calcolo del fabbisogno termico vanno, pertanto, tenuti in conto i vari modi in cui questa trasmissione di calore può avvenire, che sono:

- evaporazione [ $Q_1$ ];
- convezione [ $Q_2$ ];
- irraggiamento [ $Q_3$ ];
- conduzione [ $Q_4$ ].

Analizziamo di seguito ciascun contributo. Il calore disperso per evaporazione vale:

$$Q_1 = G \cdot 690 \cdot S \text{ [W];}$$

$$G = 0,016 \cdot (P_{tsw} - P_{tsa} \cdot U.R./100)$$

essendo:

690 = calore latente di vaporizzazione [W/kg];

S = superficie di vasca [ $m^2$ ];

G = quantità d'acqua evaporata [ $kg/m^2$ ];

0,016 = coefficiente dipendente dalla velocità dell'aria sul bacino;

$P_{tsw}$  = pressione del vapore saturo alla temperatura dell'acqua [mbar];

$P_{tsa}$  = pressione del vapore saturo alla temperatura dell'aria [mbar];

U.R. = umidità relativa in percentuale.

Il calore disperso per convezione vale:

$$Q_2 = 4 \cdot V^{0,8} \cdot (t_w - t_a) \cdot S \text{ [W]}$$

essendo:

V = velocità dell'aria sullo specchio dell'acqua, pari a 10 m/s;

$t_w$  = temperatura dell'acqua [ $^{\circ}C$ ];

$t_a$  = temperatura dell'aria [ $^{\circ}C$ ].

Il calore disperso per irraggiamento vale:

$$Q_3 = 5 \cdot [(T_a/100)^4 - (T_w/100)^4] \cdot S \text{ [W]}$$

essendo:

$T_a$  = temperatura assoluta dell'aria [K];

$T_w$  = temperatura assoluta dell'acqua [K].

Infine, il calore disperso per conduzione vale:

$$Q_4 = S_w \cdot (t_w - 13) \text{ [W]}$$

essendo:

$S_w$  = superficie del fondo e delle pareti della vasca [ $m^2$ ];

Di seguito si riportano, tabulati, i valori parziali e totale del fabbisogno termico delle vasche.

<b>Fabbisogno termico vasche [kW]</b>	
Evaporazione	60,39
Convezione	0,97
Irraggiamento	8,26
Conduzione	16,37
<b>Totale</b>	<b>85,99</b>

Tab. 7.24 – Fabbisogno termico vasche

### 7.3 Produzione del calore e conclusioni

A seguito e coronamento delle considerazioni fin qui fatte, in questa sezione verranno prospettate alcune ipotesi sulla modalità di generazione del calore, illustrandone motivazioni, pregi e principi di funzionamento.

Si riportano di seguito, tabulati, i valori complessivi delle potenze termiche e frigorifere fin qui calcolate:

<b>Potenza termica invernale richiesta =</b>			<b>659,32 kW</b>
	Prerisc.	Postrisc.	
U.T.A. 01	308,42	/	
U.T.A. 02	53,40	33,86	
U.T.A. 03	63,38	49,48	
U.T.A. 04	23,51	20,50	
U.T.A. 05	89,81	16,96	

Tab. 7.25 – Potenze termiche invernali

<b>Potenza frigorifera estiva max richiesta =</b>			<b>684,52 kW</b>
	Raffredd.	Postrisc.	
U.T.A. 01	/	/	
U.T.A. 02	118,79	13,20	
U.T.A. 03	363,42	7,94	
U.T.A. 04	52,93	5,88	
U.T.A. 05	149,37	16,60	

Tab. 7.26 – Potenze frigorifere estive

Per la produzione di calore, a fronte di considerazioni scaturite dall'analisi dei dati sopra riportati, si è ipotizzato l'utilizzo di un sistema di generazione misto pompa di calore ad acqua e pompa di calore ad aria.

Una pompa di calore è una macchina in grado di trasferire calore da un ambiente a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta; è costituita da un circuito



chiuso, percorso da uno speciale fluido (frigorigeno) che, a seconda delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato di liquido o di vapore.

Il circuito chiuso è costituito da:

- un compressore;
- un condensatore;
- una valvola di espansione;
- un evaporatore.

Il condensatore e l'evaporatore sono costituiti da scambiatori di calore, cioè tubi posti a contatto con un fluido di servizio (acqua o aria) nei quali scorre il fluido frigorigeno. Questo cede calore al condensatore e lo sottrae all'evaporatore. I componenti del circuito possono essere sia raggruppati in un unico blocco, sia divisi in due parti (sistemi *split*) raccordate dai tubi nei quali circola il fluido frigorigeno.

Nel funzionamento, il fluido frigorigeno, all'interno del circuito, subisce le seguenti trasformazioni:

Compressione: il fluido frigorigeno allo stato gassoso e a bassa pressione, proveniente dall'evaporatore, viene portato ad alta pressione; nella compressione si riscalda assorbendo una certa quantità di calore.

Condensazione: il fluido frigorigeno, proveniente dal compressore, passa dallo stato gassoso a quello liquido cedendo calore all'esterno.

Espansione: passando attraverso la valvola di espansione il fluido frigorigeno liquido si trasforma parzialmente in vapore e si raffredda.

Evaporazione: il fluido frigorigeno assorbe calore dall'esterno ed evapora completamente.

L'insieme di queste trasformazioni costituisce il ciclo della pompa di calore: fornendo energia con il compressore, al fluido frigorigeno, questo, nell'evaporatore, assorbe calore dal mezzo circostante e, tramite il condensatore, lo cede al mezzo da riscaldare.

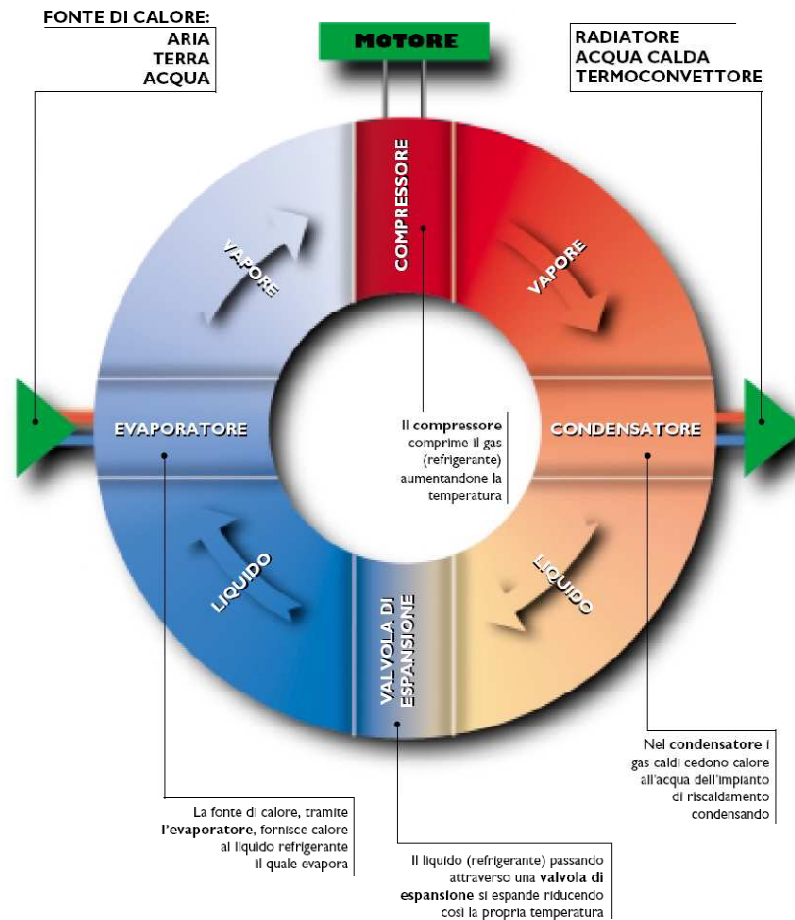


Fig. 7.13 – Schema di funzionamento pompa di calore

Nel corso del suo funzionamento, la pompa di calore:

- consuma energia elettrica nel compressore;
- assorbe calore nell'evaporatore, dal mezzo circostante, che può essere aria o acqua;
- cede calore al mezzo da riscaldare nel condensatore (aria o acqua).

Il vantaggio nell'uso della pompa di calore deriva dalla sua capacità di fornire più energia (calore) di quella elettrica impiegata per il suo funzionamento in quanto estrae calore dall'ambiente esterno (aria-acqua). L'efficienza di una pompa di calore è misurata dal coefficiente di prestazione (C.O.P.) che è il rapporto tra energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata.

Il C.O.P. è variabile a seconda del tipo di pompa di calore e delle condizioni di funzionamento ed ha, in genere, valori prossimi a 3. Questo vuol dire che per 1 kWh di energia elettrica consumato, fornirà 3 kWh di calore al mezzo da riscaldare. Il C.O.P. sarà tanto maggiore quanto più bassa sarà la temperatura a cui il calore viene ceduto



(nel condensatore) e quanto più alta quella della sorgente da cui viene assorbito (nell'evaporatore).

Al di sotto di una temperatura compresa tra  $-2^{\circ}\text{C}$  e  $+2^{\circ}\text{C}$  la pompa di calore si disattiva in quanto le sue prestazioni si ridurrebbero significativamente. Va tenuto conto inoltre che la potenza termica resa dalla pompa di calore dipende dalla temperatura a cui la stessa assorbe calore.

Il mezzo esterno da cui si estrae calore è detto sorgente fredda. Nella pompa di calore il fluido frigorifero assorbe calore dalla sorgente fredda tramite l'evaporatore.

Le principali sorgenti fredde sono:

- l'aria: esterna al locale dove è installata la pompa di calore oppure estratta dal locale dove è installata la pompa di calore;
- l'acqua: di falda, di fiume, di lago quando questa è presente in prossimità dei locali da riscaldare e a ridotta profondità.

Altre sorgenti possono essere costituite da acqua accumulata in serbatoi e riscaldata dalla radiazione solare o dal terreno, nel quale vengono inserite le tubazioni relative all'evaporatore.

L'aria o l'acqua da riscaldare sono detti pozzo caldo. Nel condensatore il fluido frigorifero cede al pozzo caldo sia il calore prelevato dalla sorgente fredda che l'energia fornita dal compressore.

Il calore può essere ceduto all'ambiente attraverso:

- ventilconvettori, costituiti da armadietti nei quali l'aria viene fatta circolare sopra corpi scaldanti;
- serpentine inserite nel pavimento, nelle quali circola acqua calda;
- canalizzazioni, che trasferiscono direttamente il calore prodotto dalla pompa di calore ai diversi locali.

Le pompe di calore si distinguono in base alla sorgente fredda e al pozzo caldo che utilizzano. Dalla combinazione dei due principali fluidi si possono quindi avere quattro tipi di pompe di calore: aria-acqua, aria-aria, acqua-acqua e acqua-aria.

L'aria come sorgente fredda ha il vantaggio di essere disponibile ovunque; tuttavia la potenza resa dalla pompa di calore diminuisce con la temperatura della sorgente. Nel caso si utilizzi l'aria esterna, è necessario (intorno a  $0^{\circ}\text{C}$ ), un sistema di sbrinamento che comporta un ulteriore consumo di energia. Diverso e più vantaggioso, è l'impiego come sorgente fredda dell'aria interna viziata (aria estratta) che deve essere comunque rinnovata.





L'acqua come sorgente fredda garantisce le prestazioni della pompa di calore senza risentire delle condizioni climatiche esterne; tuttavia richiede un costo addizionale dovuto al sistema di adduzione.

Il terreno, come sorgente fredda ha il vantaggio di subire minori sbalzi di temperatura rispetto all'aria. Le tubazioni orizzontali vanno interrato ad una profondità minima da 1 a 1,5 metri per non risentire troppo delle variazioni di temperatura dell'aria esterna e mantenere i benefici effetti dell'insolazione. È necessaria una estensione di terreno da 2 a 3 volte superiore alla superficie dei locali da riscaldare. Si tratta quindi di una soluzione costosa, sia per il terreno necessario che per la complessità dell'impianto.

Nel nostro caso, per la pompa di calore ad acqua viene ipotizzato un dimensionamento atto a coprire circa il 50% della potenza totale calcolata (300 kW), mentre per quella ad aria (dal rendimento inferiore) si prevede il suo intervento solo per soddisfare i picchi di carico termico che si verificano in un periodo limitato della stagione invernale (solo nelle condizioni di temperatura esterna minima invernale, per circa 10-15 giorni nell'arco dell'anno).

La pompa di calore ad acqua prevede per l'evaporazione l'acqua delle vasche di compenso delle piscine; l'ottimizzazione dei cicli di lavaggio dei filtri e il ricircolo dell'acqua di piscina consentono di avere a disposizione una fonte calda a temperatura pressoché costante, ideale per l'evaporazione della pompa di calore.

La pompa di calore ad aria, invece, necessaria solo per i picchi di carico, per l'evaporazione si ipotizza di sfruttare l'aria esterna e l'aria espulsa dalle unità di trattamento aria, prevedendo un sistema di canalizzazioni che convogli l'aria espulsa da queste ultime verso la pompa di calore. In questa configurazione si andrebbe ad ottimizzare anche la resa della pompa di calore ad aria che avrà a disposizione una miscela d'aria esterna (fredda) e aria di espulsione più calda (temperatura variabile tra i 20 e 24°C).

In conclusione, pare doveroso specificare che per la redazione completa di un Attestato di Certificazione Energetica (ACE), si sarebbero resi necessari ulteriori studi e approfondimenti di dettaglio che non è stato possibile condurre.

Tuttavia, a seguito di opportune e ponderate considerazioni sui dati e le ipotesi progettuali fin qui riportati, oltre che di indicazioni provenienti da figure professionali specializzate nel settore, è stato possibile formulare un'ipotesi congruente che ha consentito di stabilire che il complesso, in virtù degli interventi descritti in questo capitolo, dovrebbe raggiungere un indice di prestazione energetica per il riscaldamento



(EPh) compreso tra 40 e 60 kWh/m<sup>2</sup> annui, corrispondente ad una Classe Energetica compresa tra B e C.

A fronte di un indice di prestazione energetica del complesso nelle condizioni attuali stimato oltre i 175 kWh/m<sup>2</sup> annui (a causa della vetustà degli impianti e delle scadenti prestazioni degli elementi tecnici che lo compongono), ovvero una Classe Energetica G, il conseguimento di tale risultato rappresenta un importante obiettivo, sia in termini economici, ma soprattutto in termini di impatto ambientale, comportando un abbattimento considerevole sia del fabbisogno energetico, che delle emissioni di CO<sub>2</sub>.

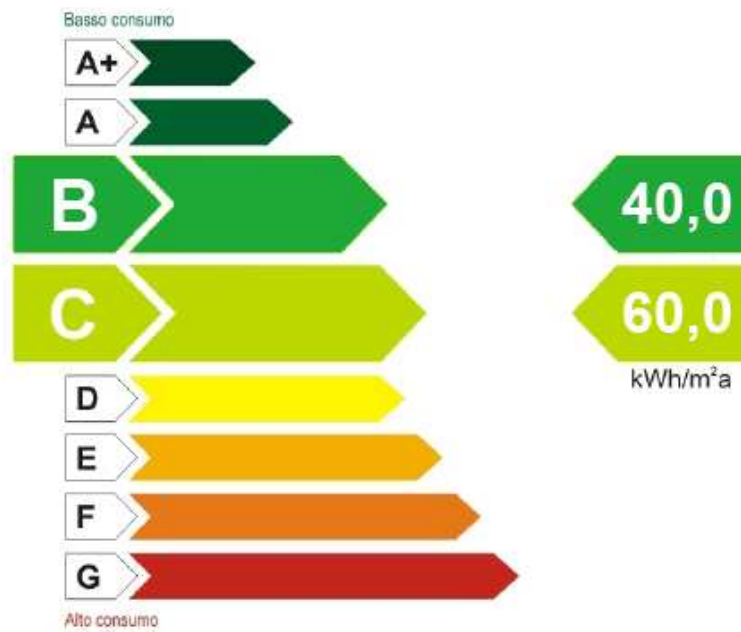


Fig. 7.14 – Ipotesi di Classificazione Energetica

## CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi, che ha seguito un sviluppo lungo ed articolato, ci ha condotti ed, in qualche modo, obbligati ad affrontare tematiche multidisciplinari di grande interesse. La complessità degli aspetti coinvolti, come del resto, più in generale, comporta la complessità del processo edilizio in quanto tale, non ci ha consentito di approfondire tutti gli argomenti trattati con lo stesso grado di dettaglio.

Tuttavia, possiamo dire di aver cercato di tenere un filo conduttore comune nella stesura dei vari capitoli, andando a soffermarci maggiormente negli aspetti ritenuti di volta in volta più originali e/o di maggior interesse: il maggior privilegio derivante da questo lavoro è stato, infatti quello di poter affrontare problematiche ed addentrarci in ambiti disciplinari prima del tutto o quasi sconosciuti.

In particolar modo, l'occasione data dalla scelta di realizzare la copertura curva in TRC, ci ha permesso di indagare aspetti ed argomenti -anche di una certa complessità- personalmente non affrontati prima durante il corso degli studi universitari.

Ci è parso questo il modo migliore e più proficuo -oltre che il più stimolante- di concludere questo ciclo di studi: ricercare ed approfondire tematiche nuove, innovative e di grande interesse, piuttosto che redigere -per quanto approfondita essa possa essere- una mera sintesi di quanto precedentemente già affrontato negli anni precedenti.



## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., *Elementi termoventilazione e condizionamento*, a cura di Aermec
- AA.VV., *L'edilizia per lo sport e lo spettacolo. Quaderni del manuale di progettazione edilizia*, Hoepli editore, 2004.
- BELLUZZI O., *Scienza delle costruzioni vol. 1*, Zanichelli, Bologna, 1996
- BUTERA F. M., *Architettura e ambiente. Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici*, Etas Libri, Milano, 1995
- COLOMBO M., DI PRISCO M., *FRC thin walled structures: opportunities and threats*, keynote dal BEFIB2012 Guimarães, 2012
- FARINA C., *Elementi multistrato in composito fibrorinforzato ad alte prestazioni con anima in schiuma*, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano: Relatore prof. M. di Prisco, 2010.
- GAMBAROVA P., CORONELLI D., BAMONTE P., *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.*, Pàtron, Milano, 2005
- LUCCHINI A. DORIDONI M., *Evoluzione degli spazi per l'attività natatoria*, in BIONDO G. MONTI C. RODA R. a cura di, *Innovazione e nuove centralità urbane*, BE-MA editrice, Milano
- ORLOWSKY J. et al., *Durability aspects of AR-glass-reinforcement in textile reinforced concrete, Part 1: Material behavior, Part 2: Modelling and exposure to outdoor weathering*, Bruxelles, 2007
- ORLOWSKY J. et al., *Durability modeling of glass fibre reinforcement in cementitious environment, Materials and Structures*, Bruxelles, 2005
- PISANI M.A., *Consolidamento delle strutture. Guida ai criteri, ai materiali e alle tecniche più utilizzati*, Hoepli, Milano, 2009
- ROSSI N., *Manuale del termotecnico*, Hoepli editore, Milano, 2009
- TONIOLO G., *Appunti di Tecnica delle costruzioni. Elementi strutturali in acciaio*, Masson Editore, Milano, 1996
- TONIOLO G., *Tecnica delle costruzioni volume 1. Calcolo strutturale. I telai*, Zanichelli editore, Bologna, 2005



# INDICE DEGLI ELABORATI GRAFICI

## Indice delle figure

- 2.1 – Estratto della "Carta disciplina delle aree e delle prescrizioni sovraordinate"
- 2.2 – Temperature minime nell'arco dell'anno [°C]
- 2.3 – Temperature massime nell'arco dell'anno [°C]
- 2.4 – Umidità relativa nell'arco dell'anno [%]
- 2.5 – Precipitazioni nell'arco dell'anno [mm]
- 2.6 – Velocità del vento nell'arco dell'anno [km/h]
- 2.7 – Estratto tavola dei vincoli Comune Di Garlate
- 2.8 – Parchi presenti nelle aree limitrofe
- 3.1 – Ortofoto dell'area di progetto con indicati gli edifici in oggetto
- 3.2 – Coni ottici
- 3.3-3.9 – Rilievi fotografici
- 4.1 – Render volumetrico, primi step di progetto
- 4.2 – Plastico di studio, primi step di progetto. Evoluzione formale
- 4.3 – Riferimento progettuale e schizzo
- 4.4 – Riferimento progettuale
- 4.5 – Riferimento progettuale e schizzo
- 4.6-4.8 – Inserimenti fotografici
- 4.9 – Render
- 4.10 – Assonometria isometrica. Demolizioni e nuove edificazioni
- 4.11 – Diagramma funzionale Centro Pratogrande
- 5.1 – Composizione stratigrafica C.O.01
- 5.2 – Diagramma di Glaser
- 5.3-5.4 – Composizioni stratigrafiche
- 5.5 – Diagramma di Glaser
- 5.6 – Composizione stratigrafica C.O.04
- 5.7 – Diagramma di Glaser
- 5.8 – Composizione stratigrafica C.O.05
- 5.9 – Diagramma di Glaser
- 5.10 – Composizione stratigrafica C.O.06
- 5.11 – Diagramma di Glaser
- 5.12 – Composizione stratigrafica C.O.07
- 5.13 – Diagramma di Glaser
- 5.14-5.18 – Composizioni stratigrafiche
- 5.19 – Diagramma di Glaser
- 5.20-21 – Composizione stratigrafica C.V.03
- 5.22 – Diagramma di Glaser
- 5.23-5.30 – Composizioni stratigrafiche
- 6.1-6.5 – Composizione pacchetti
- 6.6 – Zonizzazione per carico del vento.
- 6.7 – Categorie di azione del vento.
- 6.8 – Andamento del coefficiente di esposizione.
- 6.10 – Schema statico lamiera grecata
- 6.11 – Schema statico orditura secondaria.
- 6.12 – Schema statico orditura principale
- 6.13 – Schema statico trave reticolare.
- 6.14 – Deformata qualitativa e distribuzione degli spostamenti verticali.



- 6.15 – Deformata qualitativa e distribuzione degli spostamenti verticali.
- 6.16 – Distribuzione degli spostamenti orizzontali longitudinalmente all'ordito principale.
- 6.17 – Distribuzione degli spostamenti orizzontali trasversalmente all'ordito principale.
- 6.18 – Curva carico P – spostamento  $\delta$
- 6.19 – Particolare della Zona di transizione d'interfaccia (ITZ)
- 6.20 – Variazione della rigidità della matrice e propagazione delle fessure nella ITZ
- 6.21 – Particolare della generica fessura nel cls
- 6.22 – a) Particolare della generica fessura b) distribuzione degli sforzi
- 6.23 – Principali meccanismi di rottura del FRC.
- 6.24 – a) Andamento tensionale lungo la fibra; b) Pull-out della generica fibra.
- 6.25 – a) confronto tra la resistenza di pull-out e la resistenza della fibra e b) comportamento a trazione del FRC con fibre e microfibre.
- 6.26 – a) Particolare della fibra orientata; b) efficienza della fibra in funzione dell'inclinazione
- 6.27 – a) Piani di orientamento delle fibre in funzione della direzione di vibrazione e b) confronto del comportamento flessionale in funzione dell'orientamento delle fibre
- 6.28 – Comportamento a compressione del FRC al variare del volume di fibre
- 6.29 – Comportamento a trazione softening e hardening del FRC in funzione del volume di fibre
- 6.30 – Confronto tra prove a trazione e a flessione del FRC in funzione del comportamento softening o hardening del materiale
- 6.31 – Comportamento a trazione del FRC in funzione della percentuale di fibre
- 6.32 – Legami costitutivi semplificati tensione-apertura di fessura
- 6.33 – Definizione di resistenza equivalente puntuale e media
- 6.34 – Legami costitutivi semplificati tensione-deformazione
- 6.35 – Valori delle resistenze a trazione per materiali degradanti
- 6.36 – Diagrammi tensionali per la determinazione della resistenza a trazione
- 6.37 – Configurazione di carico per travetti intagliati testati a flessione su 4 punti
- 6.38 – Corrispondenza fisica dei due parametri U1 e U2
- 6.39 – Configurazione di carico per travetti strutturali testati a flessione su 4 punti
- 6.40 – Configurazione di carico per travetti Rilem testati a flessione su 3 punti
- 6.41 – Comportamento flessionale softening e aperture di fessura equivalenti
- 6.42 – Generica curva sforzo – CMOD e corrispondente legame costitutivo semplificato
- 6.43 – Legame costitutivo a trazione pre-picco per calcestruzzo e post-picco per FRC
- 6.44 – Possibili modelli di legame costitutivo sforzo- deformazione a trazione per FRC
- 6.45 – Classificazione del FRC
- 6.46 – Textile a varie scale: a) un filamento; b) un filo; c) una rete
- 6.47 – Particolare del contatto tra la matrice e il filo di textile e andamento delle deformazione dei filamenti interni e esterni lungo la fessura
- 6.48 – Particolare del contatto tra la matrice e il filo, non impregnato e impregnato, e loro comportamenti a trazione
- 6.49 – Comportamento a trazione del generico TRC
- 6.50 – Particolare di una fessura attraversata da un filo di textile
- 6.51 – Variazione della resistenza a trazione del TRC in funzione della percentuale di rinforzo per diversi tipi di fibra
- 6.52 – Variazione della resistenza a trazione del TRC in funzione dell'orientamento delle fibre
- 6.53 – Comportamento a trazione di TRC realizzati con matrici alcaline e non alcaline, sottoposti a hot water ageing
- 6.54 – Comportamento a pull-out di TRC realizzati con matrice alcaline e non alcaline e sottoposti a hot water ageing
- 6.55 – Formazione delle cricche lungo le superfici delle fibre e immagini al microscopio delle calcificazioni di CH



- 6.56 – Vista prospettica del modello tridimensionale in Rhinoceros®
- 6.57 – Vista assonometrica del modello in formato .IGES importato in Straus7®
- 6.58 – Vista assonometrica della mesh realizzata in Straus7
- 6.59 – Distribuzione degli spostamenti in direzione x
- 6.60 – In basso a destra l'inserimento degli elementi di controvento
- 6.61 – Distribuzione degli spostamenti in direzione x dopo l'inserimento dei controventi
- 6.62-6.64 – Distribuzione dei momenti
- 6.65 – Curva carico-deformazione in tensione uniassiale di TRC
- 6.66-6.67 – Distribuzione degli sforzi principali
- 6.68 – Distribuzione degli spostamenti verticali e deformata qualitativa
- 6.69 – Capacità di carico rispetto ai meccanismi di flessione e punzonamento: (a) curve carico – raggio d'impronta di carico; (b) meccanismo di rottura per flessione; (c) meccanismo di rottura per punzonamento
- 6.70 – Distribuzione degli sforzi di Von Mises
- 6.71-6.72 – Esempi di incamiciatura pilastro in c.a. e consolidamento trave in c.a. tramite applicazione di strisce di CFRP
- 6.73 – Andamento del ritiro autogeno in funzione del tempo
- 7.1-7.9 – diagrammi psicrometrici
- 7.10-7.12 – schemi U.T.A.
- 7.13 – Schema di funzionamento pompa di calore
- 7.14 – Ipotesi di Classificazione Energetica

### Indice delle tabelle

- 5.1-5.3 – Trasmittanze limite
- 5.4-5.11 – Profili delle pressioni
- 6.1 – Valori dei carichi di esercizio per le diverse categorie di edifici.
- 6.2 – Valori dei coefficienti  $v_b, a_0, k_a$ .
- 6.3 – Classi di rugosità del terreno
- 6.4 – Parametri per la determinazione del coefficiente di esposizione.
- 6.5 – Valori del coefficiente di forma.
- 6.6 – Valori del coefficiente di forma.
- 6.7 – Valori del coefficiente di esposizione.
- 6.8 – Valori di frecce ammissibili.
- 6.9 – Parametri per la determinazione della classe della sezione.
- 6.10 – Caratteristiche meccaniche delle fibre in acciaio secondo CNR DT 204
- 6.11 – Caratteristiche meccaniche del vetro E e del vetro AR
- 6.12 – Caratteristiche meccaniche delle fibre PAN e PITCH in carbonio
- 6.13 – Caratteristiche meccaniche delle principali fibre polimeriche
- 6.14 – Caratteristiche meccaniche delle principali fibre naturali
- 6.15 – Classificazione di Resistenza e Duttività del FRC
- 6.16 – Valori di picco di momento agente.
- 6.17 – Valori corretti di picco di momento agente, espressi in kN·m/m
- 6.18 – Valori caratteristici determinati
- 6.19 – Determinazione della classe di calcestruzzo
- 6.20 – Valori di end forces.
- 7.1 - Condizioni esterne di progetto
- 7.2 - Condizioni interne di progetto
- 7.3-7.9 - Fabbisogni termici invernali
- 7.10 - Radiazione solare massima mese di Luglio, lat. 45°N
- 7.11 – Valori orari di [F]
- 7.12 – Valori orari di [ $\Delta T_e$ ]
- 7.13 – Valori di calore emessi dalle persone.



- 7.14-7.16 - Carichi per irraggiamento
- 7.17, 7.18 – Carichi per trasmissione
- 7.19-7.23 - dimensionamento U.T.A.
- 7.24 – Fabbisogno termico vasche
- 7.25 – Potenze termiche invernali
- 7.26 – Potenze frigorifere estive

### **Indice delle tavole**

- 01 – Analisi funzioni simili
- 02 – Viabilità
- 03 – Viabilità comunale
- 04 – Verde pubblico
- 05 – Verde pubblico e privato
- 06 – Pieni e vuoti
- 07 – Uso del suolo
- 08 – Analisi storica
- 09 – Rilievo fotografico
- 10-23 – Rilievo geometrico - materico
- 24-27 – Rilievo tecnologico
- 28-31 – Rilievo del degrado
- 32 – Masterplan planivolumetrico di progetto
- 33 – Quadro d'insieme pianta livello +0,00
- 34-38 – Piante
- 39-40 – Prospetti
- 41-42 – Sezioni
- 43-46 – Gialli e rossi
- 47-48 – Accessibilità disabili
- 49-52 – Verifiche vvf
- 53 – Sezioni guida
- 54-57 – Sezione dettagliata
- 58-60 – Nodi
- 61 – Schema di cantiere





## RINGRAZIAMENTI

Vogliamo innanzitutto ringraziare il professor Arturo Montanelli per la disponibilità accordataci ad essere il nostro relatore di tesi: la sua competenza, la sua immediatezza, tanto di lettura delle problematiche, quanto di pensiero e di giudizio, sono state per noi motivo di sfida ed uno stimolo costante a migliorare e “spingerci più in là” durante questo lungo percorso.

Un grazie davvero di cuore va all’ing. Amalia Vivian: la sua cortesia quasi fraterna, l’incredibile disponibilità e la sua esperienza fanno di lei “il correlatore che tutti vorrebbero”; senza di lei questo lavoro non sarebbe stato, fisicamente e forse anche moralmente, possibile: è stato il nostro faro guida e punto di riferimento nello svolgimento di ogni aspetto di questa tesi, spronandoci e confortandoci tutte le volte che è stato necessario; a lei va tutta la nostra gratitudine.

Ringraziamo calorosamente il prof. Matteo Colombo: guidandoci passo per passo ci ha permesso di sviluppare delle tematiche a noi prima sconosciute e di straordinario interesse che -speriamo- hanno permesso di conferire un notevole valore aggiunto a questa tesi. Gli siamo grati per tutto quello che ci ha messo a disposizione in termini di tempo, materiale e conoscenze nell’affrontare gli aspetti strutturali del nostro progetto, e per averci sempre fatto avere la consapevolezza che non ci fossero problematiche non risolvibili o esigenze non soddisfabili.

Vogliamo ringraziare sentitamente anche l’ing. Andrea Modina per la grande disponibilità, la perizia e, soprattutto la “pazienza”, se ci si passa l’espressione, con cui ci ha assistiti nell’affrontare gli aspetti impiantistici del nostro progetto: siamo consapevoli che non è da tutti accettare di fare una sorta di corso condensato in poche lezioni e per questo gli siamo riconoscenti.

Vogliamo, infine, ringraziare tutti quei nostri colleghi, compagni e amici -noi stessi per primi- che, nello specifico, hanno dato un contributo affinché questa tesi vedesse la luce: tutti quelli che ci hanno “dato una dritta” su come affrontare un problema, che ci “hanno passato” una dispensa, un libro, un foglio di Excel, che ci hanno dato il loro parere franco e sincero su un aspetto, che si sono in qualsivoglia maniera rapportati con noi durante questo lavoro: la condivisione è per noi un valore inestimabile e vogliamo, in questo modo, compiere un gesto di riconoscenza verso chi ce l’ha voluta concedere.

*Monica e Roberto*



Finalmente sono arrivata a scrivere i ringraziamenti, ottima cosa perché vuol dire che sono lì lì per concludere questo bellissimo percorso, ma anche faticoso, snervante al punto da pormi una semplice domanda “perché ho fatto questa scelta?”; ma poi mi guardo indietro e nonostante tutto non vedo un’alternativa alla scelta che mi ha fatto intraprendere quest’avventura.

In primis voglio ringraziare i miei genitori. Mia mamma e mio papà a cui dedico questa tesi e senza i quali tutto questo non sarebbe mai potuto accadere. Li ringrazio per il supporto morale, psicologico e anche materiale (non di poco conto) che mi hanno dato a prescindere dal mio comportamento, alle volte insopportabile, senza chiedere nulla a parte la mia felicità. Li ringrazio a maggior ragione per credere in me incondizionatamente e per darmi la possibilità di fare ciò che mi piace.

Nonna Marietta. Beh, che dire... Forse non basterebbero mille grazie per quello che hai sempre fatto, ma so che ti accontenti di un abbraccio, un bacio e un cicchettino, che non fa mai male, per sancire la fine di questo percorso. Il primo brindisi lo farò con te.

Domy. Un punto di riferimento, che sta sempre lì ad osservare e a dispensare consigli, che spesso ignoro soltanto perché voglio farcela da sola e dimostrare che anche io sono in gamba come lo sei tu. Tu continua a comportarti così, anche perché non saresti mai capace di fare altrimenti, e vedrai che a volte ti ascolterò ma altre continuerò a fare come la mia testa mi dice di fare.

Ellen. Dopo undici anni, e dico undici, di conoscenza, gioie e dolori, sopportazione e quant’altro, un enorme grazie, in primis per non essere scappata davanti alle mie stramberie, ma soprattutto per esserci, sempre e comunque, in ogni occasione. Spero, tra altri undici anni, di guardarmi indietro, e vedere che ci siamo ancora io e te, sempre insieme a combinarne di ogni, come piace a noi.

Zanzi. Il mio socio di tesi, la persona di riferimento in questo cammino con cui ho passato un’infinità di tempo, a volte eccessivo, ma soprattutto il mio amico. Sono estremamente felice di averti conosciuto, forse come nessun’altro durante quest’avventura, e di aver intrapreso tutto ciò insieme a te fin dal primo giorno, con il test d’ammissione, e averlo concluso degnamente con questo lavoro. Grazie per il tempo che mi hai dedicato, per le arrabbiate, per le gioie ma soprattutto per le soddisfazioni che ci siamo meritati. Sono fiera del tuo percorso e so che potrai soltanto far meglio.

Nicola. Ci siamo conosciuti durante gli ultimi anni, ma non per questo il nostro rapporto è meno importante di altri. Grazie per le serate trascorse insieme, per la fiducia che hai subito posto in me e negli incoraggiamenti continui. Sei un esempio perché da solo sei



riuscito a ottenere ciò per cui ti sei impegnato tanto. Sono certa che l'amicizia tra noi non finirà mai.

Josi. Il compagno di università che tutti dovrebbero avere. Trasmetti sempre felicità e buon umore, aspetti del tuo carattere che spero di aver assimilato, almeno in parte, durante il tempo trascorso insieme a lavorare, io in modo estenuante, per cercare di concludere non in ritardo, mentre tu eri lì, "bello bello" a ridere e scherzare. Non lasci mai che gli eventi ti demoralizzino, ma con la tua incoscienza guardi sempre il lato positivo delle cose. Senza di te il terzo e quarto anno sarebbero stati deprimenti, di questo non smetterò mai di ringraziarti.

Ciccio, Vala, Sandra, GB, Ivan, Lambe. Grazie ragazzi per i bei momenti passati insieme, chi dall'inizio, chi più avanti nel percorso e chi da ancora prima. È stato un vero piacere conoscervi, quest'avventura è stata fantastica anche grazie a tutti voi.

Cla e Gloria. Il venerdì sera è roba vostra. Una buona abitudine che spero non perderemo mai. Grazie per le serate piacevoli e divertenti che mi fate passare, e che in questi anni hanno alleggerito la stanchezza e il cattivo umore che a volte mi portavo dietro.

Studio Mandelli. Quasi quattro anni passati tra quelle mura. Grazie per avermi accolto come non mi sarei mai aspettata, nelle più rosee aspettative, nella vostra straordinaria famiglia, perché voi non siete uno studio comune, ma una famiglia e sono molto orgogliosa di poterne far parte. Mi avete insegnato e fatto conoscere il mestiere che mi immaginavo quando ho fatto la mia scelta di vita. Venire al lavoro, non è un peso, ma un'esperienza che faccio sempre con immenso piacere grazie a tutti voi. Ingegnere, Architetto e Paola grazie mille.

Amici, parenti, conoscenti. Grazie a chiunque mi ha aiutato a fare questa scelta e chi durante questi anni mi ha supportato, sopportato, confortato e fatto passare anche solo 5 minuti di svago.

A questo punto dopo essermi commossa scrivendo queste semplici righe per ciascuno di voi, spero di essere riuscita nel mio intento di esprimere tutta la mia più sincera gratitudine.

UN IMMENSO GRAZIE DAL CUORE.

*Monica*



Giunto alla fine di questo periodo lungo e, senz'altro, intenso -nel bene e nel male, perché l'università è crescita, apprendimento, formazione, ma anche fatica, sconfitte, stress- percorso, sento profondo il dovere, in questo caso anche il piacere, di ringraziare alcune persone che, nello specifico, hanno fatto sì che io riuscissi a conseguire questo traguardo.

Prima di tutto chi ha "finanziato" questo, se così lo si può definire, progetto: contributo senza il quale non solo non avrebbe potuto essere portato a termine, ma nemmeno sarebbe potuto cominciare.

Ringrazio Monica, infaticabile compagna di innumerevoli esperienze in ambito universitario, a partire dai primissimi giorni; la tua impareggiabile etica del lavoro ti rendono una persona encomiabile: da te ho imparato l'importanza delle scadenze e della loro programmazione, l'ordine e la pulizia del disegno, l'impegno, la serietà e la civiltà del confronto reciproco, anche quando su posizioni contrapposte, a volte in maniera dura, ma sempre ragionevole e tese all'obiettivo comune. Tutto questo oltre a, ovviamente, una serie di valori umani e di amicizia che hanno contribuito alla mia formazione personale oltre che professionale.

Ringrazio Matteo Ranghetti. Anni fa mi hai insegnato a guardare le cose con il dovuto distacco e che un professore è "solo" un professore ed un esame è "solo" un esame: la vita è anche -forse soprattutto- altro. Senza questi tuoi insegnamenti forse non sarei mai riuscito a superare una crisi attraversata in quel periodo e a portare a termine questo percorso, non lo dimenticherò mai.

Ringrazio il gruppo di pochi e fedelissimi amici che mi ha accompagnato, in maniera più o meno continuativa, fin dagli inizi: Lambe, Teo, Marghe, Ciccio, Vala, Gibi, Gabrio, Ivo, Monica stessa (spero di non dimenticare nessuno, se lo faccio gli interessati non me ne vogliano): con voi ho passato alcuni tra i momenti più spensierati e divertenti (e anche tra i meno raccontabili!) di questi anni. E se spesso questo si è dovuto tradurre in una dilazione delle scadenze universitarie, beh sappiate che non avrei mai rinunciato ad uno solo di questi momenti per questo motivo; come ho già detto: la vita è anche altro, la vita siete stati (e spero ancora sarete) anche voi, per questo grazie.

Sperando di non offendere gli altri, in particolar modo voglio ringraziare Ivan "Ivo" Fumagalli, col tuo cosmopolitismo dalle radici brianzole, la tua velocità d'apprendimento, il tuo eclettismo e il tuo sesto senso per i temi d'esame, e Federico "Ciccio" Mazzoleni e Guido "Vala" Valassi (sì in quanto Ciccio + Vala, coppia ormai epica): siete ragazzi straordinari, sinceri, onesti, seri e con voi ho passato momenti che



non dimenticherò mai, mi avete insegnato molto più di quanto io possa aver insegnato a voi, se l'ho fatto.

Ringrazio Jacopo “Jack” Bellini, la cui conoscenza mi rammarico sempre di aver fatto troppo tardi: con te ho condiviso passioni musicali e non solo, da te ho imparato il valore del sacrificio (universitario e non) e della “sana follia” che aiuta in ogni cosa, oltre che qualche rudimento di veronese, che non guasta mai! Certe nostri scambi di messaggi telefonici (anche in compagnia di Ivo) sono e resteranno semplicemente memorabili.

Ringrazio Josè Sebastian “Riccio” Ricciardi. In te ho trovato più di un amico: con te ho potuto sfogarmi, “staccare la spina”, trovare un riscontro sempre onesto e franco, un conforto, un abbraccio. Oltre che (finalmente!) qualcuno con cui intendermi da pari a pari su certe nostre comuni e “perverse” passioni: musicali, letterarie, televisive (Corradone nostro su tutti) e cinematografiche. Ti porto nel cuore.

Ringrazio, *last but not least*, come dicono quelli bravi, Roberta. Per tutto. Altre parole sarebbero inadeguate.

*Roberto*