

Memoria della Ferrovia Valmorea

Una ciclovia sopraelevata in località Mulini di Gurone, VA

GIORGIA MILAN





POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale in Architettura Costruzione Città

A. A. 2022/2023

Tesi di Laurea Magistrale
Memoria della Ferrovia Valmorea.
Una ciclovia sopraelevata in località Mulini di Gurone, VA.

Relatori:
Prof. Riccardo Palma

Co-Relatore:
Prof.ssa Chiara Lucia Maria Occelli
Prof. Gabriele Bertagnoli

Candidato
Giorgia Milan
s282398

*Alla mia famiglia che con amore mi è sempre stata
accanto supportandomi e sostenendomi nelle scelte
compiute.*

A Luca il mio punto di riferimento.

*A voi dedico questo mio traguardo, grazie per non aver
mai smesso di credere in me.*

Giorgia

INDICE

Abstract

12

01

Il contesto: lettura del territorio tra tracce e memoria

1.1	Introduzione: il contesto	16
1.2	Valle Olona: il legame tra natura e artificio	
1.2.1	Analisi territoriale	19
1.2.2	Valle Olona	20
1.2.3	Fiume Olona	23
1.2.4	Mulini	24
1.3	Ferrovia Valmorea: nella sua trasformazione storica	
1.3.1	Prima tratta	29
1.3.2	Seconda tratta	34
1.3.3	Terza tratta	38
1.3.4	Cessazione attività	42
1.4	L'evoluzione di recupero della Ferrovia Valmorea	
1.4.1	Proposte di recupero della Ferrovia Valmorea	45
1.4.2	Greenway in Valle Olona: da Castellanza a Castiglione Olona	48
1.5	Il panorama dei Mulini di Gurone	
1.5.1	Un borgo: tra natura e resilienza	54
1.5.2	Mulini di Gurone come luogo identitario	58
	<i>Legambiente</i>	58
	<i>Casamatta</i>	62

02

Progetto di una pista ciclopedonale sopraelevata in località Mulini di Gurone

2.1	Introduzione: Progetto TI CICLO VIA	67
2.1.1	Lotto 2	72
2.1.2	Variante al progetto TI CICLO VIA	76
2.2	Problema dell'accessibilità ciclopedonale	
2.2.1	Strategia per un collegamento sempre fruibile	81

03

Progetto strutturale della ciclovia sopraelevata

2.3 Problema della memoria storica della Ferrovia Valmorea	
2.3.1 Analisi delle geometrie costruttive della Ferrovia Valmorea	85
2.3.2 Intervento di risanamento del Casello n.10 Bizzozero - Gurone	94
<i>Analisi dei degradi</i>	97
<i>Progetto di conservazione</i>	104
2.4 Problema dell'architettura della ciclovia sopraelevata	
2.4.1 Analisi preliminare	117
2.4.2 Proposta progettuale	118
<i>Progetto dell'architettura della pista ciclopedonale sopraelevata</i>	122
<i>Progetto di accesso al casello n.10 dalla pista ciclopedonale</i>	140
3.1 Introduzione	149
3.2 Progetto strutturale	
3.2.1 Analisi progettuale	153
3.2.2 Materiali	160
3.3 Calcoli per il dimensionamento strutturale: reticolare con luce 28 m	
3.3.1 Analisi dei carichi	164
<i>Carichi permanenti strutturali</i>	166
<i>Carico antropico</i>	168
3.3.2 Azioni termiche	170
<i>Termiche stagionali</i>	170
<i>Termiche giornaliere</i>	170
3.3.3 Azioni del vento	174
<i>Vento trasversale</i>	180
<i>Vento longitudinale</i>	186
3.3.4 Cendimenti	190
3.3.5 Calcolo agli stati limite	192
<i>Verifiche a SLU</i>	194
3.4 Calcoli per il dimensionamento degli elementi di congiunzione	
3.4.1 Caratteristiche dei bulloni	199
3.4.2 Dimensionamento giunzioni: Nodo A	202
3.4.3 Piastra A	204
<i>Calcolo taglio</i>	204
<i>Verifica taglio NTC08</i>	207
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	208
<i>Verifica della sezione</i>	209

3.4.4 Piastra B	210
<i>Calcolo taglio</i>	210
<i>Verifica taglio NTC08</i>	210
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	211
<i>Resistenza a taglio</i>	212
<i>Verifica resistenza a trazione del profilo</i>	212
3.4.5 Bullonatura C	213
<i>Calcolo taglio</i>	213
<i>Verifica taglio NTC08</i>	215
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	216
<i>Verifica della sezione</i>	217
3.4.6 Piastra D	218
<i>Calcolo taglio</i>	218
<i>Verifica taglio NTC08</i>	220
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	220
<i>Calcolo resistenza di progetto a trazione NTC08</i>	221
<i>Verifica combinata per taglio e trazione NTC 08</i>	222
<i>Verifica della sezione</i>	223
3.4.7 Bullonatura E	224
<i>Calcolo taglio</i>	224
<i>Verifica taglio NTC08</i>	225
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	225
3.4.8 Dimensionamento giunzioni: Nodo B	228
3.4.9 Piastra A	230
<i>Calcolo taglio</i>	230
<i>Verifica taglio NTC08</i>	233
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	234
<i>Verifica della sezione</i>	235
3.4.10 Piastra B	236
<i>Calcolo taglio</i>	236
<i>Verifica taglio NTC08</i>	236
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	237
<i>Resistenza a taglio</i>	238
<i>Verifica resistenza a trazione del profilo</i>	238
3.4.11 Piastra C	240
<i>Calcolo taglio</i>	240
<i>Verifica taglio NTC08</i>	242
<i>Verifica rifollamento NTC08</i>	243
<i>Calcolo resistenza di progetto a trazione NTC08</i>	243
<i>Verifica combinata per taglio e trazione NTC 08</i>	244
<i>Verifica della sezione</i>	245

3.5 Calcoli per il dimensionamento strutturale: reticolare con luce 24 m

3.5.1 Analisi dei carichi	248
<i>Carichi permanenti strutturali</i>	250
<i>Carico antropico</i>	252
3.5.2 Azioni termiche	254
<i>Termiche stagionali</i>	254
<i>Termiche giornaliere</i>	254
3.5.3 Azioni del vento	258
<i>Vento trasversale</i>	264
<i>Vento longitudinale</i>	270
3.5.4 Cendimenti	274
3.5.5 Calcolo agli stati limite	276
<i>Verifiche a SLU</i>	278

3.6 Problemi e risoluzioni progettuali

3.6.1 Problema: mensole di appoggio	283
<i>Dimensionamento mensola</i>	284
<i>Verifica di resistenza del setto in calcestruzzo armato</i>	285
<i>Appoggio in acciaio con disco elastomerico</i>	286
3.6.2 Problema: Bilanciamento del setto in c.a. e della ciclovía	292

04 Conclusioni

Valorizzazione di un luogo di grande interesse paesaggistico	297
--	-----

05 Riferimenti

Bibliografia	301
Sitografia	302

Ringraziamenti	305
----------------	-----

ABSTRACT

La tesi intraprende un percorso conoscitivo e progettuale nei confronti di un'area suggestiva in provincia di Varese: la località di Mulini di Gurone, un insediamento storico posto lungo il fiume Olona, oggi sede di diverse attività socioculturali, che, a causa della realizzazione di una diga e di una vasca di laminazione, è stato protetto da un terrapieno circolare.

L'analisi si sviluppa attraverso il racconto del territorio con la finalità di proporre la valorizzazione mediante un progetto di architettura a sostegno dello sviluppo della mobilità dolce.

L'obiettivo della ricerca riguarda sia il restauro architettonico funzionale e strutturale del casello numero 10 dell'ex Ferrovia Valmorea, sito nella località di Mulini di Gurone all'esterno del terrapieno, sia il progetto di una infrastruttura ciclopedonale in grado di risolvere l'accessibilità dell'area compromessa dalla diga.

La configurazione del territorio in oggetto è stata esaminata nello specifico del **primo capitolo**. Esso è dedicato al racconto storico, territoriale ed evolutivo del territorio della Valle Olona. L'analisi è stata svolta mediante la descrizione degli elementi fondativi e caratterizzanti della Valle e si è concentrata maggiormente nell'approfondimento delle operazioni di recupero della storica Ferrovia Valmorea, in quanto la nascita dell'infrastruttura ferroviaria ha determinato molte delle dinamiche insediative e socioeconomiche della stessa Valle Olona.

Il progetto svolto nella tesi si configura come risultato di una lettura delle tracce del territorio e della loro storia. Il **secondo capitolo**, dunque, presenta la proposta di progetto che nell'insieme dei suoi temi, ritrova l'unione sinergica tra antico e nuovo, configurandosi come traccia della memoria della ferrovia dismessa.

Nella prima parte del capitolo si pone attenzione all'analisi del progetto "TI CICLO VIA" il cui programma

prevede l'estensione dell'esistente pista ciclopedonale della Valle Olona fino al confine elvetico. Il progetto sviluppato nella tesi si propone come variante del progetto "TI CICLO VIA".

La seconda parte del capitolo descrive il progetto a partire da tre differenti problemi: il **problema dell'accessibilità ciclopedonale**, risolto con il disegno di una passerella sopraelevata, in quanto il progetto si sviluppa all'interno della vasca di laminazione che in caso di attivazione della Diga di Gurone risulterebbe inagibile; il **problema della memoria della Ferrovia Valmorea** che il progetto affronta sia mediante il restauro architettonico, funzionale e strutturale del casello numero 10, sia attraverso la riproduzione in sequenza delle facciate delle stazioni ferroviarie lungo il percorso; infine, il **problema dell'architettura della ciclovia** il cui obiettivo è quello di rendere l'accesso all'area dei Mulini di Gurone, provenendo dalla ciclovia della Valle Olona, un'esperienza spettacolare. Questo percorso permetterà quindi il collegamento in quota dal rilevato della diga al terrapieno di protezione dei Mulini di Gurone, consentendo così di godere di una nuova prospettiva sulla Valle.

L'ultimo capitolo della tesi analizza e studia il **problema strutturale** e le scelte che questo determina. Tramite il programma di calcolo SAP 2000 sono state dimensionate le travi reticolari che reggono l'impalcato della passerella.

L'architettura della nuova infrastruttura avrà sia il compito di rimandare alle forme della Ferrovia ristabilendone la memoria, sia il ruolo di spazio pubblico per il transito e la sosta in diretto collegamento con "l'anello" (il terrapieno) dei Mulini. In questo modo si intende valorizzare un luogo in cui il grande interesse paesaggistico e culturale è il risultato di una secolare interazione tra l'uomo e l'ambiente.

01



Il contesto: lettura del territorio tra tracce e memoria

INTRODUZIONE: IL CONTESTO

Lo sviluppo della ricerca in Valle Olona nasce prevalentemente perché, essa rappresenta il luogo in cui risiede il grande patrimonio culturale, ambientale ed industriale della storia lombarda.

L'identità di un territorio è conferita da segni che divengono gli elementi distintivi di quell'area, costruiti per merito delle stratificazioni, possibile solo grazie alle generazioni che lo hanno abitato.

La lettura di un territorio è complessa perché, esso è portatore di valori culturali, socioeconomici ma soprattutto è la memoria delle modificazioni che si sono sviluppate e hanno agito nel tempo.

1.2 VALLE OLONA: IL LEGAME TRA NATURA E ARTIFICIO

1.2.1

ANALISI TERRITORIALE

L'analisi geografica, morfologica e storica della Provincia di Varese, ci pone di fronte all'immagine di un paesaggio prealpino caratterizzato da una ricca e complessa conformazione, che rende di fatto il suo territorio unico, in relazione ad altre aree con medesima struttura morfologica.

Il Varesotto è infatti, fortemente connotato da un'abbondanza di risorse naturali; l'acqua è forse il principale elemento che lo caratterizza.

Queste condizioni hanno permesso nel corso del tempo, la sperimentazione delle più innovative ed avanzate forme di sviluppo.

La Lombardia, tra il '700 e l'800, era una regione prevalentemente agricola.

Seppur la popolazione si componesse per lo più di contadini, man mano che si entrava nel nuovo secolo era sempre più chiara la sua propensione all'avanzamento dei rapporti produttivi in direzione del capitalismo.

Quest'ultimo si fece largo tra la fine dell'800 e la Prima Guerra Mondiale e portò a profonde modificazioni del tessuto sociale ed urbano della regione.

Il processo di industrializzazione interessò principalmente le attività meccaniche metallurgiche, edilizie e tipografiche, ma ebbe i suoi punti di forza nel settore tessile soprattutto nella filatura e nella tessitura del cotone.

Il progresso industriale e il connesso ampliamento dei servizi ebbero, tra i loro effetti, la trasformazione della configurazione delle città.

Una delle principali zone incubatrici dello sviluppo industriale della regione lombarda durante i primi anni dell'800 fu la Valle Olona.

Comprendere la realtà socioeconomica che interessò quest'area e l'incidenza che ebbe il Fiume Olona nella sua storia, risulta fondamentale per comprendere, la necessità di un collegamento di tipo ferroviario, tra le imprese della Valle, l'Alto Milanese ed il mercato europeo.

VALLE OLONA

Ragionare su un territorio significa prima di tutto conoscere, comprendere e analizzare quali sono i principali criteri a cui potersi riferire per poter elaborare le strategie progettuali che con maggiore probabilità risultino le più efficaci, rispetto all'ambito in cui queste agiscono.

La Valle Olona, si è formata per mezzo di una glaciazione, ed il suo profilo geologico trasversale presenta caratteristiche dalla forma a U, ovvero mostra un fondovalle largo, profondamente inciso, lungo il quale scorrono uno o più fiumi.

Si osserva, inoltre, come i centri abitati siano posti in posizione sopraelevata, dislocati nelle varie colline circostanti.

Morfologicamente la valle si estende dal sud di Bregazzana, una frazione della città di Varese, fino a Castellanza.

Questa era, ed è ancora oggi, un'area estremamente produttiva economicamente, soprattutto per quanto concerne l'ambito industriale, il cui sviluppo è stato possibile grazie all'abbondante presenza di risorse idriche, determinate dalla vicinanza al fiume Olona, definito fiume Civiltà, per l'antico e proficuo legame che vi è sempre stato tra le sue acque e gli abitanti che lo hanno navigato.

Il perimetro della valle comprende 14 Comuni lombardi, il cui insieme prende il nome di Ambito del Medio Olona, tra questi troviamo: Castiglione Olona, Lozza, Vedano Olona, Castelseprio, Cairate, Gorla Maggiore, Gorla Minore, Solbiate Olona, Marnate, Olgiate Olona, Lonate Ceppino, Fagnano Olona, Gornate Olona, ed infine, Castellanza.

Il territorio inoltre, è arricchito, non solo da caratteristiche idrografiche e morfologiche, ma presenta un ricco patrimonio storico, culturale ed artistico.

L'architettura industriale risiede in grande prevalenza entro la Valle, questo è dovuto al forte sviluppo

economico avvenuto durante il '700 lungo le sponde del suo fiume. Infatti, il patrimonio architettonico industriale ad oggi è uno dei fattori, che racconta e tiene viva la storia del luogo.

La grande ricchezza architettonica, in molti casi non ha più ritrovato un riutilizzo e una sua valorizzazione.

Ad oggi il fondovalle dell'Olona è caratterizzato da vaste aree dismesse dove la vegetazione, con il passare del tempo, ha ritrovato il proprio spazio naturale.

Nonostante molte di esse riversino in stato di abbandono, non mancano esempi di recupero edilizio, tra cui l'ex cotonificio Cantoni di Castellanza.

Parte dell'ampia area, su cui si costruisce l'ex cotonificio, è stata riqualificata e rimpiiegata, grazie al sostegno di imprenditori locali della Provincia di Varese.

L'edificio dal 1991 è sede della LIUC acronimo, dell'Università Carlo Cattaneo di Castellanza.

L'attività di recupero è avvenuta tra gli anni 1989 e 1991, su progetto di Aldo Rossi. L'architetto ha redatto un progetto che prevedeva, prima di tutto il rispetto dell'architettura esterna degli edifici.

L'intervento è avvenuto in modo principale sulle superfici interne, al fine di delineare spazi consoni alle funzioni e dunque, alle esigenze didattiche della struttura.

Divenendo un esempio di riqualificazione ambientale, che asseconda un cambio funzionale e la valorizzazione identitaria della struttura.



Fig.1:Fiume Olona. Foto di Donatella Canavesi, Amici dell'Olona
Fonte: <http://www.ilvaresotto.it/>



Fig.2:Pista ciclopedonale affiancata ai binari della Ferrovia Valmorea
Fonte: <https://www.varesenoi.it/>



Fig.3:La ciclopedonale della Valle Olona
Fonte: <https://www.varesenoi.it/>

1.2.3

FIUME OLONA

Il fiume Olona, è l'asse principale della valle, si estende per circa 71 chilometri; esso nasce dai monti a nord di Varese, più precisamente in località Fornaci della Riana, presso il Sacro Monte di Varese.

Attraversando la valle, raggiunge la città di Milano, dove prende il nome di Lambro Meridionale, ed infine termina il suo percorso confluendo nel fiume Lambro.

Il suo bacino idrografico è suddivisibile in due distinte zone: una prima, montana ed una seconda pianeggiante; nel tratto più a monte è composto da due rami, quello di Induno e quello della Rasa, che si uniscono in corrispondenza di località Molini Trotti, ad Induno Olona. Lungo il suo percorso confluiscono, in esso, importanti affluenti.

L'Olona è importante in quanto fu la risorsa principale dell'attività manifatturiera, soprattutto in ambito tessile, settore di maggiore risalto dell'area e dell'intero scenario italiano.

Lungo il corso d'acqua, infatti, la popolazione aveva potuto usufruire di due fattori chiave: la forza motrice del fiume e l'imprenditorialità degli abitanti della zona.

L'industrializzazione fu però la causa di un grave danno ambientale, il quale portò all'inquinamento delle sue acque.

MULINI

I più antichi documenti relativi al fiume Olona coincidono con la nascita dei mulini, presenti su tutto il corso d'acqua con una scansione alquanto uniforme.

Essi venivano costruiti in corrispondenza dei tratti del fiume dove la pendenza era sufficiente a consentire la forza d'urto necessaria a far sì che le pale in legno avrebbero avuto modo di trasformarla in forza motrice, utile alla loro messa in funzione.

A partire dall'insediamento dei mulini fino all'industrializzazione, la storia della valle è connotata da una ricca documentazione che pone in evidenza l'importanza storica del Consorzio del fiume Olona, il quale imponeva molta attenzione all'utilizzo dell'acqua. La priorità del Consorzio era che quest'ultima non venisse sprecata o usata impropriamente, dando luogo ad un'amministrazione rigorosa e puntuale, anche per quanto riguardava il regime d'impiego delle acque che alimentavano e regolavano i numerosi mulini.

Nella maggior parte dei casi i mulini della valle erano strutture rappresentative di un'economia che solo intorno ai primi anni dell'800, avrebbero vissuto un profondo mutamento; dato che in principio i mulini erano destinati alla sola attività molitoria.

Essi venivano, dunque, impiegati per macinare i cereali, per produrre olio di semi e per pilare il riso, tant'è che la loro presenza venne attestata già in epoca più antica, ma, è con il '600 che si fece più frequente e precisa la documentazione, in quanto vi era la necessità di disporre di un quadro il più possibile corrispondente alla realtà, al fine di avere un effettivo controllo dello sfruttamento delle acque, scarse, e dunque preziose dell'Olona.

Nella prima metà dell'800 l'industrializzazione non era ancora un fenomeno predominante.

Solo dopo il 1820, i mulini inizieranno ad essere utilizzati per muovere i macchinari delle prime industrie.

Molte delle attività preindustriali che sorsero sulle sponde del fiume Olona poterono svilupparsi solo

grazie alla forza motrice sviluppata in relazione alla modifica e all'ampliamento dei vecchi mulini destinati originariamente alla sola macinazione dei prodotti agricoli.

Questi edifici divennero con il passare del tempo gli elementi caratteristici del nuovo paesaggio industriale che si stava sviluppando lungo tutta la valle, a conferma della propensione produttiva dell'area.

L'industrializzazione delle sponde dell'Olona fu un processo graduale; gli imprenditori preferirono sfruttare maggiormente gli impianti idraulici, portando alla nascita dell'industria, come metamorfosi di alcuni degli antichi mulini. Essi, infatti, mutarono in differenti tappe: trasformandosi dapprima in protoindustrie e solo successivamente, in attività industriali vere e proprie.

I mulini d'acqua erano i prototipi della fabbricazione, prima che l'utilizzazione del vapore sostituì la forza motrice idrica. Infatti, tra l'800 ed il '900 la comparsa dei motori a vapore e di quelli elettrici portò a un graduale e radicale abbandono delle ruote idrauliche.

La connotazione paleoindustriale dei mulini è certamente visibile nella struttura architettonica di cui si compongono.

In genere erano strutture prive di decorazioni, ma in grado di combinare le forme dell'architettura rurale con la funzionalità e le necessità tecniche di cui dovevano disporre per l'utilizzo di particolari macchinari.

Dunque, sul piano architettonico i mulini rappresentavano la perfetta risoluzione del problema di rapporto tra forma e funzione, mediato attraverso una risposta razionale ed economica, che i costruttori svilupparono attraverso una pratica consolidata, messa a punto con la loro costruzione.

Ad oggi, però, è rimasto ben poco di quel paesaggio fluviale, costellato di mulini, che nei secoli scorsi rendevano uniche le rive del fiume Olona.

Il loro numero è progressivamente diminuito; tra i rimanenti, alcuni versano in stato di abbandono, mentre altri sono stati recuperati per le più svariate finalità.



Fig.4: Mulino di Gurone, fraz. Mulini di Gurone - foto di Marco Quartiani
 Fonte: <http://www.ilvaresotto.it/>



Fig.5: Mulino Balbi, Malnate - foto di Marco Quartiani
 Fonte: <http://www.ilvaresotto.it/>



Fig.6: Mulino bianco o del Sasso, Olgiate O.- foto di Marco Quartiani
 Fonte: <http://www.ilvaresotto.it/>

1.3 FERROVIA VALMOREA: NELLA SUA TRASFORMAZIONE STORICA

1.3.1

PRIMA TRATTA

Lo sviluppo industriale che si ebbe nel'800 nella Valle Olona non fu solo di interesse locale ma la sua evoluzione è stata una delle più significative dell'intero Paese.

Si iniziò a parlare di struttura ferroviaria lungo la Valle Olona alla fine dell'800, quando le nuove industrie ed il progressivo mutamento dei vecchi mulini da grano, divennero predominanti.

La Ferrovia Valmorea ebbe la sua origine nel 1863, anno in cui si discuteva su che andamento dovesse essere dato alla linea Milano – Varese della società Strade Ferrate Alta Italia, denominate SFAI.

Il progetto della linea prendeva in considerazione due opzioni: la prima indirizzava il tracciato verso Gallarate, la seconda invece proponeva un andamento più rettilineo e diretto da Legnano, con la sua estensione sulla sponda occidentale del fiume Olona.

La decisione finale ricadde sulla prima alternativa, ma ben presto si rese necessario un collegamento più diretto del tratto Milano – Varese, in quanto si richiedevano linee più veloci di collegamento con Laveno e Como: tracciati che sarebbero stati amministrati dal 1888, dalla società Ferrovie Nord Milano.¹

Nel 1880 venne avanzata la prima proposta tranviaria che nacque quando la Società italo-belga dei “tramways e delle Ferrovie Economiche” sviluppò il progetto della tranvia Milano – Legnano, estesa lungo il corso del Sempione.

I vantaggi che portò questo nuovo impianto erano sotto gli occhi di tutti: infatti ben presto, si pensò ad un suo prolungamento fino a Gallarate, con l'idea di attraversare nel suo tragitto Castellanza e Busto Arsizio; città industriali importanti nella provincia di Varese.

La nascente linea fu la principale occasione per comprendere l'importanza degli incentivi che avrebbe potuto portare l'utilizzo dell'infrastruttura nel proprio territorio.

Si arrivò rapidamente alla creazione di un comitato,

¹La “Società anonima delle Ferrovie Nord Milano – Saronno e Milano – Erba” nasce nel 1879 per la realizzazione di tronchi ferroviari in Lombardia; operato, quello della costruzione delle linee, volti a collegare Milano e Saronno, località equidistanti da Como, dalla Brianza, da Varese, e assai prossima al nucleo industriale dell'Alto Milanese che come analizzato in quegli anni stava sviluppando in relazione all'evoluzione industriale.

i cui i primi propositi però non si concretizzarono in alcuna attuazione, tant'è che il progetto naufragò e fino al 1882 non se ne parlò più.

Le idee di un collegamento infrastrutturale nella Valle non vennero però abbandonate. Il comitato si riunì nel 1884 per sviluppare e proporre un nuovo progetto in chiave ferroviaria.

Solo nel 1887 la ferrovia lombarda ebbe un'importante svolta, quando Castellanza venne attraversata da una nuova linea, la Novara – Saronno – Seregno.

Quest'ultima era stata progettata dall'ingegnere Marco Visconti e permetteva un rapido collegamento tra Lombardia e Piemonte.

Gli industriali italiani osservavano l'evoluzione che questo nuovo impianto stava avendo e ne compresero maggiormente la sua utilità sia sul fronte economico sia a livello di tempistiche per il trasporto delle materie prime, delle merci e dei prodotti finiti.

Negli anni successivi, due progetti catturarono l'attenzione: uno sviluppato dall'ingegnere Giulio Rusconi Clerici, il cui disegno proponeva una linea ferroviaria che collegava Castellanza a Lonate Ceppino; mentre il secondo, elaborato dall'ingegnere Mario Duchini proponeva, invece, un collegamento da Legnano a Cairate.

Il progetto approvato nel 1899 dal Comitato Superiore delle Strade Ferrate fu proprio quest'ultimo, ma le circostanze portarono ad un cambiamento del cammino intrapreso.

A seguito della realizzazione della linea Novara - Saronno – Seregno, l'anonima Società Novara – Seregno fece sottoscrivere la sua priorità, su qualunque linea che si fosse staccata, intersecata o che si fosse costruita come prolungamento della Novara - Seregno. Pertanto, la Società rilasciò la concessione per la costruzione della Ferrovia dell'Oloni per 70 anni di esercizio, sulla base del progetto dell'Ing. Rusconi.

Tuttavia, come anticipato, il progetto approvato non fu quest'ultimo ma, il piano delineato dall'Ing. Duchini.

A questo proposito alla domanda di concessione la Società Novara – Seregno inviò i documenti necessari

all'approvazione ministeriale che vedeva elaborata una variante del progetto di Rusconi. La variante proposta sottolineava che i binari non si sarebbero arrestati a Castellanza ma sarebbero giunti a Legnano, come da progetto di Duchini, ed anziché arrestarsi a Cairate la ferrovia si sarebbe estesa fino a Lonate Pozzolo, come redatto dall'Ing. Rusconi.

Il Ministero dei Lavori Pubblici dovette così rinunciare al progetto di Duchini, valutando bene le ferme convinzioni da parte dei sostenitori della linea ferroviaria e della stessa Società Novara – Seregno.

Alla variante, durante l'approvazione, venne inoltre, effettuata una seconda modifica progettuale: i binari si sarebbero arrestati a Castellanza non estendendosi, dunque, verso Legnano, evitando così anche l'allacciamento alla ferrovia Mediterranea, che sarebbe stato comunque garantito da un tronco secondario passante per Busto Arsizio.

Con questi compromessi il progetto definitivo della prima tratta della Ferrovia Valmorea Castellanza – Lonate Ceppino vide il suo compimento il 12 dicembre 1900.

Nel clima storico che si stava vivendo, le richieste di prosecuzione della ferrovia della Valle Olona verso la Svizzera, non erano mai cessate, l'insistenza da parte di industriali e della popolazione stessa rimase un punto fisso; in quanto questa nuova infrastruttura rappresentava una grande novità evolutiva ed un avvicinamento al mercato del Centro Europa.

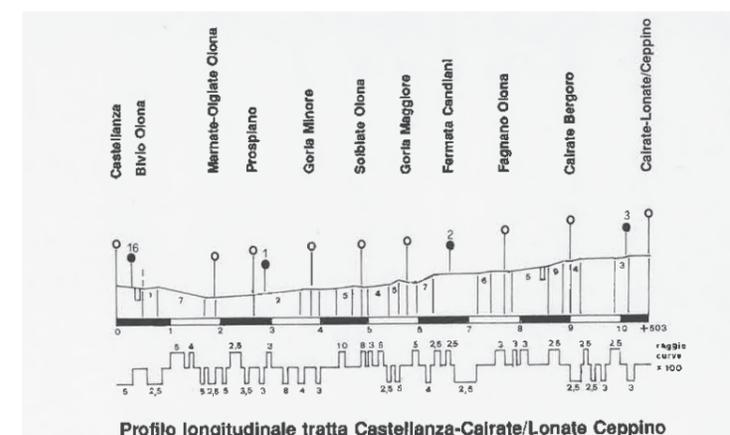
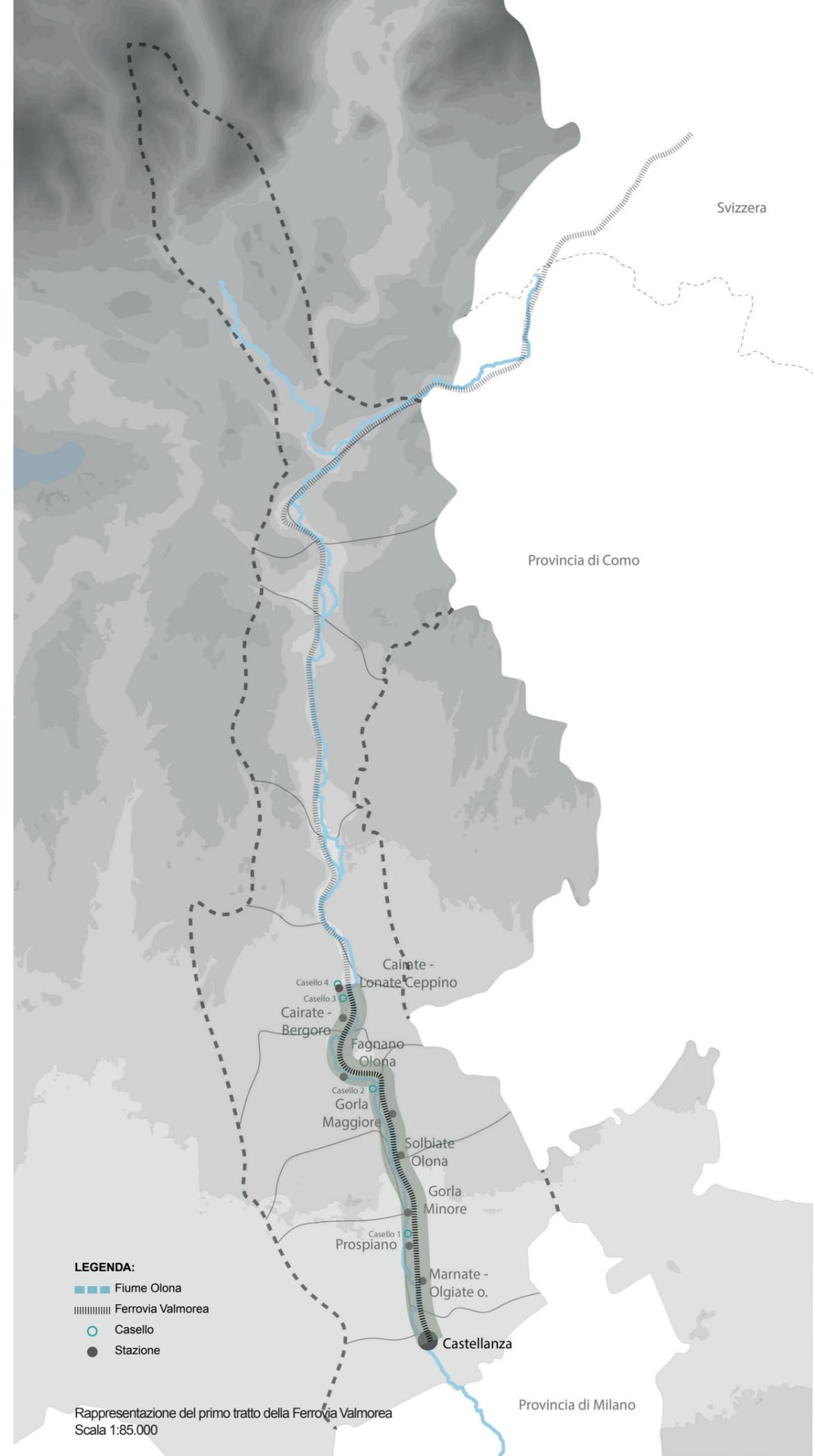


Fig.7: Profilo longitudinale tratta Castellanza - Cairate/Lonate Ceppino
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio. Paolo Ladavas e Fabio Montesana, Desenzano del Garda, Editoriale del Garda, 2001.

Nel 1902, anno in cui vi fu la promulgazione del Decreto Reale in cui veniva data l'approvazione della concessione per la realizzazione della ferrovia; l'ingegnere Rusconi presentò il progetto esecutivo ed il capitolato al Ministro dei Lavori Pubblici, avviando i lavori di costruzione per la nascita di questo nuovo tracciato. A lavori conclusi l'impianto aveva la sua origine nella stazione di Castellanza, si estendeva lungo la sponda sinistra del fiume Olona dove verso nord incrociava le stazioni di: Marnate – Olgiate Olona, Prospiano, Gorla Minore, Solbiate Olona, Gorla Maggiore, Fermata Candiani, Fagnano Olona, Cairate Bergoro ed infine, Cairate – Lonate Pozzolo.



Fig.8: Stazione di Fagnano Olona, da cartolina, collezione privata.
Fonte: *Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio*. Paolo Ladavas e Fabio Montesana, Desenzano del Garda, Editoriale del Garda, 2001.



SECONDA TRATTA

Conclusi i festeggiamenti per l'inaugurazione, dal giorno dopo la tratta prese il regolare esercizio, aperto sia al servizio merci che ai viaggiatori, e inizialmente gestita dalla Società Novara Seregno venne poi sub-concessa alle Ferrovie Nord, come anche la tratta principale Novara – Saronno – Seregno.

L'avvio del servizio di questa nuova linea non fu facile, così come l'evolversi della sua storia negli anni, andò incontro a molte vicissitudini sfavorevoli, che portarono a molte interruzioni di esercizio; la prima causa era sicuramente dovuta al periodo storico non semplice.

Quando si decise di allungare la linea Castellanza – Cairate verso il confine di Stato, nella stesura degli elaborati si tenne molto conto delle osservazioni geologiche e progettuali dell'ingegnere Carlo Ferrario che in precedenza aveva già redatto un progetto completo a riguardo.

In quest'ultimo vi erano studi avanzati del terreno, su cui si sarebbe poggiato il sedime, e delle piene causate dalla vicinanza al corso d'acqua dell'Olona. Queste ricerche erano importanti perché il tracciato dell'infrastruttura ferroviaria si sviluppava alla sinistra orografica del corso, in modo da disegnare un idoneo e rapido collegamento tra le fabbriche industriali, come cartiere e cotonifici, siti in concomitanza ad esso.

Il "Comitato Promotore per la ferrovia Varese – Mendrisio", diede incarico all'ingegnere Giulio Rusconi Clerici della progettazione del tronco che da Malnate avrebbe collegato Cantello, Stabio, ed infine, Mendrisio. In questi anni le Ferrovie Nord svilupparono un progetto concorrenziale a quello già in via di autorizzazione, portando a delle incertezze riguardo il progetto dell'ingegnere Ferrario, fermando di fatto le procedure per la costruzione del nuovo prolungamento.

Differente era invece la situazione nel territorio svizzero, dove fin da subito si ottenne la concessione per l'allacciamento Mendrisio – Valmorea, con il Decreto Federale del 28 giugno 1906.

Le lentezze che si ebbero sul fronte italiano portarono però a un ritardo delle procedure anche in lato svizzero. Solo nel 1913 si ebbe l'approvazione della parte tecnico ingegneristica della nuova linea, portando ben presto chi di dovere a fare i conti con due problematiche a cui non si era dato peso in precedenza.

La prima riguardava i problemi di esercizio in quanto si era lontani dall'utilizzo di automotrici termiche o funzionanti con altro combustibile che non fosse carbone.

Il secondo problema, invece, era relativo al piano finanziario e agli introiti che ancora non erano stati considerati.

L'ingegnere Rusconi in risposta ai problemi sopra citati, parlò di una sola linea nella relazione dettagliata delle spese, considerando un'unica tratta come estensione dell'esistente impianto il cui capolinea si sarebbe però spostato nella città elvetica di Mendrisio.

Del prolungamento dell'infrastruttura dell'Olona si parlava ormai da tanti anni ma quando si capì che le parole stavano divenendo realtà, l'attenzione e l'intessere crebbe in modo esponenziale.

Dopo l'approvazione del 1913 i lavori iniziarono immediatamente, nel 1915 i binari giunsero in Val Morea, stazione che divenne sede della dogana; ma non venne conclusa, per decisioni militari i binari si arrestarono poco dopo di essa senza mai di fatto raggiungere il confine.

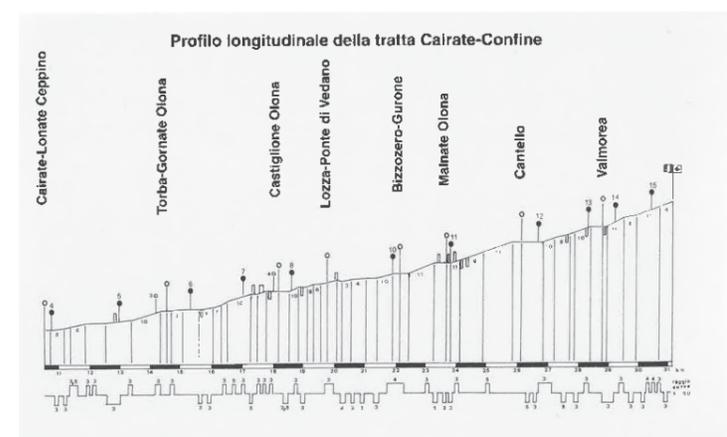


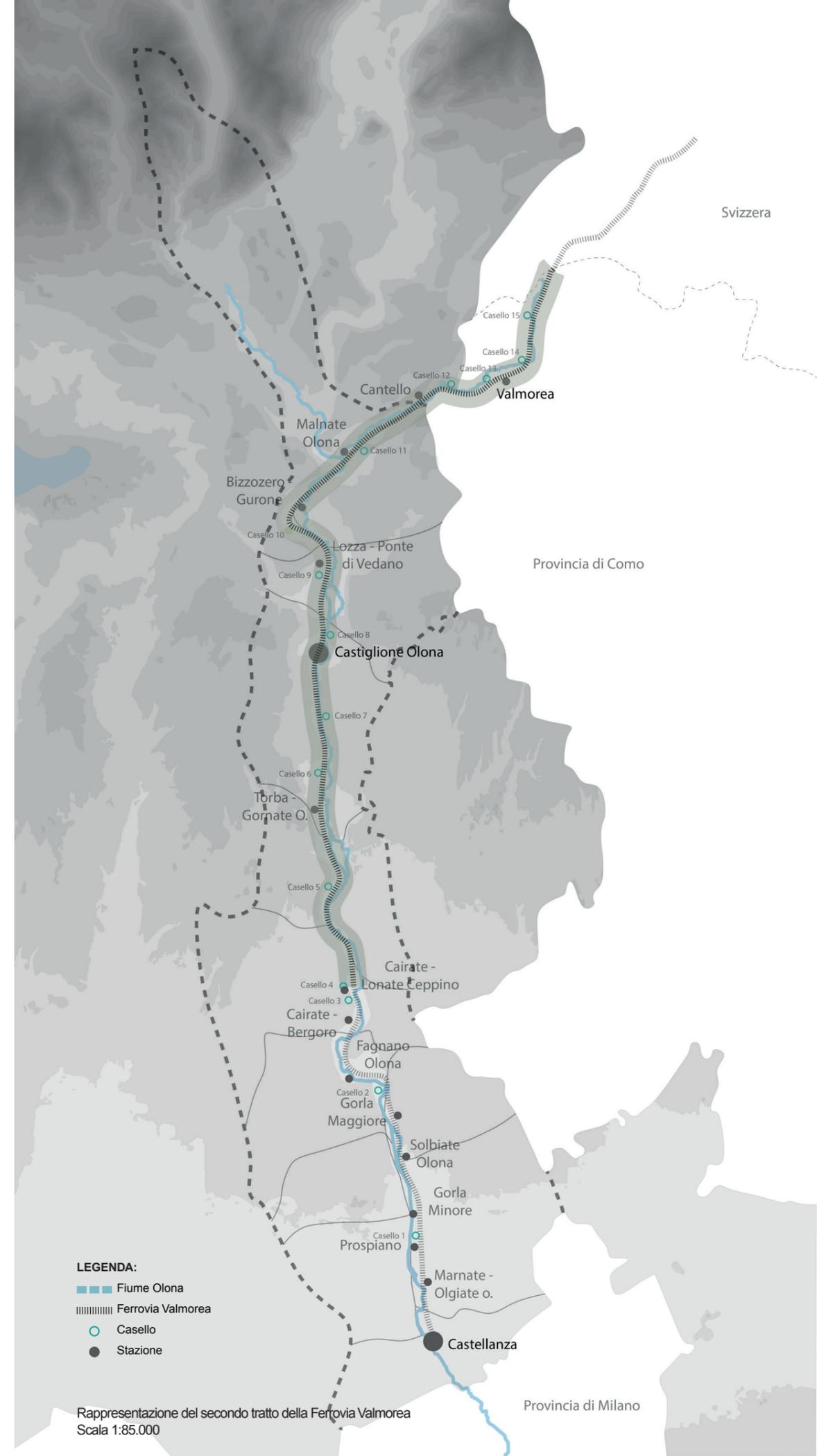
Fig.9: Profilo longitudinale della tratta Cairate - Confine

Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio. Paolo Ladavas e Fabio Montesana, Desenzano del Garda, Editoriale del Garda, 2001.

Il 24 maggio 1915 l'Italia entra ufficialmente in guerra e nel medesimo anno si inaugura questo secondo tronco, non ultimato come da progetto, che entrerà ufficialmente in servizio nel 1916, la sua apertura al servizio regolare avvenne per tappe: dapprima venne attivato l'impiego merci, solo per utilizzo della Ferrovia Nord. Nel 1917 anche questo tronco venne sub-concesso alla società Ferrovie Nord dalla Società Novara Seregno come avvenne per il precedente.



Fig.10: Cancelli doganali di Santa Margherita di Stabio prima che fosse riattivata la tratta italiana. Foto di Massimo Dones
 Fonte: *Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.* Paolo Ladavas e Fabio Mentisana, Desenzano del Garda, Editoriale del Garda, 2001.



TERZA TRATTA

Gli anni Venti in Italia coincidono con l'avvento del fascismo preannunciando tempi difficili, anche per la ferrovia che risentì della crisi postbellica che aveva comportato una drastica riduzione del servizio merci.

Le iniziative svizzere a favore del completamento del collegamento Valmorea si ebbero solo dopo la fine della Prima Guerra Mondiale; quando l'ingegnere Ettore Brenni di Mendrisio si prese carico della causa per il completamento della nota "ferrovia internazionale".

Dopo diverse avversità per quanto concerne la ricerca dei finanziamenti, la stesura e presentazione delle relazioni ufficiali per l'approvazione; il 27 maggio 1926, 10 anni dopo l'approvazione, vi fu l'allacciamento tra i due tronchi, italiano e svizzero.

La cerimonia inaugurale della Ferrovia internazionale Castellanza – Mendrisio avvenne il 27 luglio 1926, ed il servizio venne attivato il giorno seguente con apposita convenzione stipulata tra i Governi italiano ed elvetico.

L'esercizio del breve tratto svizzero venne affidato all'Amministrazione Ferrovia Italiana e per questo alla Ferrovia Nord Milano.

Fin dal principio la nuova linea non ebbe il supporto governativo, né italiano e né svizzero, arrivando al punto che attraverso l'ordine n.17 del 22 maggio 1928 le Ferrovie Nord informavano il personale che dal 31 maggio si decretava l'interruzione del transito internazionale Valmorea – Stabio, rimasto aperto solo per circa un anno, ma realmente operativo neanche un giorno.

Il Regio Decreto n°1387 del 13 giugno 1935 approvava la convenzione depositata l'11 maggio dello stesso anno, con la quale si conferiva la sospensione del servizio ferroviario dalla stazione di Valmorea al Confine di stato. Con la limitazione del tracciato, il traffico viaggiatori e merci italiano subì un ulteriore crollo, così che le industrie optarono per il trasporto delle materie prime e dei prodotti finiti mediante l'utilizzo di autocarri.

Fin dal principio la nuova linea non ebbe il supporto

governativo, né italiano e né svizzero, arrivando al punto che attraverso l'ordine n.17 del 22 maggio 1928 le Ferrovie Nord informavano il personale che dal 31 maggio si decretava l'interruzione del transito internazionale Valmorea – Stabio, rimasto aperto solo per circa un anno, ma realmente operativo neanche un giorno. Il Regio Decreto n°1387 del 13 giugno 1935 approvava la convenzione depositata l'11 maggio dello stesso anno, con la quale si conferiva la sospensione del servizio ferroviario dalla stazione di Valmorea al Confine di stato.

Con la limitazione del tracciato, il traffico viaggiatori e merci italiano subì un ulteriore crollo, così che le industrie optarono per il trasporto delle materie prime e dei prodotti finiti mediante l'utilizzo di autocarri.

La sospensione del servizio vide due differenti evoluzioni: in Svizzera la sospensione non comportò la rimozione del binario, ma favorì il suo degrado e l'abbandono, anche se dal 1932 molte furono le richieste di ripristino dell'attività, che però non portarono a nulla.

Sul fronte italiano invece, in un clima di euforia, per ciò che stava accadendo in ambito politico, il servizio della ferrovia venne integrato maggiormente nella tratta funzionante Castellanza - Valmorea, registrando un numero elevato di viaggiatori. La tratta meno frequentata restava comunque il tronco Cairate - Valmorea, per la quale nel 1938 si sospese il servizio viaggiatori, portando a definire a titolo provvisorio il capolinea del servizio merci alla stazione di Malnate Olona.

Dopo pochi mesi nello stesso anno si annunciava la decisione definitiva di sospensione dell'intero servizio della tratta Malnate Olona - Valmorea.

Questa chiusura definitiva dell'attività ferroviaria di quella parte del tracciato portò il capolinea ad arretrare alla stazione di Castiglione Olona, che assicurava un discreto movimento del servizio merci, in quanto era ed ancor oggi sede di importanti stabilimenti chimici.

Per quanto riguardava il servizio viaggiatori, invece, il capolinea venne ristabilito alla stazione di Cairate – Lonate Ceppino, sede originaria del capolinea della

Ferrovia della Valle Olona.

Con l'inizio delle ostilità politiche del 1940, anche per le Ferrovie Nord Milano iniziarono a diminuire le materie prime per il funzionamento dei mezzi e questo portò a sviluppare importanti evoluzioni funzionali per le automotrici.

Con la Seconda Guerra Mondiale la linea divenne solo un lungo binario morto, delimitato al confine per mezzo di una cancellata metallica e la costante supervisione da parte di militari elvetici.

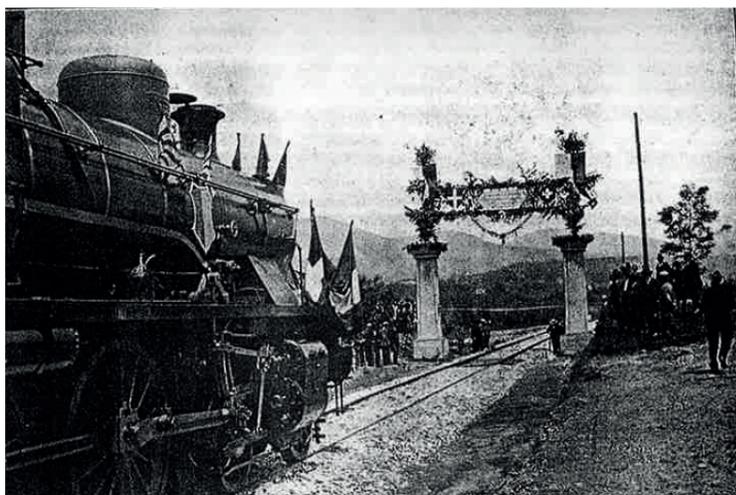


Fig.11:Foto davanti l'arco di trionfo al confine svizzero, dalla Prealpina illustrata. Foto di Morbelli.

Fonte: *Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.* Paolo Ladavas e Fabio Mentisana, Desenzano del Garda, Editoriale del Garda, 2001.



1.3.4

CESSAZIONE ATTIVITÀ

Al termine di questo lungo periodo buio, si dovettero avviare le opere di ricostruzione. In Valle Olona dopo la fine della Seconda Guerra mondiale, le principali attività ripresero lentamente la produzione, ma molte di queste decisero di non riattivare gli impianti, anche a causa della comparsa delle fibre sintetiche che tolsero una buona parte di mercato all'industria dei cotonifici di cui la Valle era uno dei principali poli industriali.

La motorizzazione di massa che caratterizzò gli anni '50 in Italia portò a decretare la fine di molte tranvie e ferrovie che si sviluppavano sul territorio, ad eccezione della linea risiedente in Valle Olona che invece, a fronte del forte movimento pendolare nel bacino rese il ripristino dei treni viaggiatori un progetto di pubblico servizio.

Effettuati gli studi per la riabilitazione su progetto del professore Aimone Jelmoni, la ferrovia continuò il suo operato ancora per poco, avviandosi lentamente al suo ufficiale declino.

Infatti, nel 1952 si decise di limitare il transito al solo servizio merci; con il passare del tempo i lavori di manutenzione si fecero sempre più radi ed il pessimo stato di manutenzione si fece sempre più evidente, fino a quando la diffusione della trazione elettrica comportò l'accantonamento dei vecchi mezzi a vapore.

La storia della linea internazionale del Nord Italia, nata all'interno di un fondovalle scarsamente popolato ed ancora oggi poco conosciuta divenne alla fine la storia di un raccordo industriale per merci, infatti, la vita della ferrovia e di due grandi cartiere, la "Vita Mayer" e la "Cartiera di Cairate", negli anni Sessanta corsero sempre di più come due linee parallele, dato che quest'ultime erano le uniche utilizzatrici dell'infrastruttura.

Quando le difficoltà economiche presero il sopravvento sulle cartiere, nel contesto di crisi che investì il territorio italiano nella seconda metà degli anni '70, queste complicazioni provocarono la chiusura delle uniche utilizzatrici della ferrovia.

Il 16 luglio 1977 transitò l'ultimo convoglio della tratta internazionale Castellanza – Mendrisio decretando l'interruzione del servizio anche per quanto concerne il trasporto industriale, che portò alla scomparsa della linea, sebbene i binari non fossero mai stati disarmati, furono sommersi dal tempo.

I sogni sul ripristino del tracciato e sul traffico di merci internazionale non furono mai del tutto abbandonati. Tutt'ora riappaiono svariate proposte di rinascita, che restano però solo mere utopie.



Fig.12: Il treno inaugurale in arrivo alla stazione Valmorea. Foto di Massimo Dones
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio. Paolo Ladavas e Fabio Mentasana, Desenzano del Garda, Editoriale del Garda, 2001.

1.4 L'EVOLUZIONE DEL RECUPERO DELLA FERROVIA VALMOREA

1.4.1

PROPOSTE DI RECUPERO DELLA FERROVIA VALMOREA

In Italia sono oltre 5000 chilometri le linee infrastrutturali dismesse sulle quali è iniziato un lento e graduale processo di ripristino delle medesime.

Gli interventi si concentrano dapprima sul recupero dei sedimi abbandonati e successivamente si lavora alla riqualificazione di stazioni, caselli, ponti e gallerie, che, in mancanza di manutenzione e conservazione, versano in notevole stato di degrado.

Il lavoro di ricostruzione in corso sull'architettura ferroviaria mira a preservarne la ricchezza e l'integrità spaziale come traccia del racconto di una storia e di un luogo. Questo avviene anche grazie all'attribuzione di nuove e diverse destinazioni d'uso che mettono in atto la conservazione del bene come grande progetto culturale.

La FIAB², acronimo di "Federazione Nazionale Ambientale e Bicicletta", da anni è impegnata con l'obiettivo del recupero totale dell'immenso patrimonio ferroviario distribuito sul territorio italiano.

Il suo operato punta al ripristino delle funzioni originarie e, qualora ciò non fosse possibile, mira a favore di una percorribilità non motorizzata.

L'operazione di riconversione delle infrastrutture ferroviarie dismesse in piste ciclopedonali favorisce innanzitutto lo stato di conservazione del sedime che, una volta trasformato, seppur in modo temporaneo, in una ciclovia, permette di prevenire la cattiva manutenzione e l'uso improprio dell'infrastruttura stessa, garantendo nel tempo la sua integrità e la sua conservazione.

Transitare lungo il percorso ferroviario che si snoda tra stazioni, caselli, ponti e gallerie, a seguito della trasformazione del sedime in ciclovia, permette, inoltre, di ripercorrere il processo storico che ha portato alla sua trasformazione, restituendo quindi la memoria storica dei luoghi.

Altri vantaggi da considerare in merito alla riqualificazione

² FIAB: è organizzazione ambientalista, con la finalità principale di diffusione della mobilità il cui mezzo sia la bicicletta, un trasporto ecologico, in un quadro che promuova la riqualificazione dell'ambiente, che sia urbano o extraurbano.

Oltre ad avere un forte radicamento sul territorio italiano, FIAB è membro di ECF – European Cyclists' Federation.

ed alla riconversione dei sedimi ferroviari dismessi riguardano, infine, gli aspetti socio-economici e turistici, nonché i benefici salutari dei fruitori della pista.

Sul recupero della infrastruttura ferroviaria della Valmorea, come filo conduttore di una greenway, estesa dalle zone limitrofe milanesi fino al confine di stato svizzero, si sono interfacciate due ipotesi a volte in conflitto: da una parte la riattivazione ferroviaria, dall'altra il riuso ciclistico. Le ipotesi sono sostenute con estrema convinzione da associazioni e da istituzioni locali.

Per un breve periodo si sviluppò l'idea che la ferrovia potesse riprendere il suo operato originario. Nel 1990, infatti, venne redatto il progetto di recupero della Ferrovia Valmorea ad uso turistico.

Nel 1995 venne riaperta la prima tratta dal confine di Stato al casello 14 di Rodero. Visto il grande fervore e la risonanza mediatica che ebbe la manifestazione, si fece strada l'idea di proseguire con la riapertura.

Nel 1996 si ebbe il ripristino turistico anche della successiva tratta: Rodero – Valmorea, nel 2003 venne riattivato anche il tracciato da Valmorea a Cantello, ed infine, nel 2007 si riaprì il tratto di collegamento da Cantello a Malnate.

Grazie al nuovo progetto ogni tratta veniva ricostruita e risanata per consentire il corretto funzionamento del tracciato e delle locomotive che, per l'occasione, erano treni speciali che viaggiavano periodicamente seguendo un'apposita calendarizzazione.

Nel 2015 vi fu la definitiva decisione di interrompere il servizio a causa dei lavori per la costruzione dello stadio di Arcisate e della pedemontana.

L'Associazione degli Amici della Ferrovia Valmorea³ lotta ancora per il raggiungimento dei propri obiettivi, ossia vedere un giorno la Ferrovia Valmorea di nuovo in esercizio.

³ L'Associazione Amici della Ferrovia Valmorea, nasce nel 2004, è composto da un gruppo di volontari, appassionati della storica Ferrovia Valmorea. I fini del loro operato sono: Divulgare la conoscenza della storia, delle tradizioni, dei documenti legati alla ferrovia Valmorea; Promuovere il recupero funzionale, l'esercizio turistico e la tutela ambientale e storica della linea.



Fig.13: Casello n°14 della Ferrovia Valmorea
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.14: Ferrovia turistica della Valmorea, riapertura.
Fonte: <https://valleolona.com/>



Fig.15: Stabilimento ex Cottonificio Cantori
Fonte: <https://giteinlombardia.it/ciclabile-della-valle-dello-lona/>

1.4.2

GREENWAY IN VALLE OLONA: DA CASTELLANZA A CASTIGLIONE OLONA

Ad oggi ciò che rimane dell'ex Ferrovia Valmorea nella tratta Castellanza - Castiglione Olona è lo scheletro di una vecchia infrastruttura ferroviaria inattiva che versa in condizioni di degrado.

Grazie allo sviluppo del progetto della ciclovia dell'Olona, che si affianca ad essa estendendosi per circa 20 chilometri, è stato possibile conservare alcuni tratti dell'ex impianto.

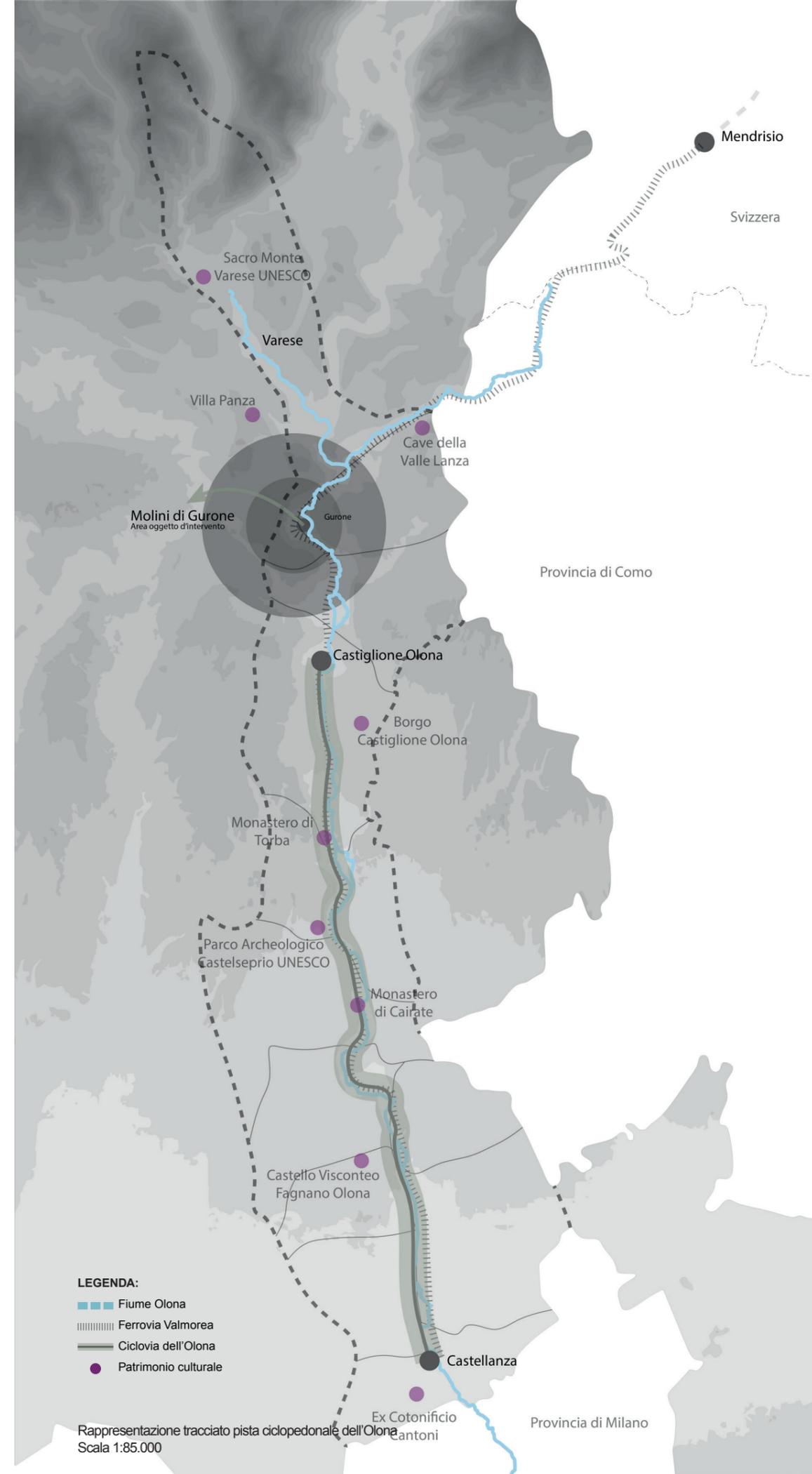
La pista ciclopedonale ha origine da Castellanza ed il suo percorso si estende in valle raggiungendo il vecchio Casello - Scalo Merci della Ferrovia Valmorea nel comune di Castiglione Olona.

La ciclovia si snoda, dunque, interamente lungo la Valle Olona, costeggiano il tracciato dell'ex Ferrovia della Valmorea, il fiume Olona ed intercettando nel suo percorso i seguenti Comuni: Castiglione Olona, Gornate Olona, Castelseprio, Lonate Ceppino, Cairate, Fagnano Olona, Solbiate Olona, Gorla Maggiore, Gorla Minore, Olgiate Olona, Marnate, ed, infine, Castellanza.

La scelta di affiancamento della pista all'ex binario ferroviario ha determinato la riscoperta e la memoria del tracciato. Questa operazione ha riportato alla luce i binari interrati nel rispetto del sedime originario senza occupare lo stesso e consentendo la valorizzazione del patrimonio naturalistico della Valle.

Il tracciato, infatti, non intercetta solo la storica ferrovia, ma anche l'enorme patrimonio storico - culturale ed artistico presente nel territorio tra cui: il Monastero di Santa Maria Assunta a Cairate, il Parco Archeologico di Castelseprio - patrimonio UNESCO, il Monastero di Torba a Gornate Olona - primo bene FAI e patrimonio UNESCO.

La Valle dell'Olona da sempre potrebbe godere di una grande affluenza turistica date le importanti risorse di cui dispone. Oltre al patrimonio artistico - culturale



accennato in precedenza vi sono piccoli grandi tesori: piccoli se considerati singolarmente, ma capaci di assumere un grande valore se uniti da un filo conduttore, che è il fiume Olona.

Questo perché la valle, grazie all'industrializzazione delle sponde dell'Olona, dispone di una grande ricchezza: l'architettura industriale.

Durante la percorribilità della ciclovia, in bicicletta o a piedi, si possono osservare: il Cottonificio Cantoni (Castellanza), ad oggi sede dell'Università LIUC, il Mulino del Sasso (Olgiate Olona), il Cottonificio Ponti (Solbiate Olona), il Cottonificio Candiani (Fagnano Olona) e le importanti cartiere come la Cartiera Vita-Mayer (Cairate) la cui storia è sempre stata legata all'evoluzione ferroviaria ed industriale dell'area.

Questi sono solo alcuni dei luoghi di risalto della valle: la ciclopedonale è il filo rosso in grado di unire tutto il patrimonio culturale del territorio ed è il mezzo con cui raccontare, toccare e osservarne una parte.



Fig.16: Monastero di Torba
Fonte: <https://fondoambiente.it/>



Fig.17: Parco Archeologico Castelseprio UNESCO
Fonte: <http://www.antiquarium.castelseprio.beniculturali.it/>



Fig.18: Stabilimento ex Cottonificio Cantoni
Fonte: Casamatta <https://casamattagurone.wordpress.com>

1.5 IL PANORAMA DEI MULINI DI GURONE



1.5.1

UN BORGO: TRA NATURA E RESILIENZA

La località di Molini di Gurone si inserisce all'interno di un contesto molto particolare e articolato, siamo a Gurone, una frazione di Malnate, in provincia di Varese. L'area si costituisce come un nucleo che fondava la propria esistenza sulla forza dell'acqua dell'Olona, di cui usufruiva per l'azionamento dei mulini residenti al suo interno.

Il borgo, risalente al 1200 circa, rappresenta un'eccezionalità in quanto situato all'interno di una vasca di laminazione, protetto dalle piene del corso d'acqua, per mezzo di un terrapieno di forma circolare.

Le sue peculiarità sono date, inoltre, in quanto sede di un casello e di una delle stazioni che costituivano la Ferrovia Valmorea; nell'area, quei vecchi binari si presentano oggi, in notevole stato di abbandono e in alcuni punti sono stati rimossi.

Il fiume Olona, seppur per molte generazioni è stato fonte di lavoro e ricchezza, ha anche causato molte delle alluvioni che nei secoli hanno colpito le zone industriali della bassa Valle Olona.

Sul finire del '900 e dopo le alluvioni del 13 settembre 1995 e del novembre 2002, divenne indispensabile procedere con la costruzione di una diga destinata a proteggere dalle esondazioni i territori più a valle.

Dopo varie situazioni sfavorevoli, nel 2010 entrò in funzione una diga a vasche di laminazione in grado di regolare la portata del fiume e salvaguardare i comuni interessati. La costruzione della diga ha portato alla rimozione di una parte della storia della Ferrovia Valmorea, in quanto i binari situati in prossimità della nuova costruzione vennero rimossi.

L'area di laminazione di Ponte Gurone rientra nelle opere di laminazione controllata, previste dallo Studio di fattibilità idraulica del fiume Olona dell'Autorità di Bacino del fiume Po (2004), per la valle Lambro - Seveso - Olona, che ha previsto quattro invasi per la laminazione delle piene del fiume.



Il bacino di espansione realizzato nella località di Molino di Ponte Gurone è il primo ad essere stato realizzato. L'opera è un esempio di cassa di espansione "in linea", formata da uno sbarramento alto mediamente 16 m, realizzato in calcestruzzo e ricoperto da rinfianchi di materiali sciolti a monte e a valle opportunamente sagomati. Lo sbarramento è collegato a due diaframmi in cemento armato su entrambe le sponde che hanno la funzione di limitare i processi di infiltrazione ad invaso pieno. All'interno della struttura muraria sono collocati un cunicolo a monte e uno a valle di raccolta dei drenaggi, nonché di ispezione.⁴

Le sue dimensioni sono tali che l'opera è stata iscritta nel Registro Nazionale Dighe, quindi, pur essendo un bacino di laminazione, è di fatto una diga e, dunque soggetta a tutte le procedure di verifica, controllo e gestione tipiche per questi manufatti.

La regolazione dello sbarramento è garantita da un sistema elettromeccanico gestito da un software che, basandosi sulle letture strumentali di ingresso e di restituzione, ne determina il grado di apertura.

⁴ AIPo, Le aree di laminazione in esercizio di AIPo, i bacini di Ponte Gurone sull'Olona a Malnate (VA) e sull'Arno a Gallarate (VA), pubblicazione Solaro, marzo 2014

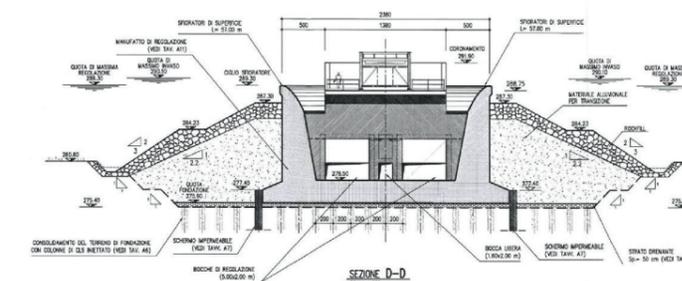


Fig.20:Sezioni longitudinali dello sbarramento in corrispondenza del manufatto di regolazione
Fonte: FCEM - Relazione PIANO EMERGENZA DIGA – PED di Regione Lombardia

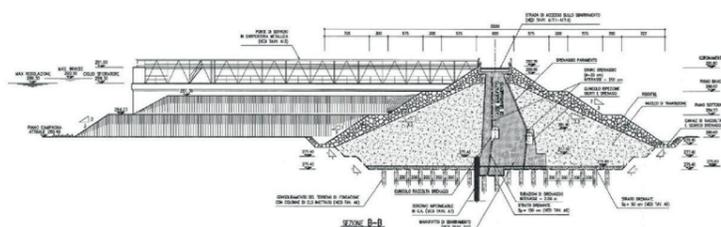


Fig.21:Sezioni trasversale dello sbarramento in corrispondenza del manufatto di regolazione
Fonte: FCEM - Relazione PIANO EMERGENZA DIGA – PED di Regione Lombardia

la conservazione del paesaggio; infatti, in condizioni di magra l'area della vasca rimane completamente accessibile.

Il disegno della nuova struttura avrebbe però causato l'allagamento periodico della frazione Mulini di Gurone, rendendo inagibili di fatto le abitazioni la necessità era dunque il trasferimento dei nuclei familiari che vi abitavano, in un luogo più sicuro.

Lo spostamento in un altro luogo non era una delle possibili opzioni, in quanto quest'ultimi non avevano l'intenzione di abbandonare le proprie case ed i loro ricordi.

Ciò ha comportato una modifica necessaria al progetto iniziale e quindi, la realizzazione di una diga in terrapieno intorno al nucleo.

Questo manufatto è il cosiddetto "anello di Gurone"; un rilevato arginale, presidiato da un impianto di sollevamento idrico, che ha lo scopo di proteggere i Mulini di Gurone e la storia che questo luogo custodisce.

Il patrimonio culturale racchiuso tra queste mura ha un valore enorme: i primi documenti relativi ai Mulini risalgono al 1608 anno in cui venne registrato, per il Consorzio del Fiume Olona, per conto dell'Ingegnere Barca, un Molino di proprietà dei conti Bizzozzero. Nel 1772, il Catasto del Consorzio del Fiume Olona registrava un molino doppio di proprietà di Gaspare Bizzozzero.⁵

Il molino, fu poi sdoppiato e venne aggiunta una seconda ruota impiegata come motore per un torchio d'olio.⁶

Ad oggi, ciò che il patrimonio culturale risiedente all'interno di questo anello consiste nella falegnameria e la segheria, da considerarsi uniche in Lombardia, in quanto tuttora funzionanti con la sola forza dell'acqua.

⁵ La mostra sui Mulini di Gurone. Biblioteca di Malnate, febbraio 1987.

⁶ I mulini di Gurone: tra passato e presente, Legambiente Varese, presentazione mostra presente all'interno del casello n.10 Bizzozzero – Gurone.



Fig.22:Mulini di Gurone durante la piena
Fonte: <https://www.varesenews.it/>



Fig.23:Diga di Gurone
Fonte: <https://www.varesenews.it/>



Fig.24:Mulini di Gurone
Fonte: <https://www.varesenews.it/>

1.5.2

MULINI DI GURONE COME LUOGO IDENTITARIO

La frazione di Mulini di Gurone è divenuta negli anni un laboratorio a cielo aperto mediante lo sviluppo di nuove attività e collaborazioni che hanno coinvolto associazioni, enti ed università della zona come il Politecnico di Milano.

Finalità del progetto è volta al recupero di un angolo in cui natura e insediamenti umani collaborano al fine di dare una nuova vita ad un luogo molto suggestivo.

LEGAMBIENTE VARESE

L'associazione Legambiente di Varese è da sempre impegnata nel progetto di rigenerazione del borgo.

La storia del progetto l'Anello sul fiume ha il suo punto di partenza dall'esempio di cittadinanza attiva, che lotta per la salvaguardia del luogo che chiama casa.

Il principio è la costituzione in parte civile di Legambiente nel 1994 contro la Verniciatura Negri, la quale inquinava le falde acquifere nel comune di Malnate. La causa venne vinta da Legambiente, alla quale venne riconosciuto un indennizzo economico, così come a tutti i cittadini che avevano lottato per la causa.

Gli ambientalisti malnatesi decisero fin da subito che l'indennizzo sarebbe stato investito sul territorio locale, concentrandosi in particolare sui Mulini di Gurone, ai quali venne riconosciuto un grande valore culturale.

I Circoli di Legambiente di Varese e Malnate, in collaborazione con diversi enti tra cui la Provincia di Varese, il Comune di Malnate e Fondazione Cariplo, hanno dato vita a differenti progetti.

Tra i quali vanno citati l'osservatorio sul fiume e l'iniziativa di salvaguardia permanente del vecchio casello n°10 della Ferrovia Valmorea, divenuto poi sede di Legambiente Varese.

Successivamente sono stati istituiti campi scuola per ragazzi, i quali mediante il recupero dei mulini ubicati nel cuore del borgo, hanno permesso la costruzione di un forno per il pane e la nascita di un orto sociale;

quest'ultime iniziative promosse dal collettivo Casamatta. L'anello sul fiume è il nome del progetto delineato da Legambiente e nasce grazie al finanziamento di Fondazione Cariplo che ha istituito un bando dedicato alle azioni di cura del territorio e alla volontà di creare delle iniziative fondate sulla partecipazione e la formazione del prossimo.

La comunità entro il terrapieno è la prima voce attiva di questo progetto. Questo procedimento ha portato alla condivisione delle competenze tra l'ente pubblico e gli abitanti locali, donando un nuovo valore ambientale, sociale ed economico al luogo.

Tra le attività promosse dal progetto "l'anello sul fiume" figura anche la volontà di creare una mappa dei percorsi ciclopeditoni, con la programmazione di eventi di mobilità dolce.

Dopo aver innescato una serie di processi in grado di far ripartire la piccola comunità dei Mulini di Gurone, Legambiente ha dichiarato, nel 2018 la fine del progetto.



Fig.25: Casello n.10
Fonte: L'anello sul fiume <http://lanellosulfiume.blogspot.com/>



Fig.26: Museo delle arti e dei mestieri antichi
Fonte: Casamatta <https://casamattagurone.wordpress.com>



Fig.27: Falegnameria
Fonte: Casamatta <https://casamattagurone.wordpress.com>

CASAMATTA

Legambiente mediante il coinvolgimento di differenti associazioni tra cui: Radici⁷ e Re-sign Srl⁸, collabora al progetto Casamatta.

Quest'ultimo vuole essere un luogo di riferimento ed un pratico e reale esempio di economia circolare.

Nel 2019 il progetto Casamatta, grazie ai finanziamenti di Fondazione Cariplo e Fondazione Comunitaria del Varesotto, ha permesso la continuazione e l'ampliamento degli orizzonti sviluppati dal progetto "l'anello sul fiume". Il focus di questa iniziativa mira alla ristrutturazione di una parte del borgo in evidente stato di abbandono, al fine di creare un centro di volontariato ambientale.

La ristrutturazione è avvenuta per mezzo dell'utilizzo di materiali di scarto forniti da aziende del territorio.

Obiettivo di questo nuovo piano è lo sviluppo delle condizioni necessarie atte all'attivazione di iniziative ed eventi a carattere culturale, formativo, sociale e artigianale, il cui scopo risiede nello sviluppo di laboratori. Il punto chiave del progetto è la valorizzazione del borgo come luogo di incontro, aggregazione e promozione socioculturale.

Il progetto è stato in grado, fino ad oggi, di dar vita a un forno comune, ad un orto di cui prendersi cura e di trasformare quella che era una stalla in un bed and breakfast.

Al di fuori del terrapieno vi è il casello n.10 della Ferrovia Valmorea, al cui interno la Biblioteca di Malnate ha favorito l'allestimento di una mostra che attraverso le immagini restituisce la storia di un luogo nel quale natura e resilienza sono divenuti i caratteri fondativi comunitari.

⁷ **Re-sign SB Srl**: è una piattaforma digitale che fonda il proprio pensiero sul riuso, sulla gestione e la sulla valorizzazione di risorse materiali il cui destino è divenire rifiuti. L'obiettivo a cui mira il progetto è la creazione, la gestione e lo sviluppo di una piattaforma digitale che, permetta lo scambio di idee.

⁸ **Radici**: è un'associazione di promozione sociale attiva, nata a Varese dal 2014, la cui finalità è la necessità di reinventare il rapporto con il territorio. Radici collabora con diverse realtà del terzo settore come Legambiente e con enti pubblici, tra cui differenti scuole e comuni della provincia.



Fig.28:Forno comune
Fonte: Casamatta <https://casamattagurone.wordpress.com>

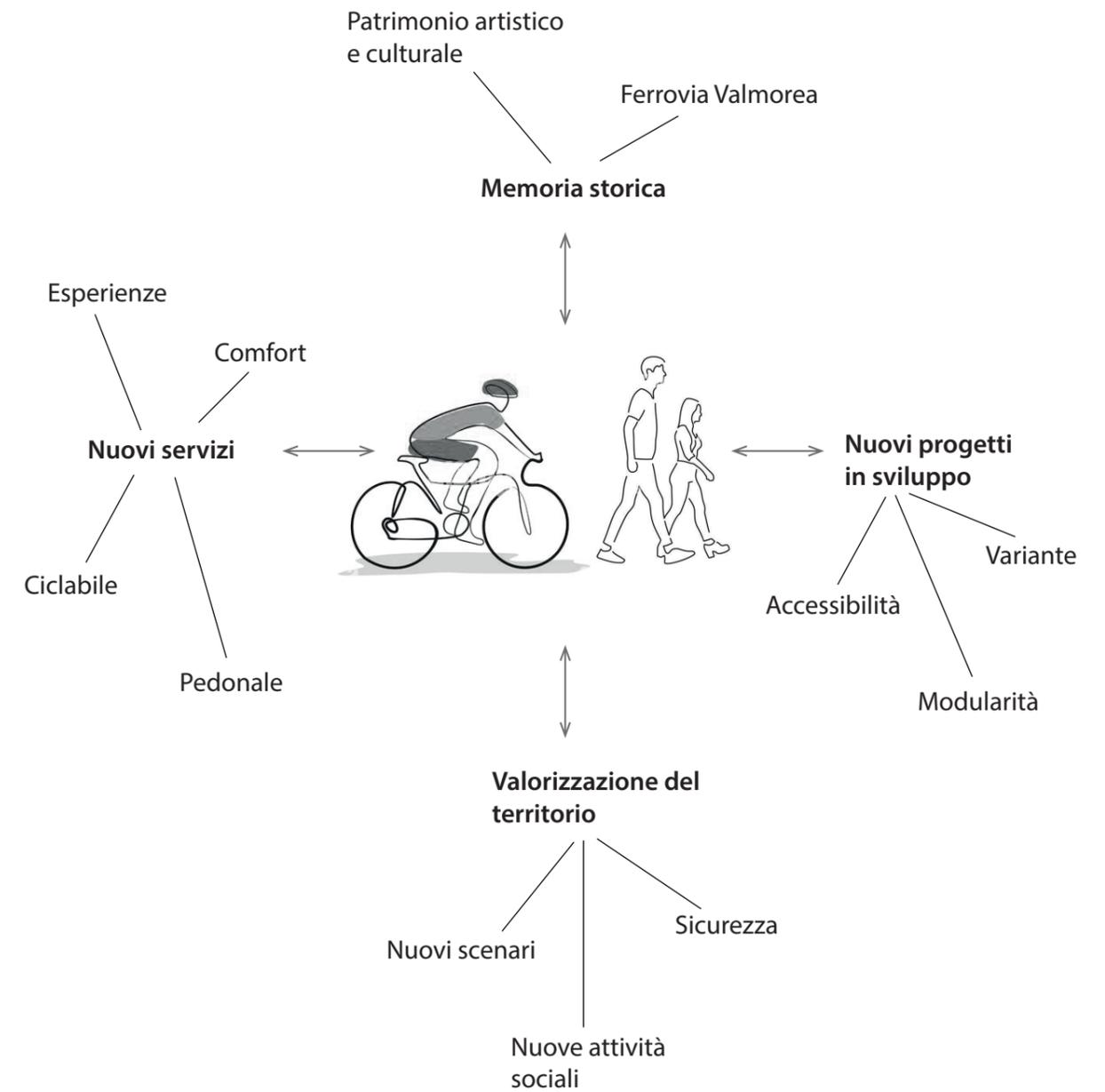


Fig.29:Orto sociale
Fonte: Casamatta <https://casamattagurone.wordpress.com>



Fig.30:Soggiorno ex stalla
Fonte: Casamatta <https://casamattagurone.wordpress.com>

02



Progetto di una pista ciclopedonale sopraelevata in località Mulini di Gurone

2.1 INTRODUZIONE: PROGETTO “TI CICLO VIA”

L'analisi sviluppata nel capitolo precedente ha permesso di individuare le componenti chiave che consentono al tessuto territoriale in oggetto di contraddistinguersi. Come anticipato in precedenza molte sono le proposte e i progetti che puntano al completamento dell'esistente pista ciclopedonale, il cui tracciato, ad oggi, comprende il percorso tra Castellanza e Castiglione Olona: una di queste proposte è il progetto “TI CICLO VIA”.

Il progetto “TI CICLO VIA” è promosso dal movimento MoveOn, che, grazie ai contributi di Fondazione Cariplo, del Programma Interreg Italia–Svizzera e di Regione Lombardia, mira ad implementare e sperimentare una serie di azioni nel territorio del Corridoio Ciclistico Regionale della Valle Olona.⁹

Il progetto di riqualificazione del tracciato infrastrutturale della Valle Olona vuole essere, un esempio di sperimentazione di un modello che a sua volta possa essere replicato e riproposto in altri territori: un vero e proprio laboratorio di mobilità leggera.

Il progetto “TI CICLO VIA”, che tratta il completamento della pista ciclopedonale della Valle Olona, prevede il proseguimento della pista, che oggi ha origine a Castellanza, verso il confine svizzero e tiene conto, oltreché del proprio linguaggio architettonico, anche degli aspetti relativi ad un modello gestionale complessivo ripetibile.

Il progetto fu avviato nel 2018 ma in seguito, a causa di motivi tecnici ed amministrativi, ha subito delle interruzioni.

Una volta riproposta l'idea progettuale è stato necessario rielaborare il percorso del tracciato originario.

La rielaborazione del progetto venne sostanzialmente prevista a causa di due fattori principali: il primo, indotto da Ferrovie Nord, proprietaria del sedime ferroviario analizzato, riguardava il fatto che il sedime ferroviario della Valmorea non risultasse ancora formalmente dismesso. Ciò ha comportato, pertanto, l'analisi e lo studio di altri percorsi alternativi (per questo nasce la volontà di riattivazione della linea da parte dell'associazioni della Ferrovia Valmorea). Il secondo fattore è indotto

⁹ PDF: TICICLOVIA - Piano-Azione, 26 Febbraio 2021

dalla presenza di un elettrodotto passante al di sotto del sedime della Ferrovia Valmorea, cosa che ha ulteriormente compromesso la fattibilità del progetto. La riprogettazione del percorso ciclistico ha delineato, pertanto, lo spostamento della pista più a Ovest, intercettando nel suo itinerario i comuni di Varese, Malnate, Cantello, Gaggiolo per, infine, innestarsi nel territorio di Stabio, in Svizzera.

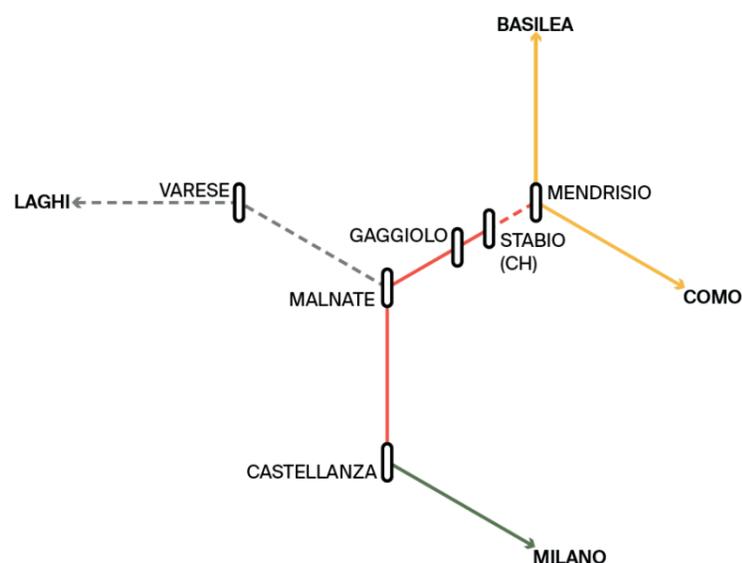


Fig.31: Il progetto di infrastrutturazione ciclopedonale previsto da TI CICLO VIA (tratto rosso) per il tratto italiano risulta essere il completamento della ciclovia dell'Olona che da Legnano porta a Milano (tratto verde), e attraverso Varese si collega con il sistema dei laghi di Varese, Comabbio, Monate e Maggiore, mentre nel tratto svizzero si collega presso Mendrisio alla rete ciclabile nazionale (Percorso Nord-Sud da Basilea a Chiasso, tratto giallo).
Fonte: Progetto TI CICLO VIA

La pista dovrebbe essere completata entro il 2024, per un importo complessivo di 4 milioni di euro; sarà dotata di servizi per i cicloturisti e verranno installati 7 kit, comprendenti: defibrillatori, colonne per autoriparazione biciclette e colonne per autoricarica e-bike. Il loro posizionamento sarà predisposto all'altezza dei Mulini di Gurone a Malnate, al Monastero di Torba a Gornate Olona, dall'Associazione Calimali a Fagnano Olona, al Mulino del Trotto a Cagno ed in località ancora da definire nei comuni di Lozza, Castiglione Olona e Castellanza. Per sviluppare in modo concreto gli obiettivi del piano la strategia d'intervento del progetto "TI CICLO VIA" mira

ad essere condivisa, tra i diversi soggetti coinvolti nel processo. Al fine di aumentare la mobilità sostenibile del territorio transfrontaliero, il progetto mira ad essere interscalare, ovvero cercherà di agire in prossimità dei punti di interscambio con altri mezzi ed, infine, vuole essere dinamico, mediante un'azione pratica dove i lavori più complessi verranno prima testati per un certo periodo di tempo, in forma più contenuta, e non completati da subito nella loro interezza.

Le strategie, dunque, agiranno sia secondo azioni mirate, come ad esempio l'incremento di dotazioni infrastrutturali, sia come azioni integrate, secondo un approccio multimodale al fine di ottenere maggiori benefici.

Il progetto definisce tre tematiche su cui si agirà in relazione alle strategie più conformi a quel dato tema, che sono studiate in relazione a tre ambiti principali: gli spostamenti "to work", "to fun" ed, infine, gli spostamenti "to school".

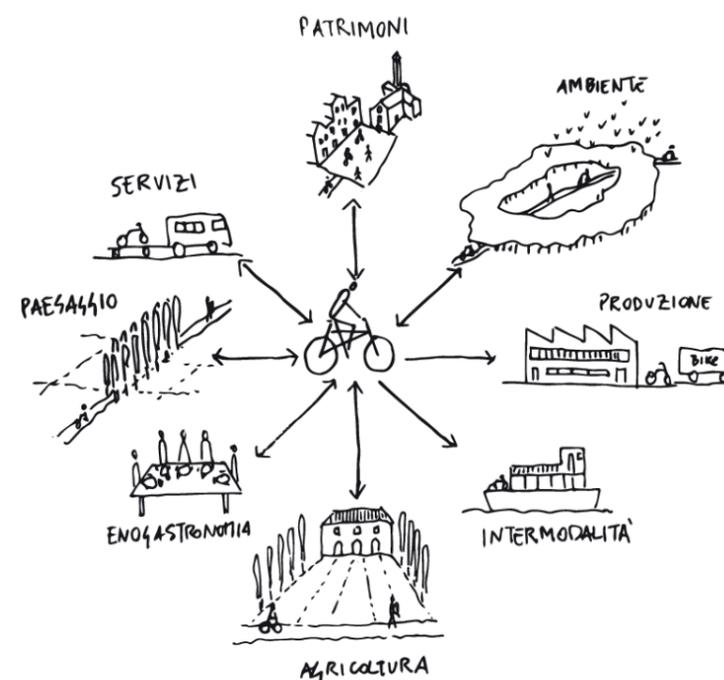


Fig.32: La bicicletta è un volano economico importante per le grandi e piccole imprese, per chi offre servizi e per il patrimonio di tutta la valle Olona
Fonte: VENTOlab

Per ognuna di esse verranno accoppiate tre aree tematiche di lavoro: le gambe, necessarie alla coordinazione del progetto, in modo che sia continuativo nel tempo, il cuore, che darà forma alla vision del progetto, nel quale verranno studiate le azioni migliori per gli spostamenti definiti dai tre scopi ed, infine, la testa, il cui processo sarà mirato a donare una chiave culturale al piano.¹⁰

Ciò che è interessante di questo progetto è il fatto che nasce con la principale volontà con cui nasceva nel 1904 la Ferrovia Valmorea, ovvero generare una “VIA” che si inserisca in quella rete che permetta un collegamento con il nord Europa.

Il tracciato sviluppato dal progetto “TI CICLO VIA” permette il collegamento ai percorsi promossi dalla Confederazione Elvetica identificato come “Percorso Nazionale 3 Basilea – Chiasso” che a sua volta intercetta la “Via Romea Francigena Londra – Roma”, denominata Eurovelo 5, inserendosi, dunque, all’interno di una rete intermodale ciclistica più ampia.

¹⁰ PDF: TICICLOVIA - Piano-Azione, 26 Febbraio 2021

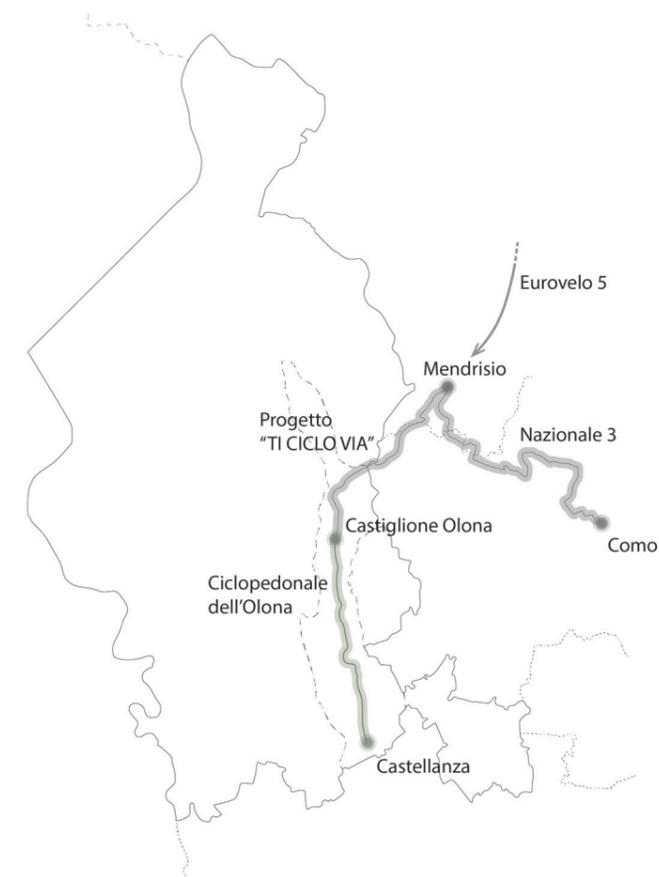


Fig.33: Infrastrutture ciclopedonali di collegamento all'Eurovelo 5

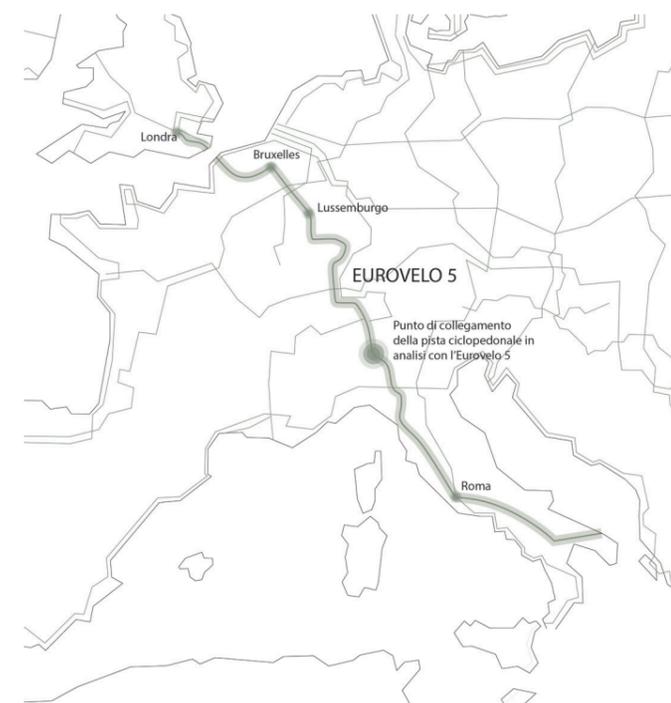


Fig.34: Corridoi europei Eurovelo in evidenza la Via Romea Francigena Londra - Roma
Fonte: Eurovelo

2.1.1

2.1.1 LOTTO 2

L'analisi del percorso promosso dall'intervento del progetto di "TI CICLO VIA" in località Mulini di Gurone risulta essere ancora in fase di elaborazione.

Il progetto preliminare prevedeva che l'estensione della pista dell'Olona a Gurone sviluppasse la sua percorrenza non più lungo il sedime della storica ferrovia come nel tratto precedente, abbandonando di fatto i propositi di recupero della memoria di quest'ultima. Giungendo, infatti, in prossimità della Diga di Gurone il tracciato avrebbe modificato il suo andamento, attraversando quest'ultima ed estendendosi parallelamente alla Tangenziale Est di Varese.

Questo nuovo itinerario non risulta in linea con gli obiettivi di riconversione del sedime in una greenway, in quanto non promuove le opere di risanamento del sedime ferroviario.

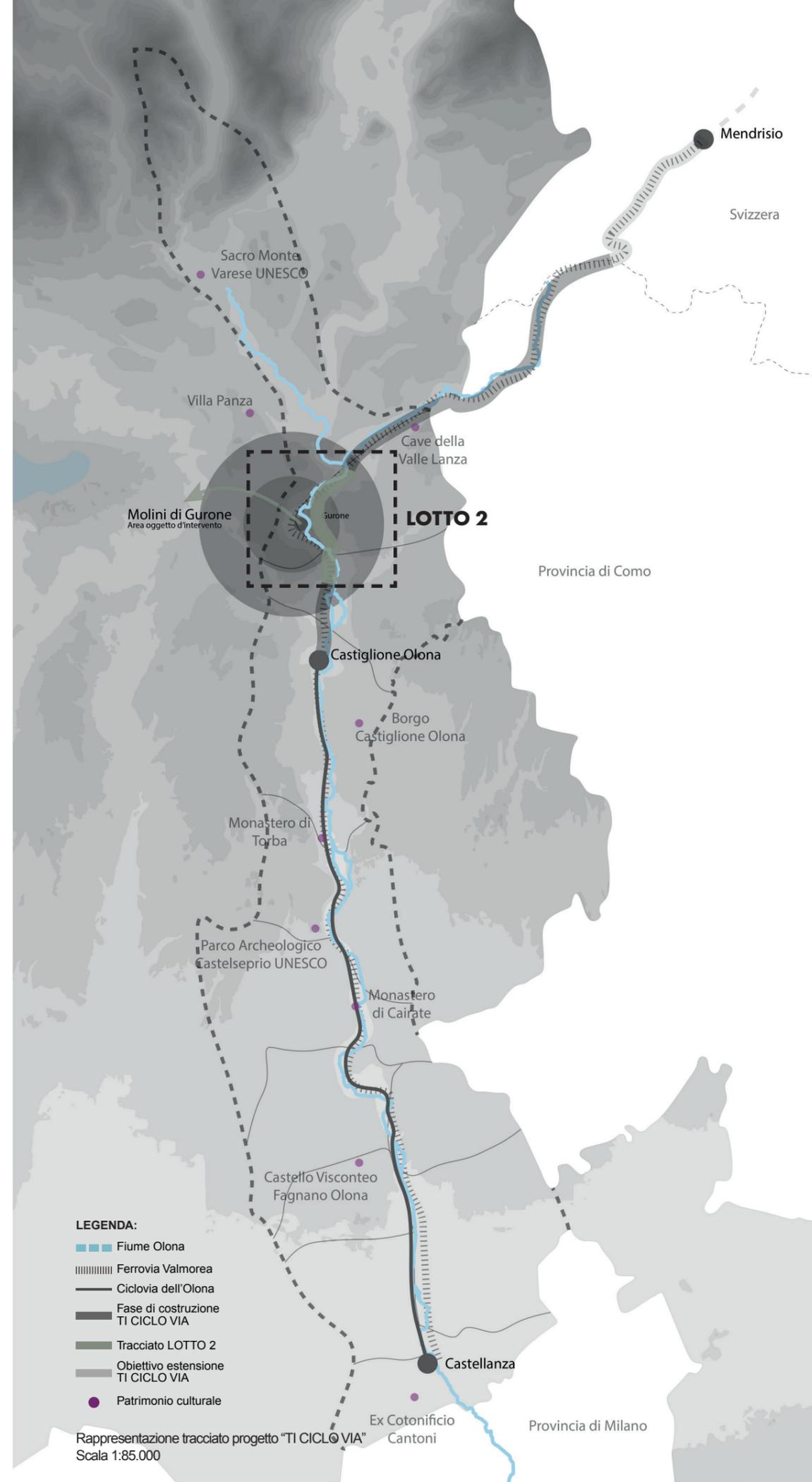
Il completamento della dorsale ciclopedonale della Valle Olona si inserisce all'interno del programma "TI CICLO VIA" che prevede di sviluppare anche azioni mirate al fine di elaborare un progetto di territorio che sia in sinergia con il progetto MoveOn.

Quest'ultimo rappresenta uno dei progetti di infrastrutturazione ciclopedonale dell'asse definito dal Fiume Olona e tiene conto di differenti dimensioni tematiche: il turismo, la mobilità lavorativa e la mobilità scolastica.

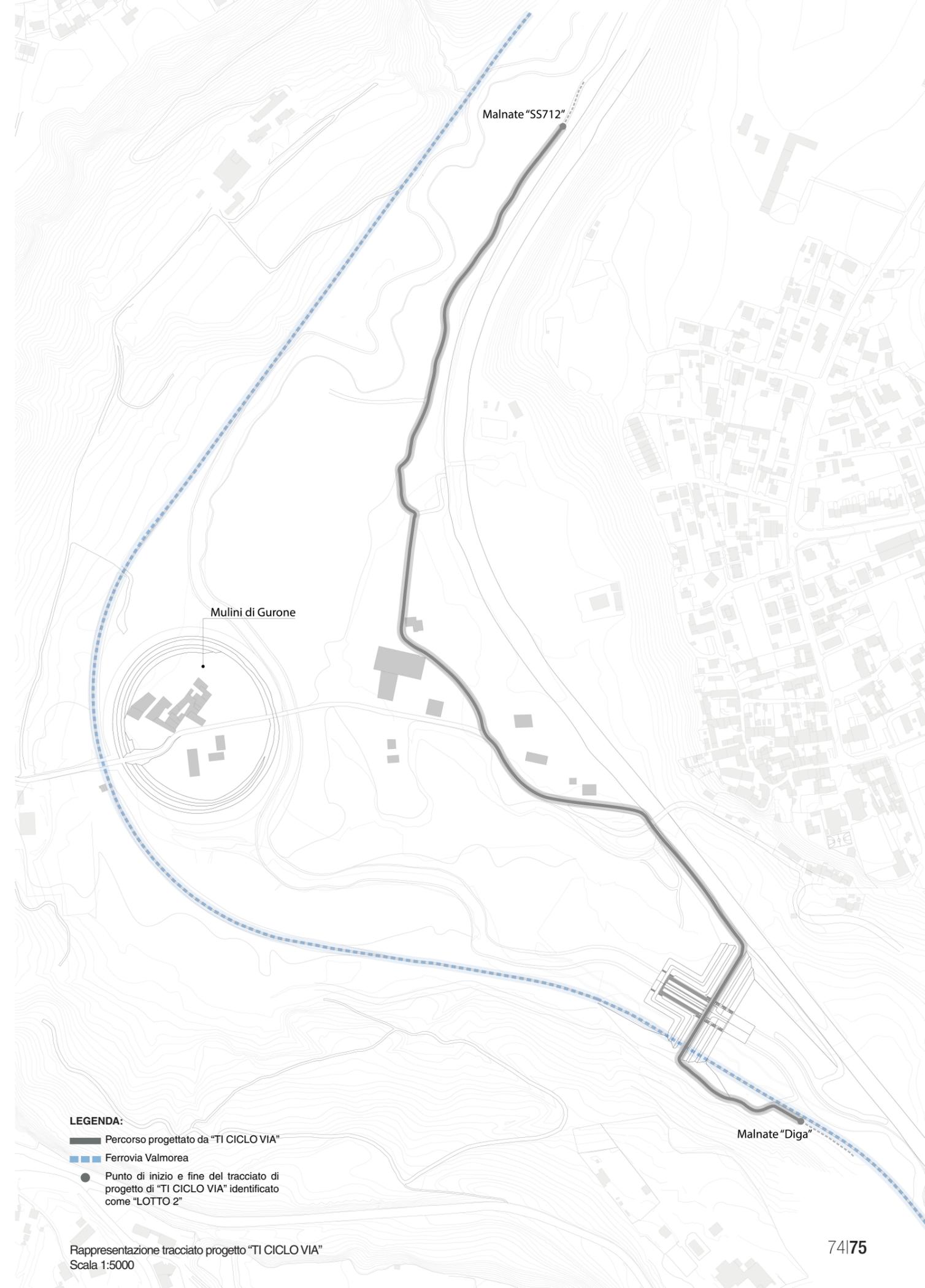
Il progetto della continuazione della ciclovia dell'Olona si fonda su azioni di varia natura con un'ambizione che va oltre la sola realizzazione della pista, puntando ad influenzare gli stili di vita locali spingendoli sempre più verso la sostenibilità: il progetto, dunque, dovrà tenere conto di vari aspetti, in continuità con l'esistente.

La realizzazione della ciclopedonale in località Mulini di Gurone si inserisce nel programma d'intervento definito LOTTO 2, corrispondente alla realizzazione della ciclovia per quanto concerne il tratto da Malnate SS712 a Malnate "Diga".¹¹

¹¹ PDF: MoveOn-Relazione progetto



La tratta in oggetto è l'unica mancante nel completamento del programma e, ad oggi, è in fase di progettazione e ricerca, in quanto lo sviluppo predisposto in precedenza, che delineava l'attraversamento della Diga di Gurone, non può essere avvallato a causa dei divieti di transito imposti.



2.1.2

PROPOSTA DI VARIANTE AL PROGETTO TI CICLO VIA

La ricerca delineata dalla tesi propone l'elaborazione e lo studio del percorso ciclopedonale in località Mulini di Gurone. Esso si sviluppa come variante del progetto "TI CICLO VIA" analizzato nel paragrafo precedente, in quanto il tratto oggetto di analisi, definito Lotto 2, comprendente il percorso che da Malnate giunge alla Diga di Gurone, è ancora in fase di studio ed elaborazione data la sua problematicità.

L'obiettivo della variante del percorso definito dal progetto di tesi è quello di creare un legame tra il sedime della ferrovia Valmorea, rispettando la memoria storica del luogo, e la futura ciclovia, anche in località Mulini di Gurone.

Nel progetto il Casello n°10 ha finalità di perno di congiunzione tra il percorso a Nord (che si sta realizzando per mezzo del progetto di "TI CICLO VIA") e l'esistente percorso a Sud, ovvero il tratto da Castellanza a Castiglione Olona.

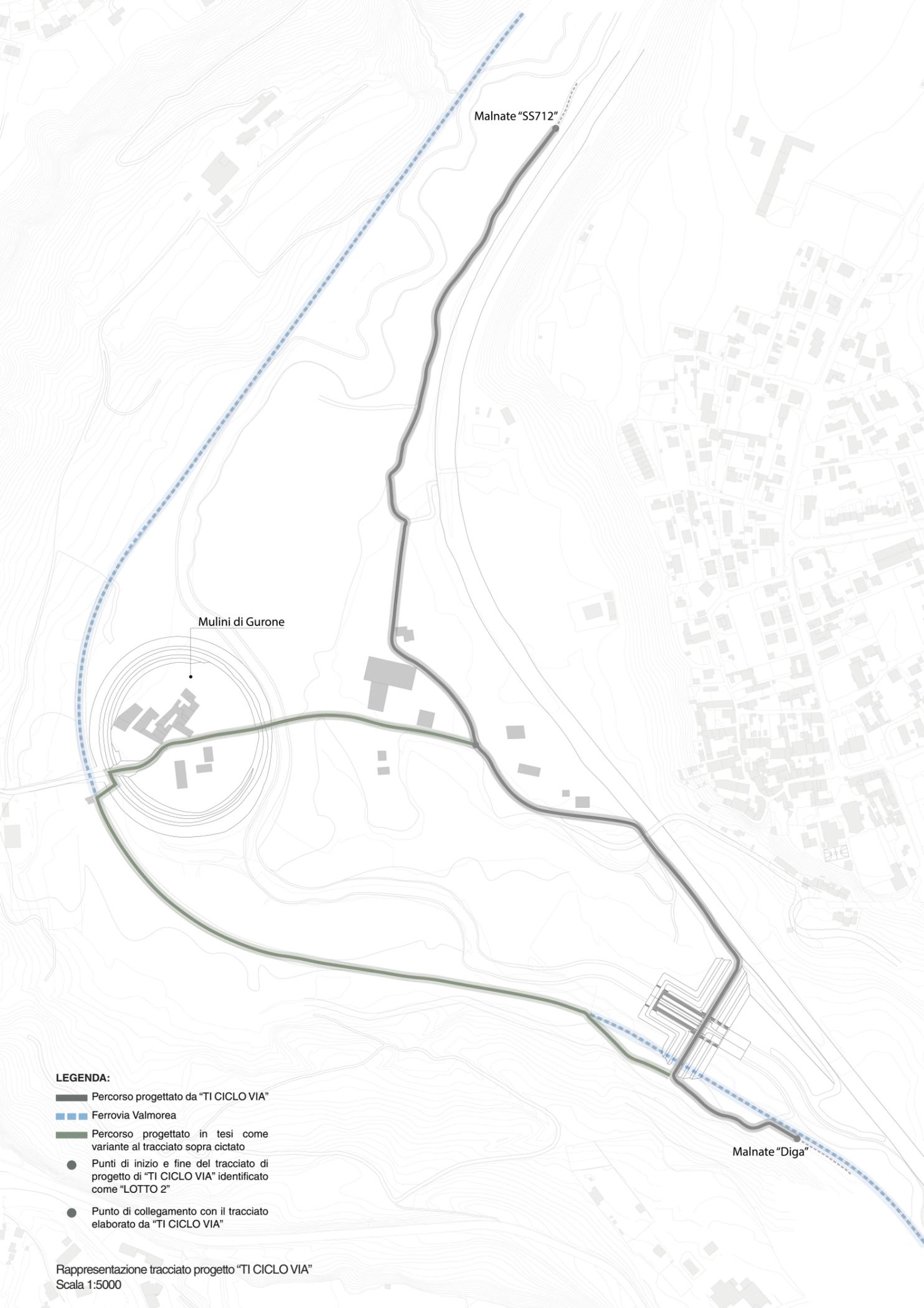
Ad oggi ciò che rimane della ferrovia nel tratto in oggetto di analisi, dunque da Castiglione Olona al Casello di Folla di Malnate, è un sedime in totale stato di abbandono che in alcuni punti risulta interrotto dalle opere di laminazione del fiume e da nuovi svincoli autostradali.

Grazie all'interpretazione delle tracce e allo studio della storia degli elementi coinvolti, questa ricerca permette di disegnare un progetto consapevole e attento al contesto in cui si inserisce.

Il progetto proposto, inserendosi nelle strategie del progetto "TI CICLO VIA" relative agli spostamenti "to work", "to fun" ed infine, agli spostamenti "to school", ha lo scopo di consentire la scoperta e la memoria storica di un luogo che non può restare ai margini.

La ricerca si snoda in relazione a quattro differenti ma fondamentali tematiche: il problema legato all'accessibilità dell'area, il problema della memoria della

Ferrovia Valmorea, il problema dell'architettura della sede ciclopedonale, ed, infine, il problema strutturale dell'infrastruttura ciclabile.



- LEGENDA:**
- Percorso progettato da "TI CICLO VIA"
 - Ferrovie Valmorea
 - Percorso progettato in tesi come variante al tracciato sopra cistato
 - Punti di inizio e fine del tracciato di progetto di "TI CICLO VIA" identificato come "LOTTO 2"
 - Punto di collegamento con il tracciato elaborato da "TI CICLO VIA"

Rappresentazione tracciato progetto "TI CICLO VIA"
Scala 1:5000

2.2 PROBLEMA DELL'ACCESSIBILITA' CICLOPEDONALE

2.2.1

2.2.1 STRATEGIA PER UN COLLEGAMENTO SEMPRE FRUIBILE

L'area della Valle Olona, che rappresenta il contesto territoriale in cui il progetto si inserisce, è una zona estremamente ricca di risorse idriche.

Proprio per la natura del luogo la principale fonte di sopravvivenza e ricchezza della popolazione è rappresentata dall'impiego delle acque, che furono, però, anche causa di terribili alluvioni.

La vasca di laminazione di Ponte Gurone, come già specificato nel capitolo precedente, venne realizzata proprio per evitare gli avvenimenti disastrosi che si manifestarono nel corso del tempo, determinando molte problematiche riguardanti l'accessibilità della zona in analisi.

Il tema dell'accessibilità ai Mulini di Gurone è fortemente condizionata dalle caratteristiche del sito: dallo studio cartografico dell'area è stato possibile analizzare gli accessi di cui il borgo dei Mulini di Gurone è dotato e come questi si relazionano ai momenti di piena della vasca di laminazione, realizzata per mitigare gli effetti delle piene del Fiume Olona sulla valle circostante.

Ad oggi il borgo è debolmente collegato alla valle grazie alla Via dei Mulini, risultando di fatto parzialmente "isolato" dalla zona nei momenti di piena perché la strada di collegamento, dal lato verso il comune di Bizzozzero, rimane sommersa dall'acqua, insieme al Parco dei Mulini ed i suoi percorsi di connessione alla diga.

Il problema legato all'accessibilità è divenuto, dunque, il tema fondamentale internamente all'indagine svolta, in quanto il progetto si inserisce all'interno della sopraccitata vasca di laminazione, proponendo il concetto di un'accessibilità sempre fruibile: la vasca di laminazione, infatti, rappresenta un bacino di raccolta che si riempie e si svuota, e segna il territorio come una vera e propria barriera verso l'ipotesi di sviluppo di un laboratorio per la mobilità dolce.

Il progetto propone, quindi, una strategia per superare il problema dell'inagibilità del luogo in corrispondenza del

bacino idrico, elaborando una soluzione in quota che permetta una mobilità dolce continuamente usufruibile, in continuità con i collegamenti ciclopedonali oggi esistenti.

Il percorso della nuova ciclovia sopraelevata si estende per circa 700mt, sviluppando un collegamento in quota che ha come origine la Diga di Gurone e termina il suo itinerario sul terrapieno dei Mulini di Gurone, essendosi prima collegato al primo piano del Casello n°10.

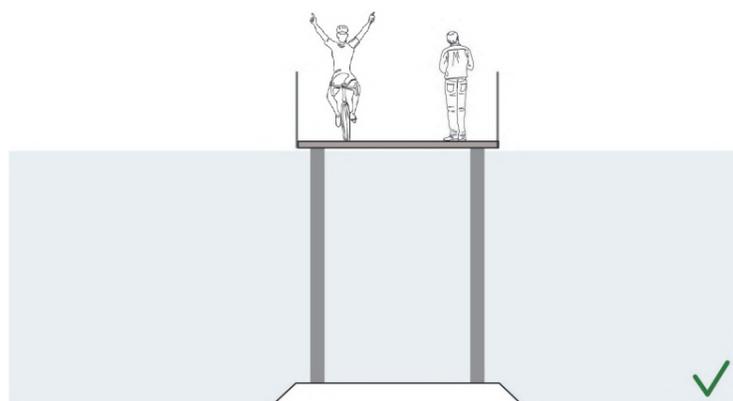
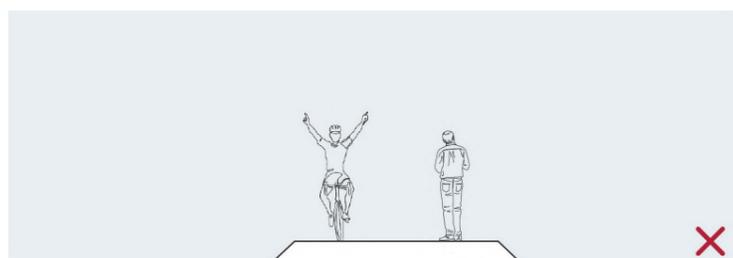


Fig.35: Rappresentazione grafica della strategia progettuale volta ad un'accessibilità che risulti sempre agibile.



Fig.36: Mulini di Gurone durante la piena
Fonte: <https://www.varesenews.it/>



Fig.37: Piena con chiusura della Diga del 21 agosto 2021
Fonte: Fotografia di Lucio Bortolato



Fig.38: Piena con chiusura della Diga del 21 agosto 2021
Fonte: Fotografia di Lucio Bortolato

2.3 PROBLEMA DELLA MEMORIA DELLA FERROVIA VALMOREA

2.3.1

ANALISI DELLE GEOMETRIE COSTRUTTIVE DELLA FERROVIA VALMOREA

Le geometrie costruttive del sedime dell'infrastruttura ferroviaria della Valmorea vennero delineate in stretto rapporto all'andamento del fiume Olona, intercettando di fatto le industrie nate sugli argini del corso d'acqua, come meglio descritto nel capitolo precedente.

Nella sua estensione il tracciato della ferrovia definisce un andamento caratterizzato da linee sinuose e raggi di curvatura che sono stati impiegati nel tracciato di progetto della nuova ciclovia in località Mulini di Gurone.

La Ferrovia Valmorea è contraddistinta dalla presenza di stazioni e caselli, che, ad oggi, sono stati in parte demoliti ed in parte ristrutturati e rifunzionalizzati per diverse attività.

Ciò che resta dell'architettura infrastrutturale è stato dichiarato patrimonio culturale protetto, tutelando la memoria storica che è fondamentale per il racconto della valle.

Nel dettaglio è possibile riscontrare che l'itinerario intercettava nella sua estensione 21 stazioni di cui 19 in confine italiano, 3 in lato svizzero e, infine, 15 caselli localizzati sul sedime italiano.

Le stazioni ferroviarie erano, in ordine, le seguenti: Castellanza, Marnate/Olgiate Olona, Prospiano, Gorla Minore, Solbiate Olona, Gorla Maggiore, Fagnano Olona, Cairate/Bergoro, Cairate/Lonate Ceppino, Torba/Gornate Olona, Castiglione Olona, Lozza/Ponte di Vedano, Bizzozero/Gurone, Malnate Olona, Cantello, Valmorea, in territorio italiano, ed infine Stabio, Ligornetto/Genestrerio e Mendrisio in territorio svizzero. Analizzando la tipologia architettonica delle stazioni su suolo italiano è possibile riscontrare che, per quanto concerne la geometria strutturale, si identificano due moduli differenti: un modulo a 3 luci ed un modulo a 5 luci.

Per lo più la linea ferroviaria della Valmorea era composta

da fabbricati aventi dimensioni modulari a 3 luci, fatta eccezione per le stazioni di Castellanza, Fagnano Olona e Valmorea, la cui conformazione adottava dimensioni modulari a 5 luci.

La conformazione di ciascuna stazione, o “fabbricato viaggiatori”, è stata determinata dal tipo di funzione aggiuntiva attribuita ad ognuna: magazzino merci, pesa carri, rifornitore d’acqua, rifornitore/deposito per il carbone, rifornitore di gasolio, ed, infine, servizio bar.

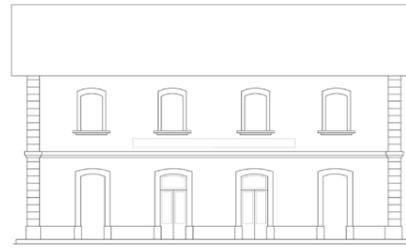
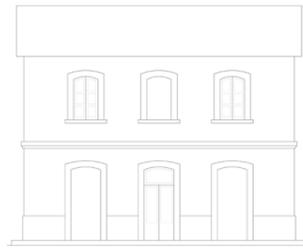
I caselli, invece, impiegati come alloggio del personale ferroviario responsabile della manutenzione e del controllo della linea, presentano una sola tipologia costruttiva definita da un modulo a 3 luci.

Ciascun casello è costituito da due piani fuori terra: nel Piano Terra è insediata la zona giorno, nel Piano Primo la zona notte e nel sottotetto agibile uno spazio di deposito. Il collegamento tra i due piani avviene per mezzo di una scala in calcestruzzo localizzata nella porzione laterale del fabbricato.

Ciò che emerso dai sopralluoghi è che dei 15 caselli che costellavano le sponde del sedime ferroviario ne restano solo 3: il Casello n°5, utilizzato dall’Associazione Amici della Ferrovia Valmorea, il Casello n°10, in comodato d’uso all’associazione Legambiente e infine il Casello n°14 a oggi ancora abitato. Quest’ultimo rappresenta la sede del primo periodo di riapertura della linea, punto terminale della tratta ripristinata del 1995.



Geometria costruttiva delle stazioni che costruivano la Ferrovia Valmorea



Esempio Tipologia A - modulo a 3 luci

Esempio Tipologia B - modulo a 5 luci

PROGRESSIONE KM	STAZIONE DI RIFERIMENTO	STATO	DOTAZIONE DELLA STAZIONE	CATALOGAZIONE TIPOLOGICA
0,00	Castellanza	Esistente in stato di abbandono	MM - P - PG - RG - RA - RC	Tipologia B - modulo a 5 luci
1+871,52	Marnate - Olgiate	Esistente in stato di abbandono	-	Tipologia A - modulo a 3 luci
2+668,00	Prospiano	Esistente Rifunzionalizzata	MM - Demolito il magazzino	Tipologia A - modulo a 3 luci
3+731,50	Gorla Minore	Esistente in stato di abbandono	-	Tipologia non identificata
4+800,51	Solbiate Olona	Demolita	MM - D	Tipologia A - modulo a 3 luci
5+758,10	Gorla Maggiore	Demolita	MM - D	Tipologia A - modulo a 3 luci
7+680,00	Fagnano Olona	Demolita	MM - BAR - D	Tipologia B - modulo a 5 luci
8+990,60	Cairate Bergoro	Demolita	D - Demolito casello 2a	Tipologia non identificata
10+575,00	Cairate Lonate	Demolita	MM - PG - RA - RC - D	Tipologia A - modulo a 3 luci
14+613,90	Torba - Gornate Olona	Demolita	-	Tipologia A - modulo a 3 luci
18+173,55	Castiglione Olona	Esistente	MM - P	Tipologia A - modulo a 3 luci
19+842,97	Lozza - Ponte Vedano	Demolita	-	Tipologia A - modulo a 3 luci
22+146,08	Bizzozero - Gurone	Demolita	-	Tipologia A - modulo a 3 luci
23+726,00	Malnate Olona	Esistente Riqualficata	MM - Demolito il magazzino	Tipologia A - modulo a 3 luci
26+133,40	Cantello	Demolita	-	Tipologia A - modulo a 3 luci
28+815,30	Valmorea	Demolita	MM - BAR - PG - RA - RC - D	Tipologia B - modulo a 5 luci
3+579,00	Stabio, SV	Esistente	MM	Tipologia differente
1+970,00	Ligornetto - Genestrerio, SV	Demolita	-	Tipologia differente
0,00	Mendrisio, SV	Esistente Riqualficata	Ufficio FFS - BAR - MM	Tipologia differente

Geometria costruttiva dei caselli che costruivano la Ferrovia Valmorea



Esempio Tipologia A - modulo a 3 luci

PROGRESSIONE KM	STAZIONE DI RIFERIMENTO	STATO	TRATTA	CATALOGAZIONE TIPOLOGICA
2+902	Casello 1	Demolito	Prospiano - Gorla Minore	Tipologia A - modulo a 3 luci
6+556	Casello 2	Demolito	Fermata Candiani	Tipologia A - modulo a 3 luci
10+157	Casello 3	Demolito	Cairate Bergoro - Cairate Lonate	Tipologia A - modulo a 3 luci
10+749	Casello 4	Demolito	Cairate Lonate - Torba / Gornate Olona	Tipologia A - modulo a 3 luci
12+276	Casello 5	Esistente Rifunzionalizzato	Cairate Lonate - Torba / Gornate Olona	Tipologia A - modulo a 3 luci
15+363	Casello 6	Demolito	Torba / Gornate Olona - Castiglione Olona	Tipologia A - modulo a 3 luci
17+045	Casello 7	Demolito	Torba / Gornate Olona - Castiglione Olona	Tipologia A - modulo a 3 luci
18+628	Casello 8	Demolito	Castiglione Olona - Lozza / Ponte Vedano	Tipologia A - modulo a 3 luci
19+842	Casello 9	Demolito	Fermata Lozza / Ponte Vedano	Tipologia A - modulo a 3 luci
21+943	Casello 10	Esistente Rifunzionalizzato	Lozza / Ponte Vedano - Bizzozero / Gurone	Tipologia A - modulo a 3 luci
23+876	Casello 11	Esistente	Malnate Olona - Cantello	Tipologia A - modulo a 3 luci
26+779	Casello 12	Demolito	Cantello - Valmorea	Tipologia A - modulo a 3 luci
28+297	Casello 13	Demolito	Cantello - Valmorea	Tipologia A - modulo a 3 luci
29+258	Casello 14	Esistente Abitato	Valmorea - Confine di stato	Tipologia A - modulo a 3 luci
30+462	Casello 15	Demolito	Valmorea - Confine di stato	Tipologia A - modulo a 3 luci

LEGENDA:

MM Stazione provvista di magazzino merci in edificio separato da quello adibito ai viaggiatori

P Stazione dotata di pesa carri

RA Stazione dotata di rifornitore d'acqua

RC Stazione dotata di rifornitore/deposito per il carbone

RA Stazione dotata di rifornitore di gasolio

BAR Stazione con bar

D Demolite tutte le dotazioni presenti in stazione contrassegnate dalle lettere indicate

Catalogazione stazioni in territorio italiano della Valmorea - Tipologia A



Fig.39:Stazione di Castellanza
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.40:Stazione di Marnate - Olgiate
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.41:Stazione di Prospiano
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.42:Stazione di Gorla Minore
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.46:Stazione di Cairate Bergoro
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.45:Stazione di Fagnano Olona
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.44:Stazione di Gorla Maggiore
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.43:Stazione di Solbiate Olona
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.47:Stazione di Cairate Lonate
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.48:Stazione di Torbà - Gornate
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.49:Stazione di Castiglione Olona
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.50:Stazione di Lozza - Ponte Vedano
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.54:Stazione di Valmorea
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.53:Stazione di Cantello
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.52:Stazione di Malnate
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.51:Stazione di Bizzozero - Gurone
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.

Catalogazione stazioni in territorio svizzero della Valmorea



Fig.55: Stazione di Mendrisio
Fonte: <https://www.laregione.ch/>



Fig.56: Stazione di Ligornetto - Genestrerio
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.57: Stazione di Stabio
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.

km 5+148,00
Confine di stato

Catalogazione di alcuni dei caselli della Ferrovia Valmorea



Fig.58: Casello n°1 della Ferrovia Valmorea
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.59: Casello n°2 della Ferrovia Valmorea
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.60: Casello n°5 della Ferrovia Valmorea
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.61: Casello n°10 della Ferrovia Valmorea
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.



Fig.62: Casello n°14 della Ferrovia Valmorea
Fonte: Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio.

2.3.2

INTERVENTO DI RISANAMENTO DEL CASELLO N.10 BIZZOZERO – GURONE

Il Casello n°10 Bizzozero – Gurone, situato in prossimità del Borgo dei Mulini di Gurone, poco prima del punto in cui un tempo sorgeva la stazione Bizzozero – Gurone, è importante poiché tesoro della memoria del sito e si configura come uno di quei pochi manufatti integri a testimonianza della storia di un luogo così caratteristico: per questo motivo l'operazione volta alla sua conservazione è estremamente significativa.

Sia il casello che la stazione Bizzozero – Gurone furono realizzati durante la seconda fase costruttiva della Ferrovia Valmorea.

Ad oggi il Casello n°10 Bizzozero – Gurone è estremamente a rischio in quanto localizzato all'interno della vasca di laminazione di Ponte Gurone, al di fuori del terrapieno che mette in sicurezza il borgo dei Mulini di Gurone.

La tesi pone il suo focus nel restauro architettonico, funzionale e strutturale del suddetto casello, attraverso due strategie di intervento: il risanamento della struttura ed il recupero funzionale del fabbricato in oggetto, che tiene conto della sua memoria.

Da una prima analisi è evidente come il casello della vecchia infrastruttura dell'Olona riversi in seria condizione di degrado.

Le cause del deterioramento del manufatto non sono associabili al solo passare del tempo e alle sole condizioni meteorologiche: il suo stato è determinato principalmente dalla sua esposizione costante e a fenomeni di piena e di magra, effetti di bagnato e asciutto della struttura, che sono determinati dalle piene del Fiume Olona.

Quando entra in esercizio la Diga, la vasca di laminazione, in cui ricade il Casello n°10, si riempie di acqua provocando l'allagamento dell'intero Piano Terra dell'edificio e comportando ingenti danni uniformemente diffusi.

Pertanto, nell'analisi, è stato necessario effettuare

uno studio approfondito dei degradi a cui è soggetto il vecchio casello, al fine di elaborare un piano d'azione di risanamento.



Fig.63: Casello n°10 Bizzozero - Gurone
Fotografia scattata il 16 luglio 2022



Fig.64: Casello n°10 durante la piena della vasca di laminazione
Fonte: <https://www.varesenews.it/>



Fig.65: Casello n°10 Bizzozero - Gurone
Fonte: Fotografia di Lucio Bortolato

ANALISI DEI DEGRADI

L'edificio, come ha dimostrato l'analisi dei degradi eseguita, versa in uno stato avanzato di decadimento, anche a causa della mancata manutenzione ordinaria. All'esterno del fabbricato, il fenomeno del dilavamento è il degrado che principalmente si manifesta sulla superficie opaca risultando uniformemente diffuso nei quattro fronti del manufatto, con particolare rilevanza nella facciata Est.

Il fenomeno è dovuto all'erosione dei materiali conseguente all'azione delle precipitazioni meteoriche, che, agendo come solvente, causano lo scioglimento dei leganti a base di calcio presenti nella tinteggiatura. È un fenomeno che si manifesta principalmente su superfici investite dalla percolazione localizzata, a seguito della presenza di grondaie danneggiate, come nel caso analizzato, oppure in punti dove vi è una maggiore esposizione agli agenti atmosferici.

Un altro degrado evidente sulla struttura è il fenomeno da colonizzazione biologica della muffa, che, sul lato Nord, ha ormai compromesso tutta la parete.

Altri fenomeni che si osservano sono i degradi di mancanza/lacuna e lesioni e distacco che interessano in modo particolare gli angoli e la fascia basamentale del fabbricato. Inoltre, nell'analisi globale, emergono in modo evidente anche fenomeni di esfoliazione e patina biologica, sviluppati in modo abbastanza uniforme su tutti i fronti dell'immobile.

La facciata orientata a Ovest, invece, è interessata dalla presenza di vegetazione, che con il tempo è risalita estendendosi lungo tutta la parete.

Per quanto concerne infissi, persiane, grondaie e pluviali è necessaria la sostituzione degli stessi in quanto soggetti a notevole stato di usura.

Anche l'interno il casello è in forte stato di deterioramento: vi sono degradi uniformemente estesi di fessurazione, esfoliazione e distacco della materia dalle pareti.

In seguito alla classificazione dei degradi sopra riportati sono stati studiati gli interventi più consoni volti al risanamento e alla conservazione dell'immobile.

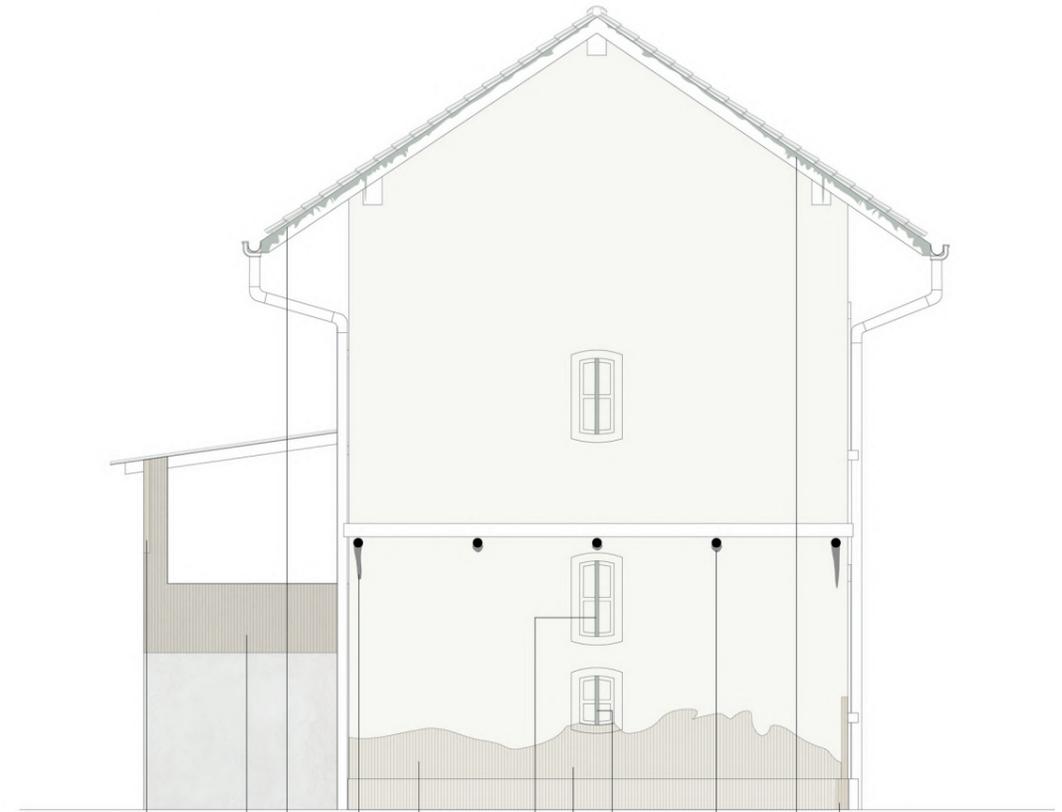
Prospetto Nord / Ovest del Casello n°10 Bizzozero - Gurone



ANALISI DEI DEGRADI

Elemento	CP	MR	MR	BS	MR	MR	MR	MR	MR	BS	SE	MR	MR	MR	CP	FN	MR
Materiale/ Finitura	FE	IN	IN	CL	IN	IN	IN	IN	IN	CL	CL	IN	IN	IN	FE	FE	CL
Tipo di degrado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Intervento	C6	B1	C4	A1	B1	C1	B1	C4		A1	A1	C7	C1	C4	C6	C6	C1
	D1	C1	C5	A2	C1	C3	C1	C5		A2	A2	C8	C3	C5	D1	D1	C3
		C3	C2	C1	C3		C3	C2		C1	C1	C9		C2			
	E1	E4		E1	E1	E1	E4					E7	E1	E4		E1	
	E2			E2		E2											
E9			E9		E9												
F1	G1		F1	G1	F1	G1						G1	G1		G1		
		G2		G2		G2						G2	G2		G2		
H3	H1		H1	H1	H2	H1	H1	H3	H3	H1							
I1	I1	I1	I1	I1	I1	I1	I1		I1	I1		I1	I1		I1		

Prospetto Sud del Casello n°10 Bizzozero - Gurone



ANALISI DEI DEGRADI

Elemento	MR	MR	CP	MR	MR	FN	MR	FN	MR	CP	MR
Materiale/ Finitura	CL	CL	FE	IN	IN	FE	IN	FE	IN	FE	IN
Tipo di degrado	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Intervento	B1	B1	C6	C7	B1	C6	B1	C6	C7	C6	B1
	C1	C2	D1	C8	C2	D1	C2	D1	C8	D1	C1
	C3										C3
	E1	E1		E6	E1	E1		E1	E6	E1	
	E2	E5		E8	E5	E5		E5	E8	E2	
E3										E3	
F1	G1			G1	G1		G1		G1	F1	
	G2			G2	G2		G2		G2		
H1	H1	H3	H2	H1	H3	H1	H3	H2	H3	H1	
I1	I1			I1		I1			I1	I1	

Prospetto Est del Casello n°10 Bizzozero - Gurone



ANALISI DEI DEGRADI

Elemento	Materiale/ Finitura	Tipo di degrado	Intervento
SE BS MR MR MR MR MR MR BS PO	CL CL IN IN IN IN IN IN CL IN		
PO SE BS MR MR MR MR	IN CL CL IN IN IN IN		
MR MR	IN IN		
A1 A1 B1 C1 C1 B1 B1 C1 A1 C1	C1 A1 A1 B1 C7 C1 B1		C7 B1
A2 A2 C2 C3 C3 C1 C1 C3 A2 C3	C3 A2 A2 C2 C8 C3 C1		C8 C1
C1 C1	C1 C1		C9 C3
E1 E1 E1 E1 E1 E1 E1	E1		E7 E1
E5	E1 E6 E1 E1		E2 E2
E2 E2	E5 E8		E3
E3 E3	G1 G1 G1 F1 F1 G1 G1		F1
G1 G1 G1 G1 G1 G1	G1		
G2 G2 G2	G2		
H1 H1 H1 H1 H1 H1 H1 H1 H1	H1 H1 H1 H1 H2 H1 H1		H2 H1
I1 I1 I1 I1 I1 I1 I1 I1 I1	I1 I1 I1 I1		I1

Prospetto Ovest del Casello n°10 Bizzozero - Gurone



ANALISI DEI DEGRADI

Elemento	Materiale/ Finitura	Tipo di degrado	Intervento
MR	IN		
MR MR FN MR	IN IN FE IN		
MR MR	IN IN	*	
MR MR			
B1	B1 B1 C6 B1		B1 C1
C1	C1 C1 D1 C1		A2 B1
C3	C3 C3		A3 C1
E1	E1 E1		A4 C3
E2	E2 E2		A5 E1
E3	E3 E3		C1 E2
F1	F1 F1 F1		C1 E2 E3
H1	H1 H1 H3 H1		F2 F1
I1	I1 I1		H1 H1

FOTO	RETINO UNI	TIPO DI DEGRADO	DESCRIZIONE	CAUSE
		CORROSIONE	Deterioramento dei materiali metallici dovuto all'azione chimica degli agenti ambientali. È un deterioramento fisico delle caratteristiche tecnologiche, dovuto all'esposizione all'aria del materiale, il quale termina producendo ruggine e diminuzione di sezioni esistenti.	Una delle cause principali per cui si verifica questo fenomeno è l'azione combinata di ossigeno e acqua. La loro combinazione provoca la formazione di una patina d'ossido superficiale con formazione di sali. Questi portano ad una variazioni delle proprietà meccaniche del metallo. Può manifestarsi inoltre, a causa di: umidità e temperatura, aerosol marino, l'attacco galvanico per contatto fra metalli diversi.
		COLATURA	La colatura è una particolare manifestazione di deposito superficiale, una patina grigia, prevalentemente ad andatura verticale causata dal ruscellamento delle acque piovane.	Tipicamente questo fenomeno è dovuto alla percorrenza dell'acqua piovana in seguito all'inefficienza o alla mancanza di grondaie e pluviali. Inoltre, può manifestarsi a causa di: inquinanti atmosferici, esposizione, scabrosità e porosità della superficie, tipologia del prodotto impiegato ed orientamento della facciata.
		COLONIZZAZIONE BIOLOGIA - MUFFA	Attacco biologico, con bioteterioramento dei materiali lapidei, da parte di micro e macro organismi autotrofi, come: muschi, licheni, alghe, cianobatteri, piante superiori ed eterotrofi, come: batteri e funghi.	Questo fenomeno si presenta in condizioni di umidità, a causa: di differenti temperature, in condizioni di scarsa ventilazione, alla porosità dei materiali ed infine dal deposito prolungato di sostenze organiche in decomposizione. La muffa è un tipo di fungo pluricellulare che si diffonde riproducendosi tramite finissime spore, le quali disperdendosi nell'aria, crescono sulle superfici
		DISTACCO	Il distacco degli intonaci può assumere valori più o meno accentuati in relazione all'entità e all'estensione dello stesso. Questo tipo di degrado può interessare la separazione dell'intonaco arriccio, oppure l'adesione tra intonaci diacronici stesi uno sopra l'altro in eventi diversi.	Il fenomeno in oggetto è dovuto da: perdite localizzate degli impianti di smaltimento acque, presenza di formazioni saline che giungendo agli strati più profondi possono provocare il distacco del materiale, la presenza di umidità ascendente, soluzioni di continuità conseguenti alla formazione di fessurizzazioni e/o di lesioni, soluzioni di continuità conseguenti agli stress termici in prossimità dell'innesto di elementi metallici, alla dilatazione differenziale tra materiali di supporto e finitura, allo stress o alle vibrazione meccaniche ed infine ad un impiego di prodotti vernicianti pellicolanti su supporti tradizionali.
		ESFOLIAZIONE	Determina lo sfaldamento di una superficie in scaglie sottili parallele alla superficie stessa con disgregazione del legante minerale.	Tipicamente è dovuto al movimento dell'acqua all'interno del substrato, all'azione dei microorganismi, all'applicazione di prodotti vernicianti pellicolanti su supporti tradizionali. Si manifesta maggiormente nei laterizi, quando si è in presenza di carbonato di calcio.

FOTO	RETINO UNI	TIPO DI DEGRADO	DESCRIZIONE	CAUSE
		FRATTURAZIONE / FESSURAZIONE	Rottura del materiale che si verifica quando la tensione a cui è sottoposto eccede la resistenza oltre il punto di rottura. Nei casi più lievi, ovvero in quei casi in cui non vi è la frammentazione del manufatto si parla di fessurazione superficiale lineare o reticolare oppure si parla di fessurazione da ritiro.	Fenomeno causato da sbalzi termici, problematiche strutturali del manufatto, incompatibilità fisico - meccanico tra supporto e finitura, oppure a causa di corrosione di parti in ferro con aumento di volume, dilatazione termiche differenziate fra materiali di supporto e finitura, degrado di interfaccia tra laterizi e malte, radici di piante infestanti o dall'eccessiva riduzione di volume durante l'essiccazione di materiali lapidei artificiali.
		LACUNA / MANCANZA	Caduta o mancanza di materiale. La lacuna è un termine utilizzato per indicare la perdita di frammenti poco profondi di intonaci dipinti, con conseguente perdita della leggibilità figurativa e formale. Il termine mancanza è impiegato per indicare un'improvvisa interruzione di leggibilità.	Il fenomeno si manifesta in relazione alle azioni dell'uomo, a problematiche strutturali del manufatto, a causa di soluzioni di continuità conseguenti alla presenza di fessurazioni e/o di lesioni oppure a soluzioni conseguenti agli stress termici in prossimità dell'innesto di elementi metallici. Infine, può anche essere un fenomeno determinato dalla presenza di errori derivati dalla posa in opera e dall'utilizzo di sabbie o malte poco idonee.
		LESIONE	Dissesto con perdita di continuità del materiale per spostamenti relativi alle parti. La lesione può essere passante, superficiale, diffusa, localizzata, recente o antica.	Le cause sono assimilabili ai fenomeni di cedimento delle fondazioni, ad azioni sismiche, spinte di strutture orizzontali oppure a sovraccarichi verticali e/o concentrazione di carichi.
		PATINA BIOLOGICA	Biodeterioramento per presenza sul materiale di alghe, batteri e funghi. Si presenta come uno strato sottile ed omogeneo, costituito da microorganismi. Risulta variabile per consistenza, colore e adesione al substrato. È un danno estetico ma anche di tipo corrosivo che causa l'indebolimento del supporto.	È causata principalmente da: un elevato tasso di umidità relativa, dalla presenza di sali minerali o da un metabolismo di microorganismi che hanno colonizzato la pietra nel tempo.
		PRESENZA DI VEGETAZIONE	Insedimento di vegetazione nel parametro che innesca altri fenomeni di degrado tra i quali troviamo i fenomeni di fessurazione e disgregazione dei materiali.	Tipicamente è dovuto ad una combinazione di differenti condizioni, come: luce sufficiente a consentire l'attività fotosintetica, aria quale fonte di anidride carbonica ed ossigeno, oppure in presenza di sali minerali ed un pH alcalino. La presenza sulla superficie del manufatto di fessurazioni e/o cavità favorisce il fenomeno, in quanto punti di deposito di spore e semi.

PROGETTO DI CONSERVAZIONE

Le opere di riqualificazione del Casello n°10 sono state suddivise in tre operazioni distinte ma legate tra loro: la prima, comprendente gli interventi di risanamento sviluppati sulla muratura perimetrale, con particolare attenzione alle tipologie di degrado al Piano Primo, la seconda, relativa al progetto di conservazione del manufatto attraverso il risanamento delle strutture con particolare attenzione al Piano Terra, e, infine, la terza, riguardante la rifunzionalizzazione del casello (descritta nel paragrafo successivo).

Per quanto concerne la prima operazione di intervento, relativa al risanamento del manufatto da agenti esterni, si prevedono generali opere di pulizia delle superfici, riadesioni dei distacchi, consolidamenti delle parti erose, distaccate, rigonfiate; l'unico intervento più consistente sarà sviluppato sulla parete Nord attualmente contraddistinta da muffe diffuse.

L'intervento sulle strutture perimetrali è stato avanzato nel pieno rispetto dei caratteri originali del fabbricato, per garantire il mantenimento della sua identità.

Il Primo Piano del fabbricato è il fulcro progettuale per quanto concerne lo sviluppo degli interventi di risanamento del casello, in quanto diverrà lo spazio in cui si insedieranno diverse funzioni nel tempo. Attualmente, al Primo Piano lo spazio risulta ammalorato, conseguenza dei fenomeni di degrado dati dal passare del tempo ma anche dalla mancanza di una manutenzione mirata, ed oggi accoglie una mostra sulla storia del borgo dei Mulini di Gurone e della Ferrovia Valmorea che è stata poco valorizzata.

Gli interventi di risanamento delle superfici esterne del piano primo saranno disposti in base all'analisi dei degradi effettuata in precedenza, di seguito elencati.

Operazioni preliminari d'intervento – A

A1 - Asportazione manuale dei residui vegetali con spatole lignee e spazzole morbide previo trattamento

antivegetativo con soluzioni diserbanti;

A2 - Risciacquo e asportazione dei residui biologici essiccati previa disinfezione mediante applicazione di prodotto biocida;

A3 - Trattamento con soluzioni diserbanti nelle zone con vegetazione infestante con seguente asportazione manuale dei residui vegetali tramite spatole lignee e spazzole morbide;

A4 - Asportazione meccanica di agenti biodeteriogeni vegetali;

A5 - Potatura e mondata di piante arbustive ed alberi.

Preconsolidamento – B

Le aree interessate da degrado del substrato andranno preconsolidate mediante impregnazione per mezzo di pennelli, siringhe, pipette per evitare eventuali danni comprendenti anche perdita di porzioni di superficie originale a seguito dell'intervento di pulitura.

La scelta del tipo di prodotto consolidante è subordinata alla tipologia di materiale da trattare:

- materiali lapidei naturali: si prevede un trattamento con resina acrilica in solvente

- laterizi: si prevede un trattamento con silicato di etile.

B1 - Preconsolidamenti tramite applicazione di opportuno prodotto consolidante per mezzo di pennello.

Pulitura - C

C1 - Pulitura delle superfici murarie con eventuale asportazione dei depositi poco coerenti di diversa natura, se presenti;

C2 - Pulitura attraverso nebulizzazione controllata di acqua deionizzata e/o distillata a bassa pressione, e successiva spazzolatura con spazzole morbide;

C3 - Pulitura manuale degli elementi in ferro tramite spazzolatura, anche delle parti ossidate con spazzole morbide;

C4 - Pulitura attraverso l'impiego di impacchi di argilla assorbente o additivi chimici;

C5 - Rimozione dei residui fangosi attraverso spazzolatura con spazzole morbide;

C6 - Pulitura tramite spazzolatura, scartavetratura o sabbatura per rimozione degli strati di vernici sovrapposte in più strati;

C7 - Pulitura tramite cicli di lavaggio con acqua deionizzata nebulizzata a bassa pressione alla quale si alterna una delicata pulitura meccanica con spazzole morbide o spugne;

C8 - Pulitura chimica localizzata per rimozione di macchie, sostanze di diversa natura, con impacchi assorbenti idonei a base di carbonato di ammonio, tamponamenti a base di acqua distillata e idoneo tensioattivo, applicazione di solventi organici e/o inorganici e rimozione finale dei residui con acqua deionizzata e spazzole morbide;

C9 - Incisione di precisione per esposizione completa delle armature ad oggi compromesse.

Asportazione - D

D1 - Rimozione e sostituzione di parti gravemente ammalorate con rifacimento in modo analogo all'originale.

Consolidamento - E

E1 - Consolidamento dell'intonaco di calce con impregnazione e iniezioni puntuali di miscele leganti a base di calce idraulica;

E2 - Stalatura dei giunti di malta, in cui un primo strato sarà formato da malta idraulica ed il secondo, verso l'esterno, in malta di calce;

E3 - Trattamento del laterizio con silicato di etile a pennello;

E4 - Stuccatura delle fessurazioni in profondità con malta di calce idraulica. Stuccatura delle lesioni superficiali con malta di calce e sabbia fine;

E5 - Riadesione dei distacchi tramite micro-iniezioni di prodotti consolidanti;

E6 - Rifinitura dei giunti di malta tramite applicazione in più strati di un impasto a base di calce idraulica e idonei inerti, previa pulitura profonda della muratura trattata e bagnatura della superficie con seguente consolidamento delle malte disgregate;

E7 - Ripristino dell'incisione con malte tixotropiche a base cementizia e successiva stesura di superficie di aggrappo per stesura rasante protettivo finale;

E8 - Trattamento con consolidante da applicare in profondità nei pori.

Integrazioni - F

F1 - Integrazione delle mancanze più estese, nei punti a rischio di degrado, con laterizi pieni o materiale lapideo;

F2 - Integrazioni delle mancanze più estese causate dall'asportazione meccanica della vegetazione.

Riparazioni o sostituzioni - G

G1 - Messa in opera/riparazione delle coperture;

G2 - Messa in opera/riparazione di lattonerie (canali di gronda, pluviali, ecc) e pozzetti ispezionabili in calcestruzzo collegati al condotto di raccolta.

Protezione - H

H1 - Stesura di uno strato protettivo di acqua di calce impermeabile;

H2 - Applicazione a spruzzo di prodotti idrorepellenti in solventi organici;

H3 - Trattamento antiruggine.

Manutenzione e controllo - I

I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.

FOTO	RETINO UNI	TIPO DI DEGRADO	TIPO DI INTERVENTO
		CORROSIONE	C6 - Pulitura tramite spazzolatura, scartavetratura o sabbiatura per rimozione degli strati di vernici sovrapposte in più strati; D1 - Rimozione e sostituzione di parti gravemente ammalorate con rifacimento in modo analogo all'originale; H3 - Trattamento antiruggine.
		COLATURA	C7 - Pulitura tramite cicli di lavaggio con acqua deionizzata nebulizzata a bassa pressione alla quale si alterna una delicata pulitura meccanica con spazzole morbide o spugne; C8 - Pulitura chimica localizzata per rimozione di macchie, sostanze di diversa natura, con impacchi assorbenti idonei a base di carbonato di ammonio, tamponamenti a base di acqua distillata e idoneo tensioattivo, applicazione di solventi organici e/o inorganici e rimozione finale dei residui con acqua deionizzata e spazzole morbide; E8 - Trattamento con consolidante da applicare in profondità nei pori; E6 - Rifinitura dei giunti di malta tramite applicazione in più strati di un impasto a base di calce idraulica e idonei inerti, previa pulitura profonda della muratura trattata e bagnatura della superficie con seguente consolidamento delle malte disgregate; H2 - Applicazione a spruzzo di prodotti idrorepellenti in solventi organici.
		COLONIZZAZIONE BIOLOGIA - MUFFA	C7 - Pulitura tramite cicli di lavaggio con acqua deionizzata nebulizzata a bassa pressione alla quale si alterna una delicata pulitura meccanica con spazzole morbide o spugne; C8 - Pulitura chimica localizzata per rimozione di macchie, sostanze di diversa natura, con impacchi assorbenti idonei a base di carbonato di ammonio, tamponamenti a base di acqua distillata e idoneo tensioattivo, applicazione di solventi organici e/o inorganici e rimozione finale dei residui con acqua deionizzata e spazzole morbide; C9 - Incisione di precisione per esposizione completa delle armature ad oggi compromesse. E7 - Ripristino dell'incisione con malte tixotropiche a base cementizia e successiva stesura di superficie di aggrappo per stesura rasante protettivo finale; H2 - Applicazione a spruzzo di prodotti idrorepellenti in solventi organici.
		DISTACCO	B1 - Preconsolidamenti tramite applicazione di opportuno prodotto consolidante per mezzo di pennello; C2 - Pulitura attraverso nebulizzazione controllata di acqua deionizzata e/o distillata a bassa pressione, e successiva spazzolatura con spazzole morbide; E1 - Consolidamento dell'intonaco di calce con impregnazione e iniezioni puntuali di miscele leganti a base di calce idraulica; E5 - Riadesione dei distacchi tramite micro-iniezioni di prodotti consolidanti; G1 - Messa in opera/riparazione delle coperture; G2 - Messa in opera/riparazione di lattonerie (canali di gronda, pluviali, ecc) e pozzetti ispezionabili in calcestruzzo collegati al condotto di raccolta; H1 - Stesura di uno strato protettivo di acqua di calce impermeabile; I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.
		ESFOLIAZIONE	C3 - Pulitura manuale degli elementi in ferro tramite spazzolatura, anche delle parti ossidate con spazzole morbide; C1 - Pulitura delle superfici murarie con eventuale asportazione dei depositi poco coerenti di diversa natura, se presenti; E1 - Consolidamento dell'intonaco di calce con impregnazione e iniezioni puntuali di miscele leganti a base di calce idraulica; G1 - Messa in opera/riparazione delle coperture; G2 - Messa in opera/riparazione di lattonerie (canali di gronda, pluviali, ecc) e pozzetti ispezionabili in calcestruzzo collegati al condotto di raccolta; H1 - Stesura di uno strato protettivo di acqua di calce impermeabile; I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.

FOTO	RETINO UNI	TIPO DI DEGRADO	TIPO DI INTERVENTO
		FRATTURAZIONE / FESSURAZIONE	C4 - Pulitura attraverso l'impiego di impacchi di argilla assorbente o additivi chimici; C5 - Rimozione dei residui fangosi attraverso spazzolatura con spazzole morbide; C2 - Pulitura attraverso nebulizzazione controllata di acqua deionizzata e/o distillata a bassa pressione, e successiva spazzolatura con spazzole morbide; E4 - Stuccatura delle fessurazioni in profondità con malta di calce idraulica. Stuccatura delle lesioni superficiali con malta di calce e sabbia fine; G1 - Messa in opera/riparazione delle coperture; G2 - Messa in opera/riparazione di lattonerie (canali di gronda, pluviali, ecc) e pozzetti ispezionabili in calcestruzzo collegati al condotto di raccolta. H1 - Stesura di uno strato protettivo di acqua di calce impermeabile; I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.
		LACUNA / MANCANZA	B1 - Preconsolidamenti tramite applicazione di opportuno prodotto consolidante per mezzo di pennello; C1 - Pulitura delle superfici murarie con eventuale asportazione dei depositi poco coerenti di diversa natura, se presenti; C3 - Pulitura manuale degli elementi in ferro tramite spazzolatura, anche delle parti ossidate con spazzole morbide; E3 - Trattamento del laterizio con silicato di etile a pennello; E1 - Consolidamento dell'intonaco di calce con impregnazione e iniezioni puntuali di miscele leganti a base di calce idraulica; E2 - Stilatura dei giunti di malta, in cui un primo strato sarà formato da malta idraulica ed il secondo, verso l'esterno, in malta di calce; F1 - Integrazione delle mancanze più estese, nei punti a rischio di degrado, con laterizi pieni o materiale lapideo; H1 - Stesura di uno strato protettivo di acqua di calce impermeabile; I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.
		LESIONE	B1 - Preconsolidamenti tramite applicazione di opportuno prodotto consolidante per mezzo di pennello; C1 - Pulitura delle superfici murarie con eventuale asportazione dei depositi poco coerenti di diversa natura, se presenti; C3 - Pulitura manuale degli elementi in ferro tramite spazzolatura, anche delle parti ossidate con spazzole morbide; E3 - Trattamento del laterizio con silicato di etile a pennello; E1 - Consolidamento dell'intonaco di calce con impregnazione e iniezioni puntuali di miscele leganti a base di calce idraulica; E2 - Stilatura dei giunti di malta, in cui un primo strato sarà formato da malta idraulica ed il secondo, verso l'esterno, in malta di calce; F1 - Integrazione delle mancanze più estese, nei punti a rischio di degrado, con laterizi pieni o materiale lapideo; H1 - Stesura di uno strato protettivo di acqua di calce impermeabile; I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.
		PATINA BIOLOGICA	A1 - Asportazione manuale dei residui vegetali con spatole lignee e spazzole morbide previo trattamento antivegetativo con soluzioni diserbanti; A2 - Risciacquo e asportazione dei residui biologici essiccati previa disinfezione mediante applicazione di prodotto biocida; C1 - Pulitura delle superfici murarie con eventuale asportazione dei depositi poco coerenti di diversa natura, se presenti; H1 - Stesura di uno strato protettivo di acqua di calce impermeabile; I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.
		PRESENZA DI VEGETAZIONE	A3 - Trattamento con soluzioni diserbanti nelle zone con vegetazione infestante con seguente asportazione manuale dei residui vegetali tramite spatole lignee e spazzole morbide; A5 - Potatura e mondata di piante arbustive ed alberi; A4 - Asportazione meccanica di agenti biodeteriogeni vegetali; A2 - Risciacquo e asportazione dei residui biologici essiccati previa disinfezione mediante applicazione di prodotto biocida; C1 - Pulitura delle superfici murarie con eventuale asportazione dei depositi poco coerenti di diversa natura, se presenti; F2 - Integrazioni delle mancanze più estese causate dall'asportazione meccanica della vegetazione; I1 - Controllo e manutenzione ordinaria periodica.

La seconda operazione prevista riguarda il progetto di conservazione del manufatto attraverso il risanamento delle strutture.

L'intervento sul Piano Terra ed il Piano Primo saranno differenti in quanto esposti a fenomeni in relazione alla posizione altimetrica degli stessi: nello specifico, il piano terra è esposto a cicli di bagnato e asciutto derivati dell'apertura del bacino di raccolta di Ponte Gurone, e pertanto, devono essere valutate strategie che sviluppino un corretto piano di conservazione.

Analizzando il tema della riduzione della vulnerabilità delle strutture in aree esondabili¹², è necessario richiamare dei concetti generali che riguardano il rischio da alluvione: per ridurre il rischio bisogna agire su tre fattori chiave cioè la vulnerabilità, la pericolosità ed il valore.

Le azioni di piena contro gli edifici si possono riassumere mediante due categorie: quelle in funzione della velocità della corrente, ovvero la spinta idrodinamica, l'impatto degli oggetti portati dalla piena e infine, lo scalzamento delle fondazioni, e quelle indotte dalla presenza dell'acqua, ovvero la spinta idrostatica orizzontale, la spinta di galleggiamento, e, infine, la contaminazione dovuta all'immersione; quest'ultime saranno quelle valutate in quanto, all'interno della vasca di laminazione, l'allagamento avviene in modo costante e progressivo e non come un evento violento, come potrebbe avvenire nel caso di un'esondazione.

Per ridurre quindi la vulnerabilità del manufatto è necessario attuare misure passive o attive, finalizzate alla conservazione e alla riduzione della vulnerabilità dell'edificio.

Il problema dell'allagamento del pianterreno del Casello n°10, provocato dall'innalzamento del livello dell'acqua all'interno del bacino di laminazione, porta a determinare scelte progettuali specifiche: si fa, dunque, riferimento ad una misura passiva, ovvero l'allagamento guidato, che permette all'acqua di entrare all'interno dell'immobile, in modo da evitare danni strutturali.

La tecnica proposta, che è stata scelta tra le diverse

possibili soluzioni, risulta essere tecnicamente possibile e consente all'acqua di riversarsi nel piano terreno della struttura, al livello di massima piena, bilanciando la spinta idrostatica sul pavimento e sulle pareti.

La scelta proposta determina la rilocalizzazione di tutte quelle attrezzature posizionate al piano terra che potrebbero manomettersi in caso di allagamento, come prese elettriche, quadri elettrici o complementi d'arredo, che, a contatto dell'acqua per un determinato tempo, potrebbero causare problemi oppure rovinarsi.

Questo tipo di intervento richiede di prestare un'attenzione maggiore all'edificio a seguito della chiusura della vasca mediante una manutenzione ai locali allagati una volta che la piena regredisce.

L'intervento, sui componenti strutturali interni del vecchio casello è volto al mantenimento del carattere originario dell'immobile mediante l'impiego di materiali che siano consoni e conformi alla struttura ed al luogo in cui è stato costruito, al fine di permettere la sua conservazione per un lungo tempo di vita.

Per conferire maggiore resistenza alla struttura, in relazione alle spinte idrostatiche e di galleggiamento a cui la struttura del casello è sottoposto, il progetto prevede il rifacimento del solaio contro terra attraverso l'inserimento di una platea di fondazione, di spessore 250 mm, con soprastante vespaio aerato ispezionabile e pulibile. Questo sistema prevede la possibilità di accedere e ispezionare lo spazio vuoto tra il pavimento ed il terreno, in cui sono stati inseriti gli IGLU, per garantire la possibile manutenzione e la pulizia dello spazio in seguito al ritiro dell'acqua: le botole saranno disposte a pavimento in modo strategico consentendo l'accesso allo spazio sottostante.

Nel caso analizzato l'inserimento di un vespaio aerato è necessario al fine di permettere la circolazione dell'aria e l'isolamento del pavimento dall'umidità del terreno riducendo i problemi di umidità e di muffa.

Il progetto prevede inoltre la sostituzione del nuovo solaio interpiano in legno tra Piano Terra e Piano Primo, ad oggi in stato di ammaloramento, anche a causa dei fenomeni di allagamento a cui è sottoposto.

¹² PDF: Edifici in aree a rischio di alluvione come ridurre la vulnerabilità, a cura dell'Autorità del bacino del fiume Po e Università degli studi di Pavia, Febbraio 2009.

Il nuovo solaio si configura, in risposta al problema di allagamento del fabbricato, come un solaio interpiano misto acciaio-calcestruzzo: si tratta di un solaio impermeabile, capace di maggiore resistenza, durabilità e di facile pulitura e manutenzione, costituito da una struttura composta da travi in acciaio e soprastante getto in calcestruzzo da 50mm con rete elettrosaldata ed interposta lamiera grecata.

Per garantire la permeabilità della struttura si è inserito uno strato di membrana impermeabilizzante realizzata in bitume modificato, che crea una barriera di protezione dalle infiltrazioni di acqua e/o umidità.

Per quanto riguarda le pareti (sia internamente che esternamente) saranno aggiunti uno strato di malta con rete elettrosaldata per evitare la rimozione e la caduta di materiale a causa dell'acqua ed una finitura di intonaco aerante, definito anche intonaco permeabile o intonaco traspirante.

Questo tipo di rivestimento che consente alle pareti di "respirare", permette alle pareti la traspirazione dell'umidità dall'interno all'esterno dell'edificio, prevenendo inoltre, l'accumulo di umidità all'interno delle strutture murarie.

Il progetto prevede anche la rimozione della copertura lignea attualmente esistente, che versa in stato di danneggiamento, e la realizzazione di una nuova copertura in legno isolata, per garantire maggior confort, in previsione della nuova funzione che si insedierà al suo interno.

Per garantire, infine, un corretto allagamento guidato, è necessario prevedere la rimozione di serramenti e porte a favore dell'inserimento di grate apribili per permettere l'ingresso e la fuoriuscita dell'acqua senza accentuare le spinte idrostatiche a cui è sottoposta la struttura. L'impiego di grate apribili consentirà, inoltre, il controllo dell'ingresso dei detriti trasportati dall'acqua.



La terza operazione di riqualificazione prevista riguarda il progetto di rifunzionalizzazione ed integrazione del Casello n°10 all'interno del progetto che prevede la realizzazione del nuovo tratto ciclopedonale. L'intenzione è quella di dare vita ad un vero e proprio luogo di conoscenza del territorio, che porti a valorizzare nuovamente il manufatto ad oggi degradato, come meglio descritto nei paragrafi successivi.

2.4 PROBLEMA DELL'ARCHITETTURA DELLA CICLOPEDONALE SOPRAELEVATA

2.4.1

ANALISI PRELIMINARE

Il progetto nasce come risposta strategica alla necessità di collegare l'area del borgo dei Mulini di Gurone al contesto circostante, superando le difficoltà di accessibilità, già descritte nei paragrafi precedenti, causate dalla presenza del bacino idrico di raccolta delle acque e dal conseguente allagamento dell'area, con un'attenzione particolare alla peculiarità dei segni presenti nel territorio generati dalla presenza del sedime della Ferrovia Valmorea ormai in stato di abbandono e dai fabbricati a servizio della stessa.

L'intenzione del progetto è quello di voler rimarcare la memoria storica del luogo, riproponendo ad un livello superiore, sempre fruibile, il tracciato della ferrovia, rigenerando il percorso dell'infrastruttura nel tempo e rispondendo ad un'esigenza attuale collettiva, impiegando nuovamente un'architettura ormai dimenticata.

Tutti gli elementi che contraddistinguono il carattere del sito hanno influenzato le scelte progettuali.

L'architettura della nuova ciclovia in progetto è stata definita grazie allo studio morfologico territoriale dell'area indagata e all'analisi dei caratteri tipologici dei manufatti della ferrovia.

2.4.2

PROPOSTA PROGETTUALE

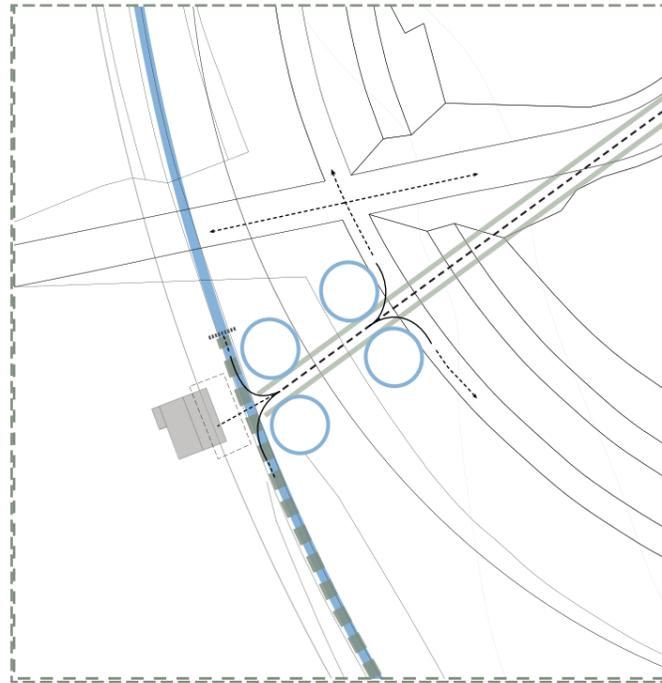
Il tracciato di progetto si è sviluppato analizzando e astruendo le geometrie soggiacenti all'area oggetto di intervento: la forma ellittica generata dal tracciato dell'infrastruttura ferroviaria, l'anello dei Mulini di Gurone, sul cui asse mediano è impostato il collegamento tra il terrapieno, il Casello n°10 e la passerella sopraelevata, ed, infine, le due elissi che descrivono la morfologia del terreno nei pressi della Diga di Gurone e che definiscono il punto di appoggio della ciclabile. Nel loro insieme, le figure geometriche analizzate, formano il tracciato della nuova passerella ciclopedonale sopraelevata.

In questo modo il tracciato del percorso della nuova ciclovia ricalca in elevato, e quindi monumentalizza, quello disegnato dal vecchio sedime della Ferrovia.

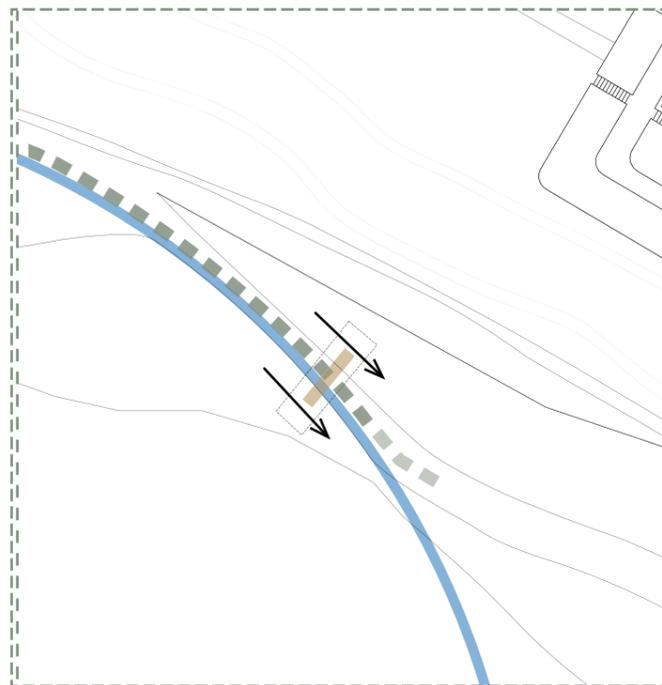
Nella costruzione geometrica del progetto è stato essenziale sviluppare una griglia costruttiva avente dimensioni pari a 2,80x2,00 mt che ha permesso di definire una regola geometrica valida per tutti gli elementi costitutivi della nuova infrastruttura ciclopedonale.

La griglia costruttiva è stata necessaria per delineare scelte architettoniche che fossero conformi ai principi base di ritmo e simmetria.





Dettaglio di collegamento al terrapieno dei Mulini di Gurone
Scala 1:1000



Dettaglio di collegamento al terrapieno in prossimità della Diga di Gurone
Scala 1:1000

SIMMETRIA

La simmetria è, per definizione, un principio indicatore dello sviluppo di una disposizione equilibrata, armonica e regolare di un elemento rispetto ad un dato asse, un punto o un piano.

Nella soluzione progettuale proposta la simmetria è un fondamento costitutivo che si manifesta in corrispondenza di ogni elemento costruttivo e costitutivo del progetto stesso lungo il percorso della nuova pista ciclopedonale, che siano essi elementi strutturali di sostegno e di appoggio o di definizione del disegno relativo al tracciato in quota.

RIPETIZIONE

La ripetizione, che consiste nell'utilizzo di elementi o pattern uguali/simili in modo regolare o sequenziale all'interno di una superficie, divenendo principio base nella determinazione di una configurazione finale, è una caratteristica riscontrabile a livello progettuale lungo tutta la sua estensione.

I principi descritti si relazionano al design della nuova pista ciclopedonale attraverso l'impiego di due elementi costitutivi inscindibili: i setti murari in calcestruzzo armato e le strutture reticolari in acciaio a sostegno del percorso ciclopedonale.

LEGENDA:

-  Geometrie di costruzione progettuale
-  Assi di riferimento
-  Offset di costruzione collegamento al terrapieno dei Mulini di Gurone
-  Percorso della nuova ciclovia
-  Punto di appoggio della ciclovia in prossimità della Diga di Gurone
-  Spazio di accesso al Casello n.10
-  Fine dell'itinerario della nuova ciclovia

PROGETTO DELL'ARCHITETTURA DELLA PISTA CICLOPEDONALE SOPRAELEVATA

Le scelte progettuali adottate nell'elaborazione del disegno del percorso ciclopedonale sono state definite come risposte ai problemi legati alla criticità del sito, già descritti nei capitoli precedenti, anche al fine di promuovere la valorizzazione del luogo e dell'architettura dell'infrastruttura ferroviaria, e si identificano nella soluzione architettonica di seguito descritta.

La nuova struttura ciclopedonale in progetto si sviluppa sul sedime ferroviario esistente promuovendo un itinerario alla scoperta della memoria storica del luogo. La sede ciclabile è sostenuta da 19 strutture reticolari in acciaio, appoggiate tramite mensole a 18 setti in calcestruzzo armato che rappresentano, nella loro sequenza in ordine progressivo, le 19 stazioni di cui si componeva la Ferrovia Valmorea. Il punto di appoggio della passerella in prossimità della Diga di Gurone corrisponde al fabbricato viaggiatori di Castellanza mentre l'ultimo setto corrisponde alla stazione di Mendrisio.

In questo modo il rapporto tra la sede ciclabile e i setti riprende il rapporto tra la sede ferroviaria e le facciate delle stazioni.

I setti murari sono infatti disposti parallelamente all'andamento della passerella e tramite le loro dimensioni e le partizioni delle loro facciate, riproducono le due differenti tipologie delle stazioni in suolo italiano: un setto modulare a 3 luci ed un setto modulare a 5 luci, le cui dimensioni sono state definite dalla griglia di costruzione citata in precedenza.

Pertanto, le dimensioni dei moduli a 3/5 luci, saranno rispettivamente, 9,75x8,00 m e 15,40x8,0 m.

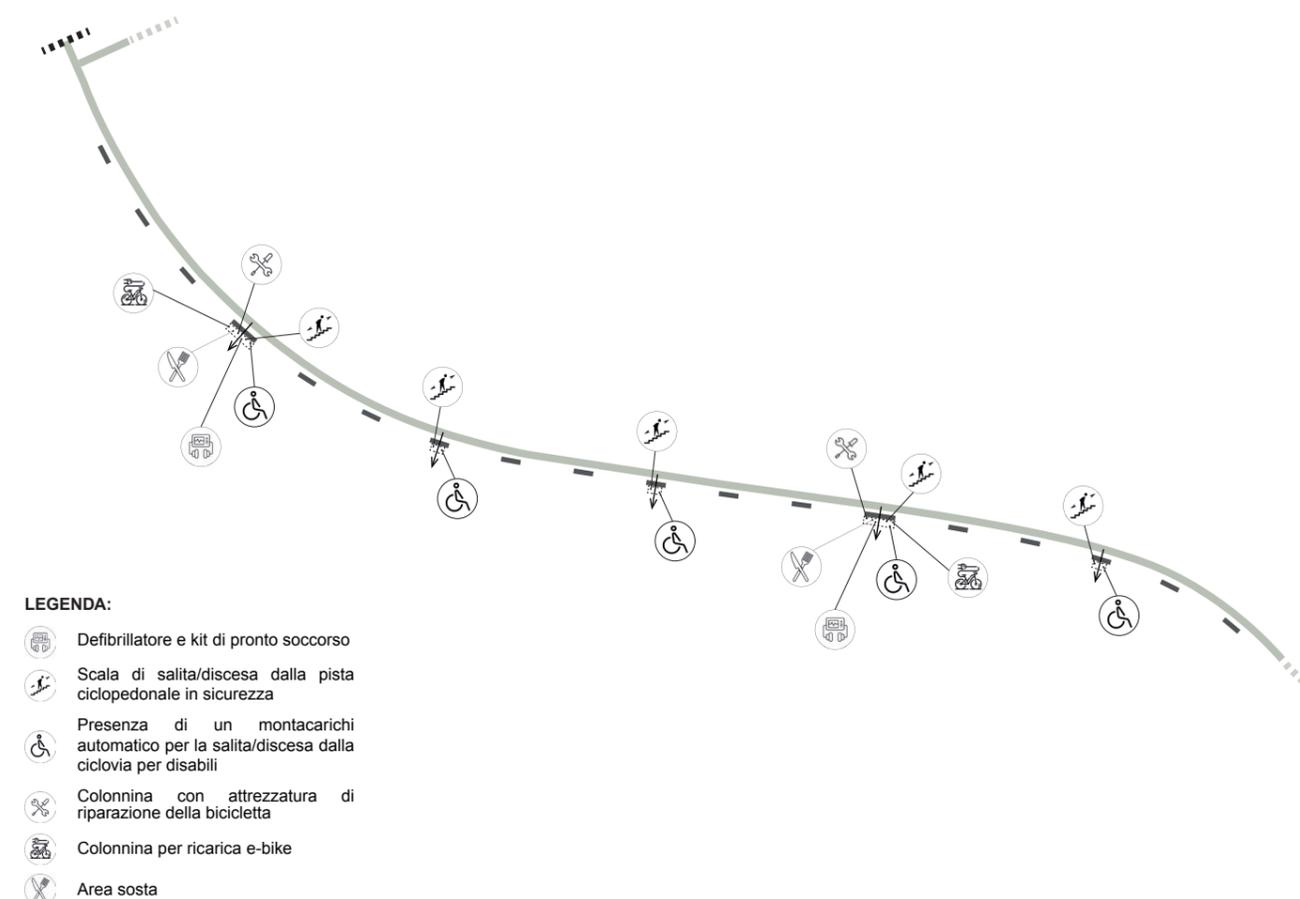
Riproponendo la stessa sequenza delle stazioni della ferrovia, per lo più la pista ciclopedonale si compone mediante setti aventi dimensioni modulari a 3 luci, fatta eccezione per due strutture in c.a., rappresentanti le stazioni di Fagnano Olona e Valmorea, la cui

conformazione adotta dimensioni modulari a 5 luci.

Questi elementi in calcestruzzo armato sono strutture aventi sia una funzione strutturale, essendo i principali punti di sostegno della nuova ciclopedonale, ma anche funzionale e memoriale.

Infatti cinque setti murari che si susseguono sul percorso saranno dotati di una scala di discesa necessaria alla sicurezza dei fruitori della pista e, due di loro (quelli di luce maggiore), sono contraddistinti dalla presenza di un'area di sosta attrezzata con kit contenenti defibrillatori, colonne per autoriparazione biciclette e colonne per autoricarica e-bike, in linea ai requisiti predisposti dal progetto "TI CICLO VIA".

Distribuzione delle funzioni all'interno dell'itinerario







La conformazione morfotipologica dei setti murari in calcestruzzo si esprime attraverso 3 tipologie differenti, tutte strutturate su due livelli, a rimarcare la conformazione delle stazioni ferroviarie storiche, costituite da due piani fuori terra.

La pista ciclopedonale transita alla quota del piano primo collegando tra di loro i setti stessi che costituiscono dei punti di sosta dell'itinerario.

La prima tipologia di setto murario proposta è costituita da un elemento modulare a 3 luci costituito da tre portali al piano terreno attraversabili ed, alla quota della pista, tre finestre solo disegnate in facciata e non aperte per la sicurezza dei fruitori della pista: si tratta di setti aventi sola funzione strutturale portante.

La seconda tipologia di setto murario proposta è costituita da un elemento modulare anch'esso a 3 luci dotato però di una scala di discesa con una piccola area di sosta che, collocata sul lato opposto rispetto alla passerella ciclabile, permette la manovra a scendere anche con la bicicletta; il setto al piano terra presenta tre portali attraversabili, come nel precedente caso, ma alla quota alla pista è previsto un portale centrale per consentire il passaggio ed ai lati vi sono due finestre chiuse.

La terza e ultima tipologia di setto murario, infine, presenta al piano terreno tre portali attraversabili e due finestre aperte, mentre, al piano primo, presenta tre portali di accesso alternati a due finestre anch'esse aperte, che incorniciano l'immagine del paesaggio circostante da varie angolature: attraversati i portali si giungerà all'area di sosta attrezzata adiacente al setto stesso, con rispettiva scala di discesa.

Per garantire l'inclusività e la possibilità di accessibilità collettiva, anche dei portatori di handicap, le scale di discesa e risalita saranno predisposte con montacarichi meccanici agganciati al corrimano; gli stessi saranno programmati per tornare sempre al livello della pista per garantire la sicurezza del sistema in caso di allagamento della vasca di laminazione.

Interposto tra i setti murari già descritti il percorso si sviluppa, lungo tutta la sua estensione, supportato da due travi metalliche reticolari laterali aventi altezza variabile.

Le strutture reticolari sono sistemi composti da elementi lineari retti e rigidi dove il trasferimento delle forze avviene mediante la scomposizione vettoriale lungo le travi impiegate, ovvero una suddivisione multidirezionale delle forze, le cui caratteristiche principali sono le connessioni puntuali tra gli elementi e la presenza di forme triangolari.

Nel progetto è stato definito l'utilizzo di un sistema reticolare definito "Parker" con sviluppo contrario, ovvero la curvatura non si presenta al di sopra dell'impalcato, del percorso ma al di sotto di quest'ultimo: questa scelta progettuale è stata dettata dalla volontà di mantenere una visuale libera per fruire della vista del paesaggio in modo più libero possibile.

La struttura reticolare ha altezza variabile: al centro presenta un'altezza di 2,00mt mentre lateralmente si riduce ad 1,20mt giungendo ai poli di connessione con le travi d'impalcato.

Per sostenere le luci tra un setto e l'altro sono state effettuate scelte che hanno portato a determinare altezze variabili della struttura reticolare stessa per far fronte ai diversi carichi agenti su di essa, mentre la griglia di costruzione è stata di supporto nella definizione del numero di campate della struttura reticolare.

Sono state sviluppate dimensionalmente due differenti tipologie di struttura metallica reticolare: la prima consiste in una struttura a 10 campate con una lunghezza pari a 28,00m mentre la seconda consiste in una struttura ad 8 campate con lunghezza pari a 22,40m.

La loro posizione all'interno del progetto è basata sui principi già definiti di simmetria e ripetizione. Si tratta di strutture configurate in modo simmetrico rispetto al proprio asse ma anche rispetto al percorso stesso e ripetute in modo progressivo per tutta l'estensione della ciclovia con passo costante.

Agganciandosi alle strutture a mensola fissate ad ognuno dei setti, le strutture fanno capo a due punti di

appoggio: il punto in prossimità della Diga di Gurone a Sud-Est ed il punto di appoggio al Casello n°10 a Nord-Ovest, che rappresentano dunque i poli di congiunzione della ciclovia.

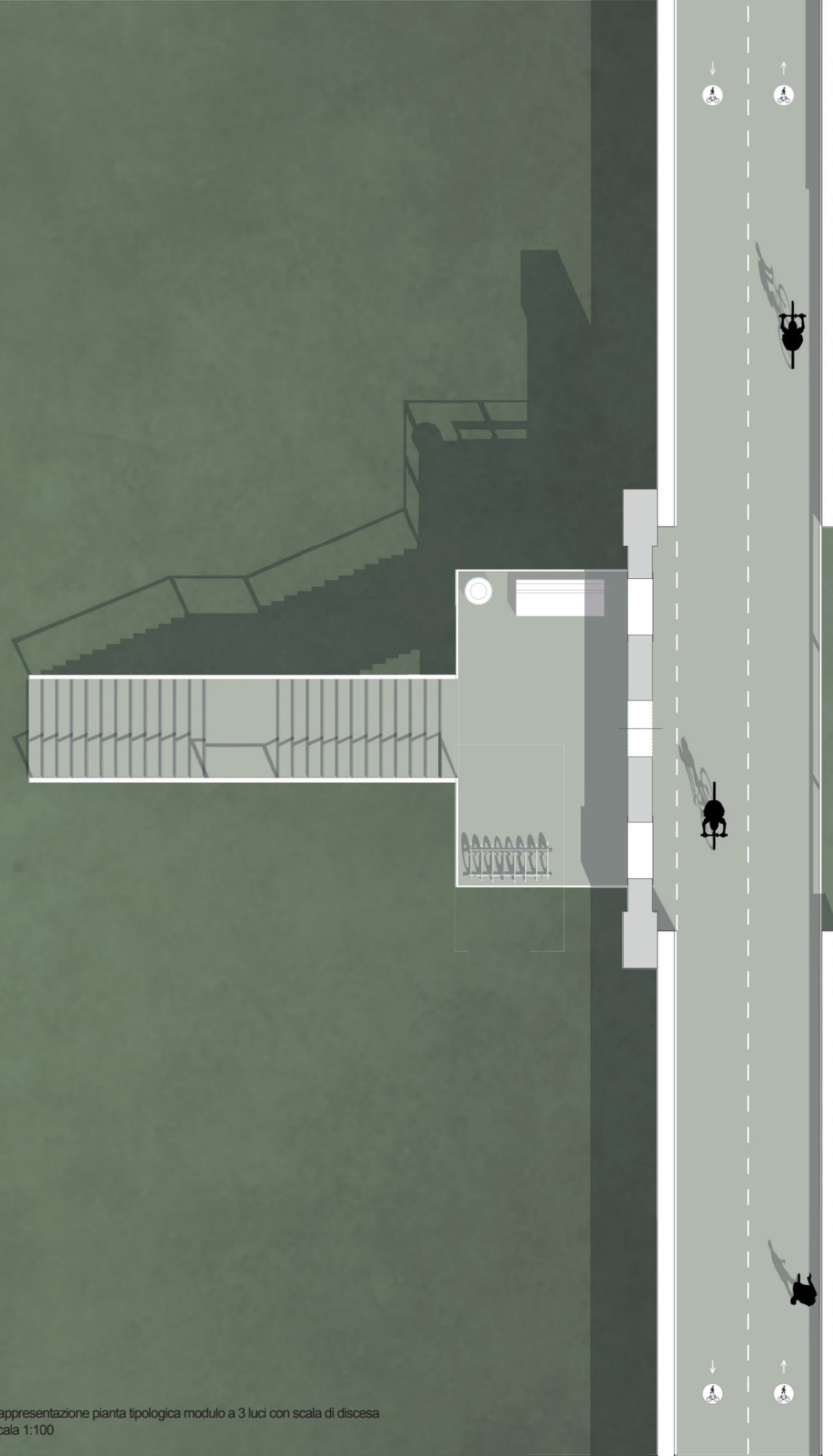
Mentre le strutture reticolari di lunghezza maggiore disposte lungo la futura pista costruiscono il percorso stesso, le strutture reticolari di lunghezza minore costituiscono gli appoggi di inizio e conclusione del tracciato.

Le soluzioni adottate, per la contestualizzazione dell'intervento sono basate sull'analisi dei caratteri e della storia del territorio.

La ricerca si configura come risposta a domande contemporanee e, nel contempo, come ricostruzione della memoria storica di un luogo, l'area dei Mulini di Gurone.

Scoprire e conoscere un luogo permette la valorizzazione del luogo stesso.

Il progetto propone la fruizione in quota del sito e permette, da diversi punti di vista, di carpire nell'insieme i suoi caratteri costitutivi. La mobilità dolce, oltre a preservare l'ambiente e promuovere un modello di vita sano, rappresenta per eccellenza la forma di mobilità finalizzata alla fruizione dell'ambiente e del paesaggio.



Rappresentazione pianta tipologica modulo a 3 luci con scala di discesa
Scala 1:100



Rappresentazione prospetto tipologico modulo a 3 luci con scala di discesa
Scala 1:100



Rappresentazione sezione tipologica modulo a 3 luci con scala di discesa
Scala 1:100



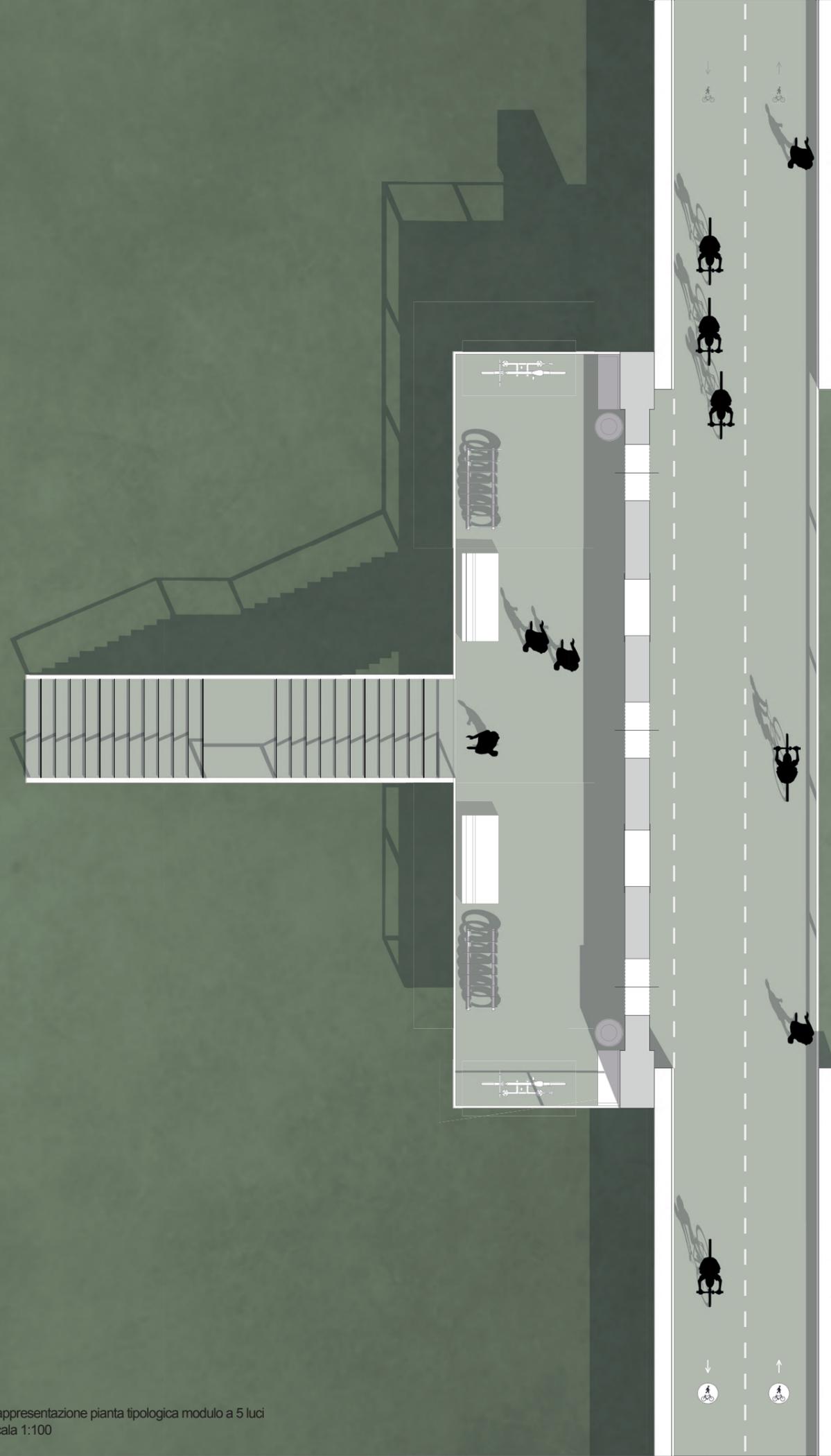
Rappresentazione pianta tipologica modulo a 3 luci
Scala 1:100



Rappresentazione prospetto tipologico modulo a 3
Scala 1:100



Rappresentazione sezione tipologica modulo a 3 luci
Scala 1:100



Rappresentazione pianta tipologica modulo a 5 luci
Scala 1:100



Rappresentazione prospetto tipologico modulo a 5 luci
Scala 1:100



Rappresentazione sezione tipologica modulo a 5 luci
Scala 1:100



PROGETTO DI ACCESSO AL CASELLO N.10 DALLA PISTA CICLOPEDONALE

L'obiettivo della ricerca di tesi pone il suo focus nel restauro architettonico, funzionale e strutturale del Casello n°10, attraverso due strategie di intervento: il risanamento della struttura ed il recupero funzionale del fabbricato in oggetto, che tiene conto della sua memoria. Il casello rappresenta il perno di congiunzione tra la pista esistente a Sud ed il nuovo percorso ciclopedonale che si sta realizzando a Nord promosso dal progetto "TI CICLO VIA".

Il progetto di restauro funzionale del casello analizza il tema dell'antico che apre le porte al nuovo, ovvero la storia della Ferrovia Valmorea che apre la porta al nuovo tracciato della pista ciclopedonale.

L'intenzione del progetto, oltre a voler risanare e conservare il manufatto storico infrastrutturale, è volta ad integrare il casello ferroviario nel percorso ciclopedonale proposto, come ulteriore elemento di valorizzazione progettuale incentivandone la manutenzione nel tempo. L'area di sosta localizzata in prossimità del casello permette un collegamento diretto alla pista ciclopedonale: mediante la conversione del serramento centrale dell'edificio a porta d'accesso, si consentirà la fruizione diretta dal percorso al piano rialzato del Casello, all'interno del quale verranno realizzate mostre e promosse attività in una cornice scenografica.

Il progetto prevede la rifunionalizzazione in sicurezza del Casello con soluzioni strategiche atte a mitigare l'azione dell'acqua che inonda il piano terra del fabbricato in caso di piena della vasca di laminazione: il risanamento, la riqualificazione e la nuova funzionalizzazione del manufatto ad oggi degradato permetterà di conoscere e riscoprire una realtà che sta via via venendo dimenticata.

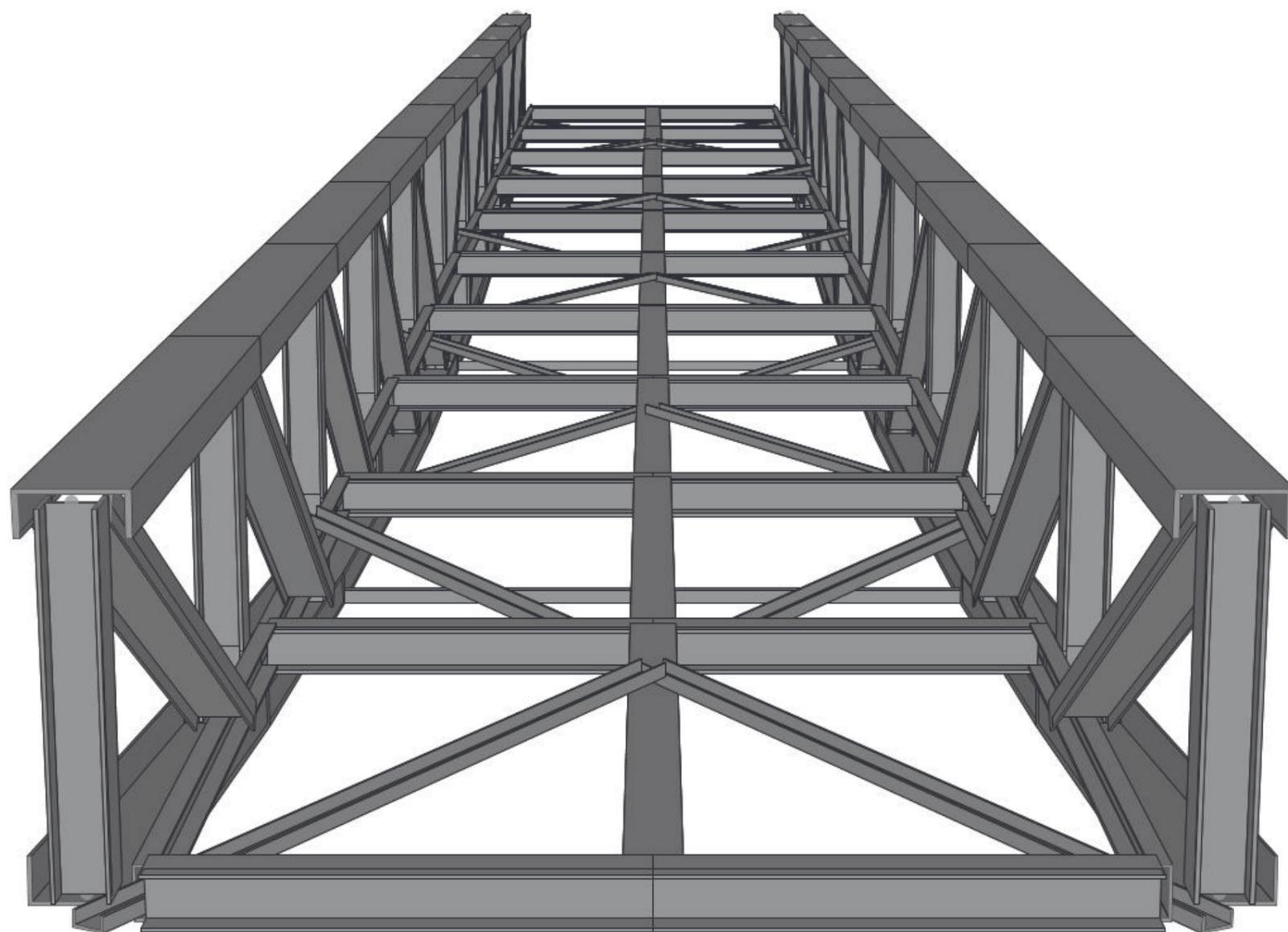






STOP

03



Progetto strutturale della ciclovia sopraelevata

INTRODUZIONE

All'interno della seguente relazione si riportano i calcoli relativi al dimensionamento delle strutture in acciaio predisposte a sostenere la passerella ciclopedonale sopraelevata del progetto di tesi, che tratta il collegamento in quota dalla Diga di Gurone all'anello dei Mulini di Gurone.

Il dimensionamento delle strutture è avvenuto per mezzo del programma di calcolo SAP 2000, versione 22.

RIFERIMENTI NORMATIVI

Il calcolo è avvenuto in accordo alle normative vigenti in materia, quali:

D.M. 14 gennaio 2008

"Norme tecniche per le costruzioni".

D.M. 17 gennaio 2018

"Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".

Circolare 21 Gennaio 2019 n°7

"Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 Gennaio 2018".

UNI EN 1993-1-1

"Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici" agosto 2005.

UNI EN 1991-1-4

"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture Parte 1.4 – Azioni del vento".

UNI EN 1991-1-5

"Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture Parte 1.5 – Azioni termiche".

UNI EN 1993-1-8

"Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1.8: Progettazione dei collegamenti" agosto 2005.

EN ISO 4016:2002

"Viti a testa esagonale con gambo parzialmente filettato - Categoria C" - luglio 2002.

UNI 5592:1968

"Dadi esagonali normali. Filettatura metrica ISO a passo grosso e a passo fine. Categoria C" - dicembre 1968.

UNI EN ISO 898 - 1:2001

"Caratteristiche meccaniche degli elementi di collegamento di acciaio - Viti e viti prigioniere." Maggio 2001.

3.2 PROGETTO STRUTTURALE

3.2.1

DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

Nei paragrafi successivi si riporta la relazione di calcolo strutturale del progetto, completa del calcolo dei carichi ed il dimensionamento della struttura.

L'intervento progettuale consta in un ponte costituito da 19 strutture reticolari, di cui 17 di lunghezza pari a 28 m e 2 pari a 22.4 m.

Ogni trave reticolare è intervallata dalla presenza di un setto in calcestruzzo, avente ruolo strutturale di sostegno della stessa pista ciclopedonale.

La sezione trasversale della ciclovia, di larghezza complessiva pari a 3.00 m, è composta da due sedi di percorribilità di larghezza pari a 1.50 m ciascuna.

Il progetto della ciclovia si fonda sulla ripetizione modulare di due elementi base: i setti murari e le strutture reticolari di collegamento del tracciato.

Questi elementi nel loro insieme sviluppano un percorso avente una lunghezza totale di circa 700 m.

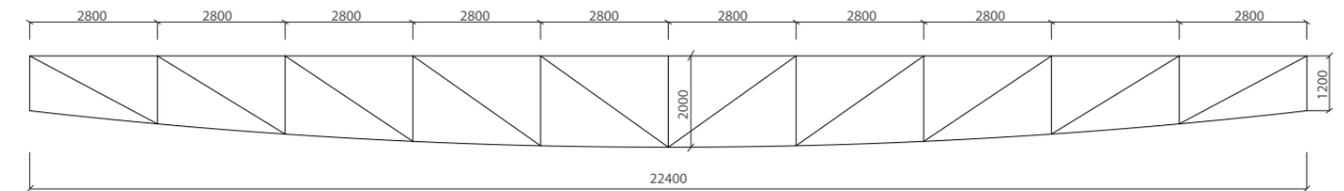
A livello strutturale si identifica una direzione globale di progetto Y corrispondente all'allineamento delle travi principali dell'impalcato, dei travetti dell'impalcato e delle travi principali del ponte, ed una direzione globale in pianta X corrispondente all'allineamento delle travi secondarie.

Lavorando in assonometria si identifica una direzione globale Z, corrispondente all'allineamento degli appoggi.

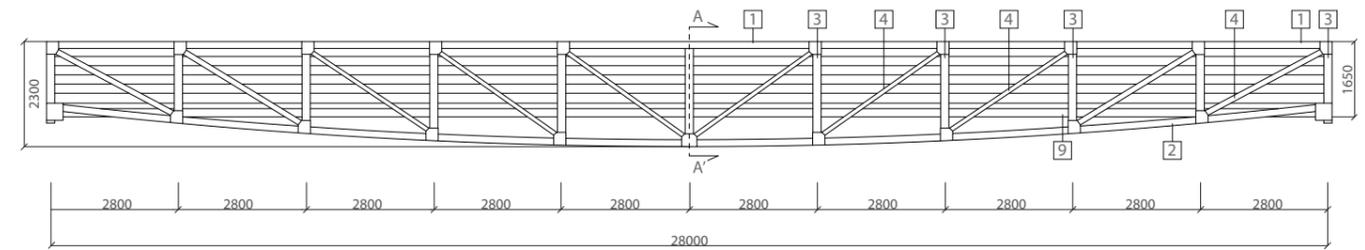
Il ponte presenta strutture reticolari a sistema di travatura definita "Parker". La struttura è composta da due travi principali, una superiore ed una inferiore, che, scandite ortogonalmente dai montanti delle campate, saldate tra loro corrono lungo i due lati di tutto il percorso, interrompendosi in maniera intermittente in corrispondenza dei setti. Le suddette travi hanno un profilo pari alle dimensioni di una trave avente sezione UPN 350.

In corrispondenza delle campate, invece, per i montanti

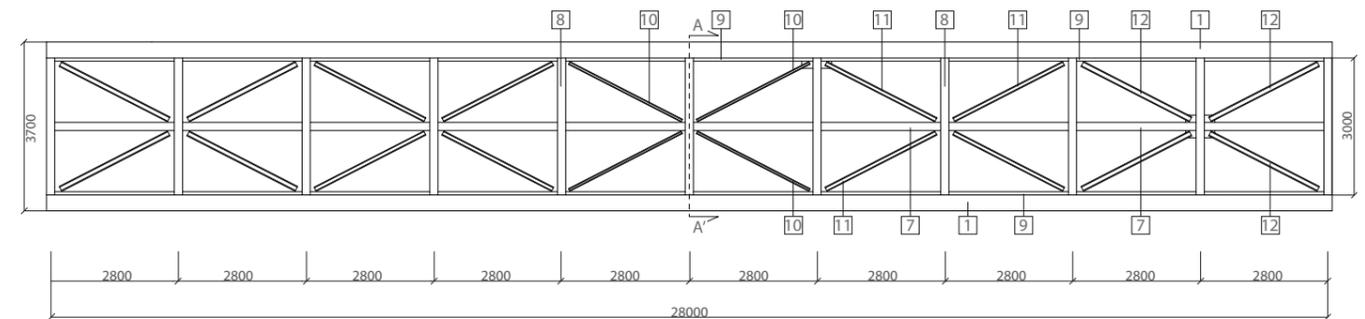
Componenti reticolare 28m



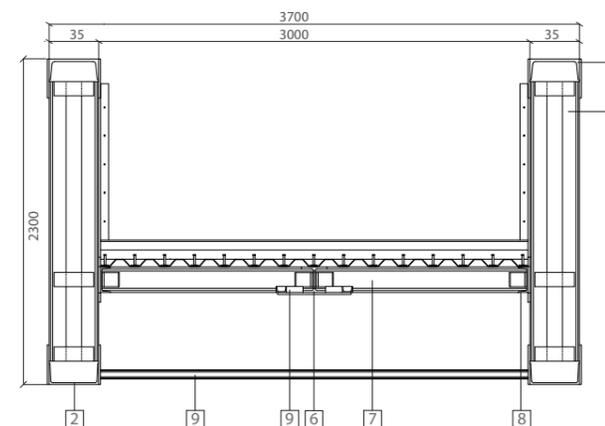
Schema della struttura reticolare



Prospetto della struttura reticolare



Pianta della struttura reticolare



Sezione A-A' della struttura reticolare

LEGENDA ELEMENTI

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 Trave principale superiore UPN 350 | 8 Trave di bordo UPN 180 |
| 2 Trave principale inferiore UPN 350 | 9 Controvento UPN 65 |
| 3 Montante HEB 180 | 10 Controvento UPN 100 |
| 4 Diagonale IPE 180 | 11 Controvento UPN 120 |
| 5 Diagonale IPE 240 | |
| 6 Trave principale impalcato HEB 180 | |
| 7 Traverso impalcato HEB 180 | |

si è previsto l'impiego di travi HEB 180 giuntate per mezzo di "fazzoletti" in acciaio alle travi principali, la cui anima verrà tagliata longitudinalmente per consentire l'adeguamento dimensionale alle travi principali UPN 350 precedentemente descritte, aventi larghezza maggiore. I montanti, all'interno della struttura, sono sottoposti a sollecitazioni di compressione.

Il sistema reticolare si compone, infine, di travi diagonali con 3 differenti profili (IPE 180 - 200 - 240) in relazione alle necessità di resistenza della struttura; anche per esse si prevede il taglio della sezione dei profili impiegati per avere una giunzione corretta al profilo delle travi principali.

Il parapetto in acciaio, di altezza pari a 1,20 m, è inserito per mezzo di un aggancio metallico, al fine di garantire la sicurezza dell'opera.

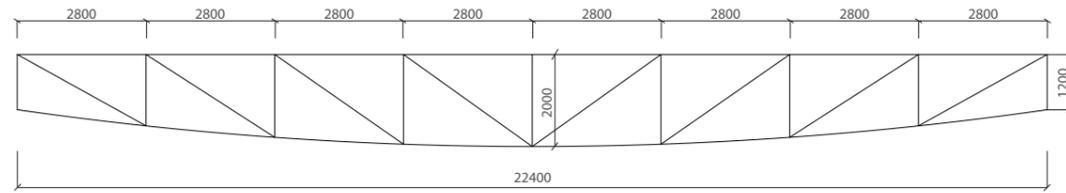
In corrispondenza della pista ciclopedonale, l'impalcato è caratterizzato da una struttura metallica larga 3,40 m composta da tre travi in direzione longitudinale X, di cui due travi di bordo con sezione UPN 180 ed una centrale (o trave secondaria longitudinale) con sezione HEB 180; le stesse presentano un'altezza costante nella loro estensione e sono poste a una distanza trasversale Y, pari a 1,7 m.

Le travi principali sono collegate trasversalmente in direzione Y da traversi irrigidenti aventi sezione invariata HEB 180. La distanza tra i traversi è pari a 2,80 m e sono disposti ad un passo costante in tutta l'estensione della struttura.

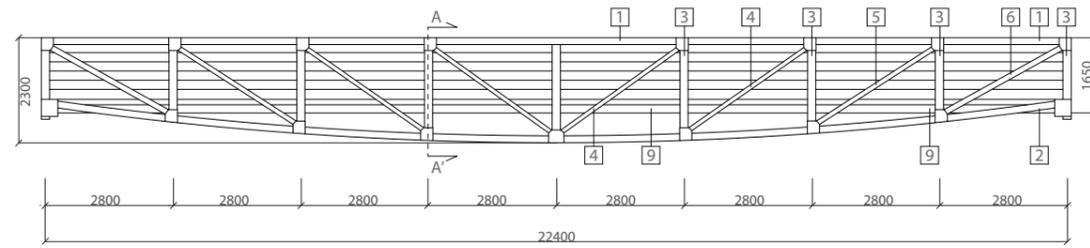
Al di sopra della struttura il progetto prevede una soletta composta da uno strato di lamiera grecata di 55 mm di altezza, uno strato di calcestruzzo armato di 65 mm, ed infine, uno strato di finitura previo sottofondo con pendenza atta allo scolo delle acque meteoriche.

Tra i traversi il progetto prevede l'inserimento di controventi che generano configurazioni "ad X", costituiti da travi UPN aventi 3 dimensioni differenti: UPN 65, UPN 100 e UPN 120.

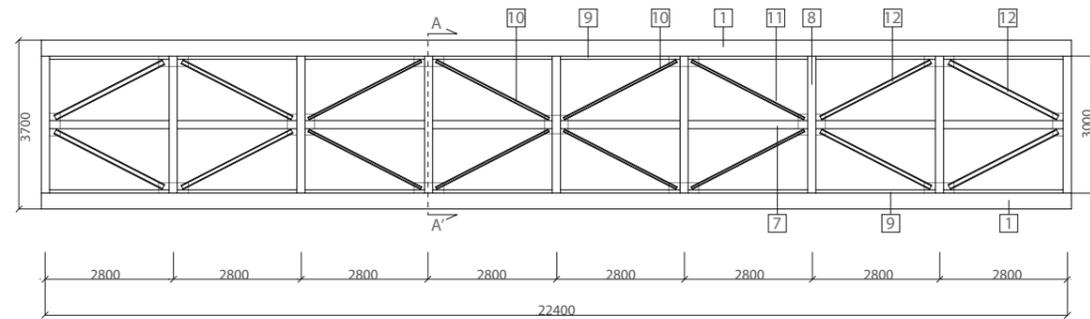
Dettaglio componenti reticolare 22.4m



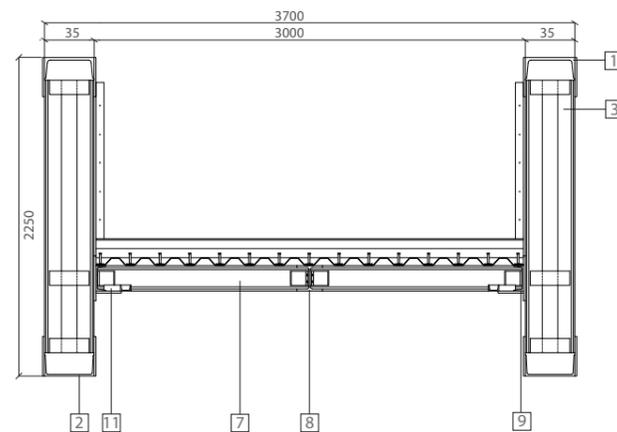
Schema della struttura reticolare



Prospetto della struttura reticolare



Pianta della struttura reticolare

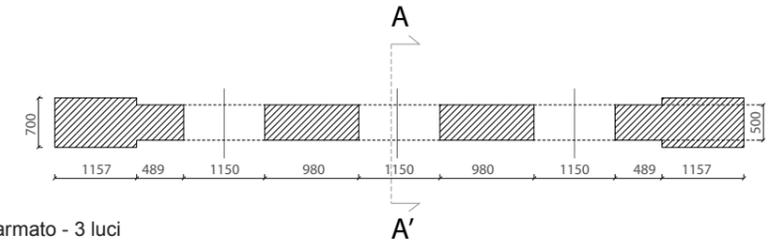


LEGENDA ELEMENTI

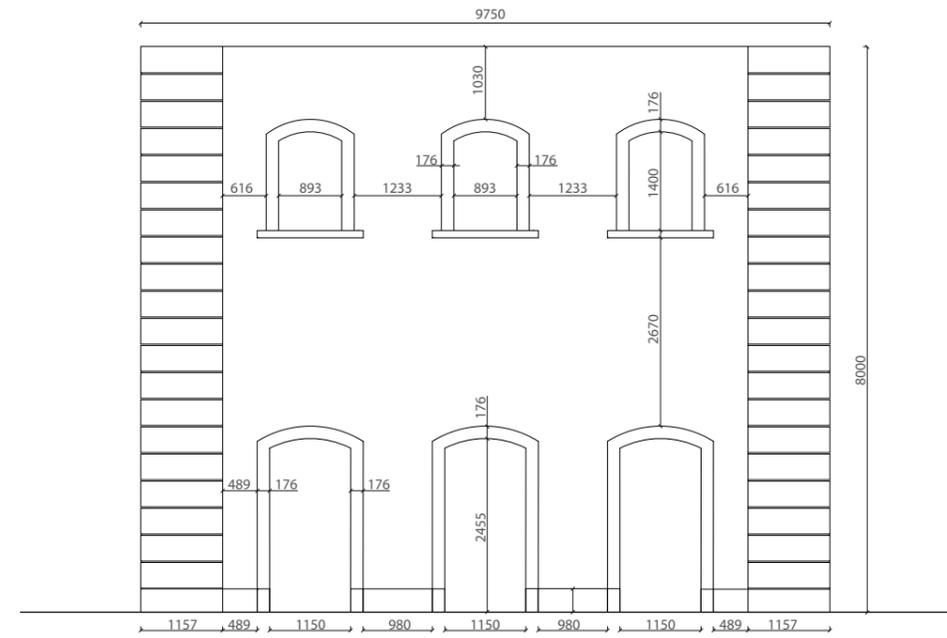
- | | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| 1 Trave principale superiore UPN 350 | 9 Trave di bordo UPN 180 |
| 2 Trave principale inferiore UPN 350 | 10 Controvento UPN 65 |
| 3 Montante HEB 180 | 11 Controvento UPN 100 |
| 4 Diagonale IPE 180 | 12 Controvento UPN 120 |
| 5 Diagonale IPE 200 | |
| 6 Diagonale IPE 240 | |
| 7 Trave principale impalcato HEB 180 | |
| 8 Traverso impalcato HEB 180 | |

Sezione A-A' della struttura reticolare

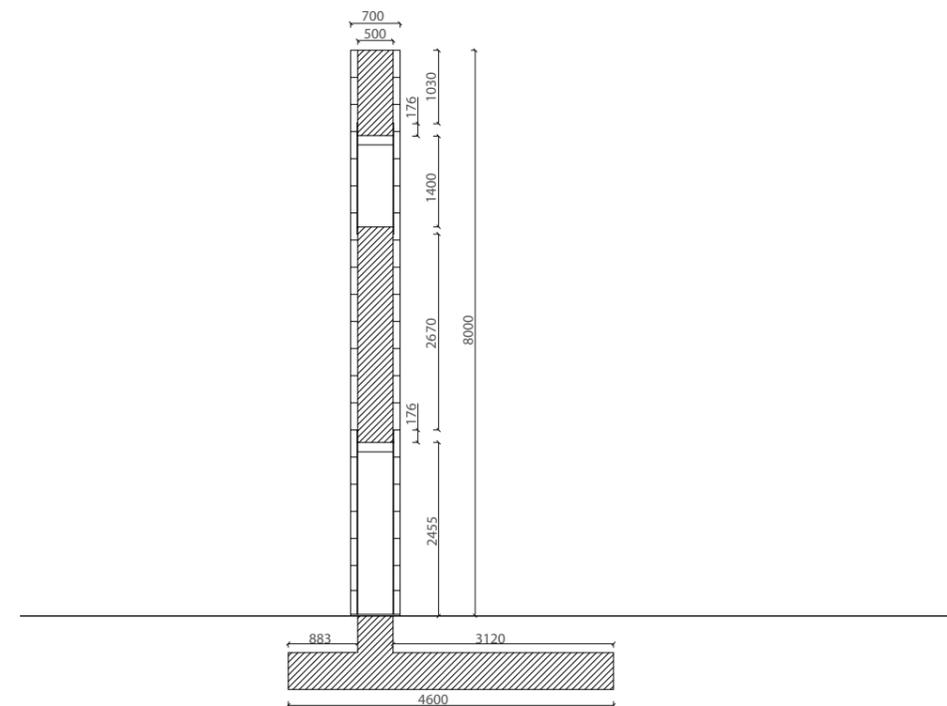
Dettaglio setto in calcestruzzo armato 3 luci



Pianta setto in calcestruzzo armato - 3 luci

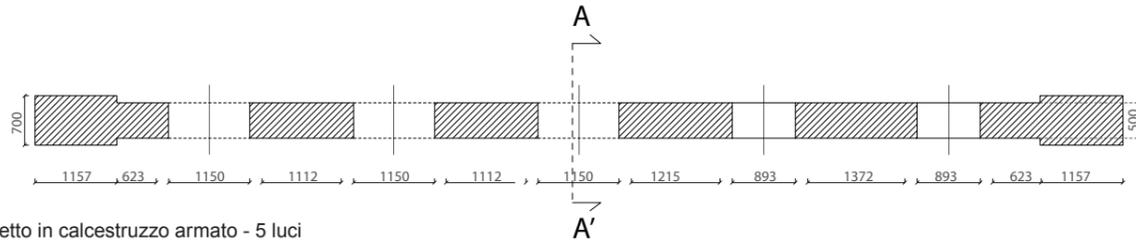


Prospetto setto in calcestruzzo armato - 3 luci

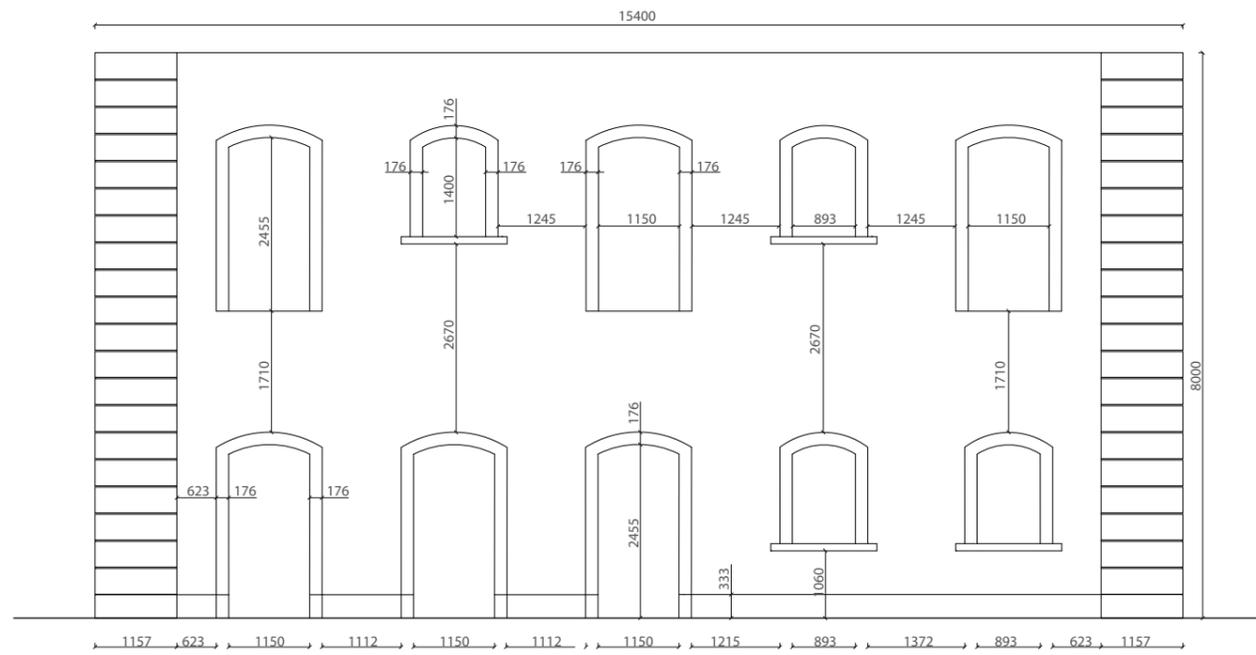


Sezione A-A' setto in calcestruzzo armato - 3 luci

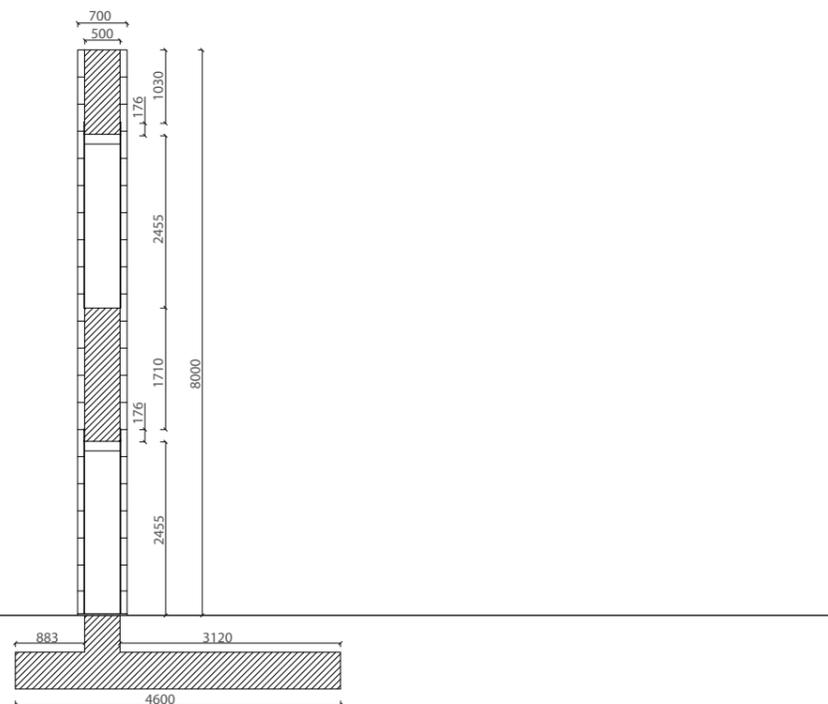
Dettaglio setto in calcestruzzo armato 5 luci



Pianta setto in calcestruzzo armato - 5 luci



Prospetto setto in calcestruzzo armato - 5 luci



Sezione A-A' setto in calcestruzzo armato - 5 luci

MATERIALI

CALCESTRUZZO ARMATO

Per la realizzazione dei setti, si è proposto l'impiego di calcestruzzo armato. Per garantire la durabilità delle strutture esposte all'azione dell'ambiente, è necessario adottare i corretti provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti da azioni chimico-fisiche derivanti da una possibile corrosione delle armature, nonché dai cicli di gelo e disgelo.

Ai fini dell'ottenimento delle prestazioni richieste in funzione delle condizioni ambientali in cui le strutture sono realizzate, è necessaria l'indagine della classe di esposizione dei setti, in rispetto alla norma UNI 11104 UNI e alla EN 206-1. Nel caso analizzato la condizione ambientale è caratterizzata da un ambiente ciclicamente bagnato e asciutto, in quanto lo sviluppo progettuale di questi elementi, come descritto in precedenza, si presenta all'interno di una vasca di laminazione soggetta alle piene indotte dall'entrata in funzione della diga, e all'esposizione a cicli di gelo e disgelo con l'utilizzo di sali disgelanti in modo diretto od indiretto.

Per quanto sopra riportato si tiene dunque in considerazione la classe peggiore, consistente del caso di strutture armate realizzate in ambienti con classe di esposizione XF4.

I setti sono soggetti a condizioni ambientali molto aggressive. Rispetto alle condizioni imposte dalla classe di esposizione, il calcestruzzo deve avere caratteristiche tali da poter resistere alla corrosione dei ferri di armatura, causata dal fenomeno di carbonatazione indotto dall'ambiente circostante.

Il tipo di calcestruzzo dev'essere conforme al prospetto 5 della UNI 11104.2016 che vede, per la classe di esposizione XF4, un massimo rapporto di a/c pari a 0,45, una minima classe di resistenza C28/35 e un minimo contenuto in cemento pari a 360 Kg/m3.

Si sceglierà dunque di adottare un calcestruzzo la cui classe è C35/45.

CLASSI DI ESPOSIZIONE		REQUISITI TECNOLOGICI RICHIESTI (dal Prospetto 1 e 4 della Norma UNI 11104)										
SELA	DESCRIZIONE DELL'AMBIENTE	Massimo rapporto a/c	Minimo contenuto in cemento (kg/m³)	Minimo classe di (R _{ck})								
X0	Per costruzioni prive di armatura o inerti metallici. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in assenza di agenti inquinanti e in ambiente molto asciutto. Intero di edifici con grande inerzia termica.	Nessun requisito	Nessun requisito	15								
1	Condizione ambientale bagnata, con cicli di bagnatura e asciugatura. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente molto asciutto.	0,50	360	30								
2	Condizione ambientale moderatamente bagnata, con cicli di bagnatura e asciugatura. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,50	360	35								
3	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	40								
4	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	45								
5	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	50								
XF1	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,50	360	40								
XF2	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,50	360	45								
XF3	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,50	360	50								
XF4	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	55								
XF5	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	60								
XF6	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	65								
XF7	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	70								
XF8	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	75								
XF9	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	80								
XF10	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	85								
XF11	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	90								
XF12	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	95								
XF13	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	100								
XF14	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	105								
XF15	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	110								
XF16	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	115								
XF17	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	120								
XF18	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	125								
XF19	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	130								
XF20	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	135								
XF21	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	140								
XF22	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	145								
XF23	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	150								
XF24	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	155								
XF25	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	160								
XF26	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	165								
XF27	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	170								
XF28	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	175								
XF29	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	180								
XF30	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	185								
XF31	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	190								
XF32	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	195								
XF33	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	200								
XF34	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	205								
XF35	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	210								
XF36	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	215								
XF37	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	220								
XF38	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	225								
XF39	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	230								
XF40	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	235								
XF41	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	240								
XF42	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	245								
XF43	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	250								
XF44	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	255								
XF45	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	260								
XF46	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	265								
XF47	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	270								
XF48	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	275								
XF49	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	280								
XF50	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	285								
XF51	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	290								
XF52	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	295								
XF53	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	300								
XF54	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	305								
XF55	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	310								
XF56	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	315								
XF57	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	320								
XF58	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	325								
XF59	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	330								
XF60	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	335								
XF61	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	340								
XF62	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	345								
XF63	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	350								
XF64	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	355								
XF65	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	360								
XF66	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	365								
XF67	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	370								
XF68	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	375								
XF69	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	380								
XF70	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	385								
XF71	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	390								
XF72	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	395								
XF73	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	400								
XF74	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	405								
XF75	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	410								
XF76	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	415								
XF77	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	420								
XF78	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	425								
XF79	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	430								
XF80	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	435								
XF81	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	440								
XF82	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	445								
XF83	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	450								
XF84	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	455								
XF85	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	460								
XF86	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	465								
XF87	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	470								
XF88	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	475								
XF89	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	480								
XF90	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	485								
XF91	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	490								
XF92	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	495								
XF93	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	500								
XF94	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	505								
XF95	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	510								
XF96	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	515								
XF97	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	520								
XF98	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	525								
XF99	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	530								
XF100	Condizione ambientale moderata e moderatamente asciutta. Sono le costruzioni esposte all'azione chimica, fisica e meccanica, in ambiente moderatamente asciutto.	0,45	360	535								

Fig.65: Idoneità della classi Rck in relazione alle classi di esposizioni ambientali e requisiti minimi
Fonte: UNI 11104

ACCIAIO

Per la realizzazione delle opere di carpenteria metallica in progetto si è impiegato l'acciaio di tipo S355, caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura, da utilizzare nei calcoli:

Per spessori $t \leq 40\text{mm}$

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 510 \text{ N/mm}^2$

Per spessori $40 \text{ mm} < t \leq 80 \text{ mm}$

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$

Tensione caratteristica di rottura: $f_{tk} \geq 470 \text{ N/mm}^2$

Il materiale presenta le seguenti proprietà:

Densità: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Coefficiente di Poisson: $\nu = 0,3$

Modulo di elasticità normale: $E = 2,100\text{E}+08 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità tangenziale o trasversale:

$G = 80769 \text{ N/mm}^2$

Coefficiente di espansione termica lineare:

$\alpha = 1,200\text{E}-05$

L'Eurocodice 3 relativamente ai coefficienti del materiale per i calcoli sulle costruzioni metalliche, prescrive i seguenti valori:

Densità: $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Coefficiente di Poisson: $\nu = 0,3$

Modulo di elasticità normale: $E = 210000 \text{ N/mm}^2$

Modulo di elasticità trasversale: $G = E/2(1+\nu) \text{ N}$

Coefficiente di espansione termica lineare:

$\alpha = 12 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$

Comportamento meccanico

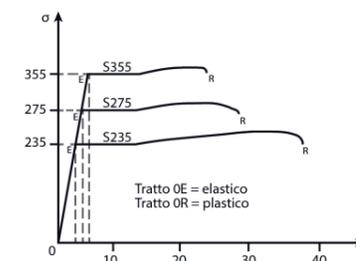


Fig.29

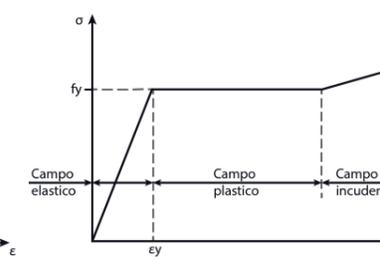


Fig.29

Fig.66: Andamento qualitativi per acciai da carpenteria con diverse resistenze
Fonte: NTC2018-04 Strutture in Acciaio

Fig.67: Resistenza tensione - deformazione (curva σ,ε)
Fonte: NTC2018-04 Strutture in Acciaio

3.3 CALCOLI PER IL DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE: RETICOLARE CON LUCE 28 m

SAP2000 versione22

Il programma di calcolo dimensionale impiegato nella redazione del progetto è SAP 2000 ("Static and dynamic finite element analysis of structure") versione 22. È stato sviluppato dalla Computer and Structure Inc, nel 1995, a Berkeley, California, USA e distribuito dalla CSI Italian srl con sede in Galleria San Marco n.4 a Pordenone.

Il software viene rilasciato con la documentazione richiesta dal Capitolo 10 D.M. 14.10.2008 "Norme Tecniche sulle costruzioni".

Il programma di calcolo SAP2000 analizza e progetta la struttura utilizzando un modello di calcolo che si definisce mediante l'interfaccia grafica. Il modello è costruito attraverso tipi di componenti, quali unità, oggetti ed elementi, gruppi, sistemi di coordinate e griglie, proprietà, casi di carico, funzioni, casi di analisi, combinazioni, impostazioni di progetto, file modello ed infine l'interfaccia grafica. Quest'ultima presenta varie caratteristiche efficaci per la generazione rapida del modello.

SAP2000 è il programma per l'esecuzione di analisi, verifiche, ottimizzazione del progetto, creazione dell'output attraverso l'interfaccia grafica, consentendo dal singolo modello di realizzare svariate analisi e verifiche, al fine di ottenere un progetto il più completo possibile.

SAP2000 è un software che permette la risoluzione delle strutture spaziali con il metodo delle deformazioni. Nell'analisi si suppone che la struttura sia composta da elementi semplici compresi tra i nodi. Ogni elemento può essere soggetto a spostamenti: longitudinali, trasversali e rotazioni. A questi spostamenti corrispondono forze e momenti necessari al mantenimento della struttura in tale condizione.

Questa tipologia di metodo può essere applicata a strutture composte da ogni tipo di elemento e non limitatamente a forme o a materiali particolari.

3.3.1

ANALISI DEI CARICHI

Per l'analisi statica delle strutture sono stati presi in esame il peso proprio ed i carichi variabili quali carico antropico, azioni del vento e le azioni termiche agenti sull'architettura.

PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA

La carpenteria metallica è stata computata con un peso specifico pari a 41,35 kN/m³. Nel caso specifico, non è stato necessario riportare il peso di tutti gli elementi, in quanto calcolato direttamente dal software a seguito dell'inserimento dei materiali scelti per il progetto.

Si è considerato lo sviluppo d'asse dei singoli elementi e si è amplificato, in via cautelativa, il risultato ottenuto con un coefficiente di 1,2: questo per tener conto di fazzoletti, piastre e raccorderia varia di cui è composta la struttura.

Peso proprio della struttura = 49,62 kN

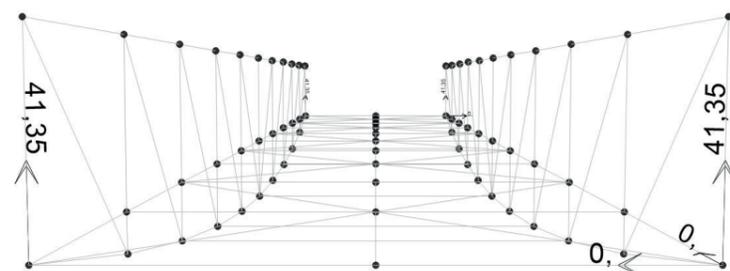


Fig.68: Peso proprio della struttura
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

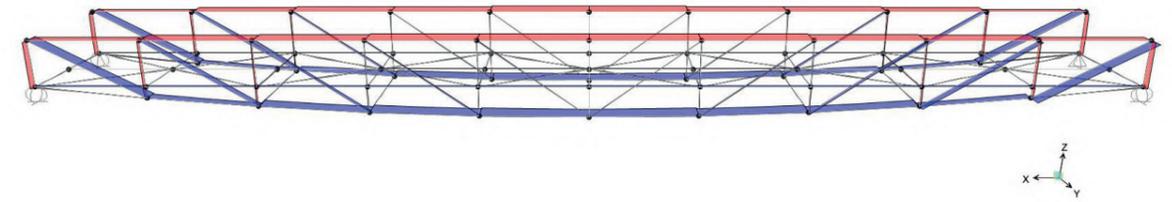


Fig.68:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

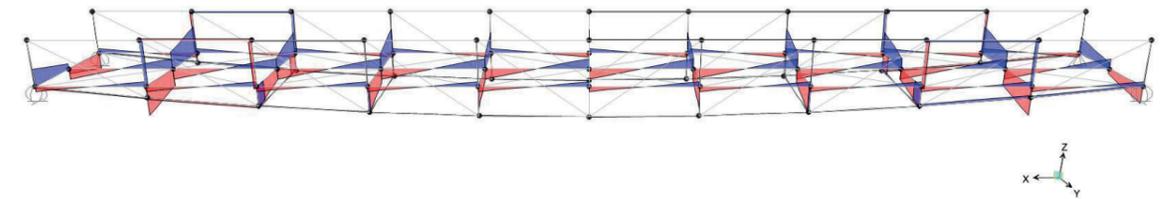


Fig.69:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

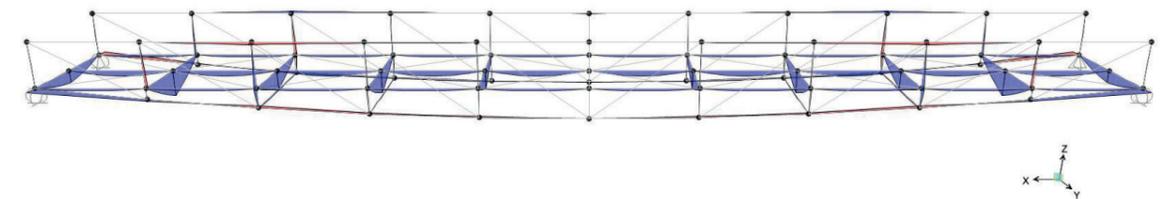


Fig.70:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

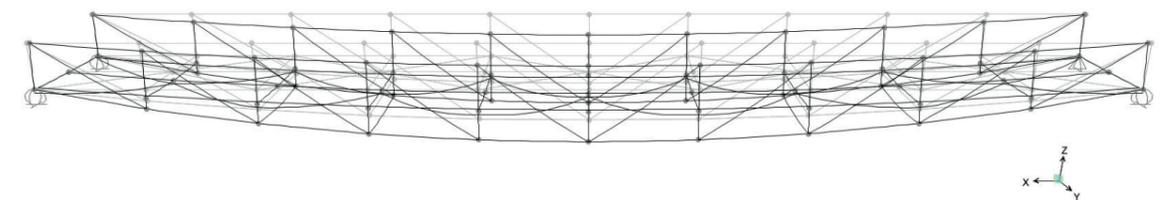


Fig.71:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

I carichi permanenti strutturali rappresentano tutti i pesi delle strutture portanti di progetto.

La struttura è composta da un solaio costituito da 55mm di lamiera grecata e 65 mm di soletta, il cui peso risultante è pari a 240 Kg/m² – 2,40 kN/m².

I solai in acciaio – calcestruzzo sono costituiti da uno strato di lamiera grecata di acciaio su cui viene poi gettato il calcestruzzo normale o alleggerito. La lamiera svolge la funzione di cassero durante la costruzione, costituendo tutta l'armatura longitudinale dopo l'indurimento del calcestruzzo. Dato l'insufficiente legame chimico tra i due materiali, è necessario prevedere opportune lavorazioni o l'utilizzo di apposite sagome per garantire una corretta aderenza tra lamiera e getto di calcestruzzo.

Il peso della soletta dell'impalcato è calcolato mediante il rapporto tra il peso totale del solaio e la larghezza dell'impalcato, che nel caso proposto è pari a 3,4 m.

Per l'inserimento del calcolo si è creato il relativo "load patterns", identificato come G2 – Peso solaio, assegnato mediante un carico distribuito lungo la trave principale dell'impalcato e lungo le travi di bordo del medesimo.

L'assegnazione del carico è stata suddivisa per 3/8 del peso sulle travi di bordo e i 10/8 del peso (corrispondenti alla somma di 5/8 del peso per parte) sulla trave principale dell'impalcato.

Trave principale dell'impalcato:

$$10/8 * 2,40 = 10 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo DX:

$$3/8 * 2,40 = 3,06 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo SX:

$$3/8 * 2,40 = 3,06 \text{ kN/m}^3$$

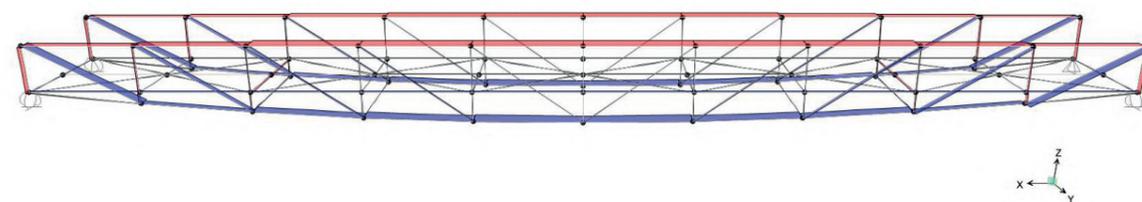


Fig.72:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

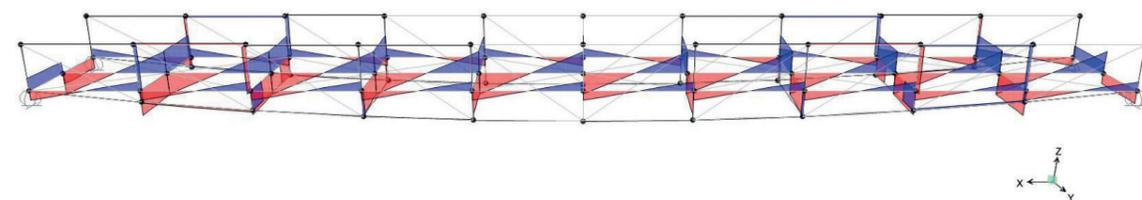


Fig.73:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

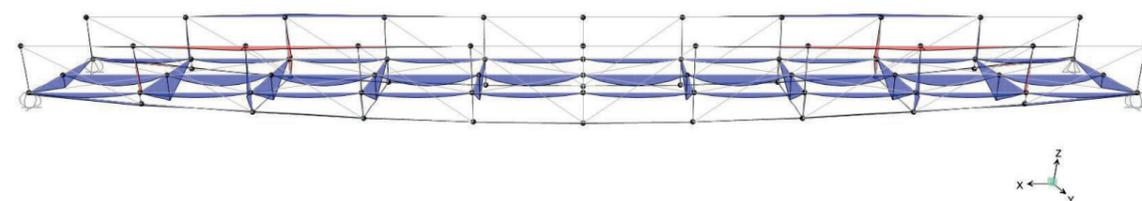


Fig.74:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

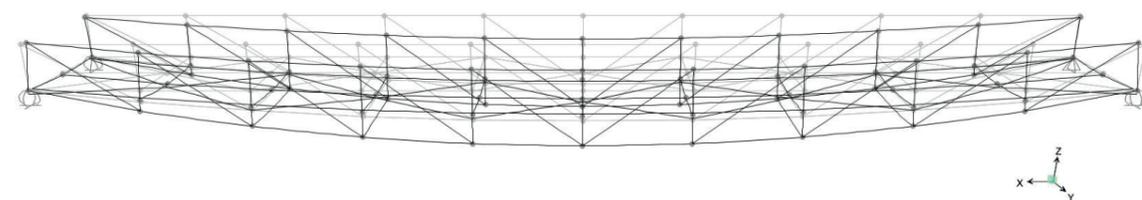


Fig.75:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

CARICO ANTROPICO

Il carico antropico fa riferimento al carico della folla, il cui peso considerato è di 5 kN/m².

Per l'inserimento del calcolo si è creato il relativo "load patterns", identificato come Q Folla, tanti quanti sono i frame dell'impalcato. Per le sue caratteristiche è definito dai codici di calcolo come carico "LIVE".

È stato poi assegnato mediante un carico distribuito lungo i frame della trave principale dell'impalcato e lungo i frame delle travi di bordo del medesimo.

Nel modello l'assegnazione del carico è stata suddivisa, come per il carico G2 - Peso solaio, per 3/8 del peso sulle travi di bordo e i 10/8 del peso (corrispondenti alla somma di 5/8 del peso per parte) sulla trave principale.

Trave principale dell'impalcato:

$$5\text{kN/m}^2 * 1.7\text{m} * (10/8) = 10,63 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo DX:

$$5\text{kN/m}^2 * 1.7\text{m} * (3/8) = 3,19 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo SX:

$$5\text{kN/m}^2 * 1.7\text{m} * (3/8) = 3,19 \text{ kN/m}^3$$

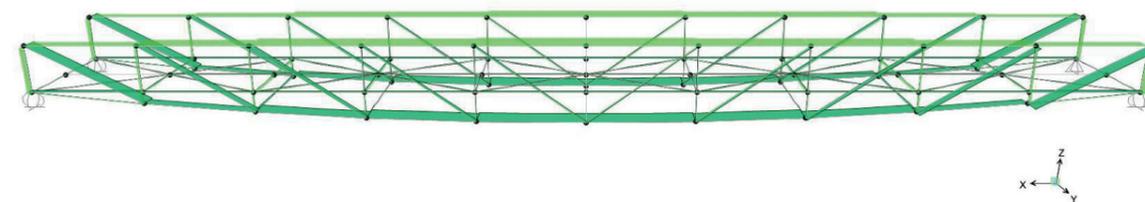


Fig.76:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

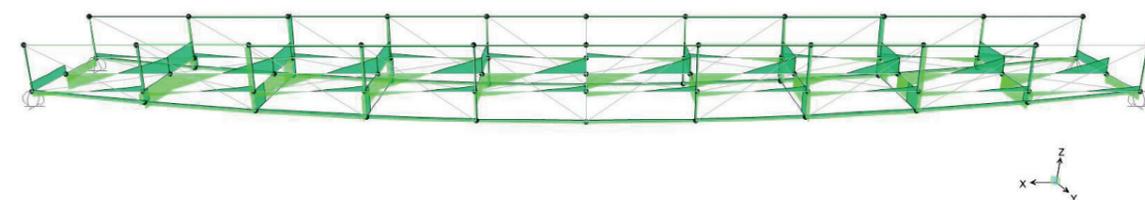


Fig.77:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

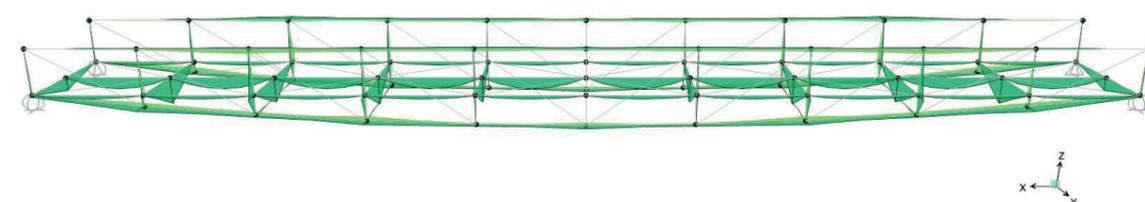


Fig.78:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

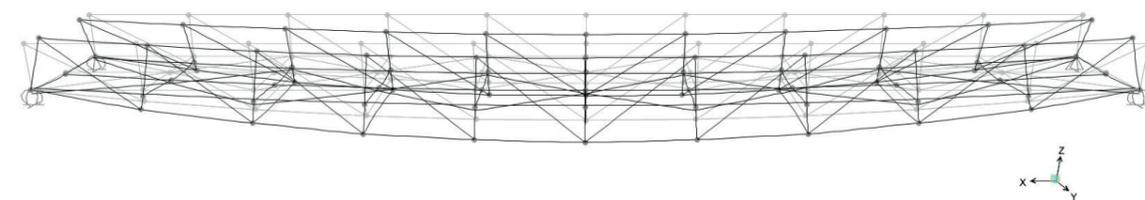


Fig.79:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.3.3

AZIONI TERMICHE

Gli effetti che le variazioni termiche uniformi volumetriche esercitano sulla struttura in termini di spostamenti e sollecitazioni, come specifica la normativa italiana NTC08 nel paragrafo 5.2.2.5.2 “Temperatura”, devono essere considerate, per le strutture direttamente esposte alle azioni atmosferiche, in mancanza di studi approfonditi, pari a:

Impalcato in calcestruzzo, c.a e c.a.p	$\Delta T = \pm 15^{\circ}\text{C}$
Impalcato in struttura mista acciaio – calcestruzzo	$\Delta T = \pm 15^{\circ}\text{C}$
Impalcato con strutture in acciaio ed armamento su ballast	$\Delta T = \pm 20^{\circ}\text{C}$
Impalcato con strutture in acciaio ed armamento diretto	$\Delta T = \pm 25^{\circ}\text{C}$
Strutture in calcestruzzo	$\Delta T = \pm 15^{\circ}\text{C}$

Esclusivamente per il calcolo delle escursioni dei giunti e degli apparecchi di appoggio la variazione di temperatura da considerarsi sar l'incremento del 50% per tutte le tipologie d'impalcato analizzate precedentemente.¹³

Per il calcolo, dunque, all'interno del software sono stati creati i relativi load patterns, identificati come:

Termica stagionale 1, con un valore di temperatura pari a $+25^{\circ}\text{C}$;

Termica stagionale 2, con un valore di temperatura pari a -25°C ;

Termica giornaliera 1, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$;

Termica giornaliera 2, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$.

¹³Secondo Normativa italiana NTC08 paragrafo 5.2.2.5.2 Temperatura.
Fonte: NTC08

Diagrammi termica stagionale 1

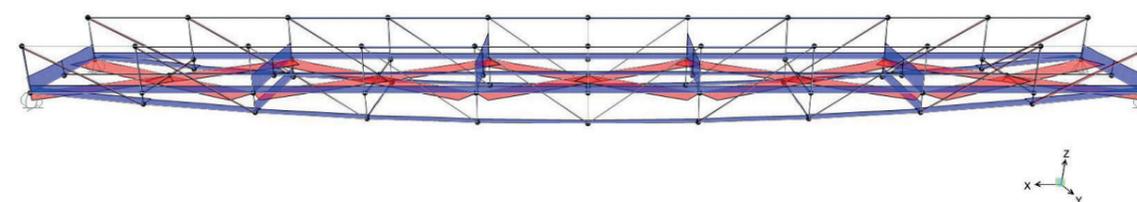


Fig.80:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

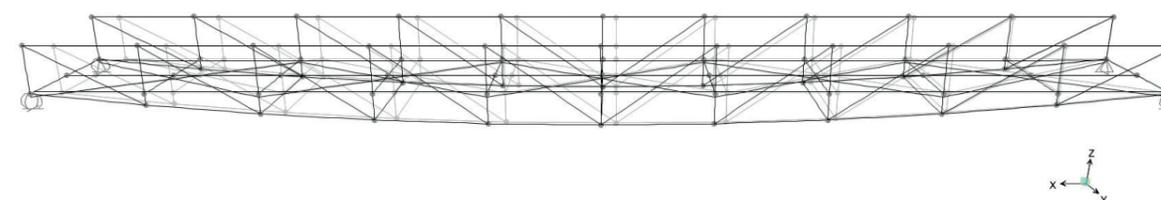


Fig.81:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Diagrammi termica stagionale 2

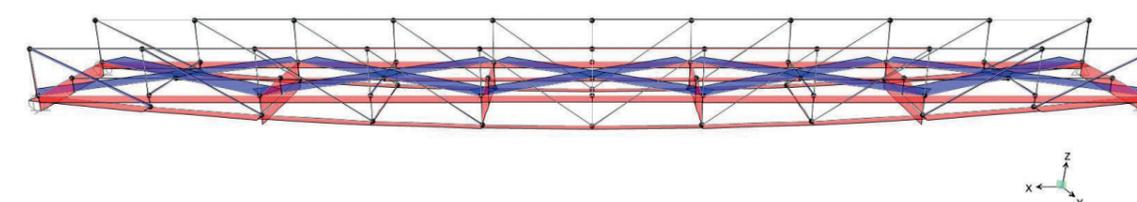


Fig.82:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

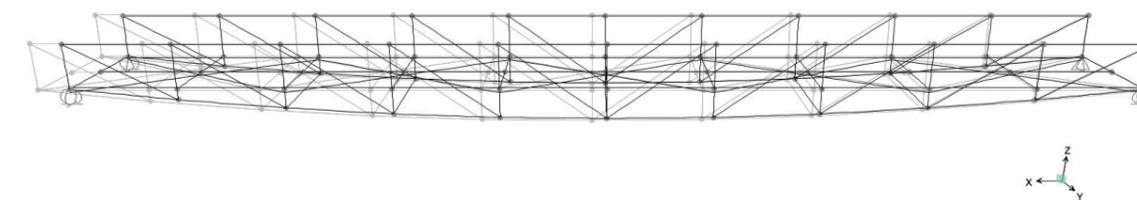


Fig.83:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Ai fini del calcolo, le termiche stagionali sono state assegnate su tutta la struttura, mentre per quanto riguarda le termiche giornaliere, si sono considerate come:

Termica giornaliera 1, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$ assegnata alla reticolare destra della struttura;
Termica giornaliera 2, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$ assegnata alla reticolare sinistra della struttura.

Diagrammi termica giornaliera 1

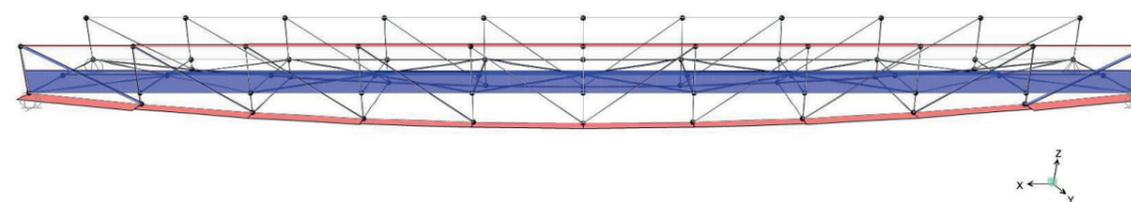


Fig.84:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

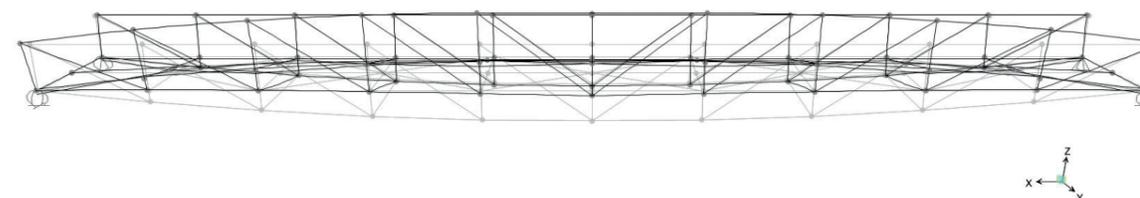


Fig.85:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Diagrammi termica giornaliera 2

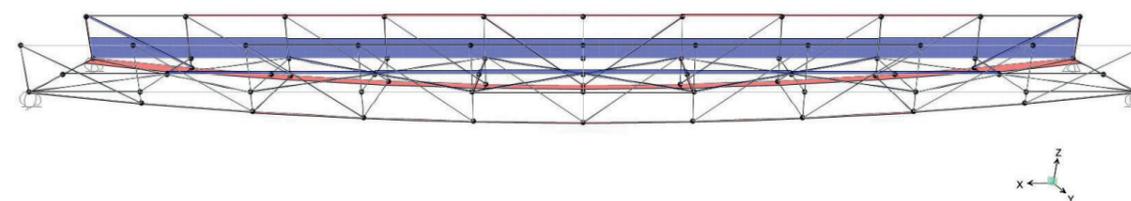


Fig.86:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

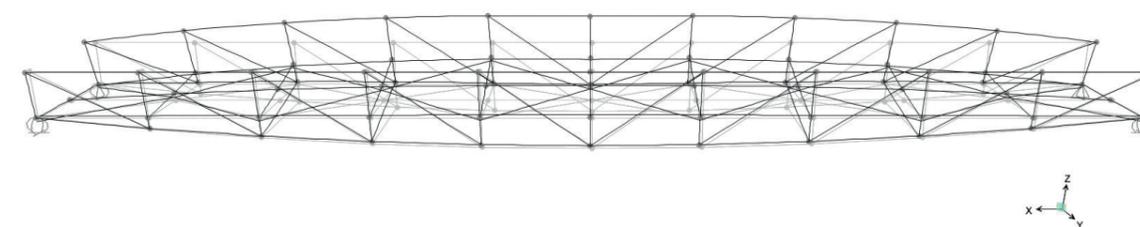


Fig.87:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.3.4

AZIONI DEL VENTO

Le azioni del vento sono definite nel capitolo 3 delle Norme Tecniche vigenti, ed è classificato come carico “accidentale”.

La spinta del vento è un fenomeno complesso, che induce e provoca effetti dinamici sulle costruzioni, generando sulle strutture delle azioni che variano nel tempo e nello spazio.

Nella pratica di calcolo nelle strutture considerate rigide, ovvero che presentano una struttura ordinaria, nel nostro caso l'acciaio; la forza del vento è ricondotta ad un'azione statica equivalente, ridotta a forze orizzontali che agiscono a livello del solaio.

Di seguito è inserita la procedura di calcolo delle azioni del vento su un impalcato da ponte ciclopedonale.

Velocità base di riferimento

Il processo ha origine dal calcolo della velocità di riferimento V_b , ovvero il valore medio su 10 minuti, a 10 metri di altezza dal suolo di categoria di esposizione, riferito ad un periodo di ritorno T_R . Il calcolo è definito secondo l'espressione [3.3.1] del paragrafo 3.3.1 della NTC 2018

$$V_{b(TR)} = V_b * C_r = 25 * 1.04 = 26 \text{ m/s}$$

Dove:

- V_b = è la velocità base di riferimento
- C_r = è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto T_R espresso in anni.

Tali valori sono indicati dalla Tab. [3.3.1] delle NTC2018, riportata in seguito:

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ (m/s)	a_0 (m)	k_a
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Fig.88: Tabella 3.1 – Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 e k_a per le diverse zone italiane. Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Valutando il coefficiente di ritorno, si fa riferimento alla seguente formula:

$$C_r = 0.75 \sqrt{(1 - 0.2 * \ln[-\ln(1 - 1/T_R)])} = 1.04$$

Nel caso del progetto in analisi si prende in considerazione un tempo di ritorno T_R pari a 100 anni. Il coefficiente di ritorno, dunque, assumerà un valore pari a 1.04, come si evince dal diagramma in figura 3.2.

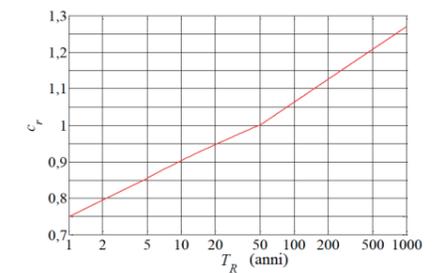


Fig.89: Figura 3.2 – Diagramma del coefficiente di ritorno c_r in funzione del periodo di ritorno T_R . Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Pressione cinetica di riferimento

Per concludere il calcolo della pressione del vento è necessario calcolare in precedenza la pressione cinetica di riferimento, secondo l'espressione [3.3.6] del paragrafo 3.3.6 della NTC 2018, per cui:

$$q_r = \frac{1}{2} * \rho * v_r^2 = \frac{1}{2} * 1.25 * (26)^2 = 422 \text{ N/m}^2$$

Dove:

- v_r è la velocità di riferimento del vento
- ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³

Pressione del vento

La pressione del vento, dato finale da ricavare, è calcolata mediante l'espressione [3.3.4] del paragrafo 3.3.4 della NTC 2018:

$$p = q_r * c_e * c_p * c_d = 422 * 1.63 * c_p = 688 \text{ N/m}^2$$

Dove:

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il coefficiente di pressione
- c_d è il coefficiente dinamico

Quest'ultimo tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso assume un valore pari a 1.

Per completare il calcolo della relazione della pressione del vento, dove Q_r , ovvero la pressione cinetica di riferimento, e c_d , ovvero il coefficiente dinamico, sono dati noti, è necessario eseguire il calcolo del coefficiente di esposizione C_e , in funzione della classe di rugosità del sito e del dislivello dal mare.

Classe di rugosità

La classe di rugosità del terreno, definita nella tabella sottostante 3.3.III della NTC 2018, risulta essere la B: il progetto si delinea pertanto in un'area suburbana, boschiva.

Classi di rugosità	Descrizione
A	Area urbana, in cui almeno il 15% della superficie del terreno sia coperto da edifici la cui altezza media supera i 15 m
B	Area urbana (non di classe A), suburbana, industriale o boschiva
C	Area con ostacoli diffusi (quali alberi, case, muri, recinzioni,); aree con rugosità non riconducibile alle Classi A, B, D.
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla riva) b) Lago (con larghezza pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla riva) c) Area priva di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

Fig.90: Tabella 3.III - Classi di rugosità del terreno.TR.
Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

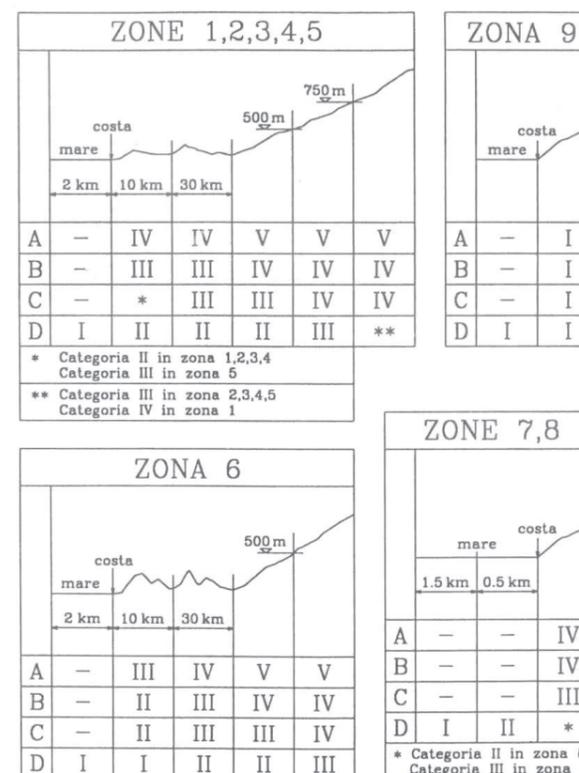


Fig.91: Figura 3.3 – Criterio di assegnazione della categoria di esposizione per le diverse zone italiane.
Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Categoria di esposizione del sito

La categoria di esposizione è assegnata dalla tabella 3.3.II della NTC 2018 in funzione della posizione geografica del sito in cui avviene la progettazione della nuova struttura: il progetto si inserisce nella categoria di esposizione IV.

I parametri per la categoria di riferimento sono elencati nella Tab. 3.3.II di seguito riportata:

Categorie 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

Fig.92: Tabella 3.II – Valori dei parametri k_r , z_0 , e z_{min} per le diverse categorie di esposizione.
Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Da tabella otteniamo i valori:

- $K_r = 0$
- $Z_0 = 0.3\text{m}$
- $Z_{\min} = 8\text{m}$

Il coefficiente di esposizione è di seguito calcolato attraverso l'espressione del paragrafo 3.3.7 della NTC 2018. Si considera come altezza media dell'impalcato dalla quota di campagna del terreno sottostante identificata come Z, un valore pari a 3.8mt.

$$C_e(Z=3.8\text{m}) < C_e(Z=Z_{\min})$$

$$C_e(Z=3.8\text{m}) = C_e(Z=Z_{\min}) = C_e(Z=8\text{m}) = k_r c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] = 0.22^{1.2} * 1 * \ln(8/0.3) * [7 + 1 * \ln(8/0.3)] = 1.63$$

Dove :

- C_t è il coefficiente topografico
- K_r è il fattore del terreno
- Z_0 è la lunghezza di rugosità
- Z_{\min} è l'altezza minima

Il coefficiente di topografia viene generalmente considerato pari a 1, sia per le zone pianeggianti che per quelle montane o collinari.

Coefficiente di forma

Il restante coefficiente ancora non noto della relazione di calcolo della pressione del vento è il coefficiente C_p , ovvero il coefficiente di forma, che è definito sulla base della geometria strutturale dell'impalcato.

Per il calcolo del coefficiente C_p si fa riferimento all'Eurocodice 1991-1-4 (nel capitolo "Azione del vento"). Gli impalcato da ponte sono trattati alla sezione 8 della norma EN 1991-1-4.

La tipologia dell'impalcato progettato è mostrata nella figura 8.1, e tratta una struttura reticolare.



Figure 8.1 – Cross-sections of normal construction decks

Da modello SAP si individuano le direzioni Y trasversale, X longitudinale e Z verticale.

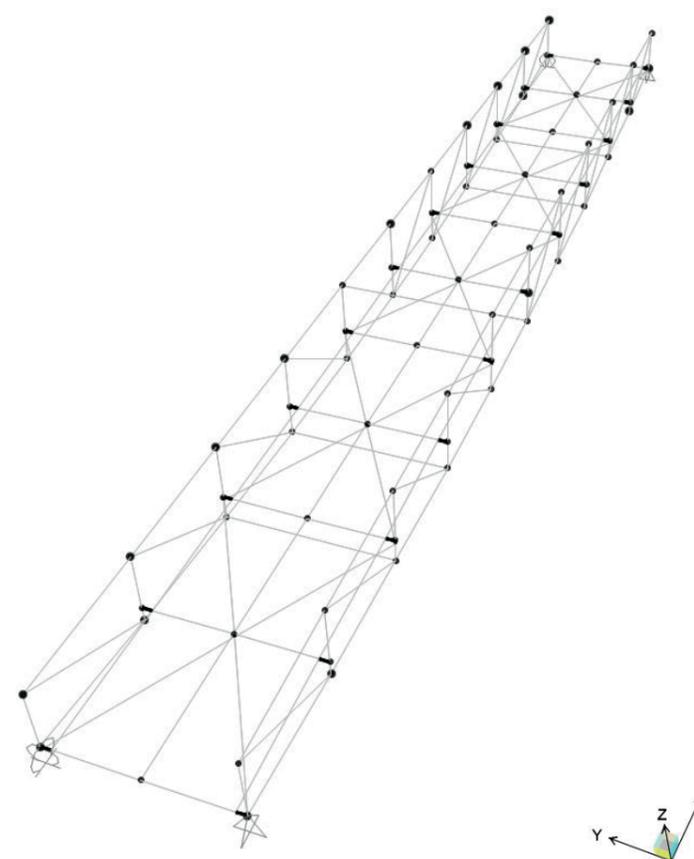


Fig.93: Tabella 3.II – Valori dei parametri k_r , z_0 , e z_{\min} per le diverse categorie di esposizione. Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Fig.94: Rappresentazione tridimensionale della struttura. Fonte: SAP2000

VENTO TRASVERSALE

Il vento agisce in direzione prevalentemente orizzontale ed ortogonale all'asse dell'impalcato, esercitando nel piano della sezione un sistema di azioni aereodinamiche per unità di lunghezza riconducibili ad una forza parallela alla direzione del vento f_x , ad una forza verticale f_y e ad un momento intorno all'asse m_z .

Queste azioni vengono quantificate mediante due coefficienti di forza, C_{fx} e C_{fy} , ed un coefficiente di momento, C_{mz} , che possono essere ottenuti attraverso il seguente processo.

La formulazione dei coefficienti di forza dipende sempre dal rapporto b/d_{tot} , ovvero il rapporto tra la larghezza dell'impalcato e l'altezza totale della struttura.

Le caratteristiche strutturali del ponte in oggetto riportano un rapporto b/d_{tot} pari a $3.4/2 = 1.7m$

Dunque:

Il coefficiente C_{fx} calcolato mediante la norma EN 1991-1-4, paragrafo 8.3.1 (figura 8.3) risulta essere pari a:

$C_{fx} = 1.93$

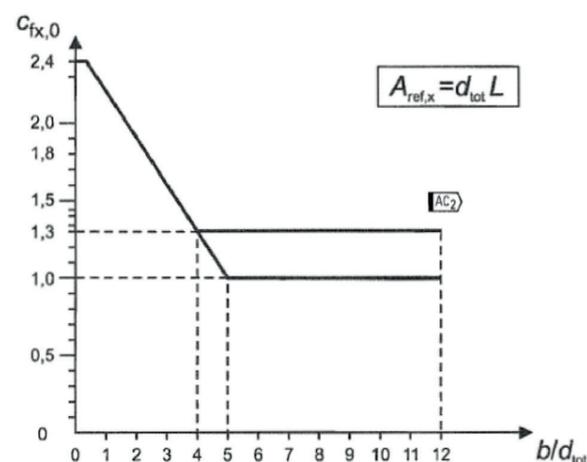


Fig.95: Figure 8.3 - Force coefficient for bridges, $C_{fx,0}$
Fonte: BS EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010
EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010 (E)

Il vento trasversale genera anche una contemporanea azione verticale che può essere di sollevamento o abbassamento (in due "loadcase" separati).

Questa azione è descritta al paragrafo [8.3.3] del En 1991-1-4.

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

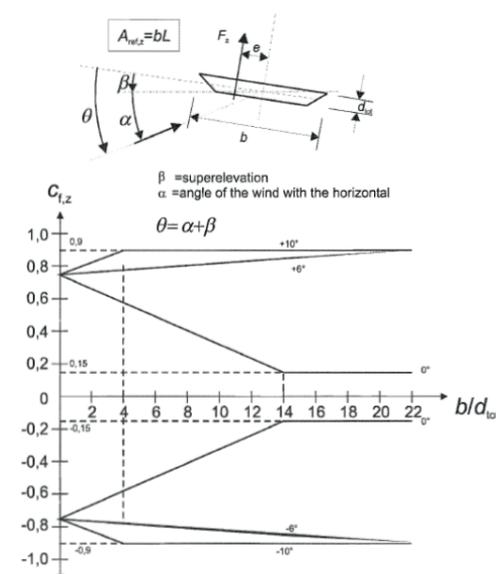


Figure 8.6 — Force coefficient c_{fz} for bridges with transversal slope and wind inclination

Fig.96: Figure 8.6 - Force coefficient $C_{f,z}$ for bridges with transversal slope and wind inclination

Fonte: BS EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010
EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010 (E)

Gli angoli da considerarsi nel processo in relazione al progetto risultano essere:

$\beta = 0$ inclinazione trasversale dell'impalcato nulla;

$\alpha = 0$ inclinazione del vento sull'orizzontale nulla, in mancanza di studi più precisi si considera sempre un valore pari a 0.

Il coefficiente di sollevamento verticale C_{fz} calcolato secondo la norma EN 1991-1-4, paragrafo 8.3.3 (figura 8.6) risulta essere pari a:

$C_{fz} = +/- 0.65$ circa.

Si considera nel calcolo dei coefficienti un rapporto b/d_{tot} pari a $3.4/2 = 1.7m$

L'eccentricità e , è pari al rapporto tra la larghezza dell'impalcato $b/4$:

$$e = 3.4/4 = 0.85\text{m}$$

La superficie investita dal vento, per unità di lunghezza in direzione z è pari alla larghezza dell'impalcato:

$$b = 3.4 \text{ m}^2/\text{m}$$

Da questo ne consegue che il carico distribuito verticale per unità di lunghezza dell'impalcato è:

$$F_{vz} = \pm 0.65 * b * p = \pm 0.65 * 3.4 \text{ m}^2/\text{m} * 688 \text{ N/m}^2 = \pm 1.52 \text{ kN/m}$$

Dove:

- C_{fz} è il coefficiente di sollevamento verticale
- b è la larghezza dell'impalcato
- p è la pressione del vento

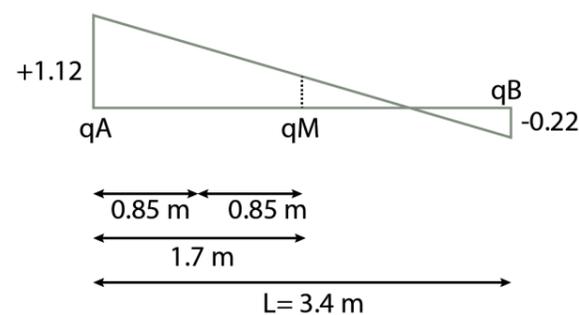
Il coefficiente f_{vz} genera un torcente pari a:

$$T_{vz} = F_{vz} * e = \pm 1.52 * 0.85 = \pm 1.29 \text{ kNm/m}$$

Mediante questi carichi è possibile calcolare le pressioni agenti sui traversi dell'impalcato come segue.

Traverso impalcato

Vento trasversale 1



$$L = 3.4$$

$$F = 1.52$$

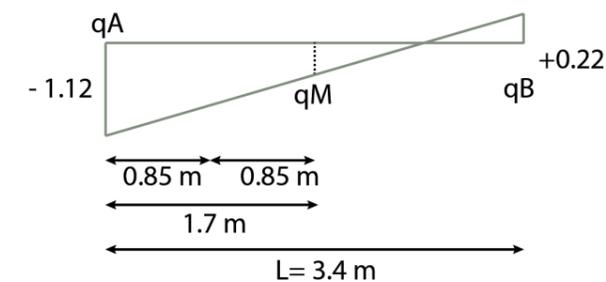
$$M_z = 1.52 * 0.85 = 1.29$$

$$q_m = F/3.4 = 0.45$$

$$q_a = (F/l) + \frac{6M}{l^2} = (F/l) + \frac{6M}{l^2} = (1.52/3.4) + \frac{6 * 1.29}{(3.4)^2} = 1.12 \text{ kN/m}$$

$$q_b = (F/l) - \frac{6M}{l^2} = (F/l) - \frac{6M}{l^2} = (1.52/3.4) - \frac{6 * 1.29}{(3.4)^2} = -0.22 \text{ kN/m}$$

Vento trasversale 2



$$L = 3.4$$

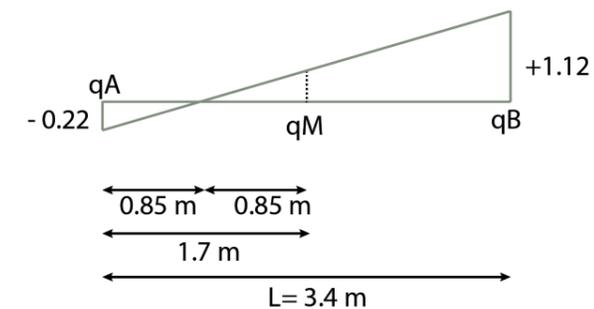
$$F = -1.52$$

$$M_z = -1.29$$

$$q_m = F/3.4 = -0.45$$

$$q_a = (F/l) + \frac{6M}{l^2} = (-F/l) + \frac{6(-M)}{l^2} = (-F/l) + \frac{6(-M)}{l^2} = (-1.52/3.4) + \frac{6 * (-1.29)}{(3.4)^2} = -0.45 + (-0.67) = -1.12 \text{ kN/m}$$

Vento trasversale 3



$$L = 3.4$$

$$F = 1.52$$

$$M_z = -1.29$$

Diagrammi load combinations vento trasversale

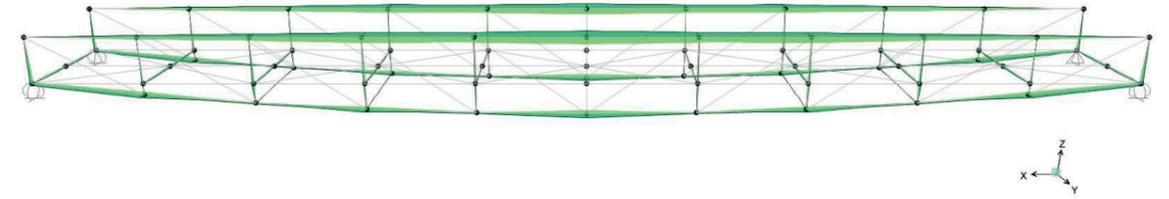


Fig.97:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

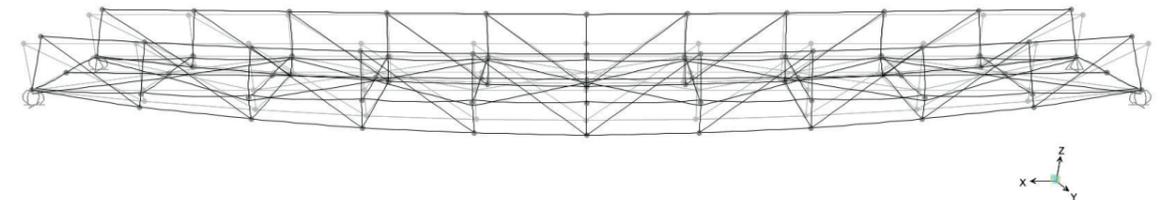


Fig.98:Diagramma Deformata - Vento trasversale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

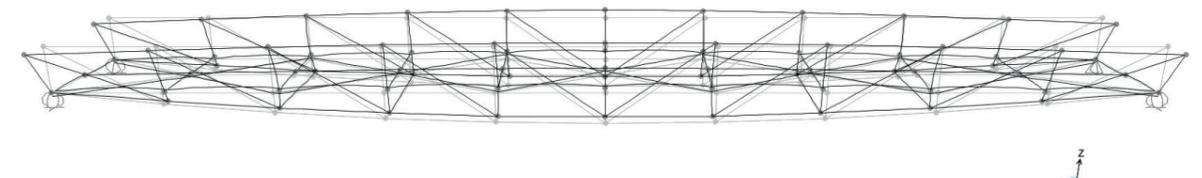


Fig.99:Diagramma Deformata - Vento trasversale 4
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento trasversale 1



Fig.100: Load cases Vento trasversale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento trasversale 2

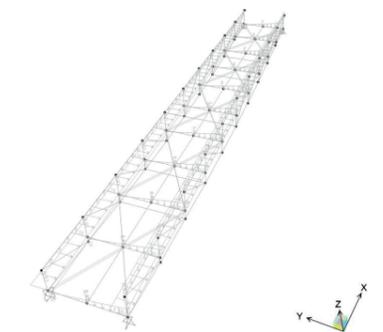


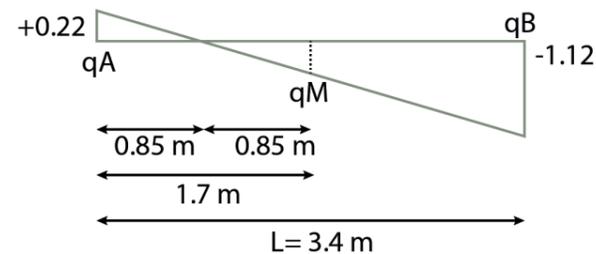
Fig.101: Load cases Vento trasversale 3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

$$q_m = F/3.4 = 0.45$$

$$q_a = (F/l) + \frac{-(M \cdot l/2)}{(l^3/12)} = (F/l) + \frac{(6M/l^3) \cdot l/2}{(l^3/12)} = (F/l) + \frac{6M}{l^2} = (1.52/3.4) + \frac{(6 \cdot (-1.29))}{(3.4^2)} = -0.22 \text{ kN/m}$$

$$q_b = (F/l) - \frac{(6M/l^3) \cdot l/2}{(l^3/12)} = (F/l) - \frac{(6M/l^3) \cdot l^2}{(3.4^2)} = (F/l) + \frac{6M}{l^2} = (1.52/3.4) - \frac{(6 \cdot (-1.29))}{(3.4^2)} = 1.12 \text{ kN/m}$$

Vento trasversale 4



$$L=3.4$$

$$F_{vz} = -1.52$$

$$M_z = 1.29$$

$$q_m = F/3.4 = -0.45$$

$$q_a = (F/l) + \frac{-(M \cdot l/2)}{(l^3/12)} = (-F/l) + \frac{(6M/l^3) \cdot l/2}{(l^3/12)} = (-F/l) + \frac{6(-M)}{l^2} = (-1.52/3.4) + \frac{(6 \cdot 1.29)}{(3.4^2)} = -0.45 + (-0.67) = 0.22 \text{ kN/m}$$

$$q_b = (-F/l) - \frac{(6(-M)/l^3) \cdot l/2}{(l^3/12)} = (-F/l) - \frac{(6(-M)/l^3) \cdot l^2}{(3.4^2)} = (-F/l) + \frac{6(-M)}{l^2} = (-1.52/3.4) - \frac{(6 \cdot 1.29)}{(3.4^2)} = -0.45 - (-0.67) = -1.12 \text{ kN/m}$$

All'interno del software di calcolo SAP2000 i carichi sono stati inseriti mediante la creazione dei relativi load patterns identificati come: Vento trasversale 1, Vento trasversale 2, Vento trasversale 3 e Vento trasversale 4. Sono stati poi assegnati mediante un carico distribuito lungo i frame dei traversi dell'impalcato.

VENTO LONGITUDINALE

Per il calcolo delle azioni del vento longitudinale si segue il punto 8.4.3 della EN 1991-1-4, in quanto l'impalcato di progetto è una reticolare, e le forze del vento longitudinali sono il 50% delle azioni trasversali.

La superficie investita dal vento, per unità di lunghezza in direzione longitudinale è calcolata usando la tabella 8.1 della EN 1991-1-4 ed è pari allo spessore dell'impalcato, che nel caso di progetto è di 0.23m.

Si considera, inoltre, la presenza di un parapetto opaco su entrambi i lati di altezza pari a 1.2m.

Table 8.1 — Depth d_{tot} to be used for $A_{ref,x}$

Road restraint system	on one side	on both sides
Open parapet or open safety barrier	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Solid parapet or solid safety barrier	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Open parapet and open safety barrier	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

Ne consegue che essendo la ciclopedonale costituita dalla presenza di un parapetto solido, in entrambi i lati la risultante è da considerarsi pari a:

$$D + 2 d_1 = 0.23 + 2 * 1.2 = 2.63 \text{ m}^2/\text{m}.$$

Dove:

- D è lo spessore dell'impalcato
- d è l'altezza totale del parapetto

Il carico distribuito trasversale per unità di lunghezza dell'impalcato è espresso nella relazione:

$$F_{vx} = C_{fx} * (D + 2 d_1) * p = 1.93 * 2.63 \text{ m} * p = 1.93 * 2.63 \text{ m}^2/\text{m} * 688 \text{ N/m}^2 = 3.49 \text{ kN/m}$$

$$3.49/2 = 1.75 \text{ kN/m}$$

Questa forza è applicata nel baricentro della superficie esposta cioè a: $(1.2+0.23)/2 - 0.23/2 = 0.6 \text{ m}$ dall'asse dell'impalcato.

Diagrammi load combinations vento longitudinale

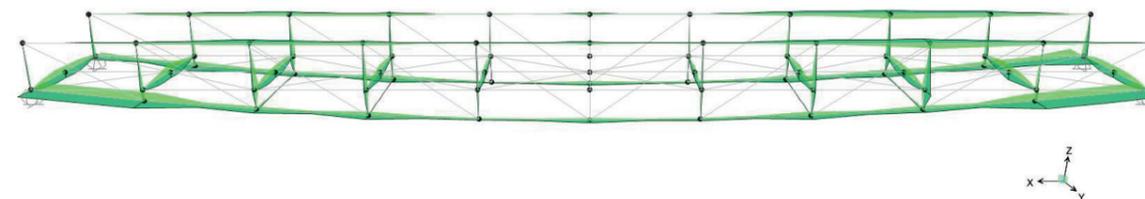


Fig.103: Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

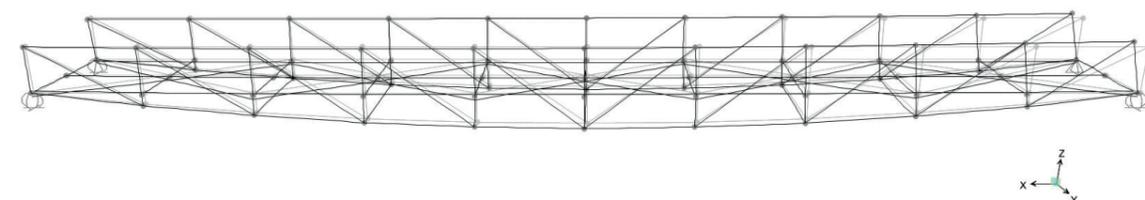


Fig.104: Diagramma Deformata - Vento longitudinale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

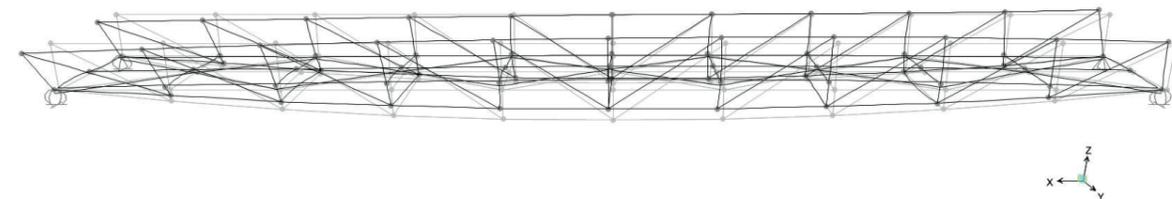


Fig.105: Diagramma Deformata - Vento longitudinale 2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento longitudinale 1

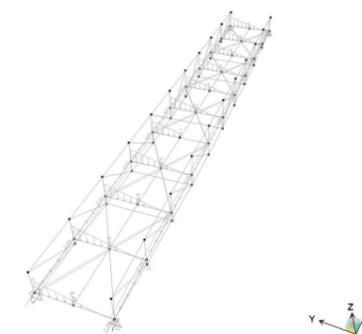


Fig.106: Load cases Vento longitudinale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento longitudinale 2

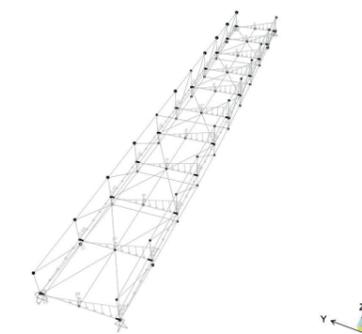


Fig.107: Load cases Vento longitudinale 3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Quest'ultimo è posto a metà del suo spessore, cioè a $0.23\text{m}/2 = 0.115\text{m}$ dall'intradosso.

La forza F_{vx} genererà un carico torcente pari a:

$$T_{vx} = F_{vx} * 0.6 = 3.49 * 0.6 = 2.09 \text{ kNm/m}$$

Il quale alzerà il lato sopravento abbassando il lato sottovento.

Questo torcente si può trasformare in due carichi distribuiti verticali posti sulle travi reticolari pari a:

$$T_{vx}/b = 2.09/3.4 = +/- 0.61 \text{ kN/m}$$

All'interno del software di calcolo SAP2000 i carichi sono stati inseriti mediante la creazione dei relativi load patterns identificati come: Vento longitudinale 1, Vento longitudinale 2, Vento longitudinale 3 e Vento longitudinale 4. Sono stati poi assegnati mediante un carico distribuito lungo i frame considerati nel calcolo, nel caso specifico lungo le travi di bordo con dell'impalcato con valore pari a:

$$F_{vx} = +/- 0.88 \text{ kN/m.}$$

A seguito della creazione dei singoli load patterns nel programma precedentemente descritto (Vento Trasversale 1, Vento Trasversale 2, Vento Trasversale 3, Vento Trasversale 4 e Vento Longitudinale 1, Vento Longitudinale 2, Vento Longitudinale 3, Vento Longitudinale 4) si è sviluppato un "load combinations" delle azioni del Vento.

La combinazione di calcolo del Vento permette di osservare i calcoli e dunque i diagrammi totali delle azioni calcolate del vento.

Questo è possibile mediante una combinazione di tipo envelope, cioè una nuova combinazione per la quale i risultati di base dello spostamento, dei momenti distribuiti e dei momenti di sforzo, sono scelti in un insieme di casi di carico e combinazioni di carico selezionati, in modo che per ogni nodo della struttura vi sia una combinazione di casi di carico con la componente di risultante minima, massima o massima in assoluto.

Diagrammi load combinations vento

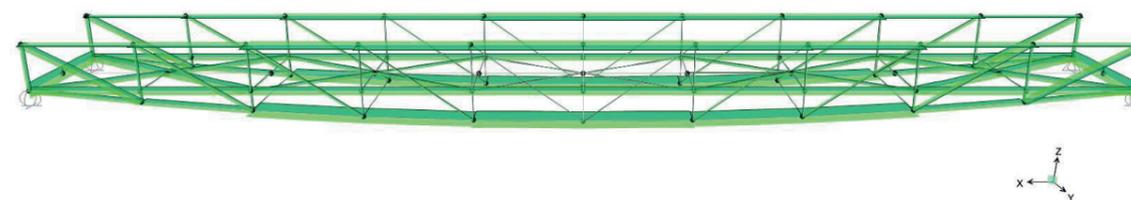


Fig.108:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

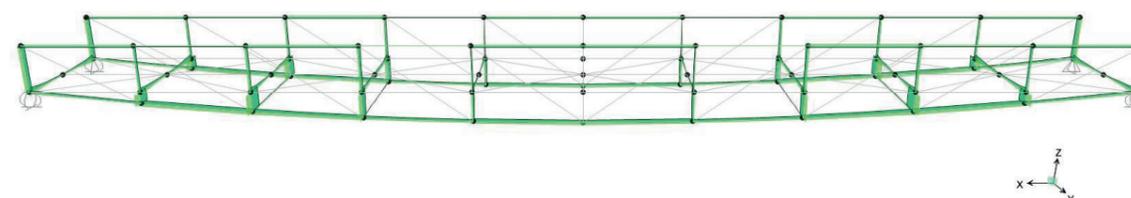


Fig.109:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

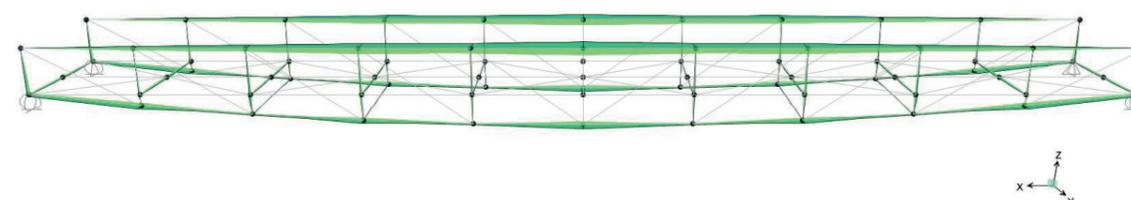


Fig.110:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

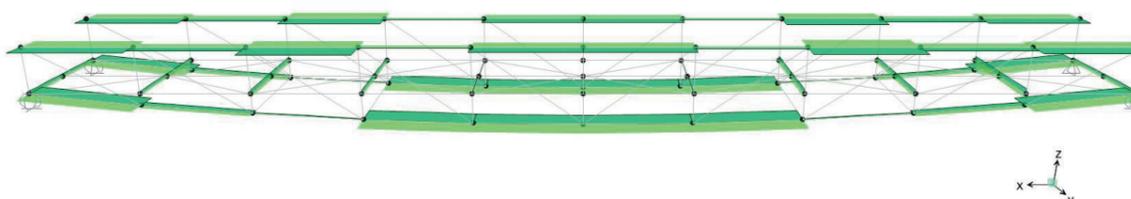


Fig.111:Diagramma di Torsione
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.3.5

CEDIMENTI VINCOLARI

I cedimenti vincolari del ponte ciclopedonale corrispondono ai quattro appoggi delle mensole fissate ai setti in calcestruzzo armato che sono individuati nei point: 98, 76, 108 e 86 in riferimento al modello sviluppato sul software di calcolo utilizzato.

Attraverso l'analisi è stato possibile constatare che le forze maggiori si trovano lungo l'asse Z.

Si è potuto di conseguenza assegnare il valore di 0.01 kN lungo l'asse Z.

Per l'inserimento del calcolo nel modello si è creato il relativo load patterns, identificato come Cedimento 1, Cedimento 2, Cedimento 3, Cedimento 4, tanti quanti sono i vincoli.

Il valore è stato poi assegnato mediante un carico concentrato nei point indicati in precedenza.

Diagrammi load combinations cedimento

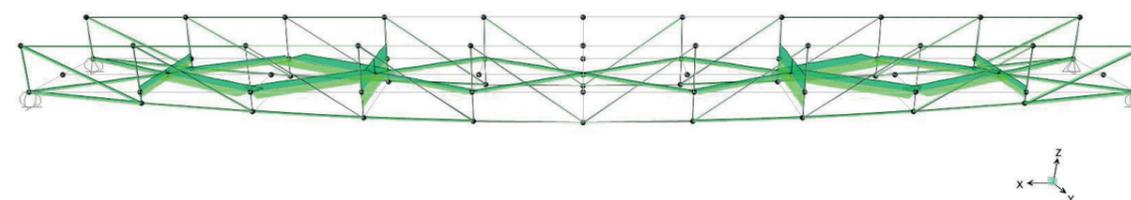


Fig.112:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

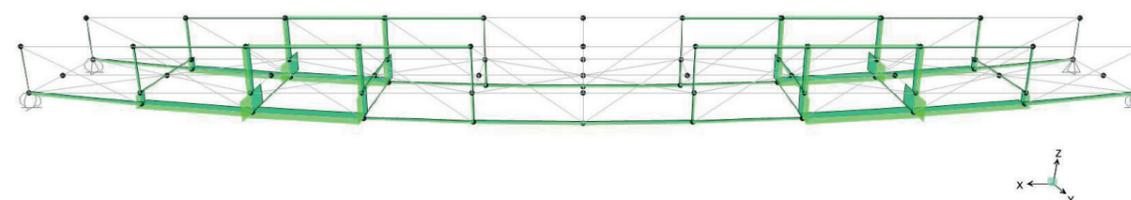


Fig.113:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

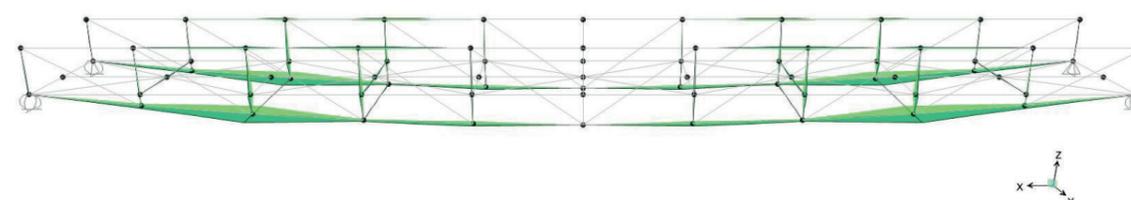


Fig.114:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

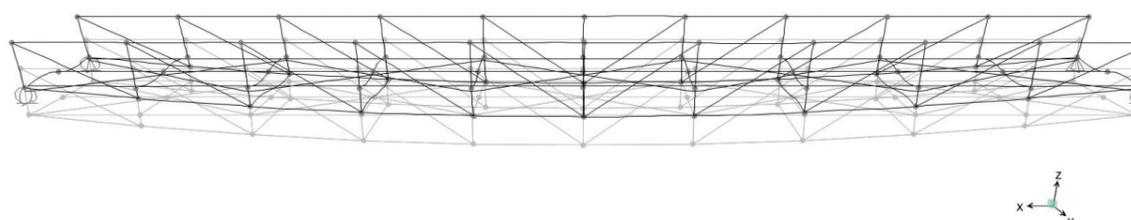


Fig.115:Diagramma Deformata - Cedimento 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.3.6

CALCOLO AGLI STATI LIMITE

Una struttura raggiunge uno stato limite quando cessa di svolgere una o tutte le funzioni per le quali è stata progettata, violando parzialmente o completamente i requisiti di progetto. Sulla base di tale definizione si opera la distinzione tra stati limite ultimi, relativi alla capacità della struttura di resistere alle azioni di progetto, e stati limite di esercizio, corrispondenti al normale utilizzo della struttura e alla sua durabilità.

Per ogni stato limite definito devono essere determinate una serie di combinazioni di azioni agenti sull'opera, per la quale devono essere calcolati i livelli di sollecitazione degli elementi strutturali con i quali verificare il soddisfacimento dei requisiti richiesti.

Allo SLU, il valore caratteristico dei carichi agenti sulla struttura viene moltiplicato per il corrispondente coefficiente parziale di sicurezza maggiore di uno, secondo Tab 2.6.I – NTC 18, così come le resistenze dei materiali che vengono divise per un coefficiente parziale di sicurezza maggiore dell'unità, in modo da utilizzare un valore inferiore a scopo cautelativo.

Le azioni variabili combinate possono esercitare i loro effetti contemporaneamente con la massima intensità. Definiti i valori caratteristici delle azioni, si prosegue con le verifiche a stato limite ultimo.

Le azioni sono state combinate, per il progetto in esame, secondo la seguente formulazione:

$$E_d = \gamma_G \cdot G_{K,i} + \gamma_Q \cdot \left(Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} Q_{i+1} \right)$$

Dove:

- $G_{K,i}$ il valore caratteristica dei carichi permanenti
- $Q_{k,1}$ il valore caratteristico del carico variabile di base

- $Q_{k,i+1}$ il valore caratteristico dei carichi variabili tra loro indipendenti
- γ_G pari a 1,3 per carichi strutturali e 1,5 per carichi non strutturali (è pari a 1,0 nel caso il carico sia favorevole nel calcolo dell'azione in esame).
- γ_Q pari a 1,5 (è pari a 0 nel caso il carico sia favorevole nel calcolo dell'azione in esame).

Per il calcolo delle sollecitazioni allo stato limite di esercizio, si è usata la stessa struttura della precedente combinazione, con la differenza che i coefficienti γ siano pari a 1,0.

Il calcolo delle sollecitazioni è stato eseguito in automatico con l'utilizzo del software di calcolo "SAP2000" dopo aver ricostruito il modello strutturale che rispecchiasse più verosimilmente la realtà.

Le azioni vengono combinate al fine di individuare la condizione più sfavorevole per ogni singolo elemento oggetto di verifica. A partire da tali combinazioni si costruiscono gli involuipi delle sollecitazioni. Il dimensionamento e le verifiche vengono effettuati proprio su questi involuipi, che riportano, sezione per sezione, il massimo ed il minimo valore dell'azione.

Nome della COMBO		Permanenti	Carico antropico (folla)	Termiche	Vento	Cedimenti fondali
		G	Q	Ter	Ven	S
famiglia	Solo permanenti					
1	1	SLU01-1	1,3	0	0	0
	2	SLU01-2	1,3	0	0	1,2
Combinazioni SENZA cedimenti fondali						
G min FOLLA dominante						
2	1	SLU02-1	1	1,5	0	0
	2	SLU02-2	1	1,5	0,9	0
	3	SLU02-3	1	1,5	0	0,9
	4	SLU02-4	1	1,5	0,9	0,9
G max FOLLA dominante						
3	1	SLU03-1	1,3	1,5	0	0
	2	SLU03-2	1,3	1,5	0,9	0
	3	SLU03-3	1,3	1,5	0	0,9
	4	SLU03-4	1,3	1,5	0,9	0,9
G min TERMICA dominante						
4	1	SLU04-1	1	0	1,5	0
	2	SLU04-2	1	1,05	1,5	0
	3	SLU04-3	1	0	1,5	0,9
	4	SLU04-4	1	1,05	1,5	0,9
G max TERMICA dominante						
5	1	SLU05-1	1,3	0	1,5	0
	2	SLU05-2	1,3	1,05	1,5	0
	3	SLU05-3	1,3	0	1,5	0,9
	4	SLU05-4	1,3	1,05	1,5	0,9
G min VENTO dominante						
6	1	SLU06-1	1	0	0	1,5
	2	SLU06-2	1	1,05	0	1,5
	3	SLU06-3	1	0	0,9	1,5
	4	SLU06-4	1	1,05	0,9	1,5
G max VENTO dominante						
7	1	SLU07-1	1,3	0	0	1,5
	2	SLU07-2	1,3	1,05	0	1,5
	3	SLU07-3	1,3	0	0,9	1,5
	4	SLU07-4	1,3	1,05	0,9	1,5

Nome della COMBO		Permanenti	Carico antropico (folla)	Termiche	Vento	Cedimenti fondali
		G	Q	Ter	Ven	S
Combinazioni CON cedimenti fondali						
G min FOLLA dominante						
8	1	SLU08-1	1	1,5	0	0
	2	SLU08-2	1	1,5	0,9	0
	3	SLU08-3	1	1,5	0	0,9
	4	SLU08-4	1	1,5	0,9	0,9
G max FOLLA dominante						
9	1	SLU09-1	1,3	1,5	0	0
	2	SLU09-2	1,3	1,5	0,9	0
	4	SLU09-3	1,3	1,5	0	0,9
	8	SLU09-4	1,3	1,5	0,9	0,9
G min TERMICA dominante						
10	1	SLU10-1	1	0	1,5	0
	2	SLU10-2	1	1,05	1,5	0
	3	SLU10-3	1	0	1,5	0,9
	4	SLU10-4	1	1,05	1,5	0,9
G max TERMICA dominante						
11	1	SLU11-1	1,3	0	1,5	0
	2	SLU11-2	1,3	1,05	1,5	0
	3	SLU11-3	1,3	0	1,5	0,9
	4	SLU11-4	1,3	1,05	1,5	0,9
G min VENTO dominante						
12	1	SLU12-1	1	0	0	1,5
	2	SLU12-2	1	1,05	0	1,5
	3	SLU12-3	1	0	0,9	1,5
	4	SLU12-4	1	1,05	0,9	1,5
G max VENTO dominante						
13	1	SLU13-1	1,3	0	0	1,5
	2	SLU13-2	1,3	1,05	0	1,5
	3	SLU13-3	1,3	0	0,9	1,5
	4	SLU13-4	1,3	1,05	0,9	1,5

Fig.116: Tabelle di combinazione delle SLU

Diagrammi load combinations SLU

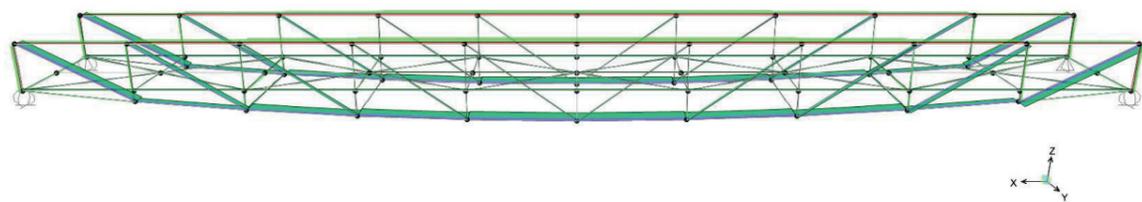


Fig.117 Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

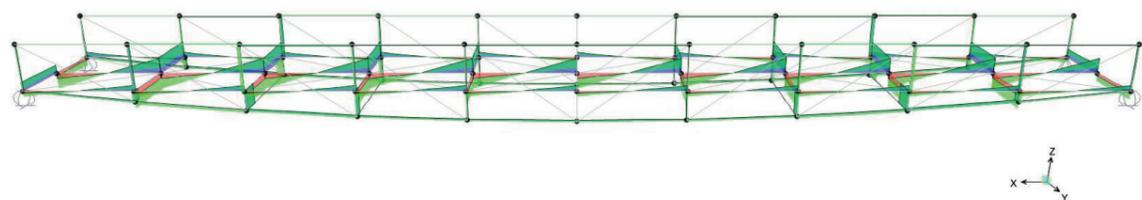


Fig.118: Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

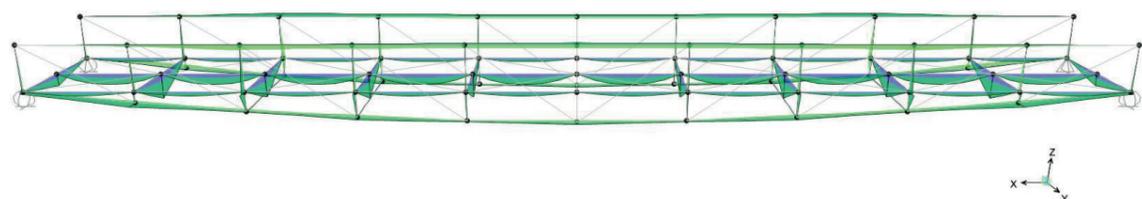


Fig.119: Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

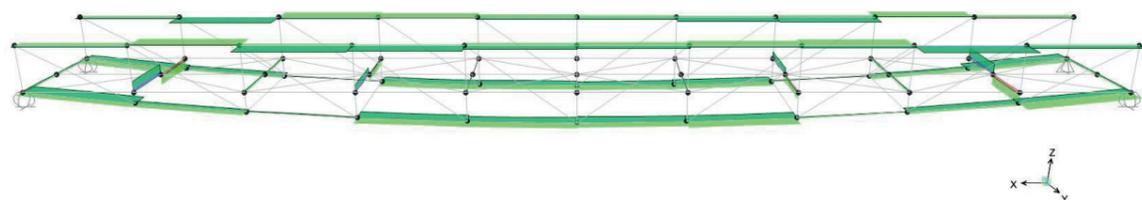


Fig.120: Diagramma di Torsione
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22



3.4 CALCOLO PER IL DIMENSIONAMENTO DEGLI ELEMENTI DI GIUNZIONE

3.4.1

CARATTERISTICHE DEI BULLONI

Nelle strutture metalliche, i giunti degli elementi strutturali svolgono un ruolo fondamentale per la stabilità del manufatto: la loro scelta ha inevitabilmente un impatto sia in termini economici che di qualità progettuale.

I bulloni sono organi di unione costituiti da una vite, un dado ed una rondella.

Essi vengono impiegati come elementi di congiunzione tra gli elementi della struttura e, pertanto, è necessario che siano conformi per caratteristiche dimensionali alle norme in vigore: UNI EN ISO 4016:2002 e UNI 5592:1968. Devono, inoltre, appartenere alle classi di resistenza della norma UNI EN ISO 898 - 1:2001.

Per il calcolo della resistenza a taglio dei bulloni, per il rifollamento delle piastre di collegamento e per il precarico dei bulloni si adottano i fattori parziali γ_M indicati nella tabella 4.2.XIV. Nel caso oggetto di tesi si adotta un γ_M pari a 1,25.

Tab. 4.2. XIV - Coefficienti di sicurezza per la verifica delle unioni.

Resistenza dei bulloni	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistenza dei chiodi	
Resistenza delle connessioni a perno	
Resistenza delle saldature a parziale penetrazione e a cordone d'angolo	
Resistenza dei piatti a contatto	
Resistenza a scorrimento: per SLU	$\gamma_{M3} = 1,25$
per SLE	$\gamma_{M3} = 1,10$
Resistenza delle connessioni a perno allo stato limite di esercizio	$\gamma_{M3,ser} = 1,0$
Precarico di bullone ad alta resistenza con serraggio controllato	$\gamma_{M7} = 1,0$
con serraggio non controllato	$\gamma_{M7} = 1,10$

Fig.121: Tabella 4.2.XIV - Coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni
Fonte: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" - DECRETO 17 gennaio 2018.

Il calcolo per il dimensionamento dei componenti di unione degli elementi strutturali in acciaio ha origine dal calcolo che determina il corretto posizionamento dei fori per le unioni bullonate, in quanto devono rispettare le limitazioni presentate nella tabella 4.2.XVIII, che fa riferimento agli schemi di unione riportati nella figura 4.2.5 delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

Tab. 4.2.XVIII - Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate.

Distanze e interassi (Fig. 4.2.5)	Minimo	Massimo		
		Unioni esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni non esposte a fenomeni corrosivi o ambientali	Unioni di elementi in acciaio resistente alla corrosione (UNI EN10025-5)
e_1	$1,2 d_0$	$4t+40$ mm	-	$\max(8t;12$ mm)
e_2	$1,2 d_0$	$4t+40$ mm	-	$\max(8t;12,5$ mm)
p_1	$2,2 d_0$	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;175$ mm)
$p_{1,0}$	-	$\min(14t;200$ mm)	-	-
$p_{1,i}$	-	$\min(28t;400$ mm)	-	-
p_2	$2,4 d_0$	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;200$ mm)	$\min(14t;175$ mm)

L'instabilità locale del piatto posto tra i bulloni/chiodi non deve essere considerata se $(p_1/t) \leq [9(235/f_y)^{0,5}]$; in caso contrario si assumerà una lunghezza di libera inflessione pari a $0,6 \cdot p_1$.
t è lo spessore minimo degli elementi esterni collegati.

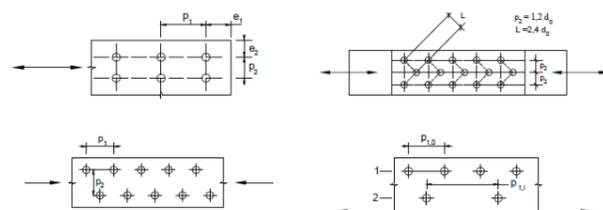


Fig.122 Tabella 4.2.XVIII - Posizione dei fori per unioni bullonate e chiodate.
Fonte: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" - DECRETO 17 gennaio 2018.

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 19 = 22,8$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 19 = 22,8$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 19 = 41,8$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 19 = 45,6$$

Dove :

- d è il diametro del bullone
- d0 è il diametro maggiorato di 1mm per bulloni sino a 20mm di diametro, da NTC18

Calcoli di verifica della disposizione dei fori per la realizzazione delle unioni bullonate.

Bullone 12 mm
 $d = 12\text{mm}$
 $d_0 = 12 + 1 = 13$
 $e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,7$
 $e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 13 = 15,7$
 $p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 13 = 28,6$
 $p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 13 = 31,2$

Bullone 14 mm
 $d = 16\text{mm}$
 $d_0 = 16 + 1 = 17$
 $e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 17 = 20,4$
 $e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 17 = 20,4$
 $p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 17 = 37,4$
 $p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 2,4 \cdot 17 = 40,8$

Bullone 18 mm
 $d = 18\text{mm}$
 $d_0 = 18 + 1 = 19$

Fig.123: Figura 4.2.5 - Disposizione dei fori per la realizzazione di unioni bullonate o chiodate.
Fonte: Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" - DECRETO 17 gennaio 2018.

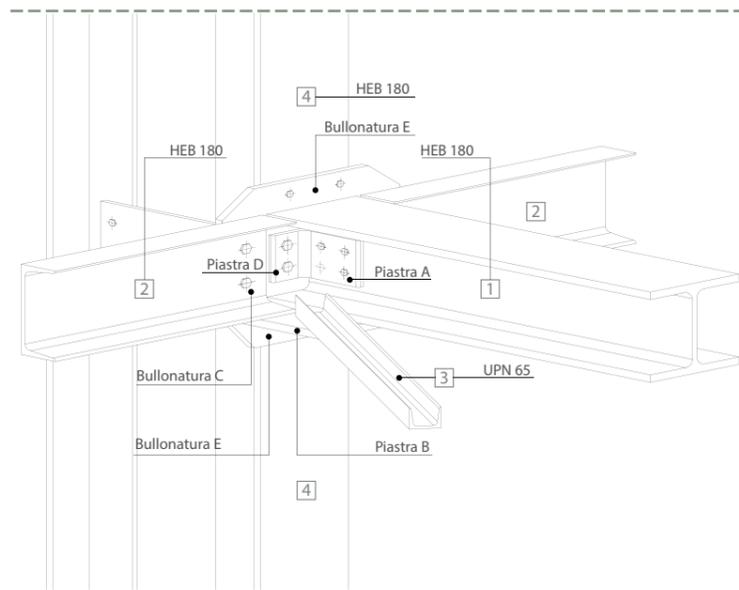
3.4.2

DIMENSIONAMENTO GIUNZIONI: NODO A

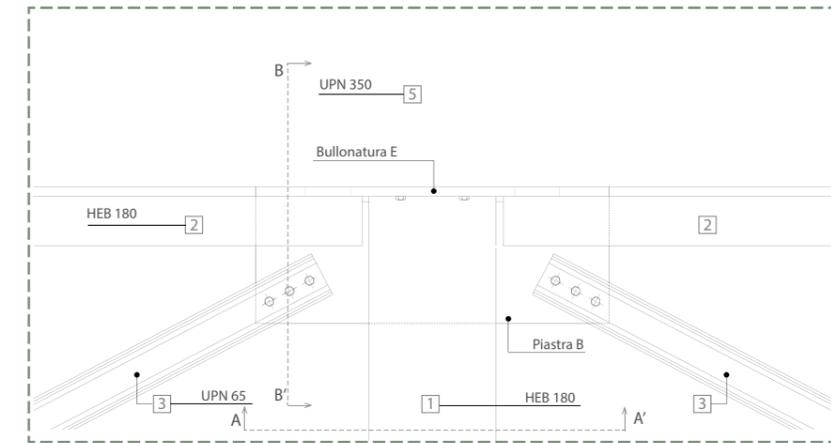
Il nodo oggetto di calcolo è costituito dall'unione tra il traverso dell'impalcato, avente sezione HEB 180, e la trave di bordo del medesimo impalcato, con profilo UPN 180.

I due componenti sono giuntati ai montanti aventi sezioni HEB 180, che, in fase di costruzione, non saranno costituiti da un'unica sezione ma da un profilo tagliato a metà, così da avere una corretta giunzione alle travi principali superiore ed inferiore della struttura reticolare.

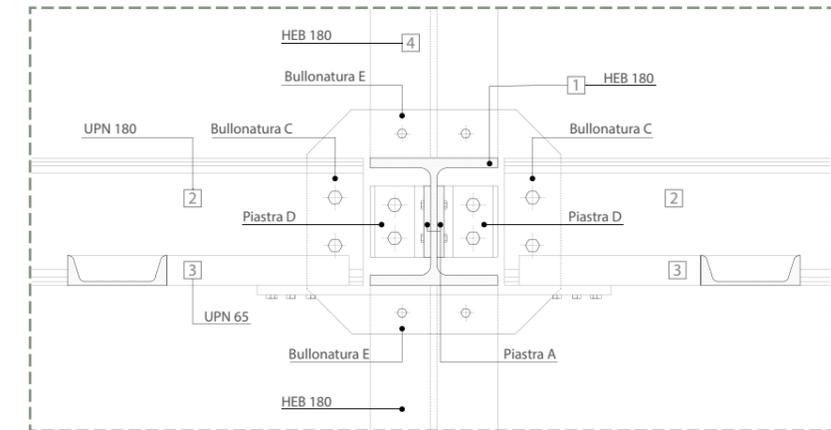
Nel nodo si configura, inoltre, la giunzione con i controventi dell'impalcato, aventi un profilo UPN 65. Quest'ultimi si uniscono mediante bullonatura alla piastra localizzata al di sotto della giunzione tra il traverso dell'impalcato e la trave di bordo del medesimo.



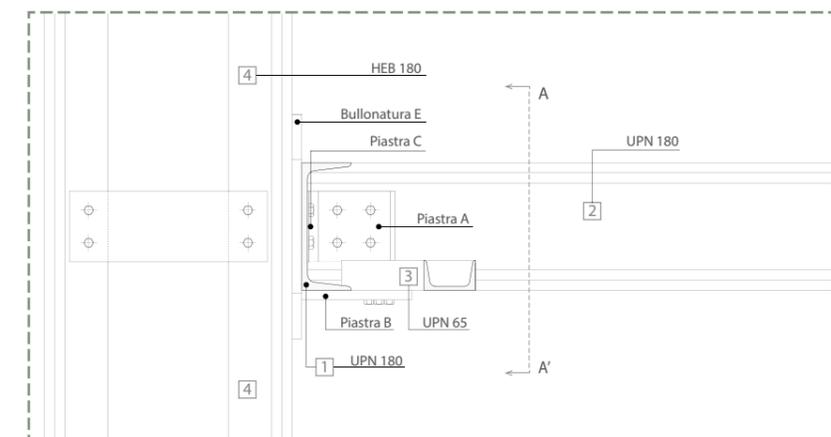
Vista assometrica - NODO A



Pianta - NODO A



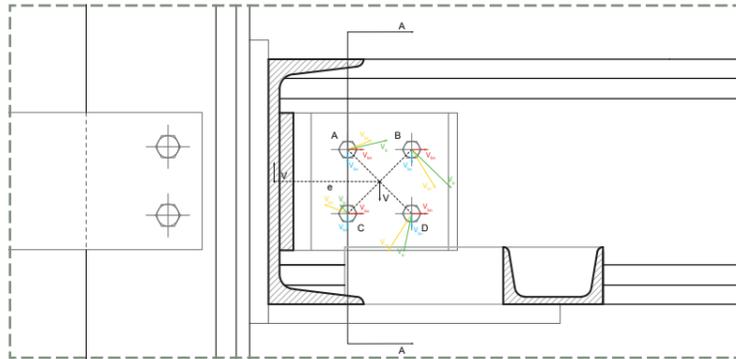
Sezione A - A' - NODO A



Sezione B - B' - NODO A

3.4.3

PIASTRA A



Dettaglio piastra A - NODO A

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla piastra A in analisi è stato possibile determinare l'impiego di elementi angolari in acciaio S355 per il corretto appoggio del traverso dell'impalcato.

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 4 bulloni M12 classe 8.8 in acciaio inossidabile A4-80, e in funzione dei limiti sull'interasse della trave in oggetto, si adottano angolari aventi larghezza 120 mm e altezza 100 mm con spessore pari a 10 mm.

CALCOLO TAGLIO

Il calcolo della piastra A determina le caratteristiche della giunzione del traverso dell'impalcato avente profilo HEB180.

Il taglio massimo all'estremità della trave è pari a $V=43$ kN.

Si calcola il taglio V_{bv} nei bulloni per effetto del taglio, che sarà corrispondente a:

$$V_{bv} = V/4 = 43 \text{ kN}/4 = 10,7 \text{ kN}$$

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 47 kN; questo determina che:

$$V_{bn} = N_{Ed} / (N^\circ \text{ di bulloni in direzione dello sforzo nominale } N_{Ed}) = 47 \text{ kN}/4 = 11,7 \text{ kN}$$

Dove :

- V_{bn} è la sollecitazione di taglio
- N_{Ed} è la forza assiale

Si viene a creare un momento parassita che è dato dall'eccentricità identificato come e , corrispondente alla distanza tra il centro dell'anima della trave del traverso dell'impalcato ed il centro della bullonatura, pari a:
 $e=77,7$ mm

Il momento parassita sarà dunque corrispondente alla formula:

$$M = V * e = 43 * 0,078 = 3,3 \text{ kNm}$$

Dove :

- V è il taglio totale
- e è l'eccentricità

Il momento parassita, generato dall'eccentricità e , crea delle forze nei bulloni, uguali tra di loro.

Dunque, il taglio V_{bt} generato nei bulloni per effetto del momento parassita è dato da:

$$V_{bt} = M / (4 * d) = 3,3 \text{ kNm} / (4 * 0,033) \text{ m} = 25 \text{ kN}$$

Dove :

- V_{bt} è il taglio per il momento parassita
- M è il momento parassita
- d è la distanza tra il baricentro della bullonatura ed il centro di ogni bullone

Calcolo del vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv}$

BULLONE A

$$a = 10,7 \text{ mm}$$

$$b = 25 \text{ mm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a * b) * \cos(\alpha)} = 19 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$a = 10,7\text{mm}$$

$$b = 25\text{mm}$$

$$\alpha = 135^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 33 \text{ kN}$$

BULLONE C

$$a = 10,7\text{mm}$$

$$b = 25\text{mm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 19 \text{ kN}$$

BULLONE D

$$a = 10,7\text{mm}$$

$$b = 25\text{mm}$$

$$\alpha = 135^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 33 \text{ kN}$$

Calcolo vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv} + V_{bn}$

Dove :

- V_{bt} è il taglio nei bulloni per effetto del taglio
- V_{bv} è il momento parassita
- V_{bn} è il taglio nei bulloni per effetto della forza assiale

BULLONE A

$$a = 11,7\text{mm}$$

$$b = 19\text{mm}$$

$$\alpha = 158^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 30 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$a = 11,7\text{mm}$$

$$b = 33,4\text{mm}$$

$$\alpha = 122^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 40,8 \text{ kN}$$

BULLONE C

$$a = 11,7\text{mm}$$

$$b = 19\text{mm}$$

$$\alpha = 22^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 9 \text{ kN}$$

BULLONE D

$$a = 11,7\text{mm}$$

$$b = 33,4\text{mm}$$

$$\alpha = 58^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 29 \text{ kN}$$

La forza agisce su due piastre di collegamento questo comporta dunque:

BULLONE A

$$V_b = 30/2 = 15 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$V_b = 40,8/2 = 20,4 \text{ kN}$$

BULLONE C

$$V_b = 9/2 = 4,5 \text{ kN}$$

BULLONE D

$$V_b = 29/2 = 14,5 \text{ kN}$$

VERIFICA TAGLIO DA NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$DN12 F_{v,Rd} = 0,6 * f_{tbk} * A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 * 800 * 84,3 / 1,25 = 32 \text{ kN}$$

Dove :

- $f_{v,Rd}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che $V_{bn} = 20,4 \text{ kN}$, la verifica di taglio da

NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata, in quanto:

32 kN > 20,4 kN

VERIFICA RIFOLLAMENTO DA NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

DN12 $F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,56 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \cdot 8,5 \text{ mm} / 1,25 = 58 \text{ kN}$

Dove :

- $k = \min\{2,8 e_2/d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e_1/(3 d_0) ; f_{tk}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8,5 \text{ mm}$
- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

Per il quale le distanze e_1 ed e_2 da progetto sono pari a:

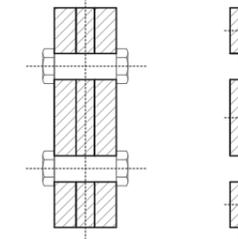
e_1 : 27mm

e_2 : 27mm

Si osserva che $V_{bn} = 40,8 \text{ kN}$, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata, in quanto:

58 kN > 40,8 kN

VERIFICA DELLA SEZIONE



Vista in sezione piastra A - NODO A

CALCOLO DELL'AREA DELLA SEZIONE

A = somma delle lunghezze x lo spessore

$$A_1 = 8,5 \cdot 21 = 178,5 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 8,5 \cdot 35 = 297 \text{ mm}^2$$

$$A_{tot} = A_1 + 2A_2 = 654 \text{ mm}^2$$

I = inerzia della sezione

$$I_1 = (b \cdot h^3) / 12 = (8,5 \cdot 21^3) / 12 = 6560 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = (b \cdot h^3) / 12 = (8,5 \cdot 35^3) / 12 = 30370 \text{ mm}^4$$

$$I_{tot} = I_2 + 2(I_1 + A_1 \cdot d^2) = 30370 + 2(6560 + 178,5 \cdot 40^2) = 614690 \text{ mm}^4$$

VERIFICA DELLA SEZIONE

$$\sigma = N/A + M/I \cdot y = (32000 \text{ N} / 654 \text{ mm}^2) + (3200000 / 614690 \text{ mm}^4) \cdot 50 = 49 + 260 = 309 \text{ Nmm}^2$$

Il materiale per piastre di collegamento, acciaio S355 è verificato, in quanto: **309 Nmm² < 355 Nmm²**

Dove :

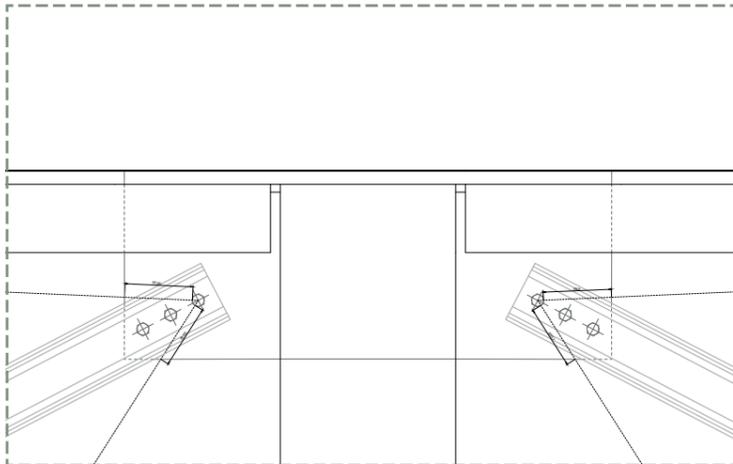
- N Forza assiale, pari a: 32 kN
- A_{tot} Area totale della sezione, pari a: 654 mm²
- M Momento parassita, pari a: 3,2 kN
- I_{tot} inerzia della sezione, pari a: 614.690 mm⁴
- y è la distanza tra il baricentro della sezione e la fibra più esterna, pari a: 50 mm

$$\tau = V/A = (41400 \text{ N} / 654 \text{ mm}^2) = 63 \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \tau^2)} = \sqrt{(0^2 + 3 (63)^2)} = 109 \text{ Nmm}^2$$

3.4.4

PIASTRA B



Dettaglio piastra B - NODO A

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla piastra B in analisi è stato possibile determinare l'impiego di una piastra rettangolare in acciaio S355 per il corretto appoggio dei controventi dell'impalcato.

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 3 bulloni M12 classe 8.8, in acciaio inossidabile A4-80, e in funzione dei limiti sull'interasse della trave in oggetto, si adottano aventi lunghezza totale pari a 500 mm e larghezza di 180 mm con spessore pari a 14 mm.

CALCOLO TAGLIO

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 70 kN; questo determina che:

$$V_{bn} = N_{Ed} / (N^{\circ} \text{ di bulloni in direzione dello sforzo nominale } NEd) = 70 \text{ kN} / 3 = 23 \text{ kN}$$

Posto in direzione orizzontale

VERIFICA TAGLIO NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$DN12 F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 800 \cdot 84,3 / 1,25 = 32 \text{ kN}$$

Dove :

- $f_{v,Rd}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che $V_{bn} = 21,6 \text{ kN}$, la verifica di taglio da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata, in quanto:

$$32 \text{ kN} > 23 \text{ kN}$$

VERIFICA RIFOLLAMENTO NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

$$DN12 F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,5 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \cdot 5,5 / 1,25 = 33 \text{ kN}$$

Dove :

- $k = \min\{2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e_1/(3 \cdot d_0) ; f_{tbk}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8,5 \text{ mm}$
- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

per il quale le distanze e_1 ed e_2 da progetto sono:

e_1 : 18 mm

e_2 : 20 mm

Si osserva che $V_{bn} = 21,6 \text{ kN}$, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata,

in quanto:
33 kN > 23 kN

Si procede con il calcolo dell'area del cono di rottura che tende a strappare la porzione di lamiera, determinando la verificare della resistenza del fazzoletto, come:
 $A = d_1 + d_2 * (\text{spessore della piastra di collegamento}) = 69,9 + 65,57 * 14 = 988 \text{ mm}^2$

Dove:

- A è l'area della sezione in acciaio che deve resistere a rottura
- d_1 è pari a 69,9 mm
- d_2 è pari a 65,57 mm
- spessore della piastra 14 mm

RESISTENZA A TAGLIO

La resistenza che si considera su queste superfici inclinate cautelativamente è immaginata avente solo τ di taglio e non σ , questo per un fattore di sicurezza.

Per cui:

$A * \text{resistenza del materiale impiegato per la piastra} / \sqrt{3}$
 $= 988 * 355 / \sqrt{3} = 202500 \text{ Nmm}^2$

ovvero:

202 kNm² > 70 kN

VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL PROFILO DOVE VI È IL FORO

$AUPN65 - Af = 903 - 66 = 837 \text{ mm}^2$

Dove :

- AUPN65 è l'area della sezione del profilo UPN65
- Af è l'area dell'ingombro del foro

AUPN65 è pari a 903 mm²

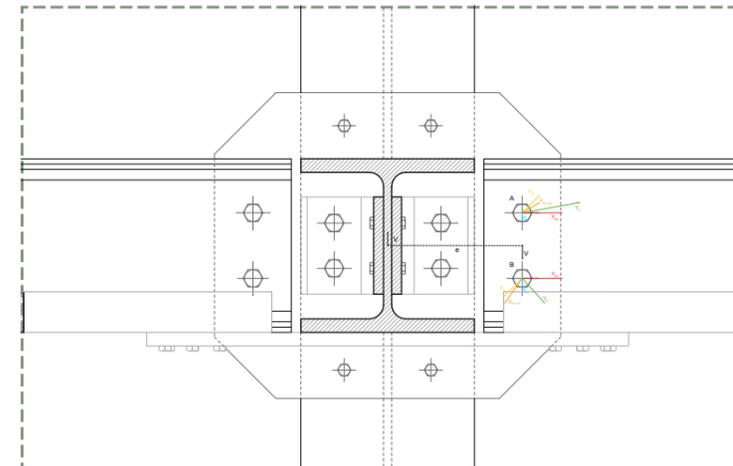
Af è data dalla formula:

$(\text{spessore dell'anima del profilo UPN 65}) * d (\text{diametro del foro}) = 5,5 * 12 = 66 \text{ mm}^2$

$A * f_{yd} / \gamma_{M2} \text{ della bullonatura} = 837 * 355 / 1,25 = 238 \text{ kN}$
> 70 kN

3.4.5

BULLONATURA C



Dettaglio bullonatura C - NODO A

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla bullonatura C in analisi non è stato necessario l'impiego di angolari o piastre.

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 2 bulloni M18 classe 8.8 in acciaio inossidabile A4-80, i bulloni dall'anima della trave vengono direttamente giuntati alla piastra retrostante di unione al montante.

CALCOLO TAGLIO

Il calcolo della piastra C determina le caratteristiche della giunzione della trave di bordo dell'impalcato avente profilo UPN 180.

Il taglio massimo all'estremità della trave è pari a $V=15 \text{ kN}$.

Calcolo il taglio V_{bv} nei bulloni per effetto del taglio, il quale sarà corrispondente a:

$$V_{bv} = V/2 = 15 \text{ kN}/2 = 7,5 \text{ kN}$$

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 83 kN; questo determina che:

$$V_{bn} = N_{Ed} / (N^\circ \text{ di bulloni in direzione dello sforzo nominale})$$
$$N_{Ed} = 83 \text{ kN}/2 = 42 \text{ kN}$$

Dove :

- V_{bn} è la sollecitazione di taglio
- N_{Ed} è la forza assiale

Si viene a creare un momento parassita che è dato dall'eccentricità identificato come e, corrispondente alla distanza tra il centro dell'anima della trave del traverso dell'impalcato ed il centro della bullonatura, pari a:
 $e=140$ mm

Il momento parassita sarà dunque corrispondente alla formula:

$$M = V \cdot e = 15 \cdot 0,14 = 2,1 \text{ kNm}$$

Dove :

- V è il taglio totale
- e è l'eccentricità

Il momento parassita, generato dall'eccentricità e, crea delle forze nei bulloni, uguali tra di loro.

Dunque, il taglio V_{bt} generato nei bulloni per effetto del momento parassita è dato da:

$$V_{bt} = M / (2 \cdot d) = 2,1 \text{ kNm} / (2 \cdot 0,04) \text{ m} = 26 \text{ kN}$$

Dove :

- V_{bt} è il taglio per il momento parassita
- M è il momento parassita
- d è la distanza tra il baricentro della bullonatura ed il centro di ogni bullone

Calcolo del vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv}$

BULLONE A

$$\begin{aligned} a &= 7,5 \text{ mm} \\ b &= 26 \text{ mm} \\ \alpha &= 45^\circ \end{aligned}$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a \cdot b) \cdot \cos(\alpha)} = 21 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$\begin{aligned} a &= 7,5 \text{ mm} \\ b &= 26 \text{ mm} \\ \alpha &= 135^\circ \end{aligned}$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a \cdot b) \cdot \cos(\alpha)} = 32 \text{ kN}$$

Calcolo vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv} + V_{bn}$

Dove :

- V_{bt} è il taglio nei bulloni per effetto del taglio
- V_{bv} è il momento parassita
- V_{bn} è il taglio nei bulloni per effetto della forza assiale

BULLONE A

$$\begin{aligned} a &= 42 \text{ mm} \\ b &= 21 \text{ mm} \\ \alpha &= 149^\circ \end{aligned}$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a \cdot b) \cdot \cos(\alpha)} = 61 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$\begin{aligned} a &= 42 \text{ mm} \\ b &= 32 \text{ mm} \\ \alpha &= 55^\circ \end{aligned}$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a \cdot b) \cdot \cos(\alpha)} = 35 \text{ kN}$$

VERIFICA TAGLIO DA NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$\text{DN18 } F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 800 \cdot 192 / 1,25 = 74 \text{ kN}$$

Dove :

- $f_{v,Rd}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni

- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che $V_{bn} = 61$ kN, la verifica di taglio da NTC18 per un bullone con DN 18 risulta verificata, in quanto:
74 kN > 61 kN

VERIFICA RIFOLLAMENTO DA NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

$$\text{DN18 } F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,74 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 \cdot 18 \cdot 8 \text{ mm}^2 / 1,25 = 109 \text{ kN}$$

Dove :

- $k = \min\{2,8 e2/d0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e1/(3 d0) ; f_{tk}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8$ mm
- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

Per il quale le distanze $e1$ ed $e2$ da progetto sono pari a:

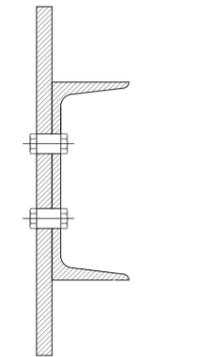
$e1$: 40mm

$e2$: 40mm

Si osserva che $V_{bn} = 61$ kN, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 18 risulta verificata, in quanto:

$$\mathbf{109 \text{ kN} > 61 \text{ kN}}$$

VERIFICA DELLA SEZIONE



Vista in sezione bullonatura C - NODO A

CALCOLO DELL'AREA DELLA SEZIONE

A = somma delle lunghezze x lo spessore

$$A_1 = 8 \cdot 47 = 376 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 8 \cdot 50 = 400 \text{ mm}^2$$

$$A_{tot} = A_1 + 2A_2 = 1152 \text{ mm}^2$$

I = inerzia della sezione

$$I_1 = (b \cdot h^3) / 12 = (8 \cdot 47^3) / 12 = 69.215 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = (b \cdot h^3) / 12 = (8 \cdot 50^3) / 12 = 83.333 \text{ mm}^4$$

$$I_{tot} = I_2 + 2(I_1 + A_1 \cdot d^2) = 83.333 + 2(69.215 + 376 \cdot 66^2) = 3.497.475 \text{ mm}^4$$

VERIFICA DELLA SEZIONE

$$\sigma = N/A + M/I \cdot y = (83000 \text{ N} / 1152 \text{ mm}^2) + (2100000 / 3.497.475 \text{ mm}^4) \cdot 90 = 72 + 54 = 126 \text{ Nmm}^2$$

Il materiale per piastre di collegamento, acciaio S355 è verificato, in quanto: **126 Nmm² < 355 Nmm²**

Dove :

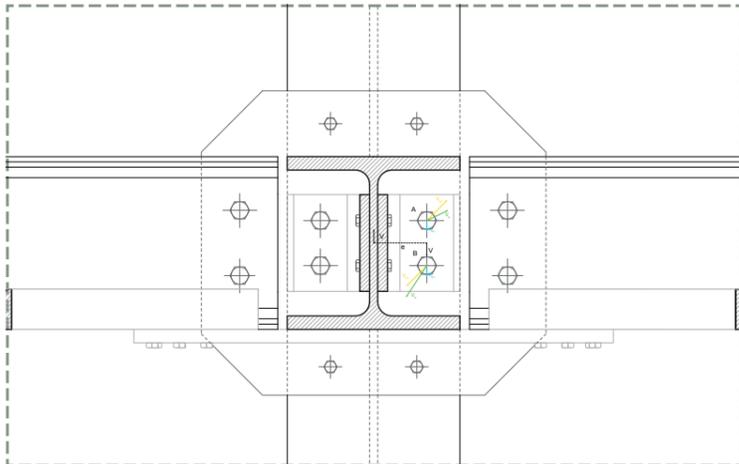
- N Forza assiale, pari a: 83 kN
- A_{tot} Area totale della sezione, pari a: 1152 mm²
- M Momento parassita, pari a: 2,1 kN
- I_{tot} inerzia della sezione, pari a: 3.497.475 mm⁴
- y è la distanza tra il baricentro della sezione e la fibra più esterna, pari a: 90 mm

$$\tau = V/A = (15000 \text{ N} / 1152 \text{ mm}^2) = 13 \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \tau^2)} = \sqrt{(0^2 + 3 (13)^2)} = 22,5 \text{ Nmm}^2$$

3.4.6

PIASTRA D



Dettaglio piastra D - NODO A

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla piastra D in analisi è stato possibile determinare l'impiego di elementi angolari in acciaio S355 per il corretto appoggio del traverso dell'impalcato.

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 2 bulloni M18 classe 8.8, in acciaio inossidabile A4-80, in funzione dei limiti sull'interasse si adottano angolari aventi larghezza 75 mm e altezza 100 mm con spessore pari a 10 mm.

CALCOLO TAGLIO

Il calcolo della piastra D determina le caratteristiche della giunzione del traverso dell'impalcato avente profilo HEB180.

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 43 kN; questo determina che:

Calcolo il taglio V_{bv} nei bulloni per effetto del taglio, il quale sarà corrispondente a:

$$V_{\text{per lato}} = V/2 = 43 \text{ kN}/2 = 21,5 \text{ kN}$$

$$V_{bv} = V/2 = 21,5/2 = 10,75 \text{ kN}$$

Si viene a creare un momento parassita che è dato dall'eccentricità identificato come e, corrispondente alla

distanza tra il centro dell'anima della trave del traverso dell'impalcato ed il centro della bullonatura, pari a:
 $e=55 \text{ mm}$

Il momento parassita sarà dunque corrispondente alla formula:

$$M = V \cdot e = 21,5 \text{ kN} \cdot 0,055 \text{ m} = 1,2 \text{ kNm}$$

Dove :

- V è il taglio totale
- e è l'eccentricità

Il momento parassita, generato dall'eccentricità e, crea delle forze nei bulloni, uguali tra di loro.

Dunque, il taglio V_{bt} generato nei bulloni per effetto del momento parassita è dato da:

$$V_{bt} = M/(2 \cdot d) = 1,2 \text{ kNm}/(2 \cdot 0,023) \text{ m} = 30 \text{ kN}$$

Dove :

- V_{bt} è il taglio per il momento parassita
- M è il momento parassita
- d è la distanza tra il baricentro della bullonatura ed il centro di ogni bullone

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 56 kN.

$$N_{\text{per lato}} = N_{Ed}/2 = 56/2 = 28 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = N_{\text{per lato}} / (N^{\circ} \text{ di bulloni in direzione dello sforzo nominale } N_{Ed}) = 28 \text{ kN}/2 = 14 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{t,Ed}$ è la sollecitazione di taglio
- N_{Ed} è la forza assiale

Calcolo del vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv}$

BULLONE A

a= 11mm

b= 30mm

$\alpha = 45^\circ$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2}-2(a*b)*\cos(\alpha) = 24 \text{ kN}$$

BULLONE B

a= 11mm

b= 30mm

$\alpha = 135^\circ$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2}-2(a*b)*\cos(\alpha) = 39 \text{ kN}$$

VERIFICA TAGLIO DA NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$\text{DN18 } F_{v,Rd} = 0,6 * f_{tbk} * A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 * 800 * 192 / 1,25 = 74 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{v,Rd}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che $F_{v,Ed} = 39 \text{ kN}$, la verifica di taglio da NTC18 per un bullone con DN 18 risulta verificata, in quanto:

$$74 \text{ kN} > 39 \text{ kN}$$

VERIFICA RIFOLLAMENTO DA NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

$$\text{DN18 } F_{b,Rd} = k * \alpha * f_{tk} * d * t / \gamma_{M2} = 2,5 * 0,62 * 510 \text{ N/mm}^2 * 18 * 10 / 1,25 = 113 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{b,Rd}$ è la resistenza a rifollamento del piatto di unione
- $k = \min\{2,8 e2/d0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e1/(3 d0) ; f_{tbk}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8 \text{ mm}$
- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

Per il quale le distanze e1 ed e2 da progetto sono pari a:

e1: 34mm

e2: 40mm

Si osserva che $F_{v,Ed} = 39 \text{ kN}$, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 18 risulta verificata, in quanto:

$$113 \text{ kN} > 39 \text{ kN}$$

CALCOLO RESISTENZA DI PROGETTO A TRAZIONE DA NTC18

La resistenza di progetto a trazione si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.68], pari a:

$$\text{DN18 } F_{t,Rd} = 0,9 * f_{tbk} * A_{res} / \gamma_{M2} = 0,9 * 800 * 192 / 1,25 = 110 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{t,Rd}$ è la resistenza a trazione di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

VERIFICA COMBINATA PER TAGLIO E TRAZIONE DA NTC18

La verifica combinata per taglio e trazione, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.71], pari a:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}}\right) < 1 = \left(\frac{39}{74} + \frac{14}{1.4 \cdot 110}\right) = 0,53 + 0,09 = 0,62$$

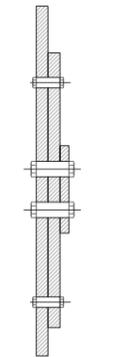
Dove:

- $F_{v,Ed}$: sollecitazione di taglio
- $F_{v,Rd}$: resistenza a taglio
- $F_{t,Ed}$: sollecitazione a trazione
- $F_{t,Rd}$: resistenza a trazione

Si osserva dunque che la verifica combinata per taglio e trazione da NTC18, risulta verificata in quanto:

$$0,62 \leq 1$$

VERIFICA DELLA SEZIONE



Vista in sezione piastra D - NODO A

CALCOLO DELL'AREA DELLA SEZIONE

A = somma delle lunghezze x lo spessore

$$A_1 = 10 \cdot 18 = 180 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 10 \cdot 29 = 290 \text{ mm}^2$$

$$A_{tot} = A_1 + 2A_2 = 650 \text{ mm}^2$$

I = inerzia della sezione

$$I_1 = (b \cdot h^3) / 12 = (10 \cdot 18^3) / 12 = 4860 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = (b \cdot h^3) / 12 = (10 \cdot 29^3) / 12 = 20324 \text{ mm}^4$$

$$I_{tot} = I_2 + 2(I_1 + A_1 \cdot d^2) = 20324 + 2(4860 + 180 \cdot 42^2) = 665.084 \text{ mm}^4$$

VERIFICA DELLA SEZIONE

$$\sigma = N/A + M/I \cdot y = (84000 \text{ N} / 650 \text{ mm}^2) + (2100000 / 665.084 \text{ mm}^4) \cdot 51 = 129 + 161 = 290 \text{ Nmm}^2$$

Il materiale per piastre di collegamento, acciaio S355 è verificato, in quanto: $290 \text{ Nmm}^2 < 355 \text{ Nmm}^2$

Dove :

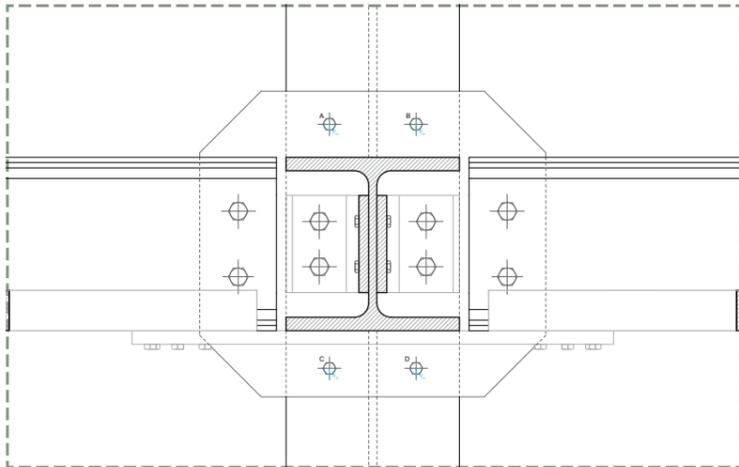
- N Forza assiale, pari a: 84 kN
- A_{tot} Area totale della sezione, pari a: 650 mm²
- M Momento parassita, pari a: 2,1 kN
- I_{tot} inerzia della sezione, pari a: 665.084 mm⁴
- y è la distanza tra il baricentro della sezione e la fibra più esterna, pari a: 51 mm

$$\tau = V/A = (15000 \text{ N} / 650 \text{ mm}^2) = 23 \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \tau^2)} = \sqrt{(0^2 + 3 (23)^2)} = 40 \text{ Nmm}^2$$

3.4.7

BULLONATURA E



Dettaglio bullonatura E - NODO A

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla bullonatura E in analisi è stato possibile determinare di una piastra forma irregolare per la corretta giunzione al montante delle travi di bordo dell'impalcato e del traverso del medesimo

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 4 bulloni M12 classe 8.8, in acciaio inossidabile A4-80, si adotta una piastra avente larghezza totale pari a 360 mm ed altezza 318 mm con spessore pari a 14 mm.

CALCOLO TAGLIO

I bulloni oggetto di analisi sono necessari in quanto permettono il passaggio degli sforzi delle travi di bordo dell'impalcato. Quest'ultime presentano due tagli verticali V, pari a 15 kN l'una, che verranno sommati ottenendo un taglio complessivo pari a $V_{\text{verticale}} = 30 \text{ kN}$.

Le trazioni sviluppate da ambo le travi di bordo presenta una forza assiale pari a $N_{\text{ed1}} = 82,9 \text{ kN}$ ed $N_{\text{ed2}} = 83,4 \text{ kN}$ che si annullano, in quanto le travi sono autoequilibrate.

Dunque, il taglio massimo all'estremità della trave è pari a $V = 30 \text{ kN}$.

Calcolo il taglio V_{bv} nei bulloni per effetto del taglio, il

quale sarà corrispondente a:

$$V_{\text{bv}} = V/4 = 30/4 = 7,5 \text{ kN}$$

VERIFICA TAGLIO DA NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$\text{DN12 } F_{\text{v,Rd}} = 0,6 \cdot f_{\text{tbk}} \cdot A_{\text{res}} / \gamma_{\text{M2}} = 0,6 \cdot 800 \cdot 84,3 / 1,25 = 32 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{\text{v,Rd}}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che $F_{\text{v,Ed}} = 7,5 \text{ kN}$, la verifica di taglio da NTC18 per un bullone con DN 18 risulta verificata, in quanto:

$$32 \text{ kN} > 7,5 \text{ kN}$$

VERIFICA RIFOLLAMENTO DA NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

$$\text{DN12 } F_{\text{b,Rd}} = k \cdot \alpha \cdot f_{\text{tk}} \cdot d \cdot t / \gamma_{\text{M2}} = 2,5 \cdot 0,86 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \cdot 14 / 1,25 = 147 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{\text{b,Rd}}$ è la resistenza a rifollamento del piatto di unione
- $k = \min\{2,8 \cdot e/d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e/(3 \cdot d_0) ; f_{\text{tbk}}/f_{\text{tk}} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8 \text{ mm}$

- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

Per il quale le distanze e_1 ed e_2 da progetto sono pari a:

e_1 : 34mm

e_2 : 102mm

Si osserva che $F_{v,Ed} = 39$ kN, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 18 risulta verificata, in quanto:

147 kN > 39 kN

3.4.8

DIMENSIONAMENTO GIUNZIONI: NODO B

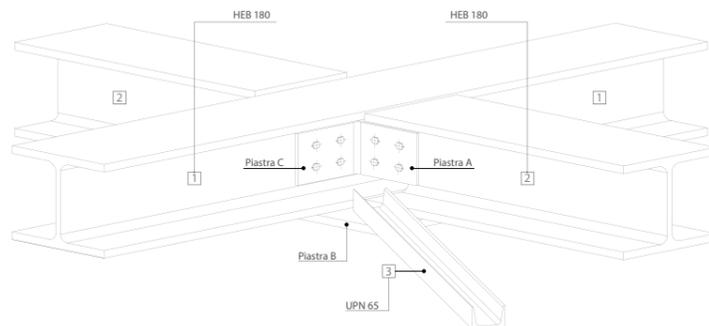
Il nodo oggetto di calcolo è definito nodo cerniera in quanto è una giunzione strutturale in grado di trasferire lo sforzo di taglio dall'anima del traverso dell'impalcato all'anima della trave secondaria longitudinale, aventi entrambi profili HEB 180 costanti nella loro estensione. Il *nodo - cerniera* si divide in due tipologie:

- Nodo - cerniera per travi appoggiate
- Nodo - cerniera per travi continue

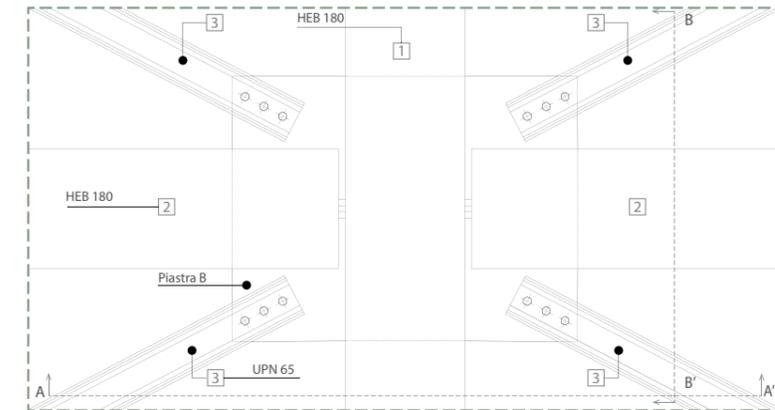
Di seguito si procede con l'analisi di entrambe le tipologie.

La continuità strutturale delle travi viene conseguita mediante il collegamento delle anime attraverso elementi angolari, squadrette e bulloni.

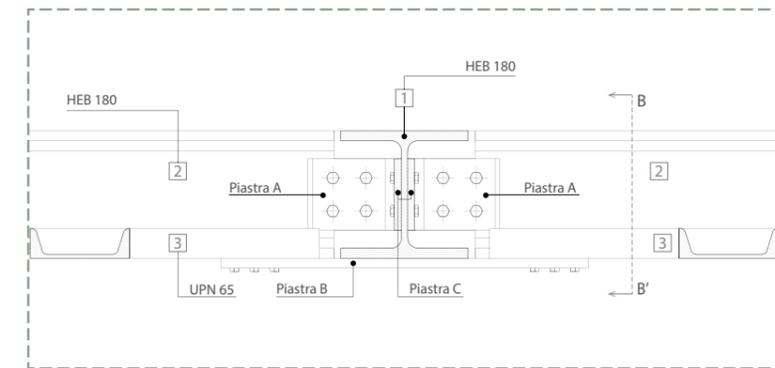
Nel dettaglio in oggetto si configurano, inoltre, il calcolo e le verifiche della giunzione dei controventi dell'impalcato, aventi un profilo UPN 65. Essi saranno uniti mediante bullonatura alla piastra sottostante il nodo – cerniera.



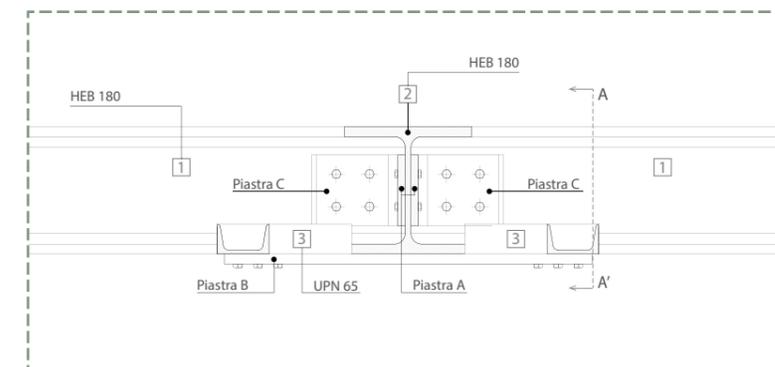
Vista assometrica - NODO B



Pianta - NODO B



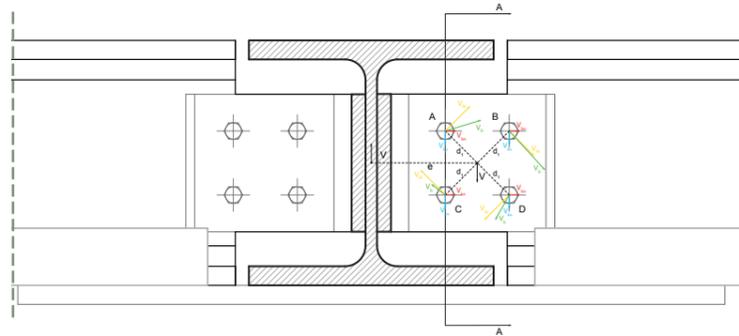
Sezione A - A' - NODO B



Sezione B - B' - NODO B

3.4.9

PIASTRA A



Dettaglio piastra A - NODO B

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla piastra A del nodo - cerniera per travi appoggiate, in analisi è stato possibile determinare l'impiego di elementi angolari in acciaio S355 per il corretto appoggio della trave secondaria longitudinale dell'impalcato sul traverso del medesimo.

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 4 bulloni M12 classe 8.8, in acciaio inossidabile A4-80, e in funzione dei limiti sull'interasse della trave in oggetto, si adottano angolari aventi larghezza 120 mm e altezza 100 mm con spessore pari a 10 mm.

CALCOLO TAGLIO

Il calcolo della piastra A determina le caratteristiche della giunzione della trave secondaria longitudinale dell'impalcato avente profilo HEB180.

Il taglio massimo all'estremità della trave è pari a $V=41,4$ kN.

Si calcola il taglio V_{bv} nei bulloni per effetto del taglio, che sarà corrispondente a:

$$V_{bv} = V/4 = 41,4 \text{ kN}/4 = 10,4 \text{ kN}$$

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 32 kN; questo determina che:

$$V_{bn} = N_{Ed} / (N^\circ \text{ di bulloni in direzione dello sforzo nominale } N_{Ed}) = 32\text{kN}/4 = 8 \text{ kN}$$

Dove :

- V_{bn} è la sollecitazione di taglio
- N_{Ed} è la forza assiale

Si viene a creare un momento parassita che è dato dall'eccentricità identificato come e, corrispondente alla distanza tra il centro dell'anima della trave del traverso dell'impalcato ed il centro della bullonatura, pari a:
 $e=78$ mm

Il momento parassita sarà dunque corrispondente alla formula:

$$M = V * e = 41,4 * 0,078 = 3,2 \text{ kNm}$$

Dove :

- V è il taglio totale
- e è l'eccentricità

Il momento parassita, generato dall'eccentricità e, crea delle forze nei bulloni, uguali tra di loro. Dunque, il taglio V_{bt} generato nei bulloni per effetto del momento parassita è dato da:

$$V_{bt} = M / (4 * d) = 3,2 \text{ kNm} / (4 * 0,03) \text{ m} = 27 \text{ kN}$$

Dove :

- V_{bt} è il taglio per il momento parassita
- M è il momento parassita
- d è la distanza tra il baricentro della bullonatura ed il centro di ogni bullone

Calcolo del vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv}$

BULLONE A

a= 10mm

b= 26mm

$$\alpha = 45^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 20 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 26 \text{ mm}$$

$$\alpha = 135^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 34 \text{ kN}$$

BULLONE C

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 26 \text{ mm}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 20 \text{ kN}$$

BULLONE D

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 26 \text{ mm}$$

$$\alpha = 135^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 34 \text{ kN}$$

Calcolo vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv} + V_{bn}$

Dove :

- V_{bt} è il taglio nei bulloni per effetto del taglio
- V_{bv} è il momento parassita
- V_{bn} è il taglio nei bulloni per effetto della forza assiale

BULLONE A

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$\alpha = 155^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 27 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$b = 34 \text{ mm}$$

$$\alpha = 123^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 39 \text{ kN}$$

BULLONE C

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$\alpha = 25^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 13 \text{ kN}$$

BULLONE D

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$b = 34 \text{ mm}$$

$$\alpha = 57^\circ$$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} + V_{bn} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2(a*b)*\cos(\alpha)} = 30 \text{ kN}$$

La forza agisce su due piastre di collegamento questo comporta dunque:

BULLONE A

$$V_b = 27/2 = 14 \text{ kN}$$

BULLONE B

$$V_b = 39/2 = 20 \text{ kN}$$

BULLONE C

$$V_b = 13/2 = 7 \text{ kN}$$

BULLONE D

$$V_b = 30/2 = 15 \text{ kN}$$

VERIFICA TAGLIO DA NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$DN12 F_{v,Rd} = 0,6 * f_{tbk} * A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 * 800 * 84,3 / 1,25 = 32 \text{ kN}$$

Dove :

- $f_{v,Rd}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che prendendo il valore maggiore della forza del taglio nel bullone B, $V_{bn} = 20\text{kN}$, la verifica di taglio da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata:

32 kN > 20 kN

VERIFICA RIFOLLAMENTO DA NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

DN12 $F_{b,Rd} = k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,56 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \cdot 8,5 \text{ mm}^2 / 1,25 = 58 \text{ kN}$

Dove :

- $F_{b,Rd}$ è la resistenza a rifollamento del piatto di unione
- $k = \min\{2,8 e2/d0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e1/(3 d0) ; ftbk/ftk ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8,5 \text{ mm}$
- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

Per il quale le distanze $e1$ ed $e2$ da progetto sono pari a:

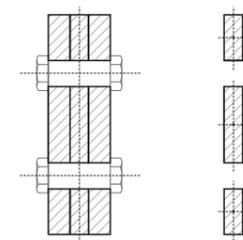
$e1: 27\text{mm}$

$e2: 27\text{mm}$

Si osserva che prendendo il valore maggiore della forza del taglio nel bullone B, $V_{bn} = 39\text{kN}$, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata:

58 kN > 20 kN

VERIFICA DELLA SEZIONE



Vista in sezione piastra A - NODO B

CALCOLO DELL'AREA DELLA SEZIONE

$A =$ somma delle lunghezze x lo spessore

$$A_1 = 8,5 \cdot 21 = 178,5 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 8,5 \cdot 35 = 297 \text{ mm}^2$$

$$A_{tot} = A_1 + 2A_2 = 654 \text{ mm}^2$$

$I =$ inerzia della sezione

$$I_1 = (b \cdot h^3) / 12 = (8,5 \cdot 21^3) / 12 = 6560 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = (b \cdot h^3) / 12 = (8,5 \cdot 35^3) / 12 = 30370 \text{ mm}^4$$

$$I_{tot} = I_2 + 2(I_1 + A_1 \cdot d^2) = 30370 + 2(6560 + 178,5 \cdot 40^2) = 614690 \text{ mm}^4$$

VERIFICA DELLA SEZIONE

$$\sigma = N/A + M/I \cdot y = (32000 \text{ N} / 654 \text{ mm}^2) + (3200000 / 614690 \text{ mm}^4) \cdot 50 = 49 + 260 = 309 \text{ Nmm}^2$$

Il materiale per piastre di collegamento, acciaio S355 è verificato, in quanto: **309 Nmm² < 355 Nmm²**

Dove :

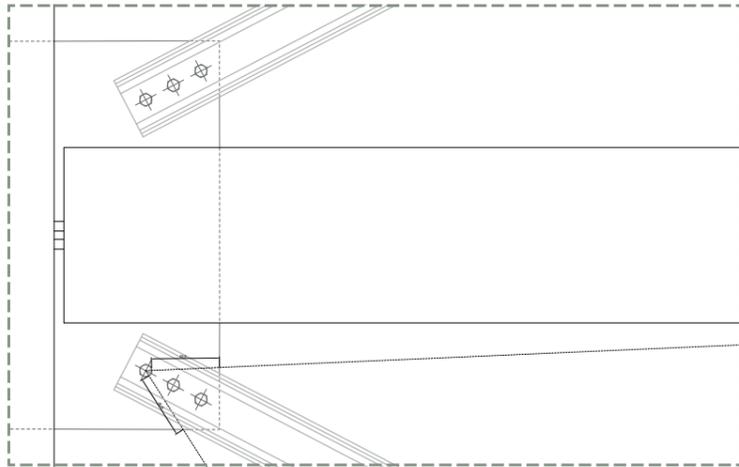
- N Forza assiale, pari a: 32 kN
- A_{tot} Area totale della sezione, pari a: 654 mm²
- M Momento parassita, pari a: 3,2 kN
- I_{tot} inerzia della sezione, pari a: 614.690 mm⁴
- y è la distanza tra il baricentro della sezione e la fibra più esterna, pari a: 50 mm

$$\tau = V/A = (41400 \text{ N} / 654 \text{ mm}^2) = 63 \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \tau^2)} = \sqrt{(0^2 + 3 (63)^2)} = 109 \text{ Nmm}^2$$

3.4.10

PIASTRA B



Dettaglio piastra B - NODO B

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla piastra B in analisi è stato possibile determinare l'impiego di una piastra rettangolare in acciaio S355 per il corretto appoggio dei controventi dell'impalcato.

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 3 bulloni M12 classe 8.8, in acciaio inossidabile A4-80, e in funzione dei limiti sull'interasse della trave in oggetto, si adottano aventi lunghezza totale pari a 500 mm e larghezza di 180 mm con spessore pari a 14 mm.

CALCOLO TAGLIO

Il calcolo della piastra B determina le caratteristiche della giunzione del traverso dell'impalcato avente profilo UPN 65.

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 68 kN; questo determina che:

$$V_{bn} = N_{Ed} / (N^{\circ} \text{ di bulloni in direzione dello sforzo nominale } N_{Ed}) = 68 \text{ kN} / 3 = 22,6 \text{ kN}$$

Posto in direzione orizzontale

VERIFICA TAGLIO NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni

piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$\text{DN12 } F_{v,Rd} = 0,6 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 800 \cdot 84,3 / 1,25 = 32 \text{ kN}$$

Dove :

- $f_{v,Rd}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che $V_{bn} = 21,6 \text{ kN}$, la verifica di taglio da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata, in quanto:

$$32 \text{ kN} > 23 \text{ kN}$$

VERIFICA RIFOLLAMENTO NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

$$\text{DN12 } F_{b,Rd} = k \cdot a \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} = 2,5 \cdot 0,55 \cdot 510 \text{ N/mm}^2 \cdot 12 \cdot 5,5 / 1,25 = 33 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{b,Rd}$ è la resistenza a rifollamento del piatto di unione
- $k = \min\{2,8 \cdot e_2/d_0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e_1/(3 \cdot d_0) ; f_{tbk}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8,5 \text{ mm}$
- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

per il quale le distanze e_1 ed e_2 da progetto sono:
 e_1 : 18 mm

e2: 20 mm

Si osserva che $V_{bn} = 21,6$ kN, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata, in quanto:

33 kN > 23 kN

Si procede con il calcolo dell'area del cono di rottura che tende a strappare la porzione di lamiera, determinando la verificare della resistenza del fazzoletto, come:

$A = d_1 + d_2 * (\text{spessore della piastra di collegamento}) = 69,8 + 65,61 * 14 = 988 \text{ mm}^2$

Dove:

- A è l'area della sezione in acciaio che deve resistere a rottura
- d_1 è pari a 69,8 mm
- d_2 è pari a 65,61 mm
- spessore della piastra 14 mm

RESISTENZA A TAGLIO

La resistenza che si considera su queste superfici inclinate cautelativamente è immaginata avente solo τ di taglio e non σ , questo per un fattore di sicurezza.

$A * \text{resistenza del materiale impiegato per la piastra} / \sqrt{3} = 988 * 355 / \sqrt{3} = 202.500 \text{ Nmm}^2$

ovvero:

202 kNm² > 68 kN

VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL PROFILO DOVE VI E' IL FORO

AUPN65 - $A_f = 903 - 66 = 837 \text{ mm}^2$

Dove :

- AUPN65 è l'area della sezione del profilo UPN65
- A_f è l'area dell'ingombro del foro

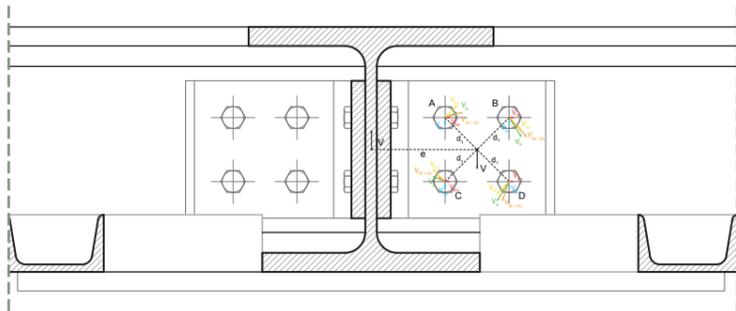
AUPN65 è pari a 903 mm²

$A_f = (\text{spessore dell'anima del profilo UPN65}) * d (\text{diametro del foro}) = 5,5 * 12 = 66 \text{ mm}^2$

$A * f_{yd} / \gamma_{M2} \text{ della bullonatura} = 837 * 355 / 1,25 = 238 \text{ kN} > 68 \text{ kN}$

3.4.11

PIASTRA C



Dettaglio piastra C - NODO B

Dal calcolo e dalle verifiche dei collegamenti eseguiti in merito alla piastra A del nodo - cerniera per travi continue, in analisi è stato possibile determinare l'impiego di elementi angolari in acciaio S355 per il corretto appoggio della trave secondaria longitudinale dell'impalcato sul traverso del medesimo.

Si prevede, pertanto, per la giunzione dei componenti, l'utilizzo di 4 bulloni M12 classe 8.8, in acciaio inossidabile A4-80, e in funzione dei limiti sull'interasse della trave in oggetto, si adottano angolari aventi larghezza 120 mm e altezza 100 mm con spessore pari a 10 mm.

CALCOLO TAGLIO

Il calcolo della piastra C determina le caratteristiche della giunzione della trave secondaria longitudinale dell'impalcato avente profilo HEB180.

Il taglio massimo all'estremità della trave è pari a $V=41,4$ kN, dato esportato dal file SAP 2000

Calcolo il taglio V_{bv} nei bulloni per effetto del taglio, il quale sarà corrispondente a:

$$V_{per\ trave} = V/2 = 41,4\text{ kN} / 2 = 20,7\text{ kN}$$

$$V_{bv} = V/4 = 20,7/4 = 5,2\text{ kN}$$

Si viene a creare un momento parassita che è dato dall'eccentricità e , corrispondente alla distanza tra il centro dell'anima della trave del traverso dell'impalcato

ed il centro della bullonatura, pari a:
 $e=78$ mm

Il momento parassita sarà dunque corrispondente alla formula:

$$M = V \cdot e = 20,7\text{ kN} \cdot 0,078\text{ m} = 1,6\text{ kNm}$$

Dove :

- V è il taglio totale
- e è l'eccentricità

Il momento parassita, generato dall'eccentricità e , crea delle forze nei bulloni, uguali tra di loro.

Dunque, il taglio V_{bt} generato nei bulloni per effetto del momento parassita è dato da:

$$V_{bt} = M/(4 \cdot d) = 1,6\text{ kNm} / (4 \cdot 0,03)\text{ m} = 13\text{ kN}$$

Dove :

- V_{bt} è il taglio per il momento parassita
- M è il momento parassita
- d è la distanza tra il baricentro della bullonatura ed il centro di ogni bullone

Lo sforzo assiale massimo all'estremità della trave è pari a 32 kN; questo determina che:

$$N_{per\ lato} = N_{Ed}/2 = 32/2 = 16\text{ kN}$$

$$V_{bn} = N_{per\ lato} / (N^\circ\text{ di bulloni in direzione dello sforzo nominale } N_{Ed}) = 16\text{ kN} / 4 = 4\text{ kN}$$

Dove :

- $F_{v,Ed}$: sollecitazione di taglio
- N_{Ed} : forza assiale

Calcolo del vettore risultante V_b attraverso la regola del parallelogramma delle componenti $V_{bt} + V_{bv}$

BULLONE A

a= 5mm

b= 13mm

$\alpha = 45^\circ$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 10 \text{ kN}$$

BULLONE B

a= 5mm

b= 13mm

$\alpha = 135^\circ$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 17 \text{ kN}$$

BULLONE C

a= 5mm

b= 13mm

$\alpha = 45^\circ$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 10 \text{ kN}$$

BULLONE D

a= 5mm

b= 13mm

$\alpha = 135^\circ$

$$V_b = V_{bt} + V_{bv} = \sqrt{a^2+b^2-2(a*b)*\cos(\alpha)} = 17 \text{ kN}$$

VERIFICA TAGLIO DA NTC18

La resistenza di progetto a taglio dei bulloni per ogni piano di taglio, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.63] risultante pari a:

$$\text{DN12 } F_{v,Rd} = 0,6 * f_{tbk} * A_{res} / \gamma_{M2} = 0,6 * 800 * 84,3 / 1,25 = 32 \text{ kN}$$

Dove :

- $f_{v,Rd}$ è la resistenza a taglio di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

Si osserva che prendendo il valore maggiore della forza

del taglio nel bullone B, $F_{v,Ed} = 17\text{kN}$, la verifica di taglio da NTC18 per un bullone con DN 12 risulta verificata:

$$32 \text{ kN} > 17 \text{ kN}$$

VERIFICA RIFOLLAMENTO DA NTC18

La resistenza di progetto a rifollamento del piatto dell'unione, bullonata, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.67], pari a:

$$\text{DN12 } F_{b,Rd} = k * \alpha * f_{tk} * d * t / \gamma_{M2} = 2,5 * 0,56 * 510 \text{ N/mm}^2 * 12 * 8,5 \text{ mm}^2 / 1,25 = 58 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{b,Rd}$ è la resistenza a rifollamento del piatto di unione
- $k = \min\{2,8 e^2/d^0 - 1,7 ; 2,5\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- $\alpha = \min\{e/(3 d^0) ; f_{tbk}/f_{tk} ; 1\}$ per bulloni di bordo nella direzione perpendicolare al carico applicato
- d è il diametro nominale del gambo del bullone
- t è lo spessore più piccolo collegato nel caso della tesi l'anima del traverso dell'impalcato $t_w = 8,5 \text{ mm}$
- f_{tk} è la resistenza caratteristica a rottura del materiale della piastra collegata

Per il quale le distanze e_1 ed e_2 da progetto sono pari a:

e_1 : 27mm

e_2 : 27mm

Si osserva che $F_{v,Ed} = 17\text{kN}$, la verifica di rifollamento da NTC18 per un bullone con DN 18 risulta verificata, in quanto:

$$58 \text{ kN} > 17 \text{ kN}$$

CALCOLO RESISTENZA DI PROGETTO A TRAZIONE da NTC18

La resistenza di progetto a trazione si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.68], pari a:

$$DN12 \quad F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2} = 0,9 \cdot 800 \cdot 84,3 / 1,25 = 48,5 \text{ kN}$$

Dove :

- $F_{t,Rd}$ è la resistenza a trazione di progetto dei bulloni
- f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale dei bulloni centro di ogni bullone
- A_{res} indica l'area resistente dei bulloni
- γ_{M2} coefficiente di sicurezza per la verifica delle unioni

VERIFICA COMBINATA PER TAGLIO E TRAZIONE da NTC18

La verifica combinata per taglio e trazione, si considera da NTC18 per bulloni classe 8.8, in riferimento al paragrafo [4.2.71], pari a:

$$\left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \right) < 1 = \left(\frac{17}{32} + \frac{4}{1,4 \cdot 48,5} \right) = 0,53 + 0,06 = 0,59$$

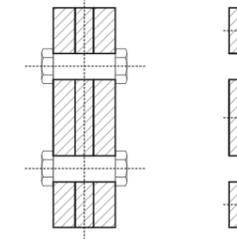
Dove:

- $F_{v,Ed}$: sollecitazione di taglio
- $F_{v,Rd}$: resistenza a taglio
- $F_{t,Ed}$: sollecitazione a trazione
- $F_{t,Rd}$: resistenza a trazione

Si osserva dunque che la verifica combinata per taglio e trazione da NTC18, risulta verificata in quanto:

$$0,59 \leq 1$$

VERIFICA DELLA SEZIONE



Vista in sezione piastra C - NODO B

CALCOLO DELL'AREA DELLA SEZIONE

A = somma delle lunghezze x lo spessore

$$A_1 = 8,5 \cdot 21 = 178,5 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 8,5 \cdot 35 = 297 \text{ mm}^2$$

$$A_{tot} = A_1 + 2A_2 = 654 \text{ mm}^2$$

I = inerzia della sezione

$$I_1 = (b \cdot h^3) / 12 = (8,5 \cdot 21^3) / 12 = 6560 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = (b \cdot h^3) / 12 = (8,5 \cdot 35^3) / 12 = 30370 \text{ mm}^4$$

$$I_{tot} = I_2 + 2(I_1 + A_1 \cdot d^2) = 30370 + 2(6560 + 178,5 \cdot 40^2) = 614690 \text{ mm}^4$$

VERIFICA DELLA SEZIONE

$$\sigma = N/A + M/I \cdot y = (32000 \text{ N} / 654 \text{ mm}^2) + (3200000 / 614690 \text{ mm}^4) \cdot 50 = 49 + 260 = 309 \text{ Nmm}^2$$

Il materiale per piastre di collegamento, acciaio S355 è verificato, in quanto: $309 \text{ Nmm}^2 < 355 \text{ Nmm}^2$

Dove :

- N Forza assiale, pari a: 32 kN
- A_{tot} Area totale della sezione, pari a: 654 mm²
- M Momento parassita, pari a: 3,2 kN
- I_{tot} inerzia della sezione, pari a: 614.690 mm⁴
- y è la distanza tra il baricentro della sezione e la fibra più esterna, pari a: 50 mm

$$\tau = V/A = (41400 \text{ N} / 654 \text{ mm}^2) = 63 \text{ Nmm}^2$$

$$\sigma_{ideale} = \sqrt{(\sigma^2 + 3 \tau^2)} = \sqrt{(0^2 + 3 (63)^2)} = 109 \text{ Nmm}^2$$

3.5 CALCOLI PER IL DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE: RETICOLARE CON LUCE 22,4 m

3.5.1

STRUTTURA RETICOLARE: 22,4 m

Come analizzato nel capitolo precedente, il progetto della ciclovia si compone, nel suo sviluppo, anche di due strutture reticolari aventi dimensioni minori, che regolano l'appoggio di inizio e fine tracciato.

Esse, come nel caso della reticolare avente luce 28 m, seguono una griglia di progettazione, che si sviluppa longitudinalmente con un passo di 2,8 m.

Entrambe le reticolari di inizio e fine tracciato, dunque, si delineano in 8 campate da 2,8 m e le scelte strutturali sono le medesime della reticolare precedentemente descritta, di lunghezza pari a 28 m, come analizzato nel paragrafo descrittivo del progetto.

Questo determina un'estensione lineare e costante della struttura che compone il progetto, lungo tutto il suo sviluppo.

I calcoli relativi al dimensionamento strutturale e le verifiche dei carichi agenti sulle strutture reticolari localizzati ad inizio e fine ciclovia, sono stati sviluppati in modo analogo alle verifiche redatte sulla struttura reticolare principale avente lunghezza di 28 m, ottenendo di fatto risultati conformi e proporzionati.

E' stato nuovamente utilizzato il software di calcolo SAP 2000 "static and dynamic finite element analysis of structure" versione 22, presentato nei paragrafi precedenti.

3.5.2

ANALISI DEI CARICHI

Per l'analisi statica delle strutture sono stati presi in esame il peso proprio ed i carichi variabili quali carico antropico, azioni del vento e le azioni termiche agenti sull'architettura.

PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA

La carpenteria metallica è stata computata con un peso specifico pari a $30,25 \text{ kN/m}^3$.

Nel caso specifico, non è stato necessario riportare il peso di tutti gli elementi, in quanto calcolato direttamente dal software a seguito dell'inserimento dei materiali scelti per il progetto.

Si è considerato lo sviluppo d'asse dei singoli elementi e si è amplificato, in via cautelativa, il risultato ottenuto con un coefficiente di 1,2: questo per tener conto di fazzoletti, piastre e raccorderia varia di cui è composta la struttura.

Peso proprio della struttura = $36,3 \text{ kN}$

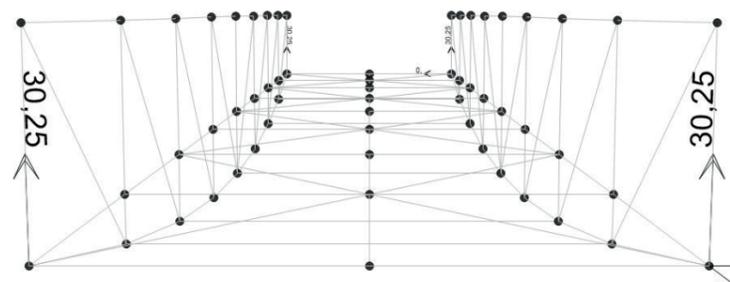


Fig.124: Peso proprio della struttura
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

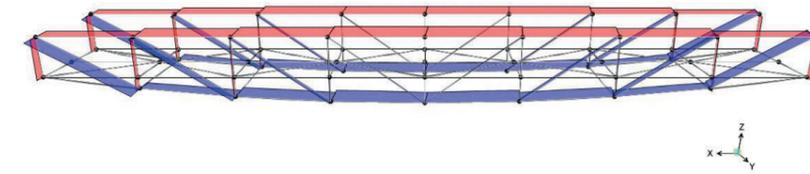


Fig.125: Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

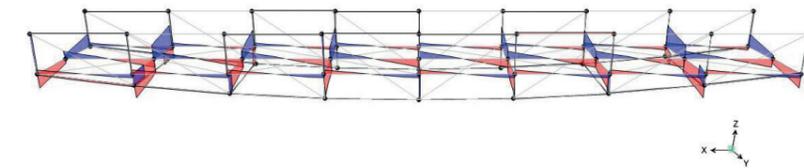


Fig.126: Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

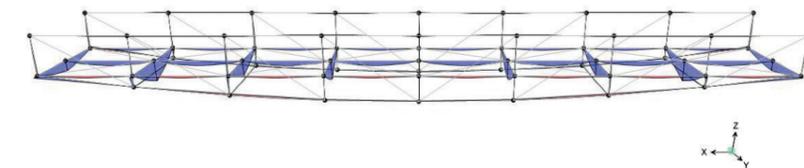


Fig.127: Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

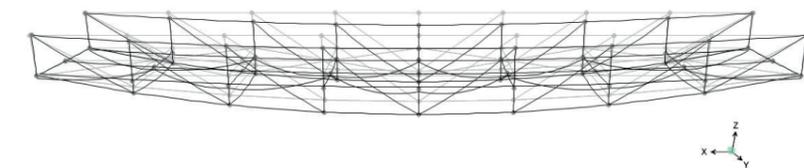


Fig.128: Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI

I carichi permanenti strutturali rappresentano tutti i pesi delle strutture portanti di progetto.

La struttura è composta da un solaio costituito da 55mm di lamiera grecata e 65 mm di soletta, il cui peso risultante è pari a $240 \text{ Kg/m}^2 - 2,40 \text{ kN/m}^2$.

I solai in acciaio – calcestruzzo sono costituiti da uno strato di lamiera grecata di acciaio su cui viene poi gettato il calcestruzzo normale o alleggerito. La lamiera svolge la funzione di cassero durante la costruzione, costituendo tutta l'armatura longitudinale dopo l'indurimento del calcestruzzo. Dato l'insufficiente legame chimico tra i due materiali, è necessario prevedere opportune lavorazioni o l'utilizzo di apposite sagome per garantire una corretta aderenza tra lamiera e getto di calcestruzzo.

Il peso della soletta dell'impalcato è calcolato mediante il rapporto tra il peso totale del solaio e la larghezza dell'impalcato, che nel caso proposto è pari a 3,4 m.

Per l'inserimento del calcolo si è creato il relativo "load patterns", identificato come G2 – Peso solaio, assegnato mediante un carico distribuito lungo la trave principale dell'impalcato e lungo le travi di bordo del medesimo.

L'assegnazione del carico è stata suddivisa per $3/8$ del peso sulle travi di bordo e $10/8$ del peso (corrispondenti alla somma di $5/8$ del peso per parte) sulla trave principale dell'impalcato.

Trave principale dell'impalcato:

$$10/8 * 2,40 = 10 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo DX:

$$3/8 * 2,40 = 3,06 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo SX:

$$3/8 * 2,40 = 3,06 \text{ kN/m}^3$$

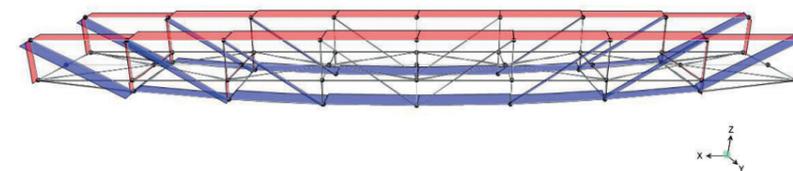


Fig.129:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

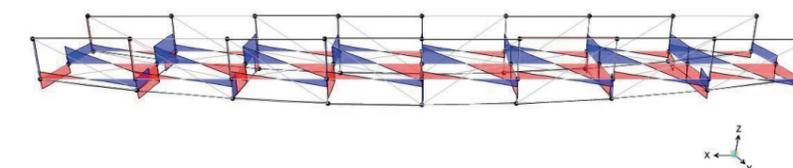


Fig.130:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

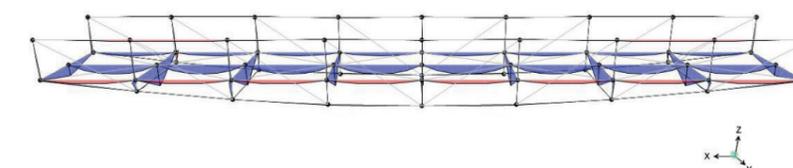


Fig.131:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

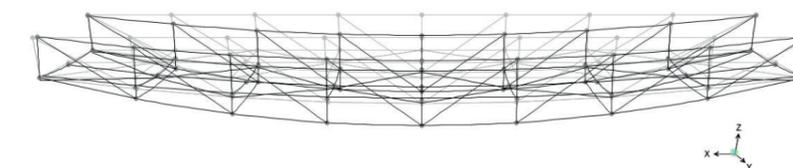


Fig.132:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

CARICO ANTROPICO

Il carico antropico fa riferimento al carico della folla, il cui peso considerato è di 5 kN/m².

Per l'inserimento del calcolo si è creato il relativo "load patterns", identificato come Q Folla, tanti quanti sono i frame dell'impalcato. Per le sue caratteristiche è definito dai codici di calcolo come carico "LIVE".

È stato poi assegnato mediante un carico distribuito lungo i frame della trave principale dell'impalcato e lungo i frame delle travi di bordo del medesimo.

Nel modello l'assegnazione del carico è stata suddivisa, come per il carico G2 - Peso solaio, per 3/8 del peso sulle travi di bordo e i 10/8 del peso (corrispondenti alla somma di 5/8 del peso per parte) sulla trave principale.

Trave principale dell'impalcato:

$$5\text{kN/m}^2 * 1.7\text{m} * (10/8) = 10,63 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo DX:

$$5\text{kN/m}^2 * 1.7\text{m} * (3/8) = 3,19 \text{ kN/m}^3$$

Trave di bordo SX:

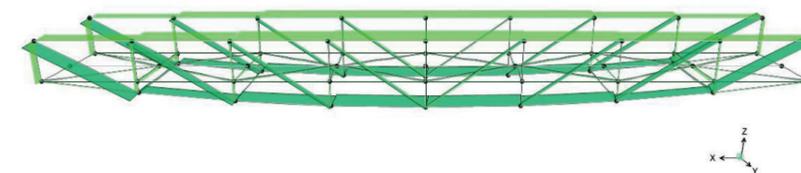


Fig.133:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22



Fig.134:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22



Fig.135:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

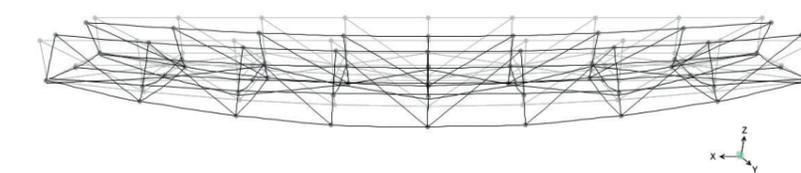


Fig.136:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.5.3

AZIONI TERMICHE

Gli effetti che le variazioni termiche uniformi volumetriche esercitano sulla struttura in termini di spostamenti e sollecitazioni, come specifica la normativa italiana NTC08 nel paragrafo 5.2.2.5.2 “Temperatura”, devono essere considerate, per le strutture direttamente esposte alle azioni atmosferiche, in mancanza di studi approfonditi, pari a:

Impalcato in calcestruzzo, c.a e c.a.p	$\Delta T = \pm 15^{\circ}\text{C}$
Impalcato in struttura mista acciaio – calcestruzzo	$\Delta T = \pm 15^{\circ}\text{C}$
Impalcato con strutture in acciaio ed armamento su ballast	$\Delta T = \pm 20^{\circ}\text{C}$
Impalcato con strutture in acciaio ed armamento diretto	$\Delta T = \pm 25^{\circ}\text{C}$
Strutture in calcestruzzo	$\Delta T = \pm 15^{\circ}\text{C}$

“Esclusivamente per il calcolo delle escursioni dei giunti e degli apparecchi di appoggio la variazione di temperatura da considerarsi sarà l’incremento del 50% per tutte le tipologie d’impalcato analizzate precedentemente.”¹⁴

Per il calcolo, dunque, all’interno del software sono stati creati i relativi load patterns, identificati come:

Termica stagionale 1, con un valore di temperatura pari a $+25^{\circ}\text{C}$;

Termica stagionale 2, con un valore di temperatura pari a -25°C ;

Termica giornaliera 1, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$;

Termica giornaliera 2, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$.

¹⁴Secondo Normativa italiana NTC08 paragrafo 5.2.2.5.2 Temperatura.
Fonte: NTC08

Diagrammi termica stagionale 1

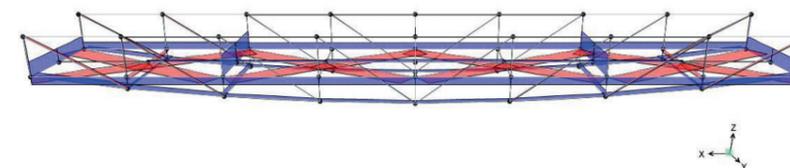


Fig.137:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

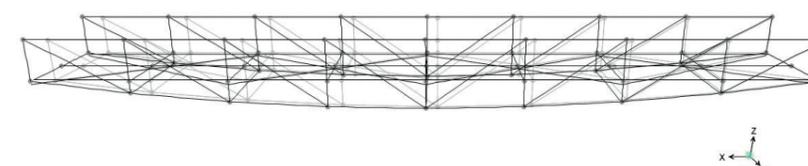


Fig.138:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Diagrammi termica stagionale 2

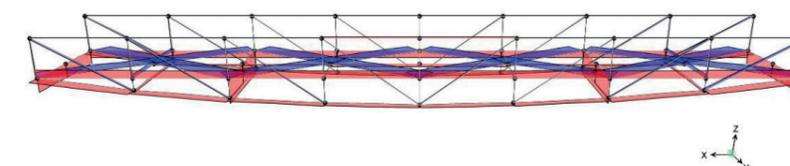


Fig.139:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

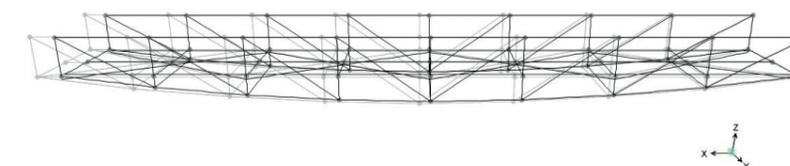


Fig.140:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Ai fini del calcolo, le termiche stagionali sono state assegnate su tutta la struttura, mentre per quanto riguarda le termiche giornaliere, si sono considerate come:

Termica giornaliera 1, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$ assegnata alla reticolare destra della struttura;
Termica giornaliera 2, con un valore di temperatura pari a $+5^{\circ}\text{C}$ assegnata alla reticolare sinistra della struttura.

Diagrammi termica giornaliera 1

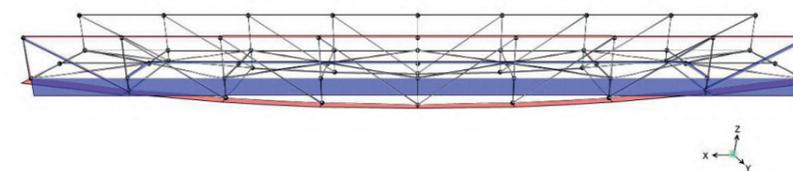


Fig.141:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

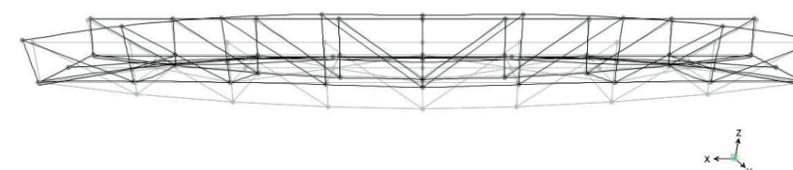


Fig.142:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Diagrammi termica giornaliera 2

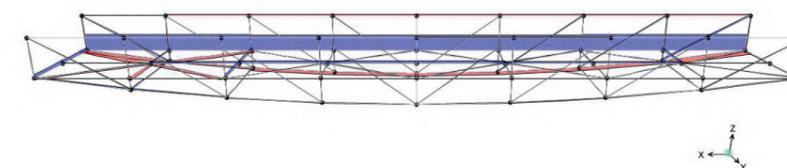


Fig.143:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

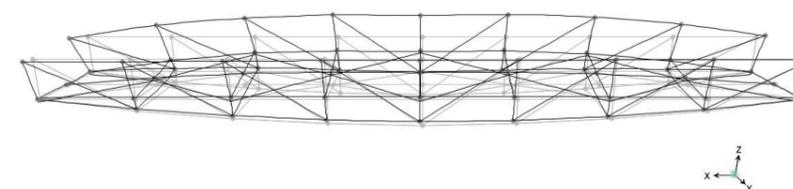


Fig.144:Diagramma Deformata
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.5.4

AZIONI DEL VENTO

Le azioni del vento sono definite nel capitolo 3 delle Norme Tecniche vigenti, ed è classificato come carico “accidentale”.

La spinta del vento è un fenomeno complesso, che induce e provoca effetti dinamici sulle costruzioni, generando sulle strutture delle azioni che variano nel tempo e nello spazio.

Nella pratica di calcolo nelle strutture considerate rigide, ovvero che presentano una struttura ordinaria, nel nostro caso l'acciaio; la forza del vento è ricondotta ad un'azione statica equivalente, ridotta a forze orizzontali che agiscono a livello del solaio.

Di seguito è inserita la procedura di calcolo delle azioni del vento su un impalcato da ponte ciclopedonale.

Velocità base di riferimento

Il processo ha origine dal calcolo della velocità di riferimento V_b , ovvero il valore medio su 10 minuti, a 10 metri di altezza dal suolo di categoria di esposizione, riferito ad un periodo di ritorno T_R . Il calcolo è definito secondo l'espressione [3.3.1] del paragrafo 3.3.1 della NTC 2018:

$$V_{b(TR)} = V_b * C_r = 25 * 1.04 = 26 \text{ m/s}$$

Dove:

- V_b = è la velocità base di riferimento
- C_r = è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto T_R espresso in anni.

Tali valori sono indicati dalla Tab. [3.3.1] delle NTC2018, riportata in seguito:

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ (m/s)	a_0 (m)	k_a
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Fig.145: Tabella 3.1 – Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 e k_a per le diverse zone italiane. Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Valutando il coefficiente di ritorno, si fa riferimento alla seguente formula:

$$C_r = 0.75 \sqrt{(1 - 0.2 * \ln[-\ln(1 - 1/T_R)])} = 1.04$$

Nel caso del progetto in analisi si prende in considerazione un tempo di ritorno T_R pari a 100 anni. Il coefficiente di ritorno, dunque, assumerà un valore pari a 1.04, come si evince dal diagramma in figura 3.2.

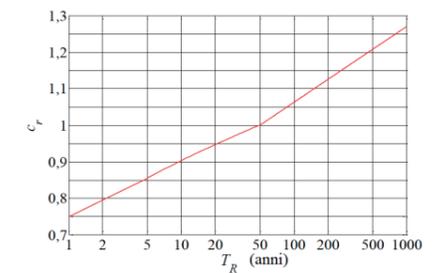


Fig.146: Figura 3.2 – Diagramma del coefficiente di ritorno c_r in funzione del periodo di ritorno T_R . Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Pressione cinetica di riferimento

Per concludere il calcolo della pressione del vento è necessario calcolare in precedenza la pressione cinetica di riferimento, secondo l'espressione [3.3.6] del paragrafo 3.3.6 della NTC 2018, per cui:

$$q_r = \frac{1}{2} * \rho * v_r^2 = \frac{1}{2} * 1.25 * (26)^2 = 422 \text{ N/m}^2$$

Dove:

- v_r è la velocità di riferimento del vento
- ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m³

Pressione del vento

La pressione del vento, dato finale da ricavare, è calcolata mediante l'espressione [3.3.4] del paragrafo 3.3.4 della NTC 2018:

$$p = q_r * c_e * c_p * c_d = 422 * 1.63 * c_p = 688 \text{ N/m}^2$$

Dove:

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il coefficiente di pressione
- c_d è il coefficiente dinamico

Quest'ultimo tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura. Esso assume un valore pari a 1.

Per completare il calcolo della relazione della pressione del vento, dove Q_r , ovvero la pressione cinetica di riferimento, e c_d , ovvero il coefficiente dinamico, sono dati noti, è necessario eseguire il calcolo del coefficiente di esposizione C_e , in funzione della classe di rugosità del sito e del dislivello dal mare.

Classe di rugosità

La classe di rugosità del terreno, definita nella tabella sottostante 3.3.III della NTC 2018, risulta essere la B: il progetto si delinea pertanto in un'area suburbana, boschiva.

Classi di rugosità	Descrizione
A	Area urbana, in cui almeno il 15% della superficie del terreno sia coperto da edifici la cui altezza media supera i 15 m
B	Area urbana (non di classe A), suburbana, industriale o boschiva
C	Area con ostacoli diffusi (quali alberi, case, muri, recinzioni,); aree con rugosità non riconducibile alle Classi A, B, D.
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla riva) b) Lago (con larghezza pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla riva) c) Area priva di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, ...)

Fig.147: Tabella 3.III - Classi di rugosità del terreno.TR.
Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

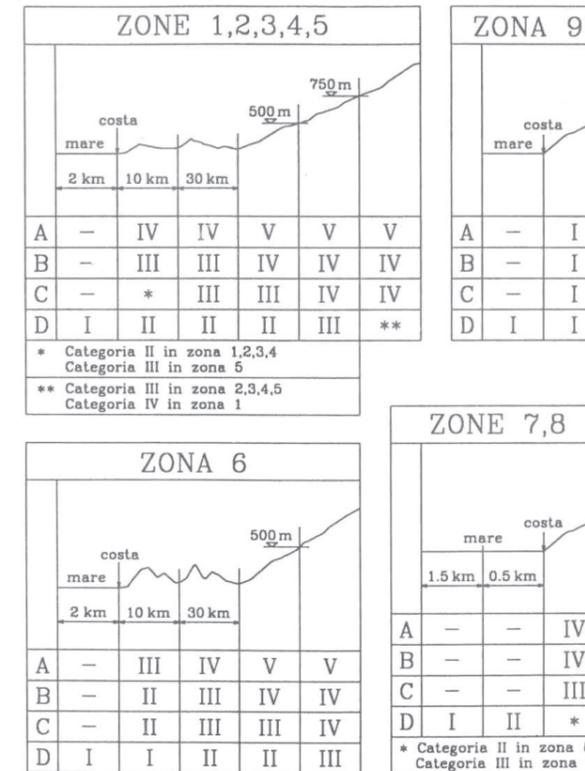


Fig.148: Figura 3.3 – Criterio di assegnazione della categoria di esposizione per le diverse zone italiane.
Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Categoria di esposizione del sito

La categoria di esposizione è assegnata dalla tabella 3.3.II della NTC 2018 in funzione della posizione geografica del sito in cui avviene la progettazione della nuova struttura: il progetto si inserisce nella categoria di esposizione IV.

I parametri per la categoria di riferimento sono elencati nella Tab. 3.3.II di seguito riportata:

Categorie 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

Fig.149: Tabella 3.II – Valori dei parametri k_r , z_0 , e z_{min} per le diverse categorie di esposizione.
Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Da tabella otteniamo i valori:

- $K_r = 0$
- $Z_0 = 0.3\text{m}$
- $Z_{\min} = 8\text{m}$

- $Z_{\min} = 8\text{m}$

Il coefficiente di esposizione è di seguito calcolato attraverso l'espressione del paragrafo 3.3.7 della NTC 2018. Si considera come altezza media dell'impalcato dalla quota di campagna del terreno sottostante identificata come Z, un valore pari a 3.8mt.

$$C_e(Z=3.8\text{m}) < C_e(Z=Z_{\min})$$

$$C_e(Z=3.8\text{m}) = C_e(Z=Z_{\min}) = C_e(Z=8\text{m}) = k_r c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] = 0.22^{2*1} \ln(8/0.3) [7 + 1 \ln(8/0.3)] = 1.63$$

Dove :

- C_t è il coefficiente topografico
- K_r è il fattore del terreno
- Z_0 è la lunghezza di rugosità
- Z_{\min} è l'altezza minima

Il coefficiente di topografia viene generalmente considerato pari a 1, sia per le zone pianeggianti che per quelle montane o collinari.

Coefficiente di forma

Il restante coefficiente ancora non noto della relazione di calcolo della pressione del vento è il coefficiente C_p , ovvero il coefficiente di forma, che è definito sulla base della geometria strutturale dell'impalcato.

Per il calcolo del coefficiente C_p si fa riferimento all'Eurocodice 1991-1-4 (nel capitolo "Azione del vento"). Gli impalcato da ponte sono trattati alla sezione 8 della norma EN 1991-1-4.

La tipologia dell'impalcato progettato è mostrata nella figura 8.1, e tratta una struttura reticolare.



Figure 8.1 – Cross-sections of normal construction decks

Da modello SAP si individuano le direzioni Y trasversale, X longitudinale e Z verticale.

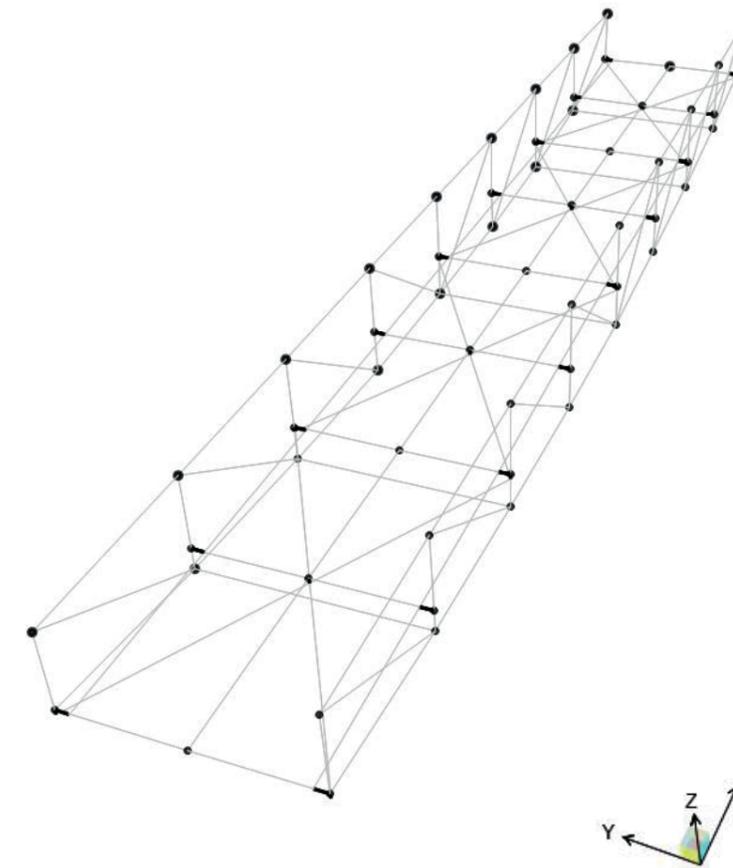


Fig.150: Tabella 3.II – Valori dei parametri k_r , z_0 , e z_{\min} per le diverse categorie di esposizione.
Fonte: CNR-DT 207 R1/2018

Fig.151: Rappresentazione tridimensionale della struttura
Fonte: SAP2000

VENTO TRASVERSALE

Il vento agisce in direzione prevalentemente orizzontale ed ortogonale all'asse dell'impalcato, esercitando nel piano della sezione un sistema di azioni aereodinamiche per unità di lunghezza riconducibili ad una forza parallela alla direzione del vento f_x , a una forza verticale f_y e ad un momento intorno all'asse m_z .

Queste azioni vengono quantificate mediante due coefficienti di forza, C_{fx} e C_{fy} , ed un coefficiente di momento, C_{mz} , che possono essere ottenuti attraverso il seguente processo.

La formulazione dei coefficienti di forza dipende sempre dal rapporto b/d_{tot} , ovvero il rapporto tra la larghezza dell'impalcato e l'altezza totale della struttura.

Le caratteristiche strutturali del ponte in oggetto riportano un rapporto b/d_{tot} pari a $3.4/2 = 1.7m$

Dunque:

Il coefficiente C_{fx} calcolato mediante la norma EN 1991-1-4, paragrafo 8.3.1 (figura 8.3) risulta essere pari a:

$C_{fx} = 1.93$

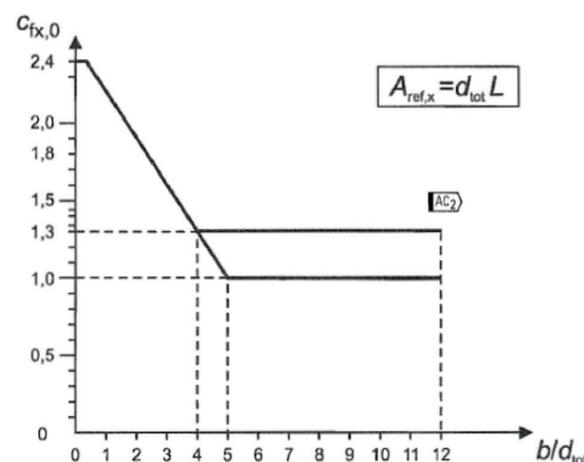


Fig.152: Figure 8.3 - Force coefficient for bridges, $C_{fx,0}$
Fonte: BS EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010
EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010 (E)

Il vento trasversale genera anche una contemporanea azione verticale che può essere di sollevamento o abbassamento (in due "loadcase" separati).

Questa azione è descritta al paragrafo [8.3.3] del EN 1991-1-4.

BS EN 1991-1-4:2005+A1:2010
EN 1991-1-4:2005+A1:2010 (E)

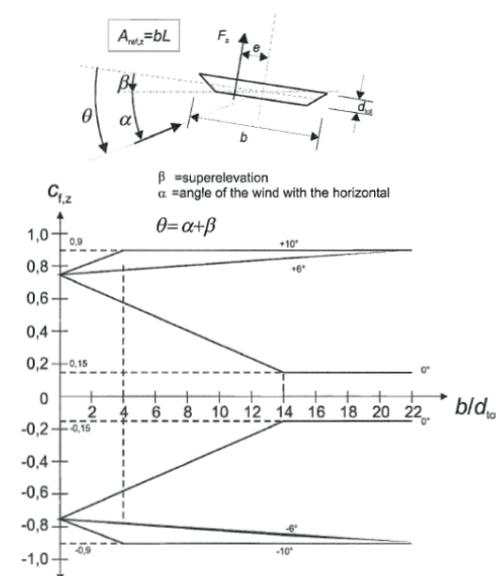


Figure 8.6 — Force coefficient c_{fz} for bridges with transversal slope and wind inclination

Fig.153: Figure 8.6 - Force coefficient $C_{f,z}$ for bridges with transversal slope and wind inclination

Fonte: BS EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010
EN 1991-1-4:2005+A 1 :2010 (E)

Gli angoli da considerarsi nel processo in relazione al progetto risultano essere:

$\beta = 0$ inclinazione trasversale dell'impalcato nulla;

$\alpha = 0$ inclinazione del vento sull'orizzontale nulla, in mancanza di studi più precisi si considera sempre un valore pari a 0.

Il coefficiente di sollevamento verticale C_{fz} calcolato secondo la norma EN 1991-1-4, paragrafo 8.3.3 (figura 8.6) risulta essere pari a:

$C_{fz} = +/- 0.65$ circa.

Si considera nel calcolo dei coefficienti un rapporto b/d_{tot} pari a $3.4/2 = 1.7m$

L'eccentricità e , è pari al rapporto tra la larghezza dell'impalcato $b/4$:

$$e = 3.4/4 = 0.85\text{m}$$

La superficie investita dal vento, per unità di lunghezza in direzione z è pari alla larghezza dell'impalcato:

$$b = 3.4 \text{ m}^2/\text{m}.$$

Da questo ne consegue che il carico distribuito verticale per unità di lunghezza dell'impalcato è:

$$F_{vz} = \pm 0.65 * b * p = \pm 0.65 * 3.4 \text{ m}^2/\text{m} * 688 \text{ N/m}^2 = \pm 1.52 \text{ kN/m}$$

Dove:

- C_{fz} è il coefficiente di sollevamento verticale
- b è la larghezza dell'impalcato
- p è la pressione del vento

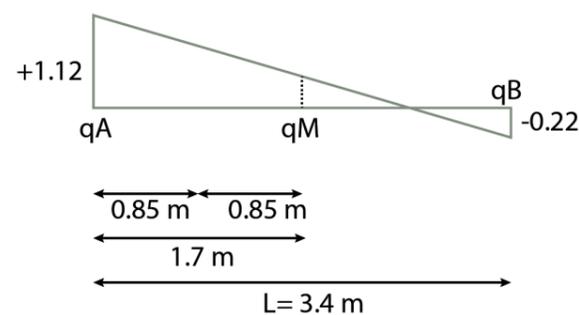
Il coefficiente f_{vz} genera un torcente pari a:

$$T_{vz} = F_{vz} * e = \pm 1.52 * 0.85 = \pm 1.29 \text{ kNm/m}$$

Mediante questi carichi è possibile calcolare le pressioni agenti sui traversi dell'impalcato come segue.

Traverso impalcato

Vento trasversale 1



$$L = 3.4$$

$$F = 1.52$$

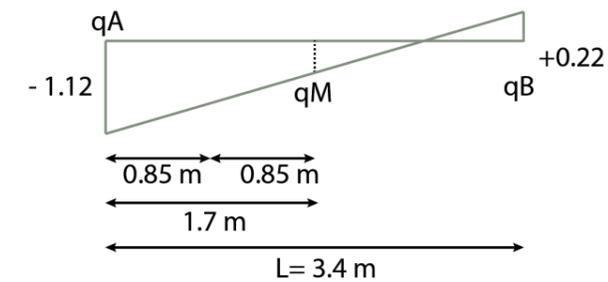
$$M_z = 1.52 * 0.85 = 1.29$$

$$q_m = F/3.4 = 0.45$$

$$q_a = (F/l) + \frac{M}{l^2} = (F/l) + \frac{(6M/l^3) * l/2}{l^2} = (F/l) + \frac{6M}{l^2} = (1.52/3.4) + \frac{(6 * 1.29)}{(3.4^2)} = 1.12 \text{ kN/m}$$

$$q_b = (F/l) - \frac{M}{l^2} = (F/l) - \frac{(6M/l^3) * l/2}{l^2} = (F/l) - \frac{6M}{l^2} = (1.52/3.4) - \frac{(6 * 1.29)}{(3.4^2)} = -0.22 \text{ kN/m}$$

Vento trasversale 2



$$L = 3.4$$

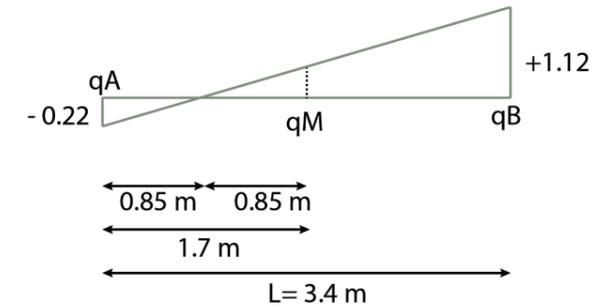
$$F = -1.52$$

$$M_z = -1.29$$

$$q_m = F/3.4 = -0.45$$

$$q_a = (F/l) + \frac{M}{l^2} = (-F/l) + \frac{(6(-M)/l^3) * l/2}{l^2} = (-F/l) + \frac{6(-M)}{l^2} = (-1.52/3.4) + \frac{(6 * (-1.29))}{(3.4^2)} = -0.45 + (-0.67) = -1.12 \text{ kN/m}$$

Vento trasversale 3



$$L = 3.4$$

$$F = 1.52$$

$$M_z = -1.29$$

Diagrammi load combinations vento trasversale

$$q_m = F/3.4 = 0.45$$

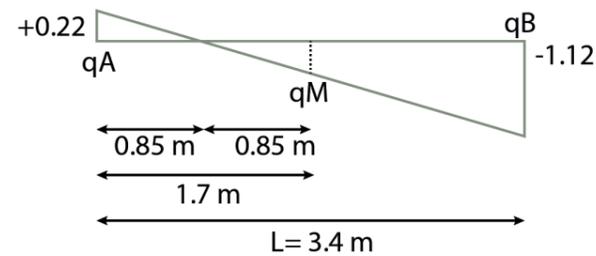
$$q_a = (F/l) + \frac{6M}{l^3} \cdot \frac{l}{2} = (F/l) + \frac{3M}{l^2}$$

$$q_a = (1.52/3.4) + \frac{6 \cdot (-1.29)}{(3.4)^2} = -0.22 \text{ kN/m}$$

$$q_b = (F/l) - \frac{6M}{l^3} \cdot \frac{l}{2} = (F/l) - \frac{3M}{l^2}$$

$$q_b = (1.52/3.4) - \frac{6 \cdot (-1.29)}{(3.4)^2} = 1.12 \text{ kN/m}$$

Vento trasversale 4



$$L = 3.4$$

$$F_{vz} = -1.52$$

$$M_z = 1.29$$

$$q_m = F/3.4 = -0.45$$

$$q_a = (F/l) + \frac{6M}{l^3} \cdot \frac{l}{2} = (-F/l) + \frac{3M}{l^2}$$

$$q_a = (-1.52/3.4) + \frac{6 \cdot 1.29}{(3.4)^2} = -0.45 + 0.67 = 0.22 \text{ kN/m}$$

$$q_b = (-F/l) - \frac{6M}{l^3} \cdot \frac{l}{2} = -F/l - \frac{3M}{l^2}$$

$$q_b = (-1.52/3.4) - \frac{6 \cdot 1.29}{(3.4)^2} = -0.45 - 0.67 = -1.12 \text{ kN/m}$$

All'interno del software di calcolo SAP2000 i carichi sono stati inseriti mediante la creazione dei relativi load patterns identificati come: Vento trasversale 1, Vento trasversale 2, Vento trasversale 3 e Vento trasversale 4. Sono stati poi assegnati mediante un carico distribuito lungo i frame dei traversi dell'impalcato.

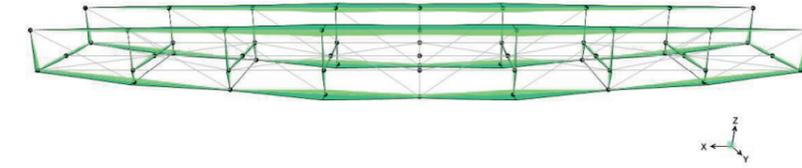


Fig.160: Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

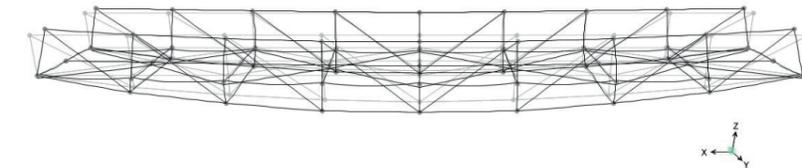


Fig.161: Diagramma Deformata - Vento trasversale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

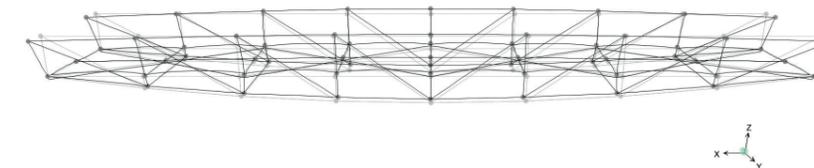


Fig.162: Diagramma Deformata - Vento trasversale 4
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento trasversale 1

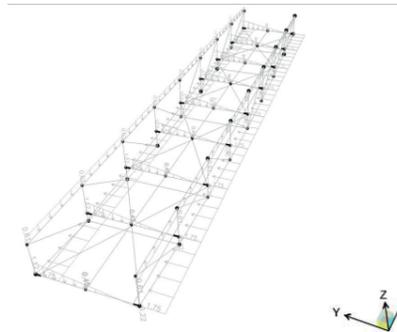


Fig.163: Load cases Vento trasversale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento trasversale 3

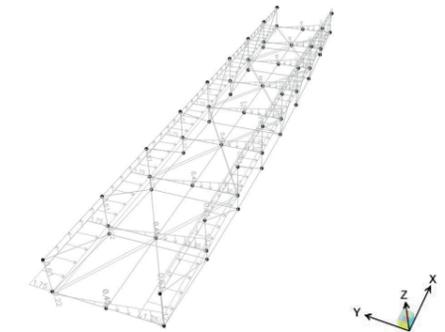


Fig.164: Load cases Vento trasversale 3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

VENTO LONGITUDINALE

Per il calcolo delle azioni del vento longitudinale si segue il punto 8.4.3 della EN 1991-1-4, in quanto l'impalcato di progetto è una reticolare, e le forze del vento longitudinali sono il 50% delle azioni trasversali.

La superficie investita dal vento, per unità di lunghezza in direzione longitudinale è calcolata usando la tabella 8.1 della EN 1991-1-4 ed è pari allo spessore dell'impalcato, che nel caso di progetto è di 0.23m.

Si considera, inoltre, la presenza di un parapetto opaco su entrambi i lati di altezza pari a 1.2m.

Table 8.1 — Depth d_{tot} to be used for $A_{ref,x}$

Road restraint system	on one side	on both sides
Open parapet or open safety barrier	$d + 0,3 \text{ m}$	$d + 0,6 \text{ m}$
Solid parapet or solid safety barrier	$d + d_1$	$d + 2d_1$
Open parapet and open safety barrier	$d + 0,6 \text{ m}$	$d + 1,2 \text{ m}$

Ne consegue che essendo la ciclopedonale costituita dalla presenza di un parapetto solido in entrambi i lati la risultante è da considerarsi pari a:

$$D + 2 d_1 = 0.23 + 2 * 1.2 = 2.63 \text{ m}^2/\text{m}.$$

Dove:

- D è lo spessore dell'impalcato
- d è l'altezza totale del parapetto

Il carico distribuito trasversale per unità di lunghezza dell'impalcato è espresso nella relazione:

$$F_{vx} = C_{fx} * (D + 2 d_1) * p = 1.93 * 2.63 \text{ m} * p = 1.93 * 2.63 \text{ m}^2/\text{m} * 688 \text{ N/m}^2 = 3.49 \text{ kN/m}$$

$$3.49/2 = 1.75 \text{ kN/m}$$

Questa forza è applicata nel baricentro della superficie esposta cioè a: $(1.2+0.23)/2 - 0.23/2 = 0.6 \text{ m}$ dall'asse dell'impalcato.

Diagrammi load combinations vento longitudinale

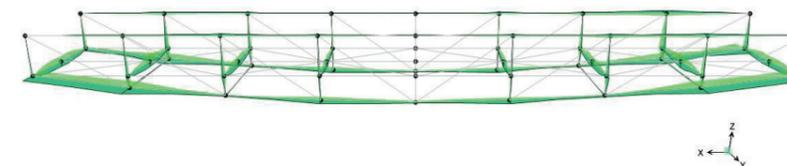


Fig.166: Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

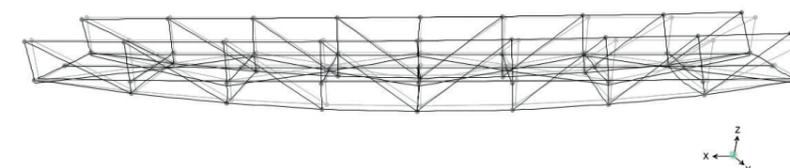


Fig.167: Diagramma Deformata - Vento longitudinale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

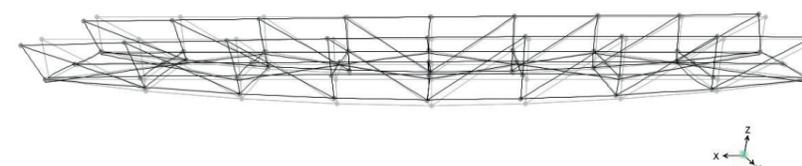


Fig.168: Diagramma Deformata - Vento longitudinale 2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento longitudinale 1

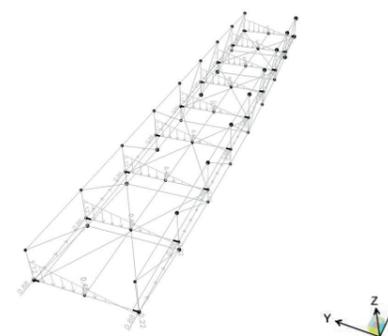


Fig.169: Load cases Vento longitudinale 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Show Load cases Vento longitudinale 3

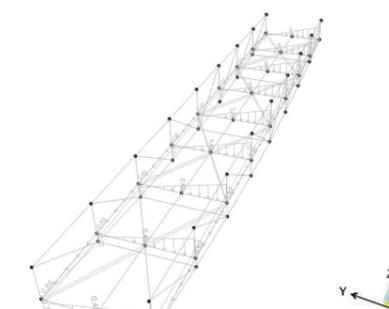


Fig.170: Load cases Vento longitudinale 3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

Diagrammi load combinations vento

Quest'ultimo è posto a metà del suo spessore, cioè a $0.23\text{m}/2 = 0.115\text{m}$ dall'intradosso.

La forza F_{vx} genererà un carico torcente pari a:

$$T_{vx} = F_{vx} * 0.6 = 3.49 * 0.6 = 2.09 \text{ kNm/m}$$

Il quale alzerà il lato sopravento abbassando il lato sottovento.

Questo torcente si può trasformare in due carichi distribuiti verticali posti sulle travi reticolari pari a:

$$T_{vx}/b = 2.09/3.4 = +/- 0.61 \text{ kN/m}$$

All'interno del software di calcolo SAP2000 i carichi sono stati inseriti mediante la creazione dei relativi load patterns identificati come: Vento longitudinale 1, Vento longitudinale 2, Vento longitudinale 3 e Vento longitudinale 4. Sono stati poi assegnati mediante un carico distribuito lungo i frame considerati nel calcolo, nel caso specifico lungo le travi di bordo con dell'impalcato con valore pari a:

$$F_{vx} = +/- 0.88 \text{ kN/m.}$$

A seguito della creazione dei singoli load patterns nel programma precedentemente descritto (Vento Trasversale 1, Vento Trasversale 2, Vento Trasversale 3, Vento Trasversale 4 e Vento Longitudinale 1, Vento Longitudinale 2, Vento Longitudinale 3, Vento Longitudinale 4) si è sviluppato un load combinations delle azioni del Vento.

La combinazione di calcolo del Vento permette di osservare i calcoli e dunque i diagrammi totali delle azioni calcolate del vento.

Questo è possibile mediante una combinazione di tipo envelope, cioè una nuova combinazione per la quale i risultati di base dello spostamento, dei momenti distribuiti e dei momenti di sforzo, sono scelti in un insieme di casi di carico e combinazioni di carico selezionati, in modo che per ogni nodo della struttura vi sia una combinazione di casi di carico con la componente di risultante minima, massima o massima in assoluto.

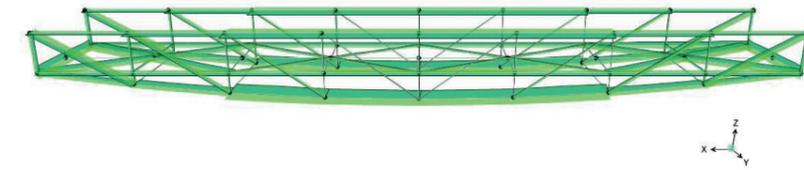


Fig.171:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22



Fig.172:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

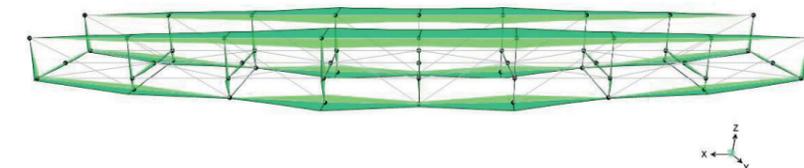


Fig.173:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

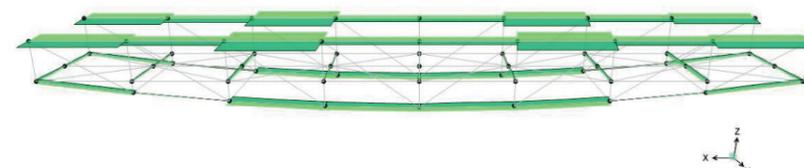


Fig.174:Diagramma di Torsione
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.5.5

CEDIMENTI VINCOLARI

I cedimenti vincolari del ponte ciclopedonale corrispondono ai quattro appoggi delle mensole fissate ai setti in calcestruzzo armato che sono individuati nei point: 98, 76, 108 e 86 in riferimento al modello sviluppato sul software di calcolo utilizzato.

Attraverso l'analisi è stato possibile constatare che le forze maggiori si trovano lungo l'asse Z.

Si è potuto di conseguenza assegnare il valore di 0.01 kN lungo l'asse Z.

Per l'inserimento del calcolo nel modello si è creato il relativo load patterns, identificato come Cedimento 1, Cedimento 2, Cedimento 3, Cedimento 4, tanti quanti sono i vincoli.

Il valore è stato poi assegnato mediante un carico concentrato nei point indicati in precedenza.

A seguito dei calcoli e delle verifiche per il dimensionamento strutturale, la reticolare in analisi risulta isostatica, ovvero il grado di vincolo eguaglia il grado di libertà, i vincoli sono, dunque, ben disposti, cioè tra loro indipendenti.

Per questo i diagrammi delle sollecitazioni sono trascurabili.

Diagrammi load combinations cedimento

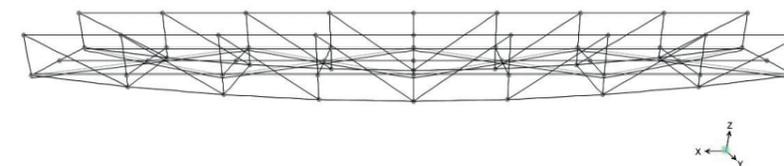


Fig.175:Diagramma Deformata - Cedimento 1
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

3.5.6

CALCOLO AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Una struttura raggiunge uno stato limite quando cessa di svolgere una o tutte le funzioni per le quali è stata progettata, violando parzialmente o completamente i requisiti di progetto. Sulla base di tale definizione si opera la distinzione tra stati limite ultimi, relativi alla capacità della struttura di resistere alle azioni di progetto, e stati limite di esercizio, corrispondenti al normale utilizzo della struttura e alla sua durabilità.

Per ogni stato limite definito devono essere determinate una serie di combinazioni di azioni agenti sull'opera, per la quale devono essere calcolati i livelli di sollecitazione degli elementi strutturali con i quali verificare il soddisfacimento dei requisiti richiesti.

Allo SLU, il valore caratteristico dei carichi agenti sulla struttura viene moltiplicato per il corrispondente coefficiente parziale di sicurezza maggiore di uno, secondo Tab 2.6.I – NTC 18, così come le resistenze dei materiali che vengono divise per un coefficiente parziale di sicurezza maggiore dell'unità, in modo da utilizzare un valore inferiore a scopo cautelativo.

Le azioni variabili combinate possono esercitare i loro effetti contemporaneamente con la massima intensità. Definiti i valori caratteristici delle azioni, si prosegue con le verifiche a stato limite ultimo.

Le azioni sono state combinate, per il progetto in esame, secondo la seguente formulazione:

$$E_d = \gamma_G \cdot G_{K,i} + \gamma_Q \cdot \left(Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} Q_{i+1} \right)$$

Dove:

- $G_{K,i}$ il valore caratteristica dei carichi permanenti
- $Q_{k,1}$ il valore caratteristico del carico variabile di base

- $Q_{k,i+1}$ il valore caratteristico dei carichi variabili tra loro indipendenti
- γ_G pari a 1,3 per carichi strutturali e 1,5 per carichi non strutturali (è pari a 1,0 nel caso il carico sia favorevole nel calcolo dell'azione in esame).
- γ_Q pari a 1,5 (è pari a 0 nel caso il carico sia favorevole nel calcolo dell'azione in esame).

Per il calcolo delle sollecitazioni allo stato limite di esercizio, si è usata la stessa struttura della precedente combinazione, con la differenza che i coefficienti γ siano pari a 1,0.

Il calcolo delle sollecitazioni è stato eseguito in automatico con l'utilizzo del software di calcolo "SAP2000" dopo aver ricostruito il modello strutturale che rispecchiasse più verosimilmente la realtà.

Le azioni vengono combinate al fine di individuare la condizione più sfavorevole per ogni singolo elemento oggetto di verifica. A partire da tali combinazioni si costruiscono gli involuipi delle sollecitazioni. Il dimensionamento e le verifiche vengono effettuati proprio su questi involuipi, che riportano, sezione per sezione, il massimo ed il minimo valore dell'azione.

Nome della COMBO		Permanenti	Carico antropico (folla)	Termiche	Vento	Cedimenti fondali
		G	Q	Ter	Ven	S
famiglia	Solo permanenti					
1	1	SLU01-1	1,3	0	0	0
	2	SLU01-2	1,3	0	0	1,2
Combinazioni SENZA cedimenti fondali						
G min FOLLA dominante						
2	1	SLU02-1	1	1,5	0	0
	2	SLU02-2	1	1,5	0,9	0
	3	SLU02-3	1	1,5	0	0,9
	4	SLU02-4	1	1,5	0,9	0,9
G max FOLLA dominante						
3	1	SLU03-1	1,3	1,5	0	0
	2	SLU03-2	1,3	1,5	0,9	0
	3	SLU03-3	1,3	1,5	0	0,9
	4	SLU03-4	1,3	1,5	0,9	0,9
G min TERMICA dominante						
4	1	SLU04-1	1	0	1,5	0
	2	SLU04-2	1	1,05	1,5	0
	3	SLU04-3	1	0	1,5	0,9
	4	SLU04-4	1	1,05	1,5	0,9
G max TERMICA dominante						
5	1	SLU05-1	1,3	0	1,5	0
	2	SLU05-2	1,3	1,05	1,5	0
	3	SLU05-3	1,3	0	1,5	0,9
	4	SLU05-4	1,3	1,05	1,5	0,9
G min VENTO dominante						
6	1	SLU06-1	1	0	0	1,5
	2	SLU06-2	1	1,05	0	1,5
	3	SLU06-3	1	0	0,9	1,5
	4	SLU06-4	1	1,05	0,9	1,5
G max VENTO dominante						
7	1	SLU07-1	1,3	0	0	1,5
	2	SLU07-2	1,3	1,05	0	1,5
	3	SLU07-3	1,3	0	0,9	1,5
	4	SLU07-4	1,3	1,05	0,9	1,5

Nome della COMBO		Permanenti	Carico antropico (folla)	Termiche	Vento	Cedimenti fondali
		G	Q	Ter	Ven	S
Combinazioni CON cedimenti fondali						
G min FOLLA dominante						
8	1	SLU08-1	1	1,5	0	0
	2	SLU08-2	1	1,5	0,9	0
	3	SLU08-3	1	1,5	0	0,9
	4	SLU08-4	1	1,5	0,9	0,9
G max FOLLA dominante						
9	1	SLU09-1	1,3	1,5	0	0
	2	SLU09-2	1,3	1,5	0,9	0
	4	SLU09-3	1,3	1,5	0	0,9
	8	SLU09-4	1,3	1,5	0,9	0,9
G min TERMICA dominante						
10	1	SLU10-1	1	0	1,5	0
	2	SLU10-2	1	1,05	1,5	0
	3	SLU10-3	1	0	1,5	0,9
	4	SLU10-4	1	1,05	1,5	0,9
G max TERMICA dominante						
11	1	SLU11-1	1,3	0	1,5	0
	2	SLU11-2	1,3	1,05	1,5	0
	3	SLU11-3	1,3	0	1,5	0,9
	4	SLU11-4	1,3	1,05	1,5	0,9
G min VENTO dominante						
12	1	SLU12-1	1	0	0	1,5
	2	SLU12-2	1	1,05	0	1,5
	3	SLU12-3	1	0	0,9	1,5
	4	SLU12-4	1	1,05	0,9	1,5
G max VENTO dominante						
13	1	SLU13-1	1,3	0	0	1,5
	2	SLU13-2	1,3	1,05	0	1,5
	3	SLU13-3	1,3	0	0,9	1,5
	4	SLU13-4	1,3	1,05	0,9	1,5

Fig.176: Tabelle di combinazione delle SLU

Diagrammi load combinations SLU

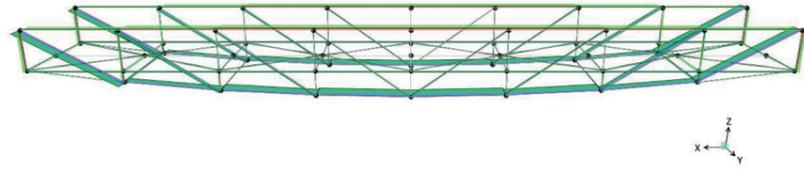


Fig.177:Diagramma Axial Force
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

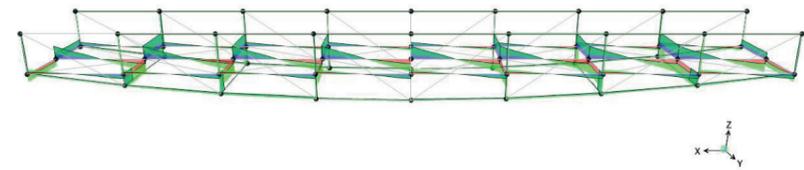


Fig.178:Diagramma Shear 2-2
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

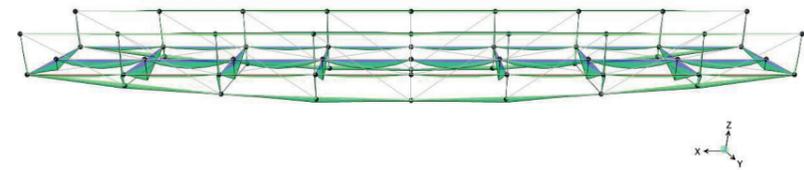


Fig.179:Diagramma Momento 3-3
Fonte: Programma di calcolo SAP2000 v.22

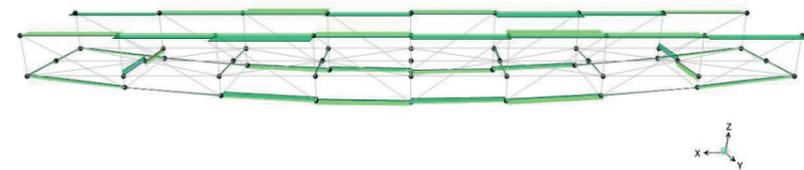
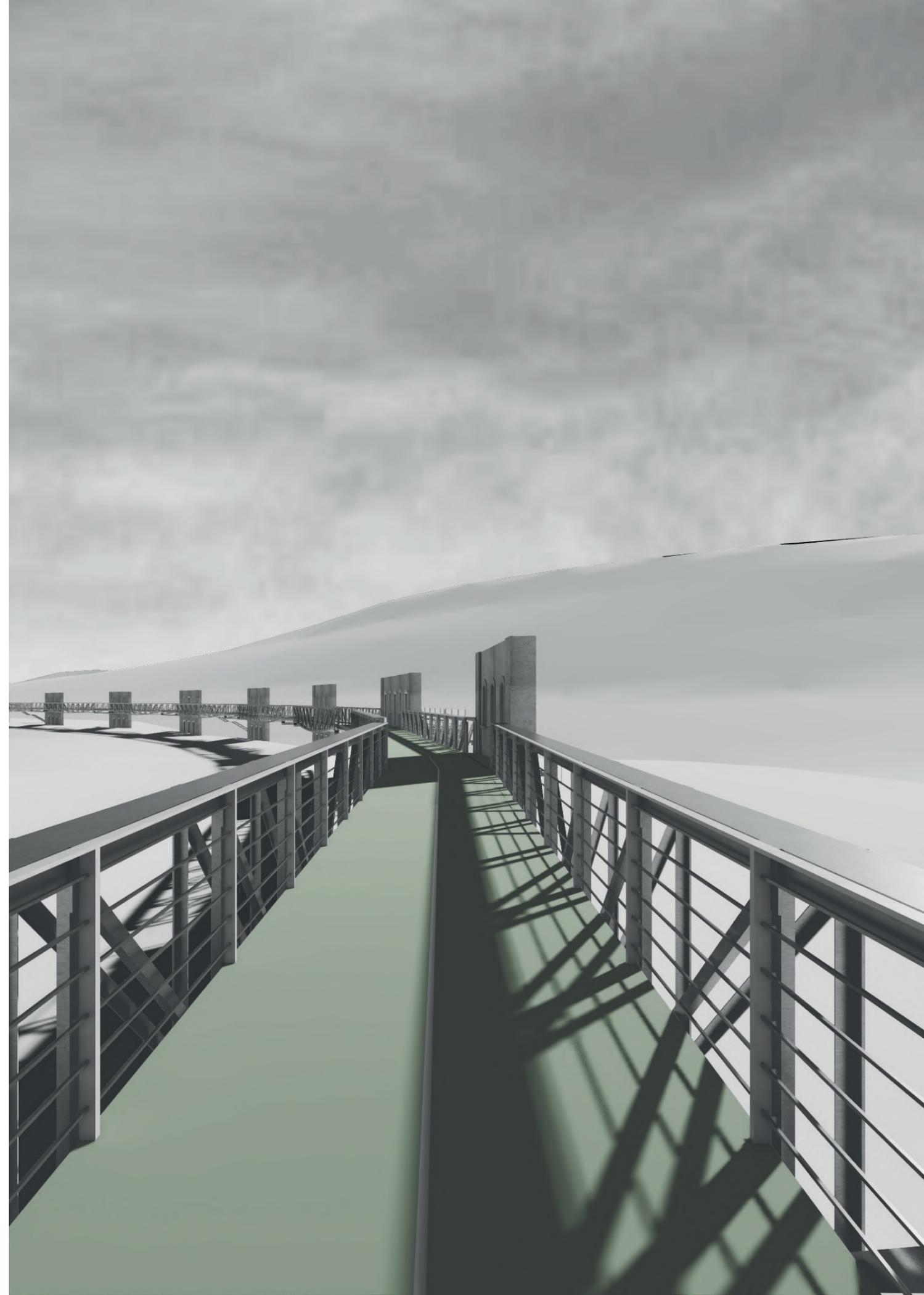


Fig.180:Programma di calcolo SAP2000 v.22



3.6 PROBLEMI E RISOLUZIONI

3.6.1

PROBLEMA: MENSOLE DI APPOGGIO

Durante l'elaborazione progettuale strutturale i principali problemi sono sorti soprattutto in relazione alle forme geometriche con cui la pista ciclopedonale si articola.

Gli elementi architettonici progettati, infatti, sviluppano una struttura rigida e spigolosa, posta in netto contrasto all'andamento sinuoso e curvilineo delle linee che il tracciato sviluppa nella sua estensione: le travi reticolari delineano figure rettangolari che, seguendo l'andamento morbido del tracciato, lo rendono netto e spigoloso, generando un primo problema di tipo estetico-formale.

Il problema della distribuzione delle strutture reticolari in rapporto alle linee sinuose del tracciato ha comportato che le mensole assumessero una posizione che non fosse perpendicolare ai setti in cui sono fissate: risultano, infatti, parallele alla reticolare più prossima e ruotate in relazione all'andamento di arrivo del muro in c.a. a cui si appoggiano.

Un secondo problema riscontrato è dovuto alle mensole localizzate in corrispondenza dei setti, che costituiscono le strutture d'appoggio delle travi reticolari.

L'appoggio tra una struttura reticolare in acciaio e la mensola di sostegno è importante per garantire la stabilità e la sicurezza della struttura: nel caso analizzato le mensole di sostegno saranno fissate ai setti in calcestruzzo armato ed alla reticolare mediante bulloni e staffe, che dovranno essere opportunamente dimensionati in base alle specifiche per garantire una connessione stabile e solida tra gli elementi.

Per garantire un corretto appoggio, è importante che la mensola sia in grado di sostenere il carico previsto e che la connessione tra quest'ultima e la reticolare sia progettata in modo adeguato: questo determina che la connessione dev'essere definita perché la mensola, nell'arco del tempo della sua vita, possa resistere ai carichi statici e dinamici a cui sarà sottoposta.

In modo particolare per quest'ultima dovranno essere considerate le forze che potranno agire in modo combinato su di essa, ovvero il peso della struttura che la mensola dovrà portare ed il carico del vento che potrebbe agire sulla stessa.

E' inoltre importante prestare attenzione alla compatibilità tra la mensola e la struttura reticolare in acciaio: l'elemento di appoggio dovrà essere, infatti, compatibile con la struttura in termini di dimensioni e materiali. Bisognerà prestare particolare attenzione al tipo di connessione tra i due elementi in modo tale che non si verifichino problemi legati alla corrosione o a fenomeni di degradazione del materiale nel tempo. Sarà necessario, infine, garantire distanze minime tra il setto in calcestruzzo armato e la struttura reticolare in acciaio affinché possano avvenire in sicurezza le dilatazioni termiche a cui sono sottoposte tali strutture.

DIMENSIONAMENTO MENSOLA

$N = 73 \text{ kN}$
 $V = 411 \text{ kN}$

Il momento generato è pari a:
 $M = V \cdot d1 + V \cdot d2 = 1545 \text{ kN/m}$

Dove :

- V è il taglio generato dalla reticolare
- d1 è la distanza dal centro della reticolare 1 e la mensola
- d2 è la distanza dal centro della reticolare 2 e la mensola

Per ricavare la sezione adeguata della mensola di appoggio, in relazione alle forze che agiscono su di essa, si calcola:

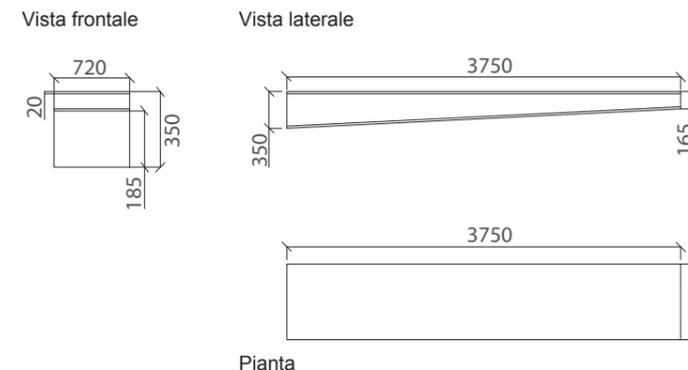
$L \cdot h$ (resistenza a torsione del materiale impiegato nel

caso in oggetto di tesi acciaio S355 pari a: 309 N/mm^2) = $4.449.600$ questo valore sarà poi rapportato al momento, pertanto l'altezza della mensola sarà pari a:
 $H = 1545 / 4.449.600 = 350 \text{ mm}$

Le piastre della mensola in oggetto avranno una sezione pari a 720 mm di larghezza e spessore di 20 mm. La distanza tra esse, sarà di 350 mm

Dove :

- L è larghezza della mensola che nel caso in oggetto vista la disposizione della reticolare non parallela al setto comporta una maggiore dimensione per garantire l'appoggio corretto di entrambe le strutture reticolari, è dunque, pari a 720 mm
- h è spessore della piastra pari a 20 mm



Rappresentazione grafica quotata della mensola di appoggio della struttura reticolare

VERIFICHE DI RESISTENZA DEL SETTO IN CALCESTRUZZO ARMATO

Il momento flettente della mensola è portato dal maschio murario sottostante ed è necessario, dunque, verificare strutturalmente se il setto può portare le forze indotte dalla mensola.

Ogni maschio murario portante in c.a. che si ripete sul tracciato ciclopedonale ha una larghezza utile di fissaggio della mensola pari a 135 cm ed uno spessore pari a 50 cm.

La forza di trazione che ho nelle barre di armanuta dovuta al momento della mensola d'appoggio, è calcolata mediante la formula:

$$F=(M/H_{\text{utile trave}})/0,9 = (1545/0,45)/0,9 = 3815 \text{ kN} - 38000\text{N}$$

Dove :

- M è momento flettente della mensola
- $H_{\text{utile trave}}$ e l'altezza utile della trave

Il valore ricavato verrà poi diviso per 391 N/mm² che è la tensione di snervamento delle barre dell'armatura ottenendo, l'area di armatura necessaria :

$$A=38000 \text{ N}/391 \text{ N/mm}^2= 9756 \text{ mm}^2$$

Il risultato del calcolo è verificato ma per una maggiore resistenza degli elementi architettonici, sarà previsto, in via cautelativa, l'inserimento di una lesena in corrispondenza delle mensole: si ottiene così uno spessore maggiore in corrispondenza di ogni mensola di appoggio, pari a 10 cm in più rispetto ai 50 cm delineati in precedenza, garantendo dunque una struttura con armatura più solida.

APPOGGIO IN ACCIAIO CON DISCO ELASTOMERICO

L'appoggio della struttura reticolare avviene per mezzo di una elemento in acciaio costituito da un disco elastomerico, adoperato al fine di compensare gli spostamenti e le deformazioni causate dalle sollecitazioni della struttura in analisi.

La soluzione si basa sull'utilizzo di dischi elastomerici, ovvero di elementi in gomma sintetica che presentano elevate proprietà di deformazione elastica, ed inoltre, come anticipato sono in grado di assorbire le sollecitazioni a cui è sottoposta la struttura.

L'elemento è composto da una piastra in acciaio,

opportunamente giuntata alla struttura reticolare, sotto di essa viene posizionato il disco elastomerico.

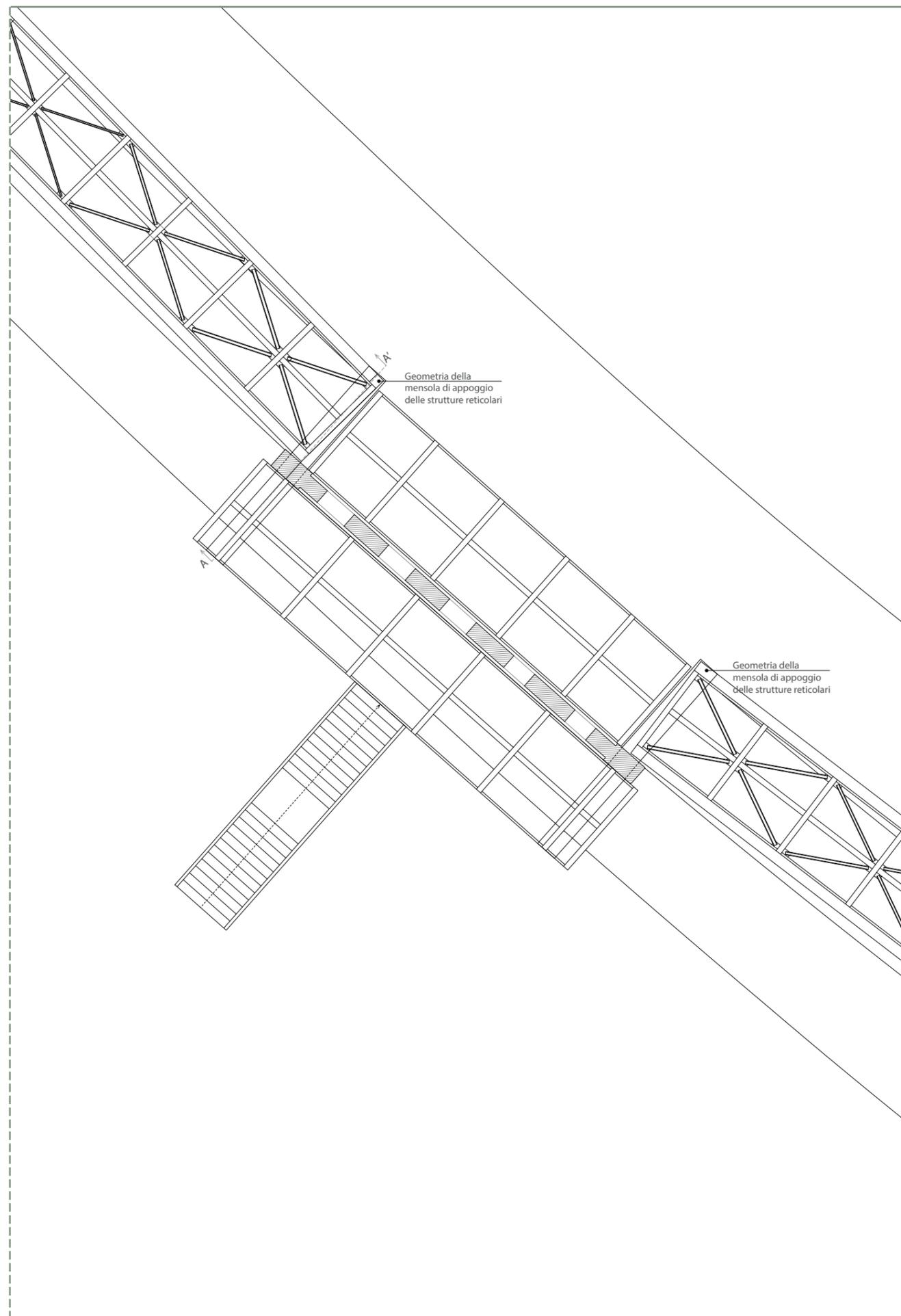
Al di sotto di quest'ultimo sarà inserito un basamento monolitico in acciaio necessario per una adeguata unione con la mensola.

La deformabilità del disco permette le rotazioni attorno ad un qualsiasi asse, garantendo movimenti rotazionali tra la sovrastruttura e la struttura sottostante, nel caso del progetto si farà riferimento alla struttura reticolare e alla mensola di appoggio, assicurando, dunque, il trasferimento dei carichi verticali.

L'utilizzo di questo componente per l'appoggio della ciclovia permette, inoltre, l'assorbimento delle vibrazioni e delle deformazioni causate da eventuali azioni sismiche.

La tipologia degli appoggi in acciaio con disco elastomerico dev'essere conforme alle Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14 gennaio 2008, nel capitolo "Appoggi strutturali".

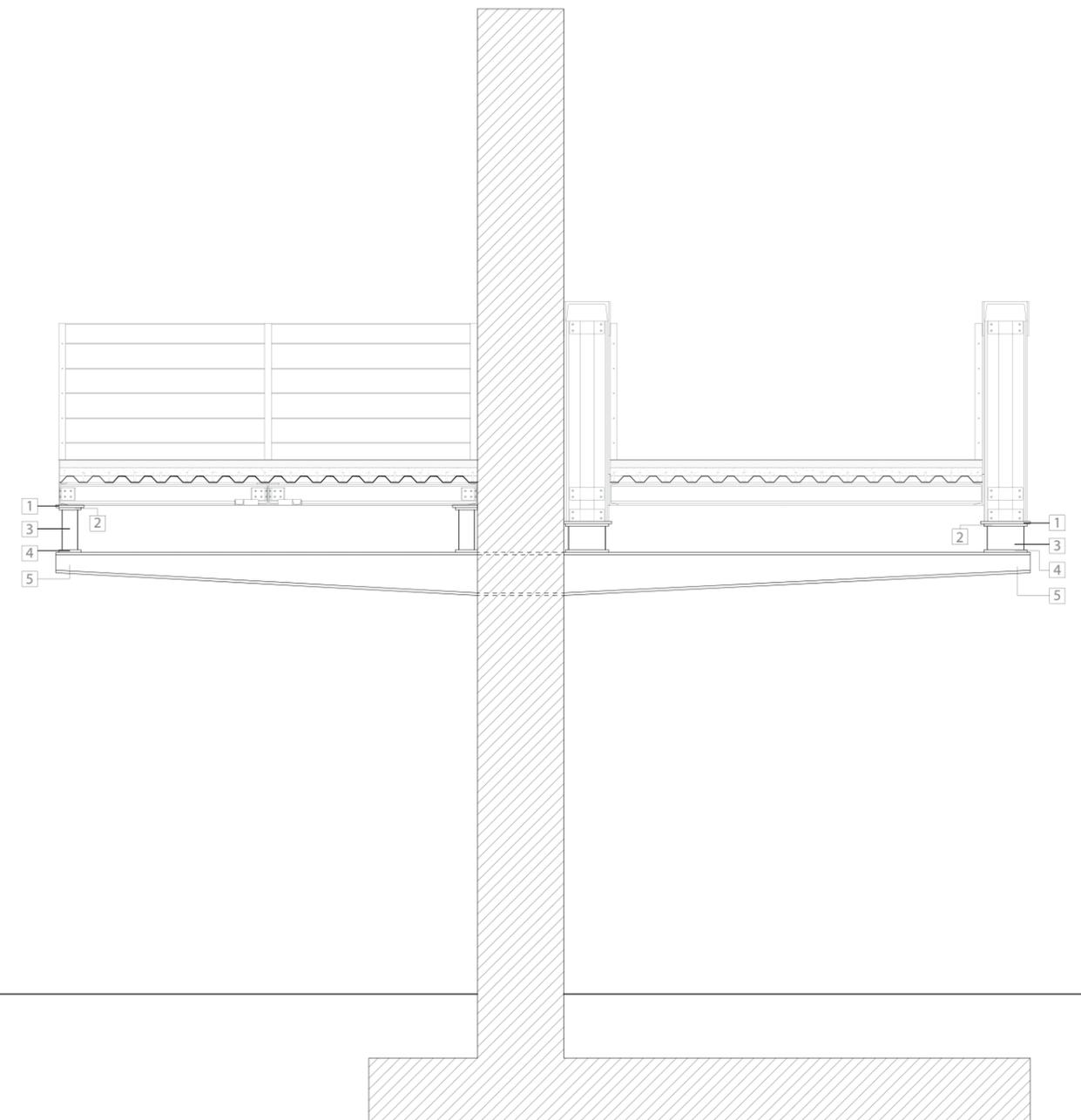




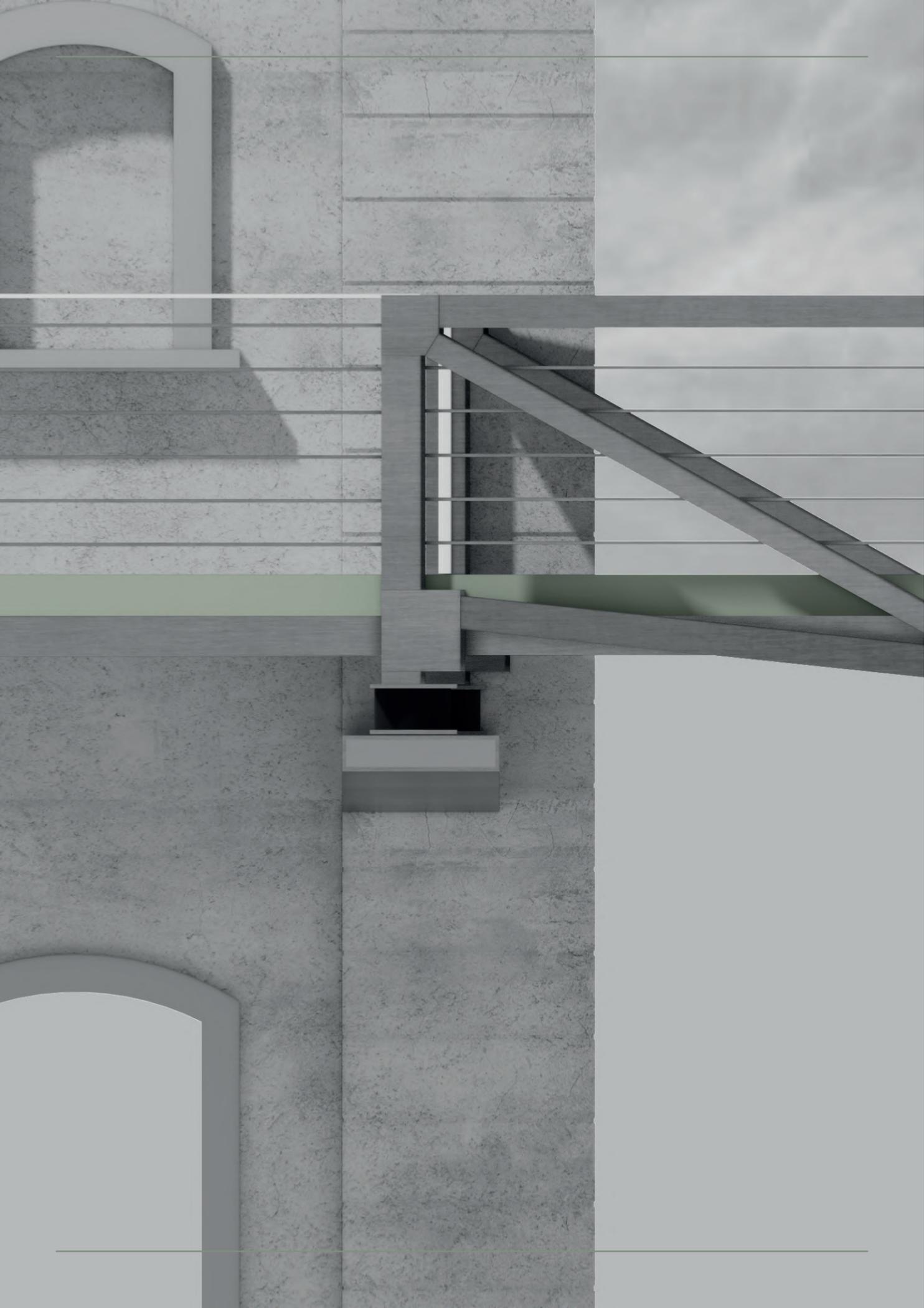
Rappresentazione grafica di dettaglio in pianta della mensola di appoggio della struttura reticolare

LEGENDA ELEMENTI

- 1 Piastra di irrigidimento di giunzione o saldatura al montante e alla piastra del dispositivo di appoggio
- 2 Piastra di giunzione al dispositivo di appoggio
- 3 Disco elastomerico
- 4 Piastra di giunzione del dispositivo di appoggio alla mensola
- 5 Mensola di appoggio



Rappresentazione grafica di dettaglio in sezione della mensola di appoggio della reticolare - Sezione A-A'



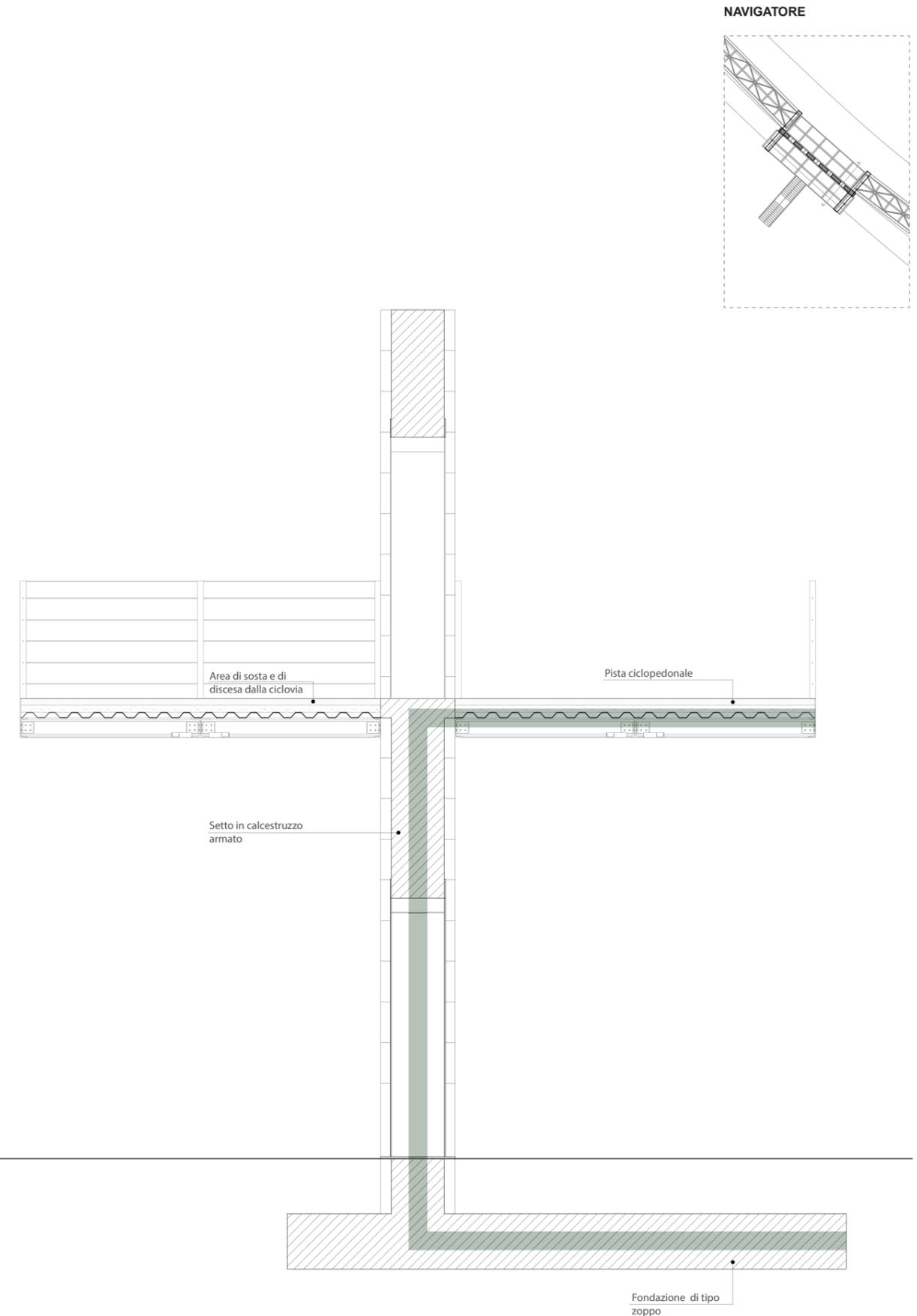
3.6.2

PROBLEMA: BILANCIAMENTO DEL SETTO IN C.A. E DELLA CICLOVIA

Il bilanciamento di una struttura è un'operazione importante per garantire la stabilità e la sicurezza della struttura durante la sua vita utile.

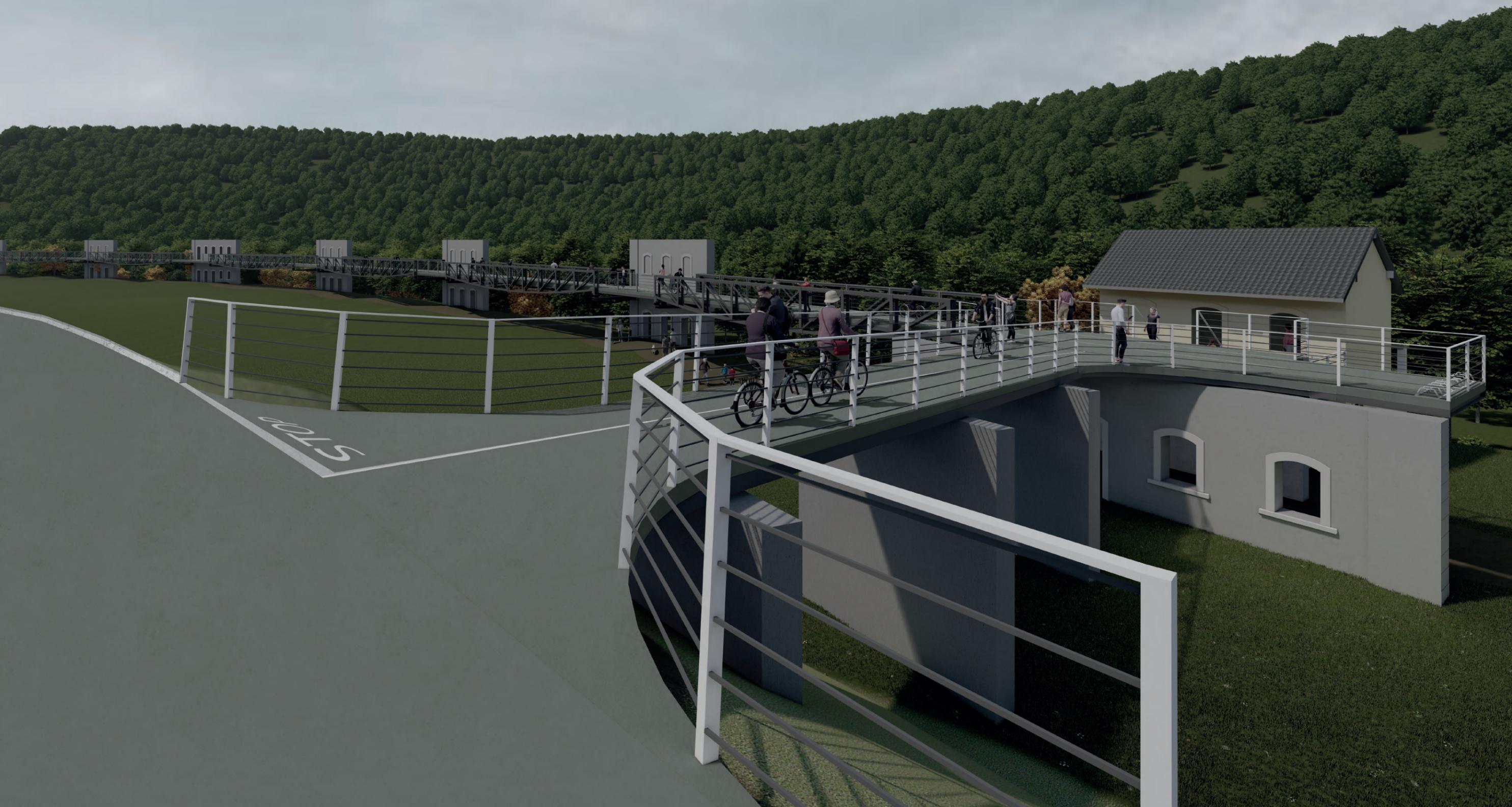
In relazione al progetto sono state valutate diverse opzioni, ma si è scelto, proprio nell'ottica di garantire il corretto bilanciamento della struttura e nell'ottica di eliminare le soluzioni più invasive dal punto di vista estetico, la realizzazione di una fondazione continua che si estende lungo ogni setto presente sul tracciato. La suddetta fondazione sarà di tipo zoppo e permetterà di scaricare il peso della struttura al suolo nel modo più uniforme possibile, considerando la frazionarietà degli elementi murari portanti.

In generale, il bilanciamento di una fondazione continua con configurazione ad "C" richiede un'attenta progettazione e una valutazione accurata della capacità portante del terreno. È importante seguire le norme di sicurezza e le leggi locali in materia di costruzione per garantire la sicurezza della struttura e di chi la utilizza.



04

Valorizzazione di un luogo di grande interesse paesaggistico



4 CONCLUSIONE: VALORIZZAZIONE DI UN LUOGO DI GRANDE INTERESSE PAESAGGISTICO

Comprendendo il valore delle risorse presenti sul territorio, l'obiettivo generale del progetto non riguarda solo il tema della memoria e dell'accessibilità, ma una sottile e più complessa operazione strategica di ricostruzione dei legami tra paesaggi, manufatti, reperti e storia, che possa stimolare una più ampia rigenerazione di risorse ad oggi non più impiegate.

Si è trattato di pensare la riconversione del vecchio sedime ferroviario della Ferrovia Valmorea in un percorso naturalistico attrezzato volto alla riscoperta del contesto circostante, con l'obiettivo di proporre un modello ripetibile.

La proposta, nel suo insieme, sviluppa il problema della memoria, del paesaggio e dell'architettura: la nuova passerella ciclopedonale in progetto, infatti, ricostruisce la memoria del luogo, generando, attraverso punti di sosta, intervalli che diventano un'occasione unica per poter riconoscere i caratteri del luogo e poter interagire con i manufatti ed i paesaggi che si susseguono sul cammino, incorniciati dalla nuova architettura in progetto.

Grazie all'interpretazione delle tracce presenti nel sito di analisi e allo studio della storia degli elementi coinvolti, è stato possibile, infatti, disegnare un progetto consapevole ed attento alla memoria del contesto in cui è inserito.

Il tema del paesaggio come risorsa, inteso come bene culturale che possiede valori storici, e come bene ambientale, caratterizza il sito di progetto, in quanto mutevole lungo tutto il percorso, lungo il quale è possibile osservare, da diversi punti di vista, e da diverse quote, gli elementi naturalistici ed antropici caratteristici del sito. Diventa importante, all'interno dell'analisi svolta, capire come verrà vissuta la passerella ciclopedonale e che immagini verranno restituite ad un pubblico avente interessi ed attitudini differenti e svariate competenze: questo quesito diventa fondamentale per la definizione del nuovo progetto della ciclovia.

La risposta architettonica al tema della memoria storica

e del paesaggio non è univoca: il progetto vuole valorizzare l'area proponendo una serie di situazioni che si snodano sul percorso, dando vita ad una vera e propria rigenerazione del sito, a partire dalla conoscenza delle tracce storiche che, ancora oggi, possiamo riconoscere. Il casello ferroviario, già investito di nuovi usi, che vengono resi maggiormente praticabili grazie alle operazioni di restauro previste, diviene così il cuore del progetto e l'elemento di congiunzione tra la ciclabile e l'insediamento storico dei Mulini di Gurone.

Valorizzare, infatti, non significa fare solo qualcosa di nuovo; significa avere dei principi con cui elaborare risposte coerenti in un dato contesto: la nascita di una passerella sopraelevata e il restauro del vecchio casello determinano, quindi, l'origine del cambiamento, di una trasformazione del paesaggio stesso.

La località di Mulini di Gurone, inserita nel polmone verde del Parco dei Mulini, è un'area di grande potenziale per il suo patrimonio storico-culturale, paesaggistico che, ad oggi, risulta poco valorizzata.

Nel contesto attuale un investimento volto alla valorizzazione del territorio appare come un'azione necessaria e fondamentale al fine di contrastare il rischio di una dismissione totale nel tempo.

L'esigenza è volta al recupero e mantenimento delle identità del paesaggio e della storia locale, con soluzioni architettoniche contemporanee: l'idea del progetto consiste nel voler donare un'immagine nuova al sito permettendo la cura e lo sviluppo del territorio, promuovendo la sperimentazione di attività differenti o semplici giornate all'aperto. La nuova passerella ciclopedonale, corredata da tutti gli elementi che la compongono, diventa, dunque, la cornice ideale da cui ammirare il paesaggio da nuovi punti di vista e per nuove prospettive future.

5 RIFERIMENTI: BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Valle Olona Valmorea. Due nomi, una storia. La Ferrovia Castellanza – Mendrisio, Paolo Ladavas e Fabio Montesana, Editoriale del Garda, Desenzano del Garda, 2001.

La fabbrica ritrovata. Mostra di archeologia industriale nella Valle Olona, a cura di Castelli Renata, Pagani Luisa e Tedeschi Letizia, Università Popolare di Varese, Varese, 1989.

Dalle rotaie alle bici, Federazione Italiana Amici della Bicicletta Onlus FIAB, a cura di Giulia Cortesi e Umberto Rovaldi, Centrostudi Gallimbeni, Milano, 2011.

Ferrovie Nord Milano in tre secondi, a cura di Giovanni Colombo, Edi Team sns, Arese, Milano, 2007.

La fabbrica ritrovata: Archeologia industriale nella Valle Olona, a cura di Legambiente Varese, 2016.

10 anni appunti di viaggio, a cura di AIPo - Agenzia Interregionale per il fiume Po, seconda edizione, Novembre 2013.

“Verifiche tecniche delle vasche di laminazione sugli affluenti del Fiume Po”: Cassa di espansione sul Fiume Olona nel Comune di Malnate, VA, a cura dell’Autorità di Bacino del fiume Po, Parma.

Relazione piano di emergenza - PED - Diga di Olona (VA), “Indirizzi operativi inerenti all’attività di protezione civile nell’ambito dei bacini in cui siano presenti grandi dighe”, a cura di Regione Lombardia e della Protezione civile, Giugno 2021.

Biblioteca Malnate “La mostra sui mulini di Gurone”, Direttore responsabile Alfieri Vincenzo, Il Guado s.c.r.l., Febbraio 1987.

Masterplan ciclovia Olona Lura, a cura di Fondazione Cariplo, Febbraio 2016.

Rapporto sulla mobilità ciclistica e sistenibile transfrontaliera, a cura del progetto “TI CICLO VIA”, Gennaio 2021.

Piano d’azione, a cura del progetto “TI CICLO VIA”, Febbraio 2021.

Progetto MOVEON, Azione 7, Linee guida per la progettazione tecnica dei nuovi

tratti della dorsale ciclopedonale della Valle Olona, a cura del Politecnico di Milano, Milano, Dicembre 2022.

Prontuario ragionato di calcolo strutturale per opere in c.a. e acciaio, Carlo Marini - Claudio Mirarchi, Maggioli Editore, 2019.

I collegamenti di carpenteria metallica, Italsider gruppo Finsider, ristampa Dicembre 1979.

SITOGRAFIA

Valle Olona

TerraVIVA Valle Olona: Lucio Ghioldi, pubblicazione aprile 2015:
<https://www.slideshare.net/lucioghioldi/terraviva-ita-guidaweb>

Archeologia industriale in Valle Olona, pubblicazione gennaio 2014:
<https://www.slideshare.net/iniziativa21058/patrimonio-industriale-in-valle-olona>

Milanoalquadrato.com: L'Olona, il fiume di Milano, pubblicazione dicembre 2020:
<https://www.milanoalquadrato.com/2020/12/08/lolona-il-fiume-di-milano/>

Regione Lombardia: Scheda informativa Fiume Olona, ultimo aggiornamento febbraio 2018:
<https://www.regione.lombardia.it>

Ferrovia Valmorea

Associazione Amici della Ferrovia Valmorea, Passato presente della Ferrovia Valmorea:
<https://www.amicidellaferroviavalmorea.it>

Ferrovie abbandonate: Ferrovia Castellanza (vecchia) – Valmorea – Mendrisio (CH):
https://www.ferrovieabbandonate.it/linea_dismessa.php?id=85

Ciclopedonale della Valle Olona

Il Varesotto.it: Pista ciclabile della Valle Olona:
<http://www.ilvaresotto.it/Pista%20ciclabileVO.htm>

FIAB Varese, Ciclocittà: Valle Olona:
<https://fiabciclocittavarese.it/page/2/?s=valle+olona>

Mulini di Gurone

Parco della Valle Lanza: La diga sul Fiume Olona ai Mulini di Gurone, pubblicazione 2020:
<https://parcovallelanza.mailchimpsites.com/diga>

Mulini di Gurone: associazioni, iniziative e progetti

Casamatta: un avamposto per l'economia circolare:
<https://casamattagurone.wordpress.com/>

Osservatorio resilienza: L'anello sul fiume. Gestione condivisa e comunitaria dell'area di laminazione delle piene del fiume Olona alla diga di Gurone:
<http://www.osservatorioresilienza.it/progetti/comunita-resilienti/2015/1374>

L'anello su fiume: pubblicazione marzo 2018:
<http://lanellosulfiume.blogspot.com/>

Varese News: Lagambiente: "L'anello sul fiume, una scommessa vinta", pubblicazione marzo 2018:
<https://www.varesenews.it/2018/03/legambiente-lanello-sul-fiume-scommessa-vinta/700407/>

Varese news: La Valle Olona diventa laboratorio di mobilità leggera, pubblicazione gennaio 2022:
<https://www.varesenews.it/2022/01/la-valle-olona-diventa-laboratorio-mobilita-leggera/1418595/>

Progetto "TI CICLO VIA"

Provincia di Varese: Progetto "TI CICLO VIA":
<http://www.provincia.varese.it/code/98069/Progetto-TI-CICLO-VIA>

RINGRAZIAMENTI

Eccomi giunta alla fine di questo incredibile percorso di studi, desidero ringraziare i miei relatori il professor Riccardo Palma e la professoressa Chiara Ocelli, ed il mio correlatore il professor Gabriele Bertagnoli, per il costante supporto, la disponibilità dimostrata, i fondamentali consigli ed i preziosi insegnamenti, che anche durante il corso di studi mi hanno fornito. Insegnamenti che mi hanno permesso di crescere professionalmente, ma soprattutto come persona.

Ed, infine, voglio ringraziare tutti coloro che hanno fatto parte di questo cammino: coloro che mi hanno sostenuta e compresa, coloro che mi hanno fatto sorridere e hanno riempito di colore le mie giornate torinesi, coloro che mi hanno asciugato una lacrima quando nulla andava nel verso giusto.

