

**ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, CHIMICA,
AMBIENTALE E DEI MATERIALI**

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA CIVILE

TESI DI LAUREA

in

Building Information Modeling

**Il processo di gestione informativa BIM per il progetto di un ponte in c.a.p.: la
modellazione digitale del ponte Remorino a Minusio (Svizzera)**

CANDIDATA

Brenda Resta

RELATORE

Chiar.mo Prof. Ing. Simone Garagnani

CORRELATORI

Chiar.mo Prof. Ing. Stefano Silvestri

Ing. Gianni Neri

Anno Accademico 2020/21

Sessione II

Sommario

1. Introduzione	1
1.1. Background e stato dell'arte.....	1
1.2. Obiettivi della tesi	1
1.3. Organizzazione del testo	2
2. Introduzione al BIM e stato dell'arte	3
2.1. Building Information Modeling e standard IFC.....	3
2.2. BIM applicato ai ponti.....	4
2.3. Formato IFC e stato dell'arte	4
2.4. Aspetti normativi.....	5
3. Caso studio.....	8
4. Scelta del software	10
5. Modellazione degli elementi strutturali	12
5.1. Impostazione preliminare del modello	12
5.2. Modellazione geometrica degli elementi	15
5.2.1. Micropali di fondazione	15
5.2.2. Platee di fondazione	18
5.2.2.1. Platea di fondazione della pila.....	18
5.2.2.2. Platea di fondazione della spalla lato Locarno	19
5.2.2.3. Platea di fondazione della spalla lato Bellinzona	19
5.2.3. Spalle.....	20
5.2.3.1. Spalla lato Locarno	21
5.2.3.2. Spalla lato Bellinzona	22
5.2.4. Muri d'ala.....	23
5.2.4.1. Muri d'ala lato Locarno	23
5.2.4.2. Muri d'ala lato Bellinzona	27
5.2.5. Trave tirante	28
5.2.6. Soletta di copertura	29
5.2.7. Pila.....	31
5.2.8. Appoggi.....	32

5.2.9. Travi	33
5.2.10. Traversi	35
5.2.10.1. Traversi di testata.....	35
5.2.10.2. Traversi di campata.....	35
5.2.11. Soletta dell'impalcato e pavimentazione stradale	36
5.2.11.1. Soletta strutturale	37
5.2.11.2. Pavimentazione stradale e marciapiedi.....	38
5.2.12. Cavi per la post tensione della trave e teste di ancoraggio dei cavi	41
5.2.13. Muro paraghiaia	44
5.2.14. Muri redirettivi	46
5.2.14.1. Muro redirettivo dietro le spalle	47
5.2.14.2. Muro redirettivo in corrispondenza dell'impalcato	49
5.2.14.3. Elemento in acciaio.....	50
5.2.15. Soletta di assestamento	51
5.2.16. Carter metallico di copertura.....	54
5.3. Assegnazione del materiale.....	55
5.4. Inserimento del copriferro	58
5.5. Controllo delle interferenze.....	59
5.6. Osservazioni	60
6. Armatura degli elementi strutturali	62
6.1. Armatura delle platee di fondazione	62
6.1.1. Platea di fondazione della spalla lato Locarno.....	62
6.1.2. Platea di fondazione della spalla lato Bellinzona.....	66
6.1.3. Platea di fondazione della pila	68
6.2. Armatura delle spalle	70
6.3. Armatura della pila.....	74
6.4. Armatura dei muri d'ala	86
6.5. Armatura della trave e della soletta.....	90
6.6. Armatura dei traversi.....	107
6.6.1. Traverso di testata	107
6.6.2. Traverso di pila	109

6.7. Osservazioni	111
7. Produzione di elaborati tecnici.....	114
7.1. Disegni d'assieme	114
7.2. Sezioni trasversali	116
7.3. Viste di dettaglio	117
7.4. Viste di dettaglio tridimensionali	122
7.5. Impaginazione delle tavole.....	125
7.6. Osservazioni	126
8. Computi metrici	128
8.1. Computo metrico dei materiali.....	128
8.2. Computo degli elementi	137
8.3. Osservazioni	145
9. Conclusioni	147
9.1. Lavoro svolto.....	147
9.2. Risultati ottenuti (sintesi di quello che ho scoperto)	147
9.3. Sviluppi futuri	151
Bibliografia	152
Ringraziamenti.....	153
Tavole	

1. Introduzione

1.1. Background e stato dell'arte

Il BIM è un processo che si basa sulla creazione di modelli intelligenti che consentono di collegare tutte le informazioni e le caratteristiche disponibili agli elementi che compongono il modello. L'utilizzo dei modelli digitali permette, quindi, di raccogliere e condividere tutti i dati delle varie discipline coinvolte nella progettazione. Perché queste funzioni bene e senza perdita di dati, è necessario che i modelli siano esportabili in un formato aperto, ovvero nello standard IFC. Visti i numerosi vantaggi che porta l'impiego della metodologia BIM nella progettazione, sono già diversi anni che si sta cercando di applicare tale processo anche alla progettazione delle infrastrutture. Tale processo di ampliamento del campo di applicazione del BIM è stato incentivato dall'entrata in vigore del D.M. 560/2017 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, comunemente detto "Decreto BIM". Il Decreto rende obbligatorio, da parte delle stazioni appaltanti, l'introduzione di processi BIM in tutti i progetti per gli appalti pubblici. Purtroppo, queste richieste necessarie per partecipare alle gare di appalto si scontrano con l'arretratezza dello standard IFC attualmente approvato e implementato nei software. Il BIM, infatti, nasce per l'edilizia e, al momento, molti software di BIM authoring e le versioni dello standard IFC che essi implementano, non prevedono la presenza di categorie per gli elementi necessari per la modellazione delle infrastrutture.

1.2. Obiettivi della tesi

Il progetto oggetto della tesi si trova, attualmente, nella fase di progetto definitivo ed è in questa fase che si è deciso di introdurre un processo BIM, con l'obiettivo di verificare e comprendere quali siano le reali potenzialità del BIM, i vantaggi che se ne possono ricavare ma soprattutto quali sono i limiti e gli ostacoli che si trovano ad affrontare gli studi tecnici professionali e quali possano essere le possibili soluzioni. Il primo obiettivo è quello di ottenere un modello corretto graficamente e con un livello di dettaglio sufficientemente alto da permettere la creazione di elaborati tecnici paragonabili a quelli comunemente ottenuti con software CAD. È stata svolta sia una verifica delle interferenze tra le armature che quella tra gli elementi che compongono il modello per comprendere quali possono essere i vantaggi che si hanno rispetto a un controllo visivo. In primo luogo, sono state ottenute tavole con viste di insieme, poi con le sezioni trasversali del manufatto e quelle con elementi di dettaglio bidimensionali. È stato sfruttato il modello anche per ottenere delle viste di dettaglio 3D di alcuni elementi ritenuti significativi. Infine, sono

stati ricavati degli abachi dei materiali per fare un confronto con le quantità indicate nel preventivo dei costi dell'opera e quelle che quelle che, invece, servirebbero se ci si basasse sulla modellazione eseguita.

1.3. Organizzazione del testo

Il presente elaborato di tesi segue la seguente organizzazione. Nel secondo capitolo verrà presentata una panoramica dettagliata del processo BIM applicato alle infrastrutture, e in particolare, ai ponti e della legislazione italiana in materia di BIM. Verrà anche fatta una breve introduzione allo standard IFC, alle sue versioni e all'attuale stato dell'arte, che rappresenta una delle principali motivazioni per cui il BIM non ha ancora avuto la possibilità di prendere piede nel campo delle infrastrutture.

Nei due capitoli successivi verrà descritto nel dettaglio il manufatto utilizzato come caso studio e il software utilizzato per la sua modellazione.

Nel capitolo cinque verrà descritto nello specifico il processo seguito per la modellazione di ogni elemento, con indicate le problematiche riscontrate, sia quelle legate alla scelta del software che quelle che nascono a causa della mancanza di categorie idonee a rappresentare gli elementi strutturali dei ponti. Saranno anche indicate le soluzioni che sono state adottate per aggirare o risolvere tali problemi. Verrà trattato, inoltre, il discorso del controllo delle interferenze tra gli elementi che compongono il modello.

Nel capitolo successivo verrà affrontato l'argomento dell'inserimento dell'armatura degli elementi strutturali, con le relative difficoltà legate al tipo di modellazione scelta e la possibilità di svolgere una verifica delle interferenze tra le armature.

Nel capitolo sette sarà descritta la creazione degli elaborati tecnici, come sono stati creati e quali sono le differenze rispetto a quelli che si ottengono con Autocad.

Infine, nel capitolo otto si parlerà della creazione dei computi metrici sia dei materiali che delle armature e del confronto che è stato possibile eseguire con il preventivo dei costi e delle quantità che è già stato fatto in fase di presentazione del progetto.

L'ultimo capitolo conterrà tutte le conclusioni sul lavoro svolto, le considerazioni e gli eventuali e possibili sviluppi futuri.

2. Introduzione al BIM e stato dell'arte

2.1. Building Information Modeling e standard IFC

Il termine BIM (Building Information Modeling) indica un processo basato su modelli tridimensionali intelligenti che fornisce ad architetti, ingegneri e, in generale, ai professionisti delle costruzioni le informazioni approfondite e gli strumenti per pianificare, progettare, costruire e gestire gli edifici e le infrastrutture nel modo più efficiente possibile. È una metodologia incentrata su modelli di dati di costruzione intelligente, che incorpora non solo la geometria 3D ma anche tutti i dati che riguardano l'opera e i suoi componenti. L'impiego di un processo BIM, quindi, prevede l'uso di una rappresentazione digitale e condivisa di un asset costruito, all'interno di un processo che faciliti i processi di progettazione, costruzione e gestione dell'opera, per garantirne una base decisionale affidabile. Nel modello BIM vengono raccolti tutti i dati e le informazioni provenienti dalle diverse discipline che collaborano alla progettazione, realizzazione ed, eventualmente, alla futura manutenzione del manufatto.

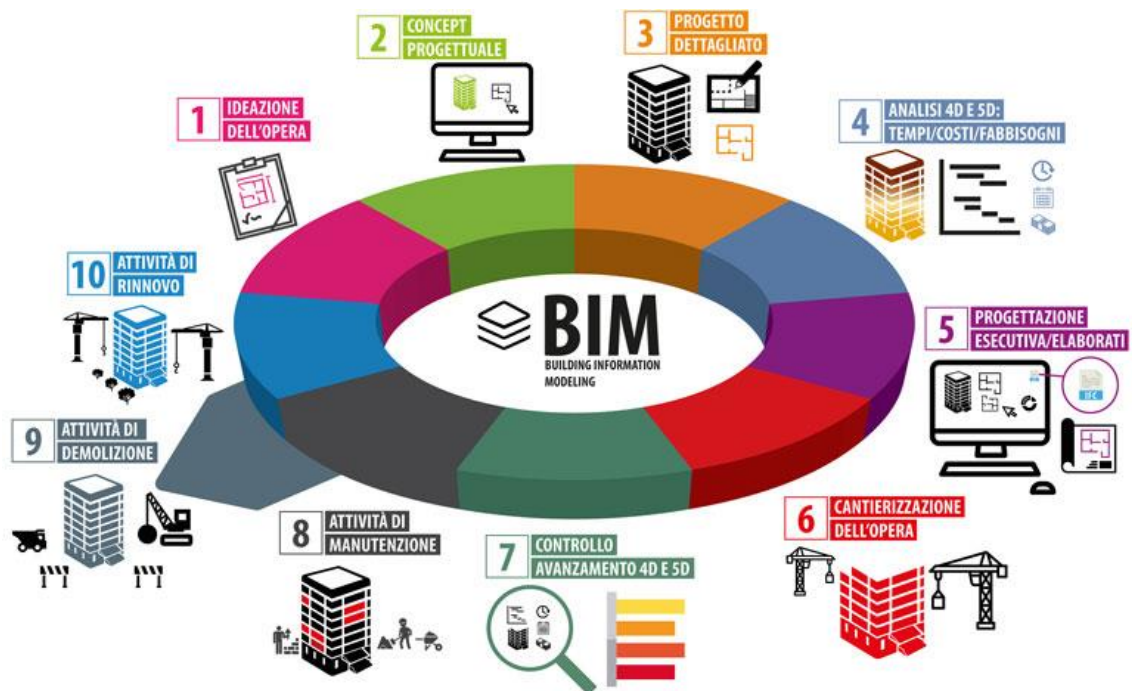


Figura 1.1 – Elementi di un progetto BIM (almasoft.it)

I software di BIM authoring permettono di riprodurre elementi parametrici 3D che permettono di associare qualsiasi tipo di informazione relativa all'oggetto alla sua geometria. Per questo, il BIM è stato introdotto prima come semplice mezzo di supporto alla progettazione e, solo in secondo momento, è diventato uno strumento per ottimizzare il processo progettuale basandosi sulla collaborazione tra professionisti e sull'interoperabilità tra i vari software disponibili.

2.2. BIM applicato ai ponti

Attualmente la metodologia BIM si sta diffondendo anche nel settore delle infrastrutture civili e prende il nome di InfraBIM (Infrastructure Building Information Modeling). Essa prevede la creazione e la gestione di un modello digitale che riproduca l'opera, in maniera semplificata, per alcuni scopi precisi. Tra questi si possono elencare la stima dei tempi di realizzazione, il calcolo dell'impiego dei materiali, la verifica nel tempo del comportamento ad azione sismica, il coordinamento disciplinare nelle varie fasi, la comunicazione dell'impatto sul territorio, la rappresentazione dello stato di deterioramento e tanti altri. Ipotizzando che l'impatto di questi usi sia proporzionale al valore economico e sociale dell'opera, è facile rendersi conto di quanto i costi necessari per l'adozione di tale metodologia BIM siano giustificati, anche in base alla complessità dell'opera.

Il processo di creazione di modelli digitali per le infrastrutture coinvolge un numero molto elevato di attività multidisciplinari che richiedono l'impiego di formati diversi per il trattamento dei dati. È fondamentale, infatti, gestire la modellazione del territorio e del contesto in cui verrà costruito il progetto, gli aspetti strutturali e architettonici e tutto il settore gestionale. Un valido modello è basato su una serie di lavorazioni preliminari che consistono nel trattamento dei singoli aspetti da parte dei vari professionisti, che possono associare le informazioni di loro competenza agli elementi del modello.

La realizzazione di un modello digitale 3D completo dell'opera significa includere, in modo chiaro e ordinato, tutti gli aspetti elencati in precedenza.

Nonostante la possibilità di trarre notevoli vantaggi dall'impiego di un processo BIM nell'ambito delle infrastrutture, attualmente il suo impiego è ancora poco diffuso. Questo è sicuramente legato all'arretratezza dello stato dell'arte che non permette di poter beneficiare di tutti i vantaggi collegati all'impiego della metodologia BIM.

2.3. Formato IFC e stato dell'arte

Proprio dal concetto di interoperabilità e di trasferimento di dati tra i diversi professionisti del settore edilizio nasce il formato IFC, un formato neutro indipendente dal software utilizzato. La struttura del database del formato IFC deriva dal formato STEP che funge da riferimento nel mondo dell'edilizia industriale e consente lo scambio delle informazioni relative alla geometria e dei dati necessari alla costruzione. Il formato IFC consente lo scambio di dati tra diversi software BIM presenti sul mercato. È chiaro che nel caso in cui si lavori in modo isolato su un progetto è improbabile che sia necessario esportare quanto creato in formato IFC ma solitamente ad uno stesso progetto collaborano

molti professionisti che si occupano di differenti discipline, ognuna delle quali viene gestita con software diversi. In questo caso è inevitabile passare attraverso il formato IFC. Lavorando con il formato IFC viene considerata, non solo la geometria, ma anche tutte le informazioni associate ad essa. Ad oggi, il formato IFC è l'unico in grado di preservare la geometria, la topologia degli oggetti e le proprietà dei materiali e delle prestazioni (energetiche, strutturali..).

Attualmente, tra i costi legati all'adozione della metodologia BIM nel settore delle infrastrutture, quelli legati alla mancata interoperabilità hanno un impatto notevole e rappresentano il costo legato all'incapacità, o comunque alla difficoltà, di condividere i modelli BIM tra i diversi interessati e di accedere ai dati in essi contenuti su lunghi lassi temporali (per esempio, la vita utile di un ponte).

Lo standard IFC viene creato e mantenuto da buildingSmart International e ha come scopo lo scambio di modelli BIM in formato aperto. Inizialmente copriva i casi d'uso relativi a modelli di opere edili ma tra il 2018 e il 2019 il progetto internazionale IFC Bridge si è occupato di estendere lo standard per coprire anche modelli di ponti. La prima versione dello standard IFC, IFC 1.0, risale al 1996, nel corso del tempo alcune versioni sono diventate standard ISO. L'ultima versione diventata ISO è la IFC 4.0 (formalmente la 4.0.2.1), negli anni, comunque, anche alcune versioni non diventate ISO sono state implementate in alcuni software. Il progetto IFC Bridge ha prodotto la versione IFC 4.2, detta bridge extension, che è nata con lo scopo di agevolare lo scambio di modelli BIM per i ponti. Questa versione è poi stata ritirata a seguito della presentazione della versione IFC 4.3, che include la rappresentazione anche di infrastrutture, tra cui strade, ferrovie e porti. Attualmente la versione IFC 4.3 ha lo status di candidate standard, in attesa di essere approvato. Il processo di approvazione prevede che ogni candidate standard venga accolto da tutta la comunità buildingSmart, e che venga testato da alcuni produttori di software. I software, dunque, sono fermi all'implementazione delle versioni di standard IFC che coprono solo le opere edili e questo è strettamente correlato alla mancata adozione della metodologia BIM nel settore delle infrastrutture.

2.4. Aspetti normativi

In Italia la metodologia BIM è stata introdotta nell'ambito degli appalti pubblici con il Decreto Ministeriale 560/2017, comunemente detto "Decreto BIM". È un decreto attraverso il quale viene gradualmente reso obbligatorio introdurre un processo BIM da parte delle stazioni appaltanti nell'ambito degli appalti pubblici. Questo è valido sia in

ambito edilizio che in ambito infrastrutturale. Gli step da rispettare sono legati a opere di importo a base gara

- Pari o superiore a 100 milioni di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2019;
- Pari o superiore a 50 milioni di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2020;
- Pari o superiore a 15 milioni di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2021;
- Pari o superiore alla soglia di cui all'articolo 35 del codice dei contratti pubblici, a decorrere dal 1° gennaio 2022;
- Pari o superiore a 1 milione di euro, a decorrere dal 1° gennaio 2023;
- Inferiore a 1 milione di euro a decorrere dal 1° gennaio 2025.

Lo scorso 2 agosto 2021 è stato pubblicato il Decreto Ministeriale 312/2021 che ha come obiettivo quello di introdurre criteri di premialità nelle gare per servizi di ingegneria e lavori e specifiche tecniche di riferimento per la modellazione informativa. È stato ritenuto un passaggio obbligato per evitare sia confusione interpretativa da parte dei committenti, sia l'insorgere di contenziosi nell'aggiudicazione delle gare. Inoltre, è stato ritenuto opportuno apportare alcune modifiche al Decreto Ministeriale 560/2017 per garantire la piena operatività del sistema per l'utilizzo dei metodi e strumenti elettronici. Nello specifico, nei primi Articoli vengono chiariti, ed eventualmente modificati, alcuni termini presenti nel D.M. 560/2017. Viene stabilito che le stazioni appaltanti, per favorire l'utilizzo anche sperimentale di metodi e strumenti informativi, possono anche solo inserire le misure in materia di adempimenti (formazione, acquisizione hardware e software e atto organizzativo) nella programmazione. Vengono anche modificate le scadenze temporali dell'obbligatorietà in base agli importi a base di gara e alla complessità dell'opera per tenere in conto della complessità dell'adozione di metodi e strumenti informativi nel caso di interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria di opere esistenti. Nel caso di una manutenzione ordinaria, l'adozione di strumenti informativi presupporrebbe la preliminare digitalizzazione del progetto, con aggravio di spesa ed un aumento del tempo necessario. È diverso il discorso per un'opera nuova o per una manutenzione straordinaria di opere di importo molto elevato, dove la digitalizzazione dell'esistente diventa un vantaggio per la futura gestione della manutenzione, necessaria nel corso del ciclo di vita dell'opera. L'obbligatorietà dell'utilizzo di una metodologia BIM viene limitata unicamente sopra la soglia del milione di euro.

Osservando le date presenti all'interno del Decreto 560/2017 è evidente che già da un paio di anni per le opere più costose è richiesta l'applicazione di una procedura BIM, nonostante l'assenza di uno standard IFC approvato e implementato nei software che supporti le infrastrutture e che permetta, dunque, l'interoperabilità tra le diverse figure professionali coinvolte nel progetto. Questo porta ad un aumento dei costi legato alla mancanza di interoperabilità e all'impossibilità di beneficiare dei vantaggi che si avrebbero nel caso in cui essa funzionasse correttamente.

È chiaro che con l'entrata in vigore di tale Decreto sarà sempre più necessario approvare una versione dello standard IFC che comprenda anche l'estensione per le infrastrutture.

Alla luce di quanto detto fin ora, le tematiche affrontate nel seguente elaborato risultano, quindi, particolarmente attuali. Qualsiasi studio tecnico si trova, infatti, costretto ad interfacciarsi con le problematiche che verranno esposte nel seguito. Si cercherà di dare alcune risposte ai principali problemi legati all'introduzione del BIM nel campo della progettazione di opere infrastrutturali.

3. Caso studio

Il ponte usato come caso studio per la tesi fa parte di un progetto più ampio che comprende i tre ponti Remorino, Fontile e Navegna. Sono, infatti, previsti degli interventi a tutti e tre i manufatti che si trovano lungo Via Rinaldo Simen nel territorio del Comune di Minusio sui Riali Remorino, Fontile e Navegna. Vista l'importanza della via, l'avanzare del forte degrado strutturale e i numerosi interventi di rinforzo già realizzati, un risanamento della struttura non era più proponibile e, dopo aver eseguito uno studio costi – benefici, la variante che prevede la ricostruzione dei manufatti è risultata essere l'unica soluzione praticabile.

L'obiettivo principale del progetto è quello di creare strutture solide, sicure e con il minor impatto possibile sull'ambiente, sia in termini di costi, modalità costruttive e di impatto estetico. La scelta di uno schema statico con una pila centrale nasce dalla necessità di avere spazi liberi a disposizione al di sotto del ponte e, allo stesso tempo, un'altezza utile delle strutture non troppo elevata per ridurre l'impatto estetico. A ridurre ulteriormente le possibili alternative è fondamentale ricordare l'ambiente dal forte carattere antropico in cui si deve intervenire con spazi a disposizione del cantiere molto esigui.

Per il ponte Remorino, si è scelto di realizzare un impalcato in calcestruzzo armato precompresso post – teso gettato interamente in opera. Il resto della struttura è in calcestruzzo armato anch'esso gettato in opera. Le due campate, entrambe di 28.0m, sono sorrette dalla pila centrale. L'impalcato è caratterizzato da una pendenza longitudinale pari al 2.59% e da una pendenza trasversale del 2.50%. La sezione tipo dell'impalcato è la seguente

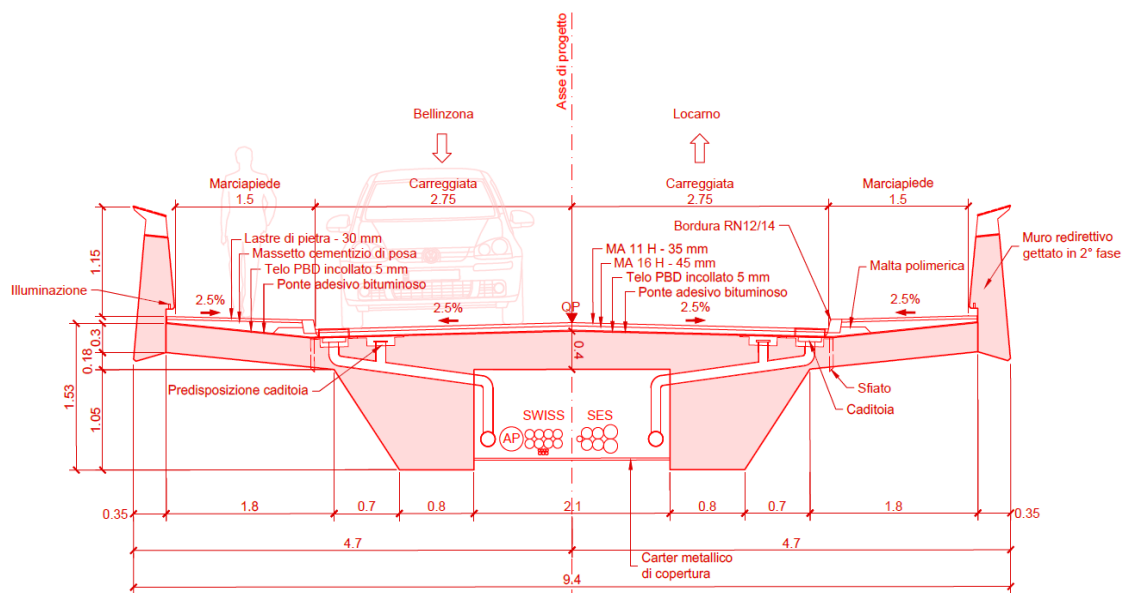


Figura 3.1 – Sezione tipo impalcato ponte Remorino

La carreggiata stradale è composta da due corsie, ognuna delle quali è larga 2.75m e in futuro è prevista una possibile riduzione fino a 2.25m a favore dei marciapiedi. I marciapiedi sono larghi 1.50m e questi potrebbero essere allargati fino a 2.0m di larghezza ciascuno. La pila è composta da una doppia forcella in continuità con l'impalcato, le spalle presentano una sezione in elevazione massiccia in continuità con i muri d'ala. L'impalcato è in semplice appoggio sulle spalle con una configurazione semi-integrale. Non sono previsti giunti di transizione alle estremità dell'impalcato. Non è previsto l'inserimento del classico paraghiaia e la sua funzione è svolta da una paretina in calcestruzzo armato che è il diretto proseguimento della soletta dell'impalcato. In questo modo si evita il giunto e i relativi costi di manutenzione. Per limitare gli ammaloramenti della pavimentazione stradale dovuti all'assestamento del terreno di riempimento dietro le spalle, è stata progettata una soletta flottante anch'essa in calcestruzzo armato. Sia le spalle che la pila poggiano su una platea di fondazione sorretta, a sua volta, da micropali di fondazione di diverse lunghezze per ogni platea di fondazione.

4. Scelta del software

La metodologia BIM è utilizzata da svariati software, ognuno dei quali è più adatto per determinati campi e tipi di progetto. Il caso studio oggetto della presente tesi è il ponte descritto nel capitolo precedente e si è scelto di utilizzare il software Revit di Autodesk.



Figura 4.1 – Logo Revit

È un software che permette agli utenti di realizzare modelli 3D intelligenti, in grado di gestire i progetti dalle fasi preliminari fino alla loro demolizione. È basato sulla modellazione parametrica di dettaglio degli elementi delle famiglie e permette una percezione globale dei progetti grazie alla facilità e alla rapidità con cui vengono create viste 3D, prospettiche e assonometriche.

È un software che nasce per l'edilizia, come si può facilmente intuire dall'interfaccia, ma oggi, grazie ai numerosi aggiornamenti, è dotato di funzionalità e strumenti di modellazione che permettono uno spettro molto più ampio di campi di utilizzo.

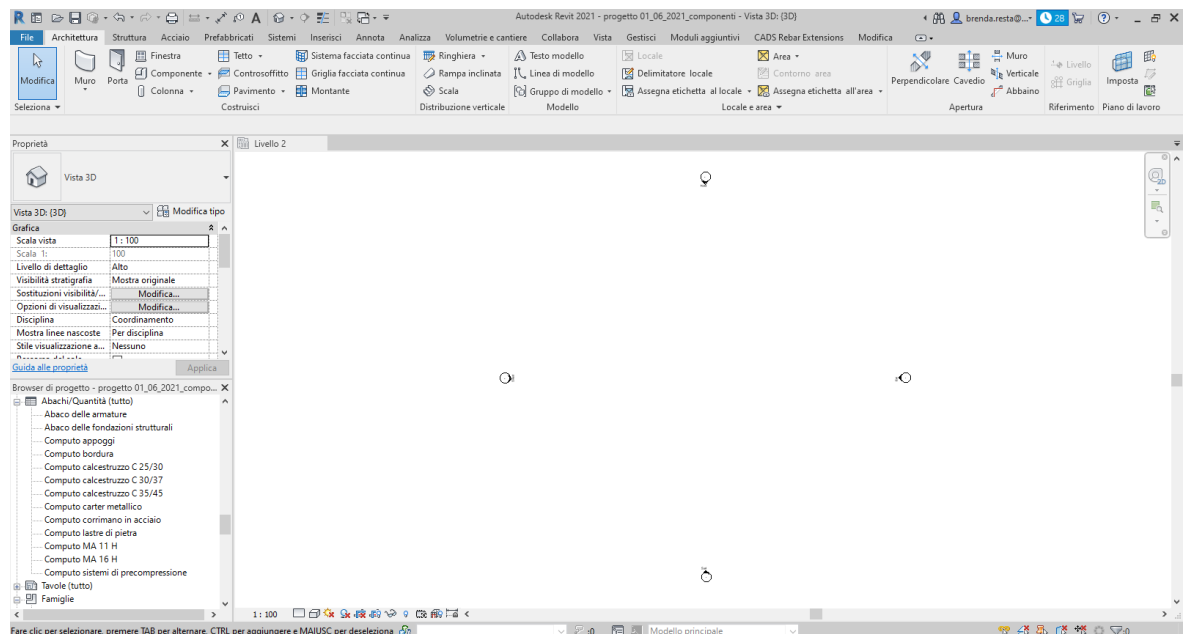


Figura 4.2 – Interfaccia Revit

È dotato di diverse funzionalità che permettono una progettazione multidisciplinare, che comprendono apposite sezioni per gli aspetti architettonici, meccanici, strutturali e impiantistici (MEP).

È possibile importare file CAD in formato .dwg, .dxf e .dwf che possono fungere da base per la realizzazione di elementi, parametrici e non, che compongono il modello. In un secondo momento, si possono includere aspetti relativi ai costi del progetto, ai tempi di progettazione e realizzazione e si possono realizzare degli abachi personalizzabili a seconda delle diverse esigenze degli utenti. È, inoltre, disponibile Dynamo, ovvero un software ausiliario messo a disposizione da Autodesk che permette la modellazione e il posizionamento anche di elementi geometricamente più complessi rispetto a quelli che Revit riesce a gestire automaticamente. Grazie ai numerosissimi miglioramenti apportati, nonostante l'impostazione dell'interfaccia sia ancora completamente legata all'edilizia, è possibile modellare anche le infrastrutture.

La scelta del software è stata influenzata anche dal fatto che Revit è un software già noto e questo ha reso più semplice sfruttare tutte le sue potenzialità per modellare l'impalcato di un ponte con una sezione relativamente semplice. Le sezioni trasversali, infatti, perpendicolarmente all'asse longitudinale, sono costanti e la livelletta stradale ha una pendenza unica lungo tutto il tracciato. Questo fa sì che Revit sia un software potenzialmente adeguato al tipo di progetto in esame e non c'è stata la necessità di utilizzare ulteriori software per ottenere il modello del manufatto. La decisione si è dimostrata corretta dato che il ponte Remorino, oggetto della tesi, è stato interamente modellato con la versione 2021 di Revit.

Uno degli obiettivi principali della tesi è, comunque, capire fin dove si può spingere un software come Revit nella modellazione delle infrastrutture rimanendo fedeli alle famiglie semantiche che sono messe a disposizione nelle librerie fornite da Autodesk.

5. Modellazione degli elementi strutturali

Nel presente capitolo verranno descritte le scelte di modellazione fatte, partendo dall'impostazione delle griglie e dei livelli fino al completamento del modello. Verranno descritte le problematiche riscontrate legate allo stato dell'arte e quelle, invece, dovute al software e come si è scelto di risolverle. È stato deciso di non creare elementi parametrici dal momento che la geometria dell'impalcato è definitiva ed è un'opera unica che non sarà replicata, magari con dimensioni diverse, in altri luoghi. La soluzione adottata non ha la pretesa di essere l'unica corretta, piuttosto sono state prese decisioni che fossero coerenti con gli obiettivi che erano stati prefissati. In prima istanza, l'obiettivo era quello di ottenere degli elaborati tecnici che fossero spendibili anche in cantiere e questo ha portato a fare scelte che portassero ad avere un modello corretto graficamente magari a discapito della correttezza delle famiglie semantiche. Come altro criterio generale che ha influenzato le scelte si può sicuramente annotare la volontà di rendere il modello il più omogeneo possibile, usando la medesima categoria di elementi tutte le volte in cui non è stato possibile utilizzare quella corretta da un punto di vista semantico.

5.1. Impostazione preliminare del modello

La prima scelta richiesta da Revit riguarda il tipo di modello che si vuole realizzare. Nello specifico, si deve decidere tra un modello di costruzione, architettonico, strutturale, meccanico, di sistemi, elettrico o idraulico.

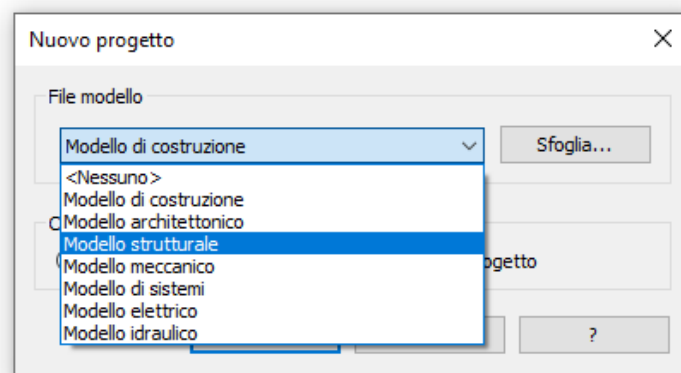


Figura 5.1 – Impostazione del tipo di modello

Viste le caratteristiche del progetto si è scelto un modello strutturale.

Per la corretta modellazione su Revit è fondamentale creare un sistema di riferimento tridimensionale in cui andare a posizionare gli elementi. Nello specifico, il sistema di riferimento è costituito da una griglia, che indica le posizioni in pianta degli oggetti, e da una serie di livelli che guidano nel collocamento in altezza degli elementi modellati. In un primo momento, il lavoro è stato svolto sui file .dwg delle viste d'assieme della

planimetria e della sezione longitudinale per valutare la posizione più conveniente per le griglie, sia orizzontali che verticali, e i livelli. Revit, e in generale i software di BIM authoring, ragionano in termini di oggetti, quindi, sono state posizionate le griglie in corrispondenza dei baricentri dei seguenti elementi:

- Micropali di fondazione;
- Platee di fondazione;
- Spalle;
- Pila;
- Appoggi per l'impalcato;
- Traversi.

Questo è valido sia per le griglie orizzontali che per quelle verticali. Ovviamente le prime sono state posizionate nella planimetria, quelle verticali invece sono state posizionate nella sezione longitudinale. Si è scelto di quotare tutte le distanze tra le griglie e di numerarle in modo da avere una perfetta corrispondenza tra il modello Revit e i disegni ottenuti in maniera tradizionale su Autocad. Questo ha, poi, aiutato nel corretto posizionamento degli elementi modellati.

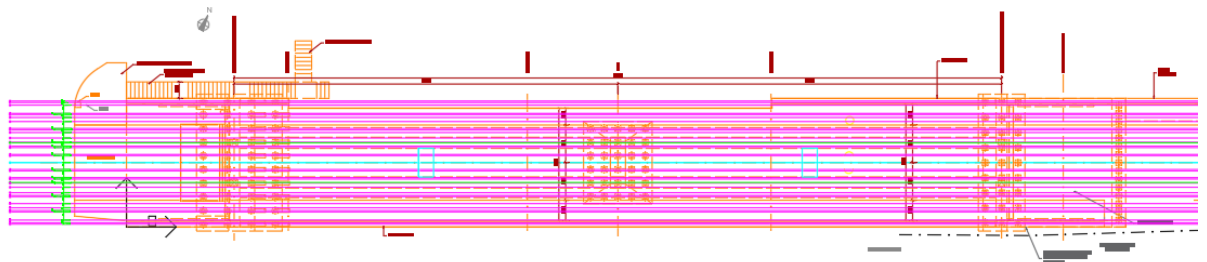


Figura 5.2 – Posizionamento delle griglie orizzontali su Autocad

Per quanto riguarda i livelli, la questione è leggermente più complessa dato che l'impalcato presenta una pendenza longitudinale. Il lavoro è partito sempre da Autocad e si è deciso di posizionare i livelli in corrispondenza del baricentro di ogni elemento, in modo da avere le coordinate di ogni oggetto che compone il progetto.

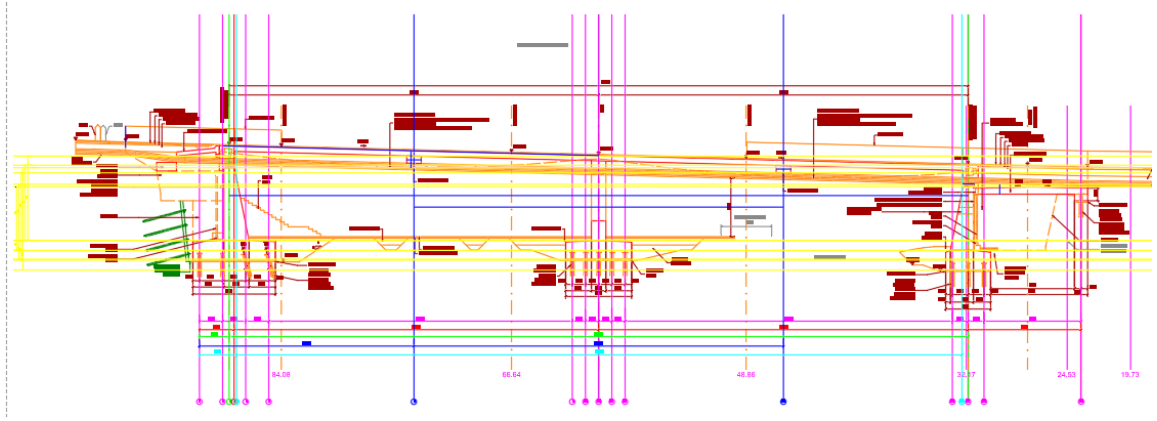


Figura 5.3 – Posizionamento delle griglie e dei livelli su Autocad

Dopo aver ottenuto tutte le distanze tra le griglie e le quote dei livelli si è passati a Revit dove è stato ricostruito il medesimo sistema di riferimento. Così facendo si è ottenuto lo spazio all'interno del quale verranno posizionati gli oggetti.

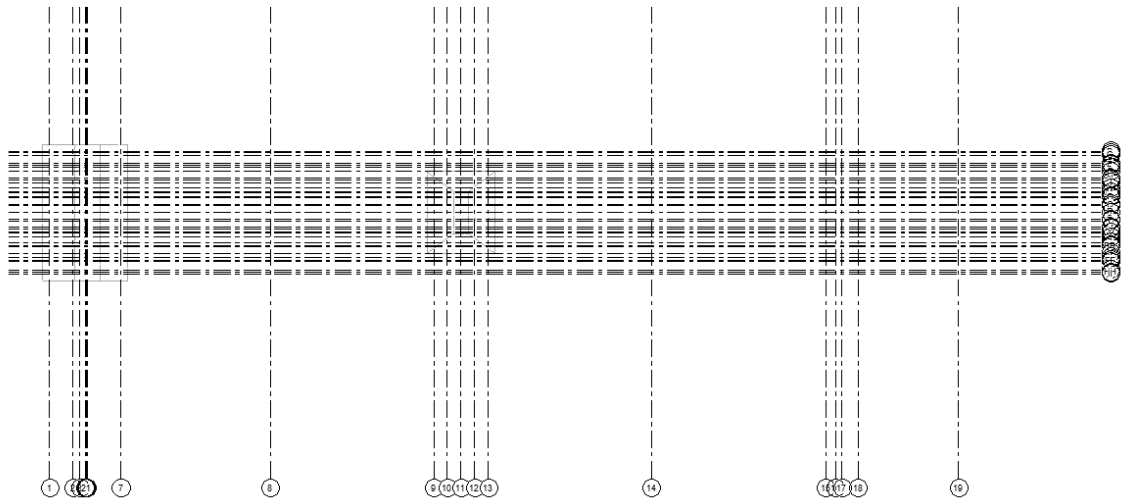


Figura 5.4 – Griglie importate su Revit

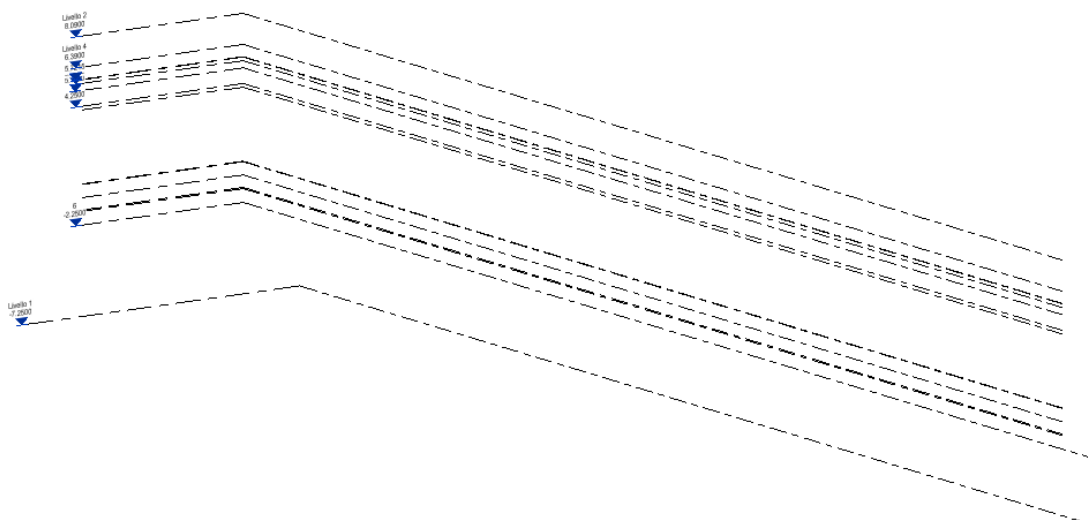


Figura 5.5 – Spazio 3D in cui verranno posizionati gli elementi

5.2. Modellazione geometrica degli elementi

5.2.1. Micropali di fondazione

I micropali di fondazione sono una tipologia di fondazione che consente di scaricare il carico proveniente dalla sovrastruttura su uno strato di terreno più o meno profondo e sufficientemente resistente. Vengono realizzati eseguendo una perforazione nel terreno di 27.8cm , al suo interno viene posizionato un tubo in acciaio S355 che costituisce la parte resistente dell'elemento. In un secondo momento viene gettata la malta cementizia dentro il tubo e attorno ad esso per riempire la perforazione realizzata.

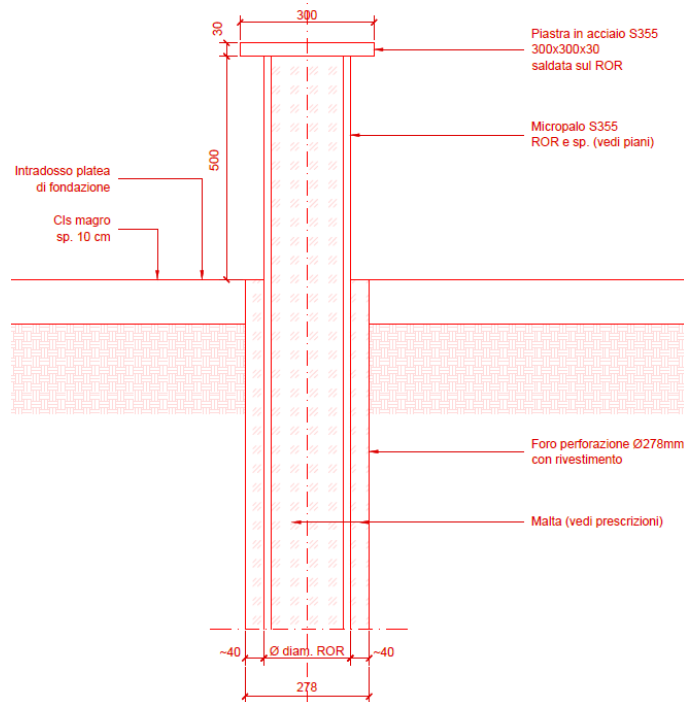


Figura 5.6 – Dettaglio 2D dei micropali di fondazione

Nel progetto sono previsti micropali di quattro lunghezze differenti: 17m , 17m inclinati, 16m e 11m . Per creare questi elementi su Revit è stato necessario partire da una famiglia di “Modello generico”, dal momento che non è possibile modellare oggetti del genere nella categoria delle fondazioni strutturali, e, tramite le proprietà, è stato attribuito alla categoria delle fondazioni strutturali. È fondamentale anche ricordare che non c'è modo di assegnare alla categoria delle armature il tubo di acciaio che strutturalmente è la parte resistente del micropalo. È evidente, quindi, che graficamente si ottiene un oggetto corretto ma che non è lo semanticamente parlando e neanche strutturalmente.

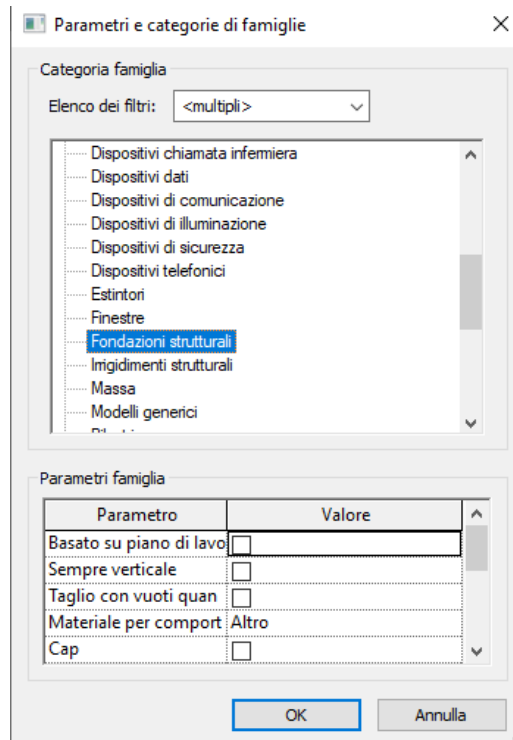


Figura 5.7 – Assegnazione della categoria al modello generico

Per primo, con il comando di estrusione, è stato creato un solido circolare avente un diametro esterno pari al diametro della perforazione. Successivamente, lavorando con i solidi di sottrazione e i solidi di estrusione, sono stati modellati i due materiali, la malta cementizia e l'acciaio, uno all'interno dell'altro. Ai materiali, in un primo momento sono stati assegnati due colori molto contrastanti per verificare la correttezza della geometria creata.

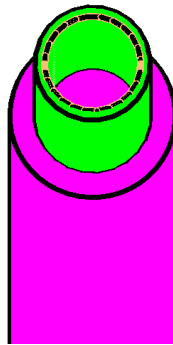


Figura 5.8 – Vista 3D del micropalo con colori contrastanti per verificare della sezione

Per concludere l'oggetto, è stato realizzato un parallelepipedo per estrusione, rappresentativo della piastra in acciaio saldata sulla sommità del tubo ROR. Il materiale è il medesimo del tubo, ovvero l'acciaio S355.

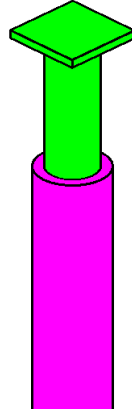


Figura 5.9 – Vista 3D di un micropalo verticale

Dato che i micropali che sorreggono le tre platee di fondazione hanno lunghezze diverse e si è scelto di non realizzare elementi parametrici, è stato necessario creare delle famiglie diverse per ogni lunghezza. Per farlo è sufficiente partire dalla prima famiglia e cambiare la profondità dell'estrusione, senza bisogno di rimodellare tutto l'elemento.

L'unica che ha bisogno di una modifica più articolata è la famiglia per i micropali inclinati che si trovano sotto la platea di fondazione della spalla lato Locarno. Per questo tipo particolare, è stato disegnato un piano di lavoro inclinato di 15° , ovvero l'angolo di inclinazione dei micropali, che è stato impostato come piano di lavoro e su cui sono state realizzate tutte le estrusioni.

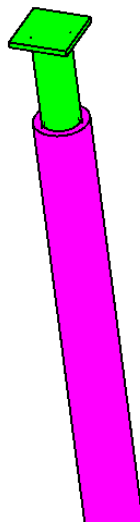


Figura 5.10 – Vista 3D di un micropalo inclinato

Una volta completata la modellazione di tutti i tipi di palo, sono stati caricati nel modello e posizionati sotto le rispettive platee di fondazione.

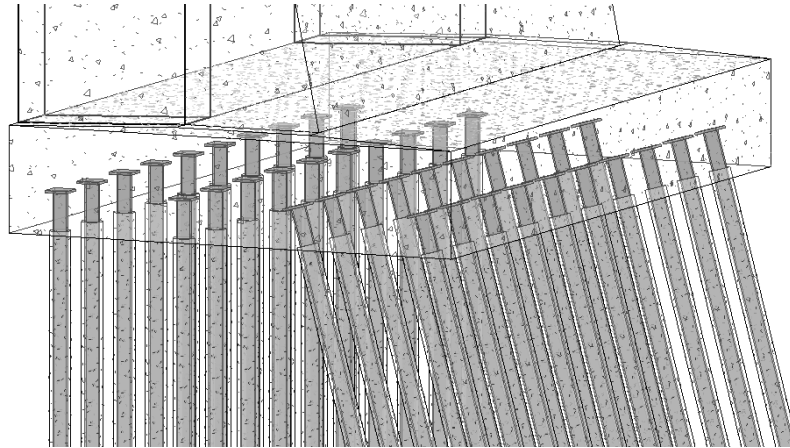


Figura 5.11 – Vista 3D dei micropali nel modello

5.2.2. Platee di fondazione

Le platee di fondazione sono elementi facilmente gestibili dal momento che esiste, nelle librerie di Revit, la categoria delle fondazioni strutturali. Quando si modellano i componenti in generale, è importante ricordare di partire dalla famiglia corretta perché è l'unico parametro che non può essere cambiato in corso d'opera. Sono tre elementi distinti con geometrie particolari e, dunque, è necessario creare tre famiglie distinte, una per ogni elemento. Sono state create tutte e tre partendo dal "Family Templates" delle "Fondazioni strutturali". Questi oggetti sono corretti anche da un punto di vista semantico e non hanno bisogno di nuove categorie specifiche che potrebbero essere aggiunte nelle nuove versioni dello standard IFC. Conclusa la modellazione all'interno delle famiglie, gli elementi sono stati salvati e caricati nel modello centrale.

5.2.2.1. *Platea di fondazione della pila*

La platea di fondazione della pila è stata modellata in due fasi. La base della platea è un parallelepipedo con base rettangolare, quindi, è stato disegnato il contorno e, per estrusione, è stato assegnato lo spessore necessario. La parte superiore a tronco di piramide è stata modellata per unione di due superficie rettangolare di dimensioni diverse.

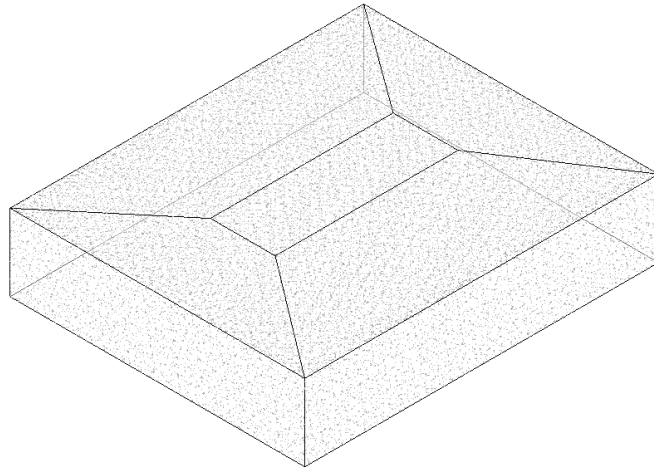


Figura 5.12 – Platea di fondazione della pila

5.2.2.2. Platea di fondazione della spalla lato Locarno

La platea di fondazione della spalla lato Locarno è stata modellata esattamente come la platea della pila. L'unica differenza rispetto all'altra consiste nella forma e nelle dimensioni differenti.

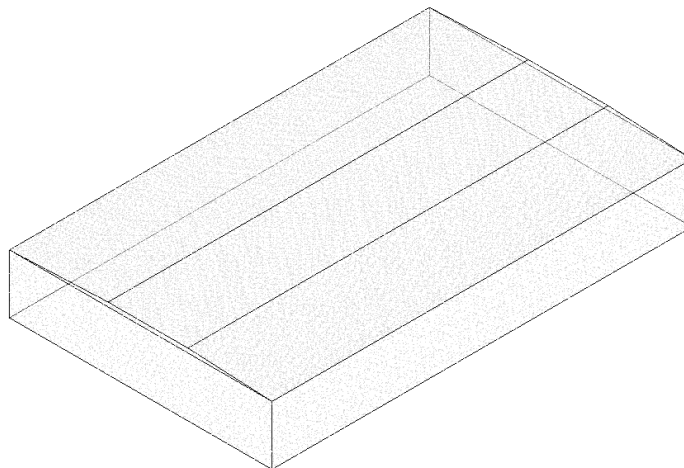


Figura 5.13 – Platea di fondazione della spalla lato Locarno

5.2.2.3. Platea di fondazione della spalla lato Bellinzona

Anche l'ultima platea di fondazione segue gli step di modellazione degli elementi descritti in precedenza. Ha una forma più irregolare rispetto alle due precedenti ma questo non genera alcun problema dal momento che con il comando "unione" è possibile collegare due geometrie qualsiasi.

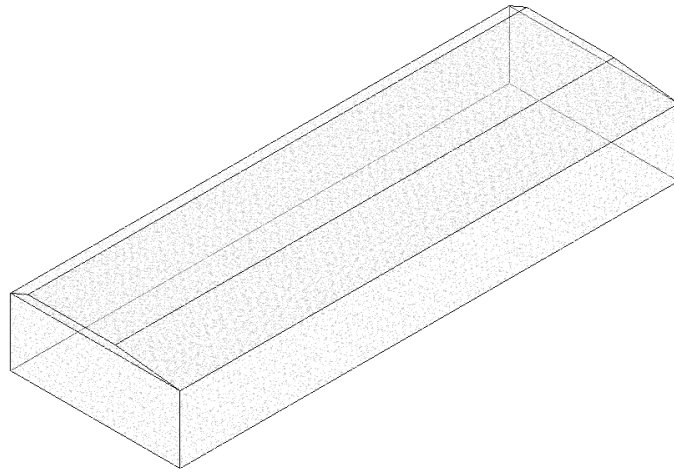


Figura 5.14 – Platea di fondazione della spalla lato Bellinzona

5.2.3. Spalle

Le spalle del ponte sono state modellate all'interno della categoria dei pilastri strutturali. Un'altra categoria che potrebbe essere idonea sarebbe quella dei muri di sostegno ma, in questo caso, la scelta è stata guidata dal tipo di informazioni che si possono associare a ogni famiglia. Nelle famiglie dei muri ci sono tutte le informazioni legate alla stratigrafia che nel caso delle spalle del ponte sarebbero fuorvianti. Inoltre, pensando alle armature che verranno inserite in seguito, è più conveniente pensare le spalle del ponte come dei pilastri strutturali. Sicuramente, nelle prossime versioni dello standard IFC, saranno necessarie delle categorie più adeguate per gli elementi rappresentativi delle spalle dei ponti, dal momento che considerare tali elementi come pilastri non è del tutto corretto. Sono stati creati due tipi diversi di spalla dal momento che la geometria dei due elementi, pur essendo simile, è diversa. Per come il progetto è rappresentato nelle tavole d'assieme, è chiaro che l'elemento della spalla è un elemento unico che comprende anche il tratto di muro redirettivo che si trova esattamente in corrispondenza di esso, e questo vale per entrambe le spalle. Il muro redirettivo, però, ha la sommità in pendenza, che segue la pendenza longitudinale del ponte. Nel passaggio su Revit, però, modellare la spalla in questo modo sarebbe problematico per la gestione della pendenza, inoltre, sarebbe sbagliato semanticamente considerare il muro redirettivo nella famiglia dei pilastri strutturali.

Per ovviare a queste difficoltà, si è deciso di eliminare dall'elemento spalla il tratto di muro redirettivo che verrà modellato separatamente insieme al resto del muro.

5.2.3.1. Spalla lato Locarno

La prima spalla modellata è quella del lato Locarno. È stata modellata in due fasi distinte nonostante l'elemento strutturale sia unico. Prima è stata modellata la parte inferiore per estrusione. Il profilo utilizzato per l'estrusione è quello del prospetto che ha una forma trapezoidale.

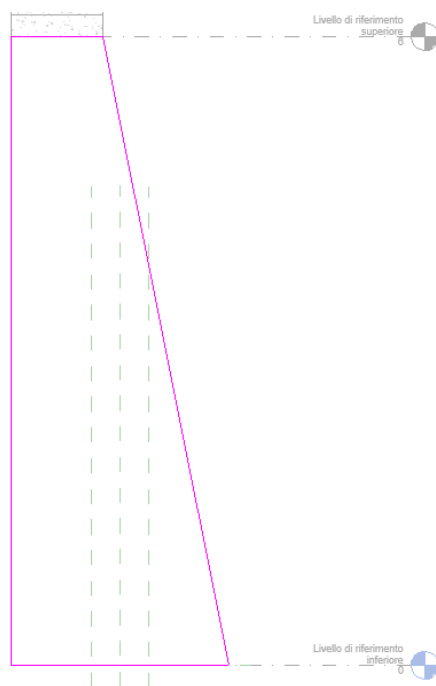


Figura 5.15 – Profilo di estrusione per il fusto della spalla Locarno

Anche le due parti superiori sono state realizzate per estrusione e, dato che l'elemento è simmetrico, è stato creato prima l'elemento su un lato poi è stato specchiato sull'altro lato del fusto della spalla.



Figura 5.16 – Profilo di estrusione per la parte superiore della spalla lato Locarno

L'elemento rappresentativo della spalla lato Locarno, nel suo complesso, è il seguente.

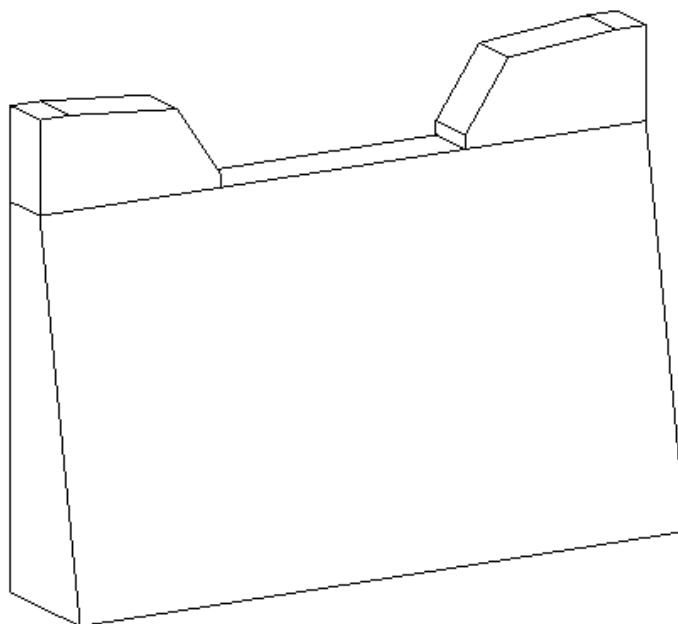


Figura 5.17 – Spalla lato Locarno

5.2.3.2. Spalla lato Bellinzona

Il procedimento per la modellazione della spalla lato Bellinzona è il medesimo dell'altra spalla appena descritto. Anche questa è stata modellata in due distinte fasi e i profili usati per le due estrusioni sono i seguenti.

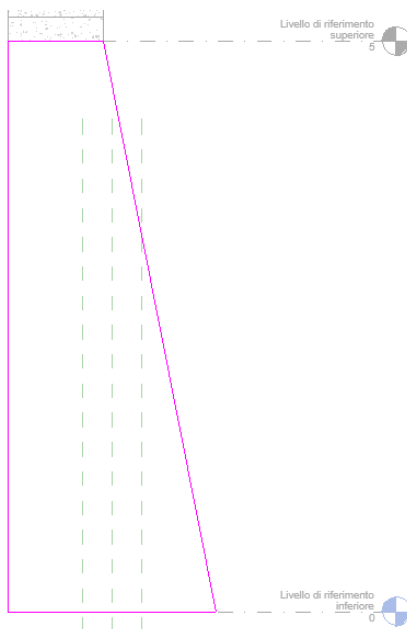


Figura 5.18 – Profilo per estrusione per il fusto della spalla Bellinzona

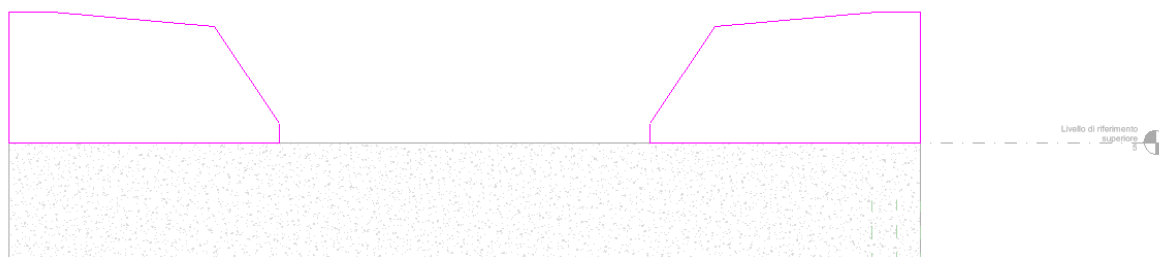


Figura 5.19 – Profilo per estrusione parte superiore della spalla Bellinzona

L'elemento che si ottiene complessivamente è il seguente.

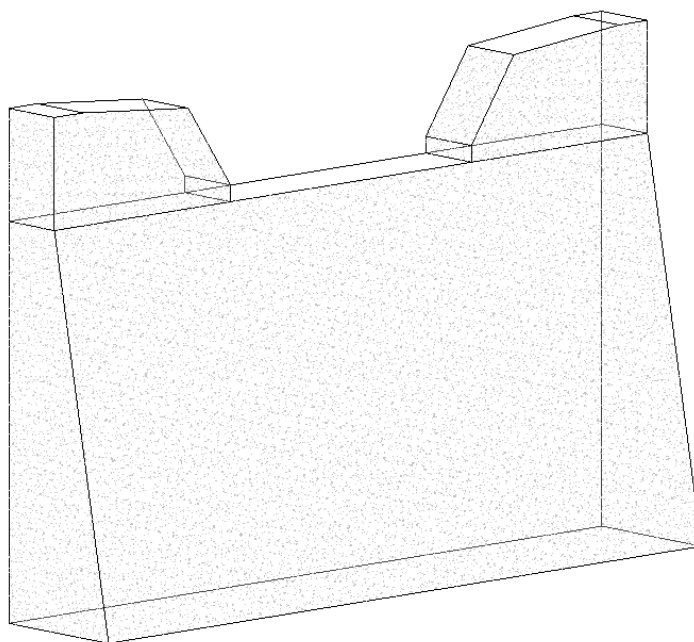


Figura 5.20 – Spalla lato Bellinzona

5.2.4. Muri d'ala

I muri d'ala sono muri piuttosto spessi dato che hanno come principale funzione quella di contenere il terreno della rampa di accesso al ponte. Sono stati modellati con una famiglia di sistema, quella dei “muri strutturali”. I muri di entrambi i lati del ponte hanno uno spessore variabile sull'altezza e una geometria molto irregolare, questi due fattori rendono necessaria una modellazione in più parti e la conseguente creazione di più elementi distinti, uno per ogni spessore, per ottenere il muro complessivo.

5.2.4.1. *Muri d'ala lato Locarno*

Per la modellazione del muro è stato disegnato su Autocad uno schema basato sui diversi spessori del muro.

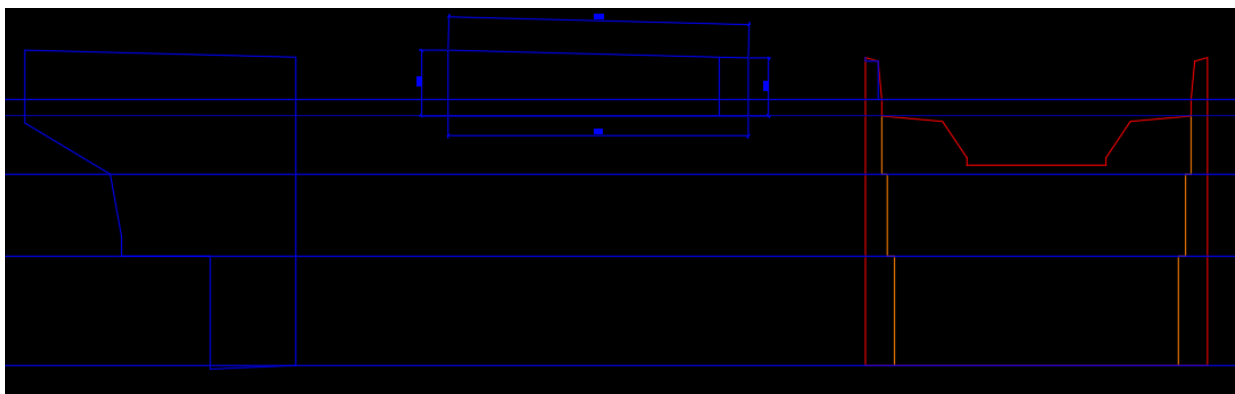


Figura 5.21 – Schema dei tre elementi per il muro d'ala lato Locarno

Per ogni tratto è stato utilizzato un muro strutturale in calcestruzzo armato. Sono stati creati tre tipi di muro strutturale con spessori diversi. Il tratto più in basso ha uno spessore di 80cm

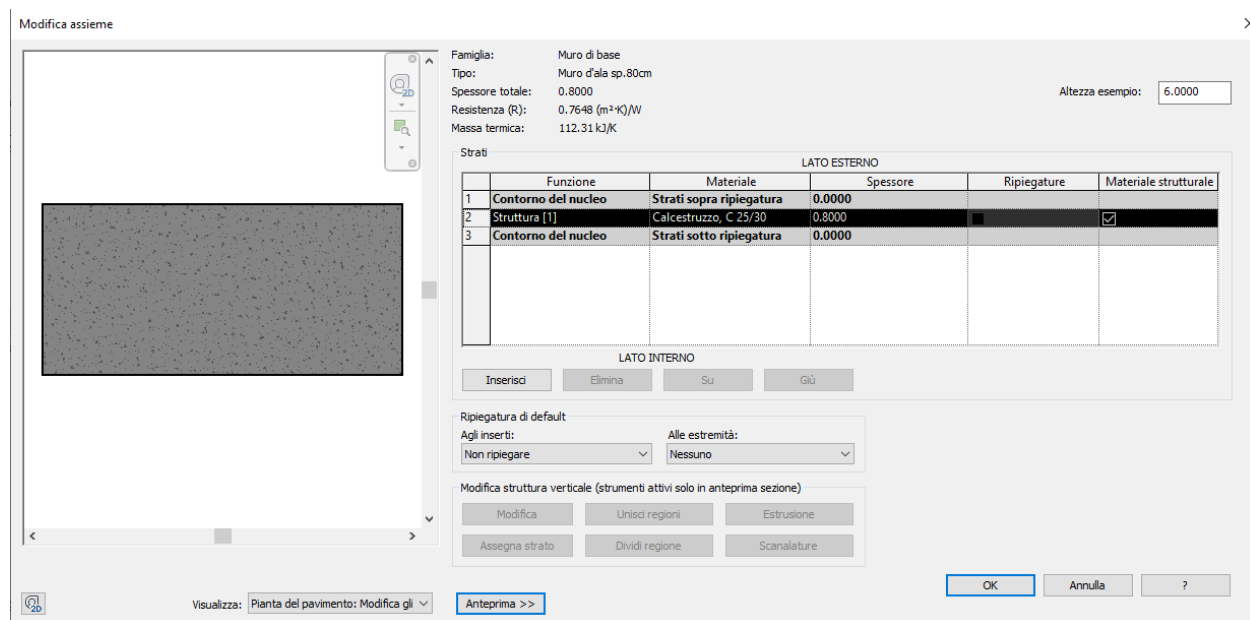


Figura 5.22 – Impostazione dello spessore del tratto inferiore del muro d'ala lato Locarno

Come si può notare dall'anteprima mostrata nella Figura precedente, Revit propone inizialmente un muro rettangolare. La forma può comunque essere modificata, a patto che lo spessore del muro sia costante. Dopo aver posizionato il muro usando le griglie e i livelli e impostato gli offset necessari, è stato modificato il profilo del muro dandogli la forma corretta utilizzando gli strumenti di disegno presenti nella voce "Modifica profilo" del menù della modifica dei muri strutturali.



Figura 5.23 – Profilo del tratto inferiore del muro d'ala lato Locarno

Il tratto intermedio del muro ha uno spessore di 60cm.

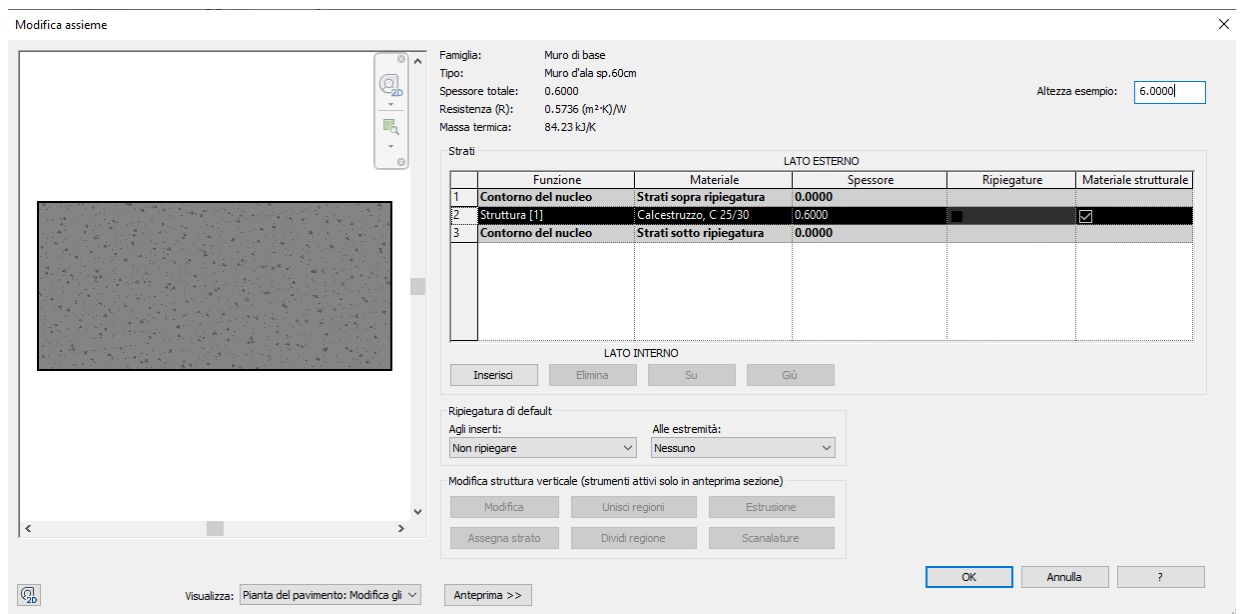


Figura 5.24 – Impostazione dello spessore del tratto intermedio del muro d'ala lato Locarno

Anche in questo caso è stato necessario modificare il profilo del muro seguendo lo schema realizzato su Autocad.



Figura 5.25 – Profilo del tratto intermedio del muro d'ala lato Locarno

Il tratto più alto del muro d'ala è il più sottile e ha uno spessore di 45cm.

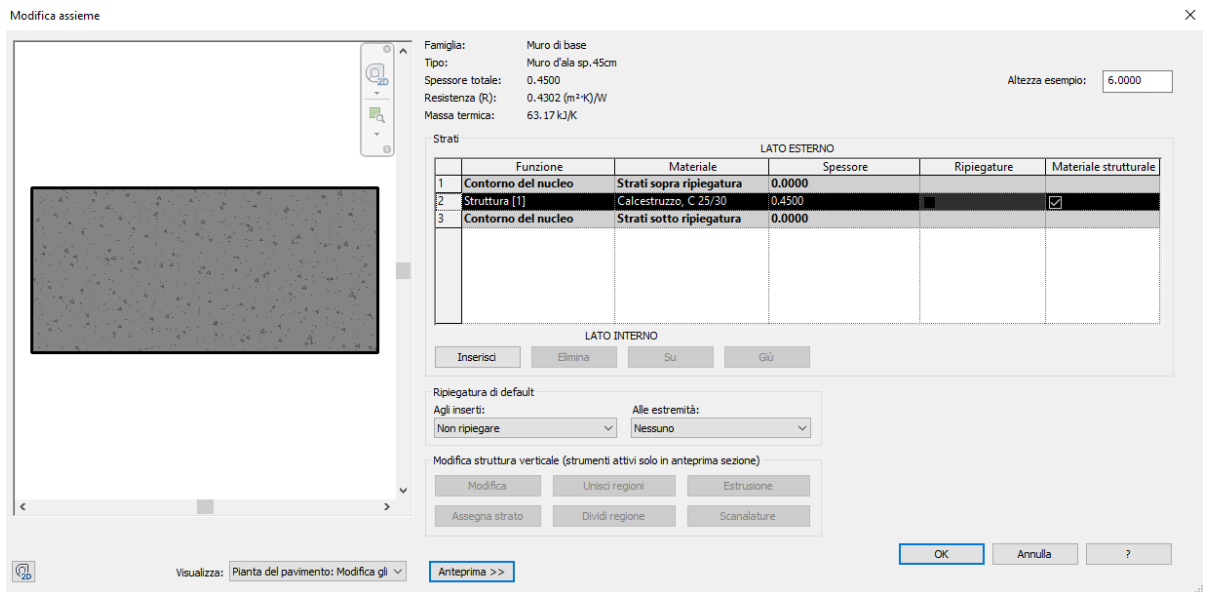


Figura 5.26 – Impostazione dello spessore del tratto superiore del muro d'ala lato Locarno

Dopo aver posizionato l'ultimo elemento è stato modificato il suo profilo per ottenere la forma esatta.



Figura 5.27 – Profilo del tratto intermedio del muro d'ala lato Locarno

L'elemento che si ottiene alla fine della modellazione e del collocamento nel modello centrale è il seguente.

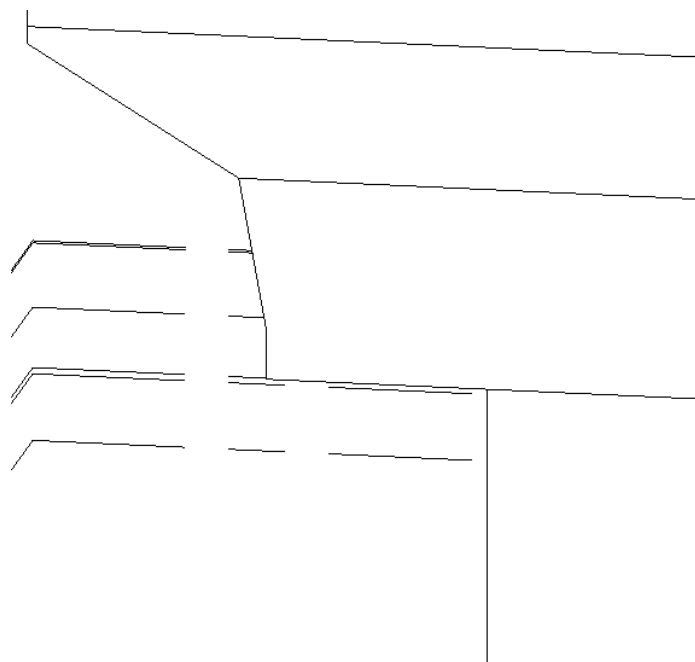


Figura 5.28 – Muro d'ala lato Locarno

Una volta verificata la correttezza dei tre oggetti che compongono il muro, essi sono stati selezionati e specchiati sulla parte opposta della spalla per avere anche il secondo muro d'ala della spalla lato Locarno.

5.2.4.2. Muri d'ala lato Bellinzona

La modellazione dei muri d'ala della spalla lato Bellinzona ha seguito esattamente il medesimo procedimento ma il muro è composto da due soli elementi. Gli spessori dei due tratti sono, dal basso verso l'alto, sempre di 60cm e 45cm. Di seguito si riportano solo i profili disegnati per i due tratti.

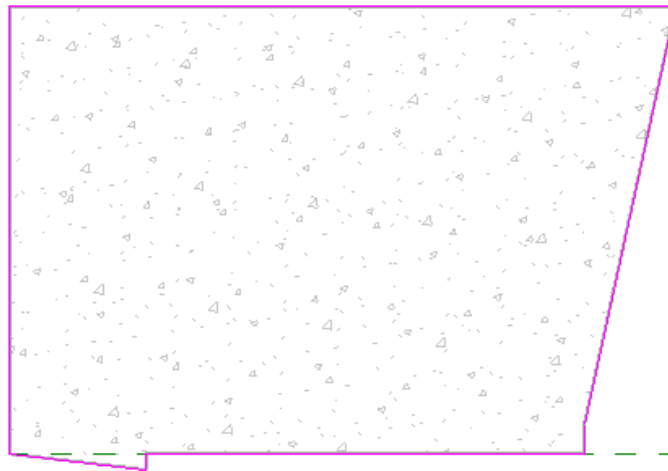


Figura 5.29 – Profilo del tratto inferiore del muro d'ala lato Bellinzona



Figura 5.30 – Profilo del tratto superiore del muro d'ala lato Bellinzona

Il risultato finale che si ottiene è il seguente.

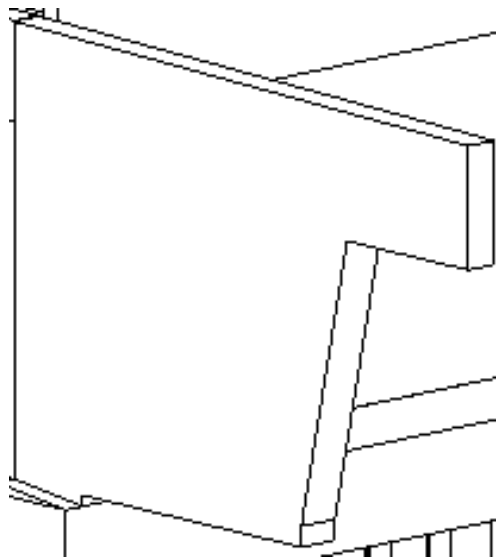


Figura 5.31 – Profilo del tratto superiore del muro d’ala lato Bellinzona

5.2.5. Trave tirante

Tra i due muri d’ala della spalla lato Locarno si è reso necessario, in fase di progettazione, l’inserimento di una trave tirante che contribuisca a sopportare la spinta del terreno di riempimento. È una normale trave in calcestruzzo armato rettangolare che va posizionata dove il muro d’ala passa dallo spessore di 60cm a quello di 45cm.

La trave tirante tra i due muri d’ala è stata modellata partendo da una trave strutturale di calcestruzzo armato rettangolare. È stato duplicato il tipo, rinominandolo “trave tirante” e sono state modificate le dimensioni della sezione, andando a indicare le dimensioni effettive ricavate dai disegni in Autocad.

Parametro	Valore
Strutturale	
Forma sezione	Non definito
Dimensioni	
b	1.5000
h	0.6500
Dati identità	
Chiave nome sezione	
Codice assieme	
Nota chiave	
Modello	
Produttore	
Commenti sul tipo	
Immagine tipo	
URL	
Descrizione	
Resistenza al fuoco	
Costo	
Descrizione assieme	
Contrassegno tipo	

Qual è l'azione di queste proprietà?

Anteprima >> OK Annulla Applica

Figura 5.32 – Proprietà della trave tirante

La trave è stata posizionata tra i due muri d'ala assegnando gli opportuni offset dalle proprietà e verificando la corretta posizione usando viste diverse.

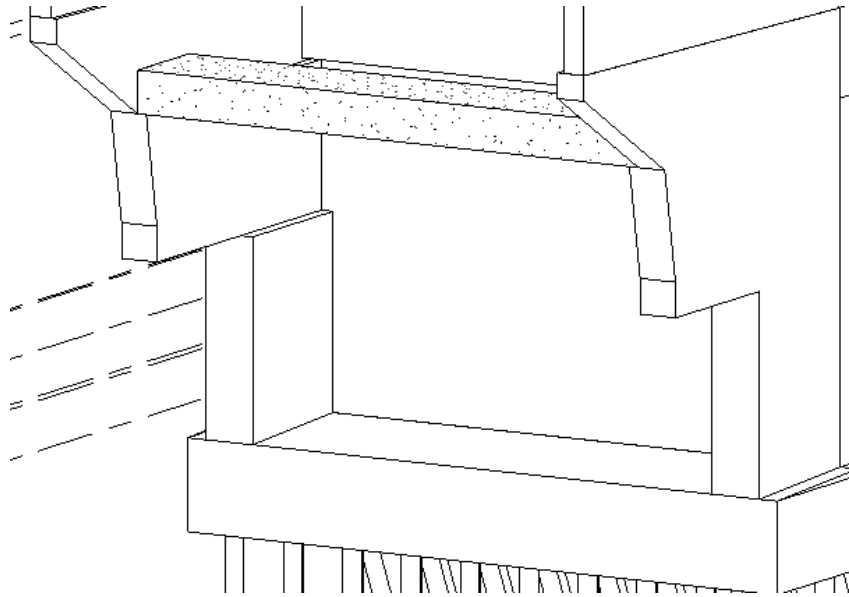


Figura 5.33 – Trave tirante inserita nel modello

5.2.6. Soletta di copertura

Sul lato Bellinzona, la stessa funzione svolta dalla trave tirante posizionata tra i muri d'ala della spalla lato Locarno, è svolta da una soletta di copertura di calcestruzzo armato a spessore variabile che è stata modellata all'interno della famiglia del "pavimento strutturale". Per creare la soletta di calcestruzzo armato a spessore variabile, è stato uno spessore variabile al materiale strutturale costituente l'elemento.

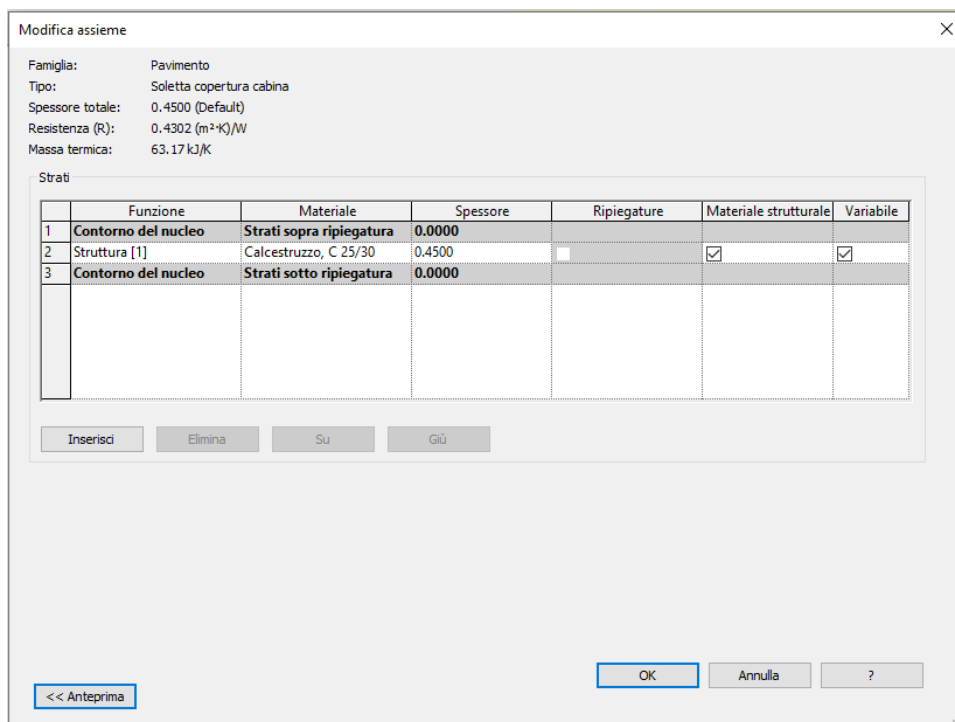


Figura 5.34 – Proprietà della soletta di copertura

La sezione corretta della soletta è stata ottenuta inserendo punti di manipolazione e linee di divisione al pavimento appena creato, elementi presenti all'interno del menù "modifica elementi secondari". È un comando relativo alla modifica degli elementi pavimento e permette di modificare le quote dei punti di manipolazione per ottenere la sezione dei pavimenti desiderata.

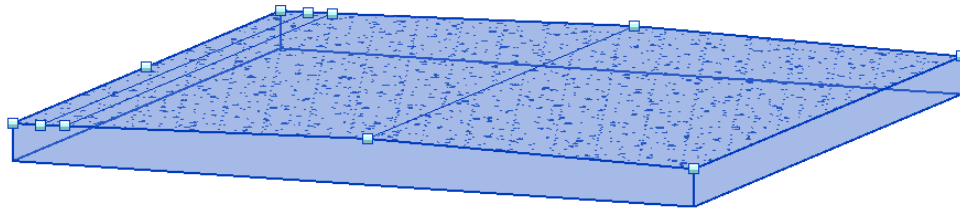


Figura 5.35 – Soletta di copertura con punti di manipolazione e linee di divisione

Per questo elemento si riesce ad ottenere esattamente la medesima sezione che è indicata nelle tavole di progetto.

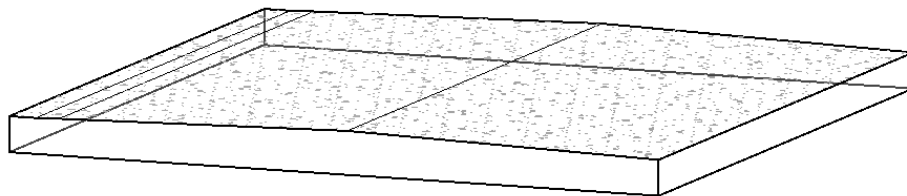


Figura 5.36 – Soletta di copertura

All'estremità esterna della soletta è stata posizionata una piccola platea di fondazione modellata proprio in tale categoria. Ha uno spessore di 50cm.

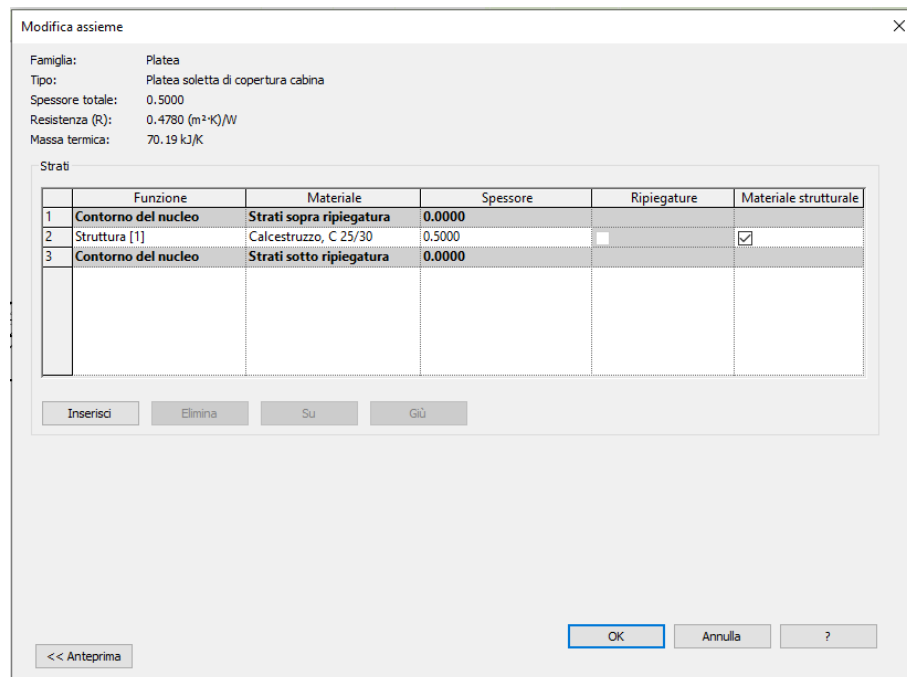


Figura 5.37 – Proprietà della platea di fondazione

Al di sotto di essa sono stati posizionati 15 micropali di lunghezza pari a 17m.

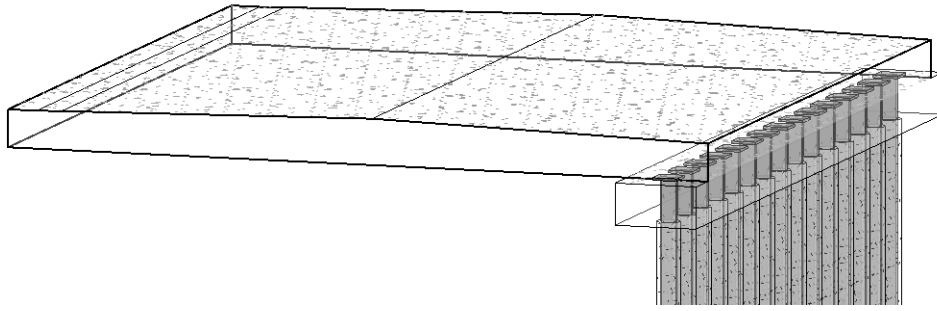


Figura 5.38 – Vista 3D della soletta con platea di fondazione e micropali di fondazione

Questo elemento, nel suo complesso, è corretto sia da un punto di vista semantico che da un punto di vista grafico.

5.2.7. Pila

La pila del ponte è un elemento in calcestruzzo armato composto da un fusto e da una doppia forcina ed è in continuità con le travi dell'impalcato. Visto il funzionamento strutturale dell'elemento, si è deciso di classificarlo all'interno della famiglia del “pilastro strutturale metrico”. Vista la geometria particolare dell'elemento, è stato creato un nuovo tipo di pilastro partendo dal “Family Templates” dei pilastri strutturali. Facendo in questo modo si ha accesso a una serie di comandi di modellazione che permettono la creazione di qualsiasi geometria. Per prima cosa è stato disegnato il prospetto della pila

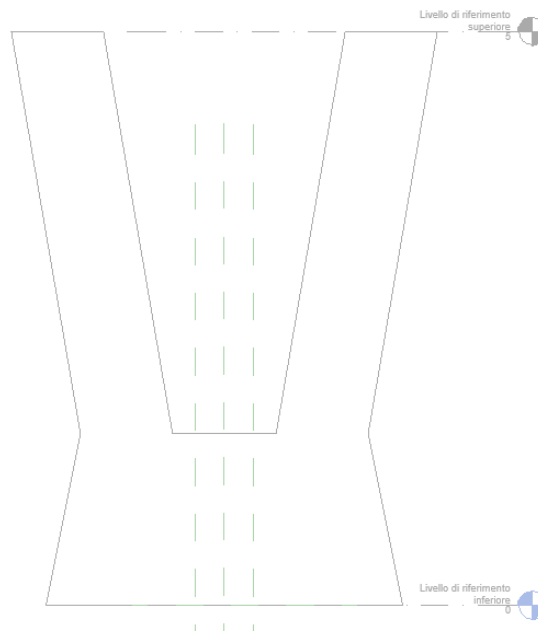


Figura 5.39 – Prospetto della pila

Con il comando “Estrusione” si crea lo spessore dell'elemento e, molto rapidamente, si ottiene l'oggetto rappresentativo della pila del ponte.

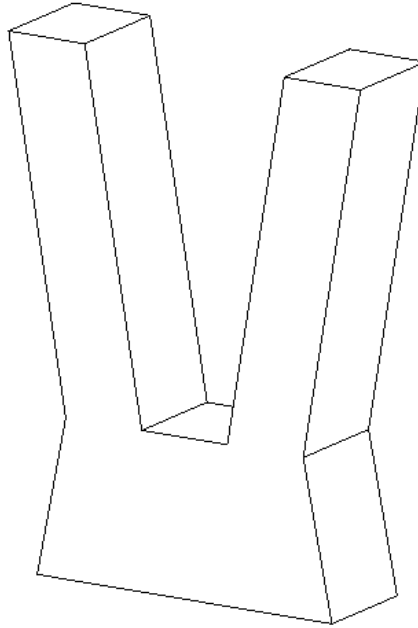


Figura 5.40 – Vista della pila in 3D

Per questo elemento non sono state riscontrate problematiche dal momento che esiste una categoria in cui può essere classificato correttamente da un punto di vista semantico. Questo è corretto basandosi sull'attuale stato dell'arte e pensando al funzionamento strutturale dell'elemento. Sicuramente quando verranno implementate dai software versioni più complete degli standard IFC con gli elementi per le infrastrutture, ci sarà una famiglia migliore in cui catalogare le pile dei ponti.

Una volta completata la modellazione geometrica dell'elemento è stato caricato all'interno del modello e posizionato mediante l'utilizzo delle griglie e dei livelli.

5.2.8. Appoggi

Gli appoggi su cui viene posizionato l'impalcato del ponte sono quattro elementi uguali ma molto complicati se si vogliono modellare in maniera precisa e dettagliata. È il motivo per cui le ditte produttrici solitamente forniscono i modelli dei loro appoggi già pronti, soprattutto dato che sono elementi prodotti in serie e sempre tutti uguali. È uno dei casi in cui è richiesta l'interoperabilità tra i software utilizzati dalle varie figure coinvolte nel progetto: è improbabile che le ditte che producono gli appoggi li modellino con Revit che sicuramente non si presta alla modellazione di elementi così ricchi di dettagli. È fondamentale, quindi, che tutti i modelli siano esportabili in un formato comune a tutti i software di BIM authoring.

È stato fatto il tentativo di contattare la ditta produttrice degli appoggi ma, purtroppo, non è ancora disponibile il modello BIM dell'appoggio previsto nel progetto del ponte.

La modellazione precisa ed esatta dei quattro appoggi esula sicuramente dallo scopo della presente tesi ma è importante avere comunque un oggetto che, in maniera semplificata, rappresenti gli appoggi per avere la quota esatta per il posizionamento delle travi e a cui si possano eventualmente associare alcune informazioni relative agli appoggi reali, come, per esempio, il costo. Per risolvere il problema è stato modellato un oggetto nella famiglia dei “modelli generici” che potesse rappresentare gli appoggi. Si è scelto di modellare in parallelepipedo con le medesime dimensioni degli appoggi e di collocarli nella posizione corretta.

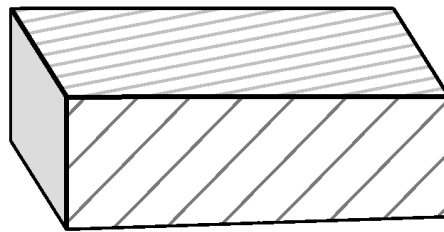


Figura 5.41 – Elemento rappresentativo degli appoggi

5.2.9. Travi

Le travi che sorreggono l'intero impalcato sono state modellate all'interno della categoria “Telaio strutturale metrico – travi e rinforzi”. Anche in questo caso la classificazione è corretta poiché quella selezionata è la famiglia in cui vengono modellate anche le travi degli edifici. Quando si lavora con più di una trave può essere utile l'impiego del “Sistema di travi”, nel caso specifico le travi sono solamente due e hanno anche la sezione specchiata una rispetto all'altra. Nella modellazione di questo ponte specifico, il sistema di travi può risultare particolarmente utile sia per dare alle travi la pendenza longitudinale corretta sia nel caso in cui si presenti la necessità di modificare la sezione della trave in futuro. Vista la geometria delle due travi e, soprattutto, per evitare fraintendimenti nel conteggio degli elementi, si è deciso di predisporre due sistemi di travi affiancati, ognuno con la rispettiva trave. Per prima cosa sono state modellate le due travi, entrambe nella famiglia del telaio strutturale metrico, in questa fase sono state create perfettamente orizzontali per maggiore semplicità. Le due viste di prospetto che sono state utilizzate per l'estrusione sono le seguenti.

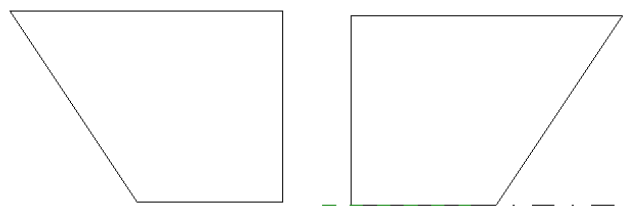


Figura 5.42 – Prospetti per estrusione delle travi

Ora che le geometrie delle travi sono pronte, si possono posizionare i due sistemi di travi. Per prima cosa è necessario impostare il piano di lavoro. È stato scelto un piano di lavoro inclinato con una pendenza del 2.59% così da creare la pendenza dell'impalcato. In questo modo, una volta che è stato definito il contorno dei due sistemi di travi in una delle piante strutturali, questi si dispongono in automatico lungo il piano di lavoro impostato. Come regola di layout è stato impostato “numero predefinito” e come valore è stato inserito 1.

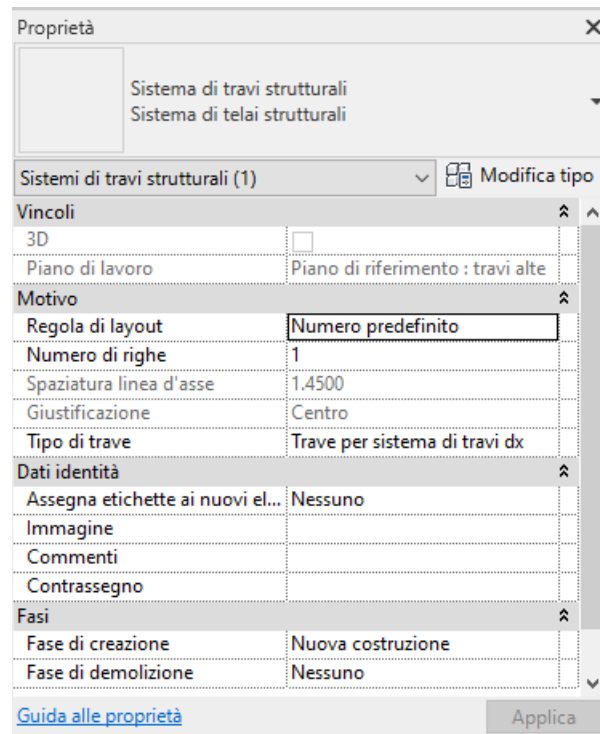


Figura 5.43 – Impostazioni del sistema di travi

Creati i due sistemi di travi, ognuno caratterizzato dalla sua famiglia di trave, si ottiene un perfetto posizionamento degli elementi sia per quanto riguarda la pendenza che il punto di inizio e di fine.

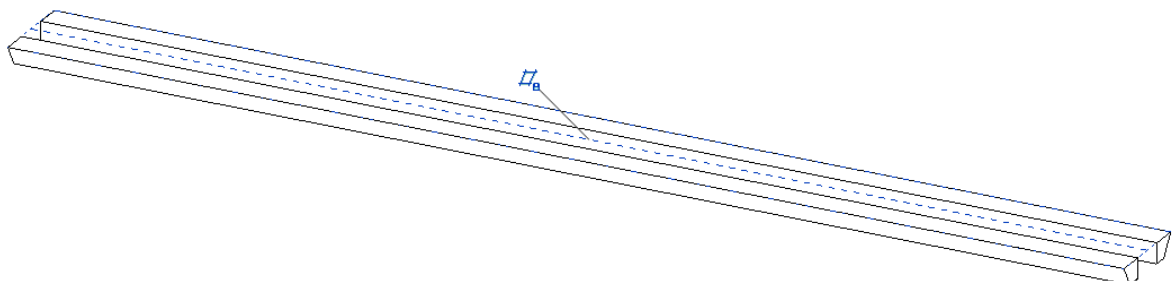


Figura 5.44 – Sistemi di travi in 3D

Utilizzando questa funzione, nel caso in cui si presenti la necessità di modificare la sezione delle travi sarà sufficiente modificare il tipo di trave dall'editor delle famiglie, senza doversi preoccupare di mantenere la posizione corretta nel modello.

5.2.10. Traversi

I cinque traversi sono stati modellati nella stessa famiglia delle travi, ovvero come “Telaio strutturale metrico – travi e rinforzi”. I due traversi di testata hanno dimensioni diverse rispetto a quelli di campata, quindi, sono stati creati due tipi diversi di trave. È evidente che sarebbe preferibile assegnarli a una categoria più specifica o comunque più idonea ma, attualmente, non esiste niente del genere. Anche per questi elementi si ricorre all’utilizzo del sistema di travi. In questo caso risulta particolarmente utile, non solo per dare la pendenza ai traversi ma anche per posizionarli alla giusta distanza uno dall’altro.

5.2.10.1. *Traversi di testata*

I due traversi di testata sono quelli di dimensioni maggiori e anch’essi seguono la pendenza longitudinale del ponte. Sono stati modellati nella famiglia delle travi come parallelepipedi perfettamente orizzontali, verranno inclinati durante il posizionamento tramite piano di lavoro del sistema di travi. Il piano di lavoro di quest’ultimo ha la stessa pendenza di quello delle travi e, per il caso specifico, viene impostato un numero predefiniti di travi pari a due.

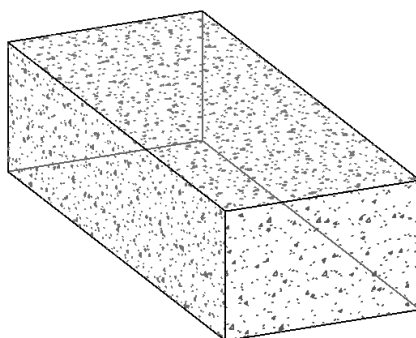


Figura 5.45 – Traverso di testata

5.2.10.2. *Traversi di campata*

I traversi di testata sono leggermente più piccoli e comprendono anche il traverso di pila quindi in questo caso, nelle impostazioni del sistema di travi il numero di elementi predefiniti è pari a tre ma tutto quanto il resto rimane invariato. La modellazione è identica a quella dei traversi di testata.

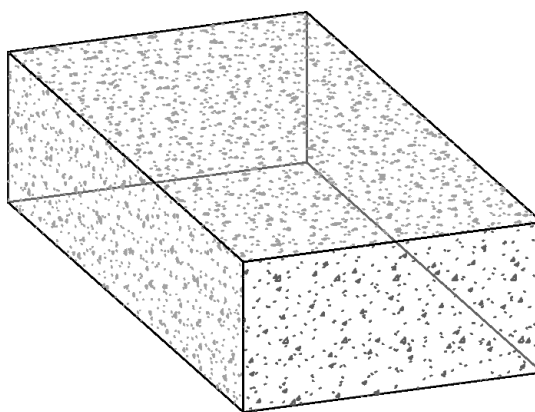


Figura 5.46 – Traverso di campata

I tipi di traversi modellati sono stati caricati nei due sistemi di travi sovrapposti che erano stati impostati. Così facendo si ottiene un posizionamento esatto degli elementi come si vede nella Figura sottostante.

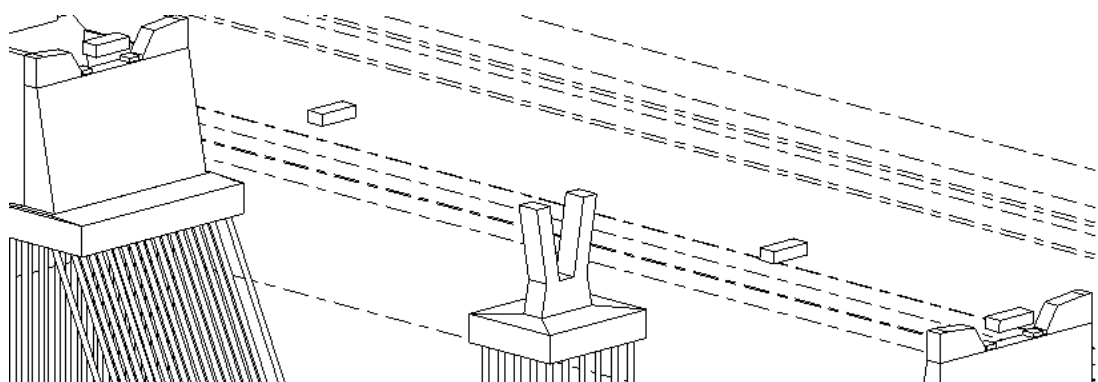


Figura 5.47 – Posizionamento dei traversi

5.2.11. Soletta dell'impalcato e pavimentazione stradale

La sezione della soletta ha una larghezza variabile lungo il tracciato del ponte. Questo è dovuto al fatto che, tra le spalle, la soletta si restringe leggermente; la riduzione di larghezza è più significativa in corrispondenza del collegamento dell'impalcato del ponte con il posteggio dell'edificio adiacente. Per rappresentare con le dimensioni corrette la soletta in calcestruzzo armato è necessario creare elementi diversi perché non è possibile, senza quanto meno l'ausilio di Dynamo realizzare un pavimento che abbia sia la pianta che la sezione con dimensioni variabili.

Visto l'attuale stato dell'arte, che non comprende categorie specifiche per gli elementi che costituiscono le infrastrutture, la famiglia più idonea per la modellazione della soletta, del marciapiede e della pavimentazione è il pavimento strutturale. Le altre possibilità potrebbero essere l'utilizzo delle masse locali, che possono essere usate per creare pavimenti e pareti strutturali, e i componenti locali.

5.2.11.1. Soletta strutturale

Il primo elemento da modellare è la soletta in calcestruzzo armato dell'impalcato, la cui sezione generica è quella che viene mostrata nella Figura seguente.

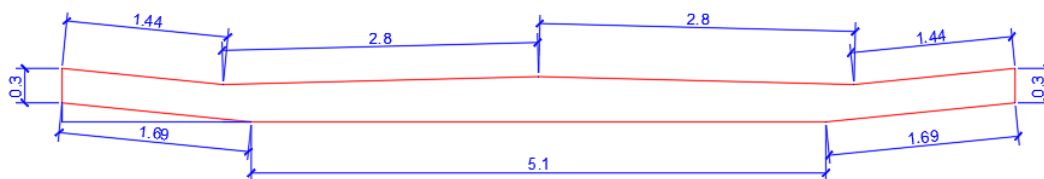


Figura 5.48 – Sezione tipo della soletta

Il primo tentativo di modellazione è stato fatto con la famiglia dei pavimenti strutturali. Revit, però, non consente di impostare una freccia di inclinazione, per la pendenza longitudinale, e allo stesso tempo impostare anche una pendenza trasversale facendo variare lo spessore di uno strato della pavimentazione. Inoltre, quando il pavimento ha lo spessore variabile non si possono sollevare degli spigoli rispetto al piano orizzontale come è necessario fare in questo caso. In conclusione, Revit impone dei vincoli geometrici sulla modellazione del pavimento che impediscono di assegnare la soletta alla famiglia semantica più adeguata ed è necessario utilizzare un'altra soluzione. La più corretta da un punto di vista semantico sarebbe quella di intervenire con Dynamo per eliminare i vincoli geometrici del pavimento strutturale.

Il secondo tentativo è stato fatto con la modellazione delle masse locali che sono caratterizzate da numerosi strumenti per la modellazione che permettono la creazione di qualsiasi forma. Partendo dalle masse locali è possibile, poi, ottenere dei pavimenti strutturali con geometrie anche molto articolate in pianta ma una volta che sono stati creati si ritorna a lavorare con le medesime possibilità di manipolazione che si hanno per i pavimenti strutturali di base. Per la sezione trasversale rimangono, dunque, i vincoli geometrici con cui ci si è scontrati in precedenza. Anche questa possibilità è scartata ed è stato necessario ripiegare sul componente locale da associare alla categoria del pavimento.

È stato disegnato il profilo della sezione e con il comando di unione è stato creato l'elemento rappresentativo della soletta di calcestruzzo armato.



Figura 5.49 – Profilo della sezione tipo della soletta

Lo stesso elemento è stato collocato quattro volte lungo il tracciato del ponte con profondità diverse e sono state leggermente modificate le dimensioni per avere i cambi di sezione già descritti in precedenza.

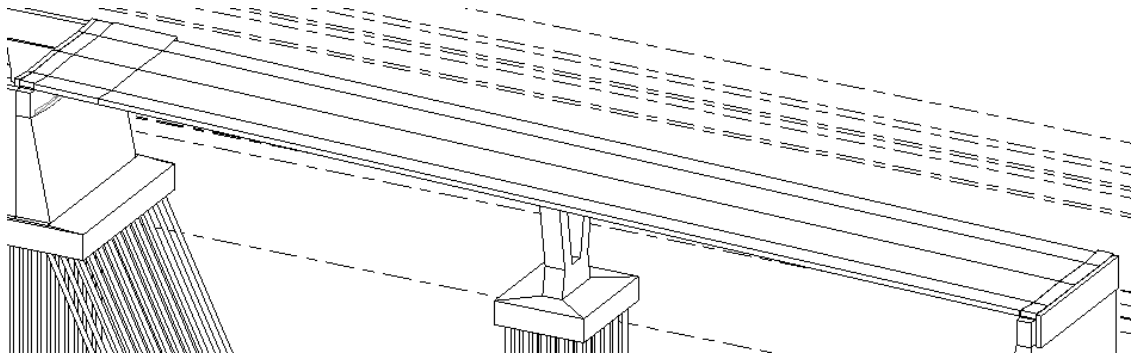


Figura 5.50 – Vista 3D della soletta

5.2.11.2. Pavimentazione stradale e marciapiedi

Sono tutti elementi classificati come componenti locali e assegnati alla categoria dei pavimenti. Il primo elemento modellato è uno strato di malta polimerica che sostiene il cordolo del marciapiede. Questo elemento è unico lungo tutto l'impalcato.



Figura 5.51 – Profilo dello strato di malta polimerica

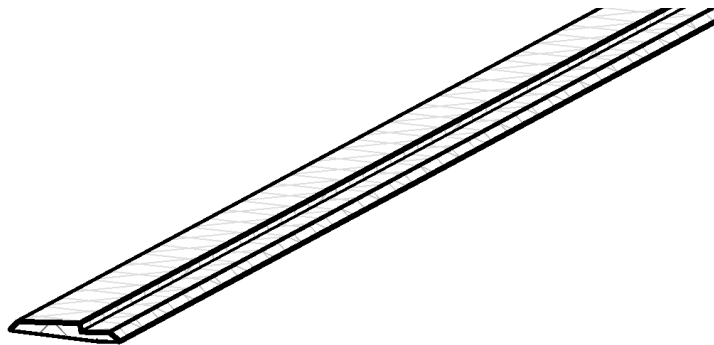


Figura 5.52 – Strato di malta polimerica

Anche il cordolo è un componente locale con il seguente profilo

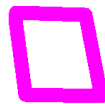


Figura 5.53 – Profilo per cordolo del marciapiede

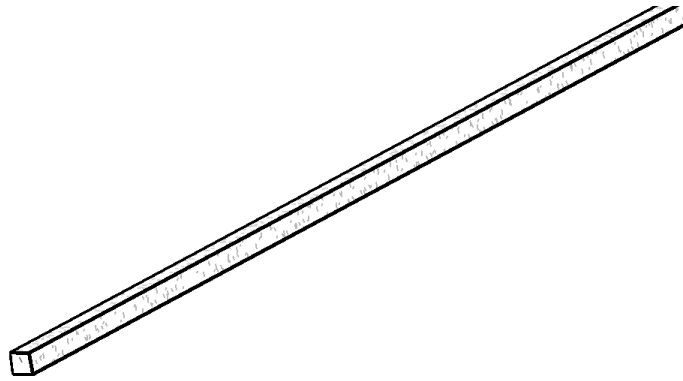


Figura 5.54 – Cordolo del marciapiede

Non si è presentata la necessità di dividere in più elementi il cordolo dato che l'ampiezza della carreggiata è costante lungo tutto l'impalcato.

A questo punto è stato possibile modellare i due strati della pavimentazione stradale. Il primo elemento è lo strato di base della pavimentazione stradale, anch'esso è un unico elemento a sezione costante.



Figura 5.55 – Profilo dello strato di base

L'elemento assume la seguente forma

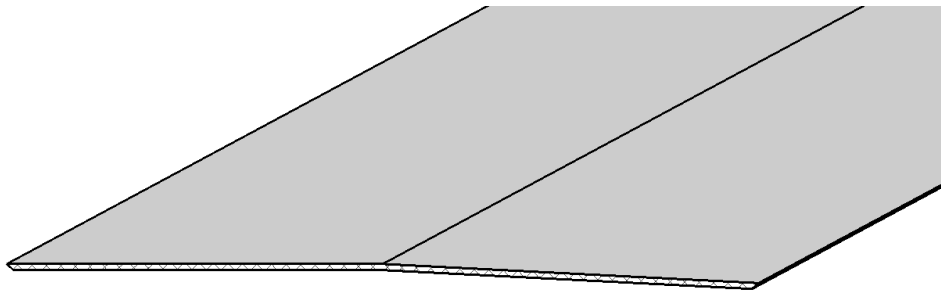


Figura 5.56 – Strato di base

Si conclude la modellazione della carreggiata con lo strato di usura. Il profilo usato per l'unione è il seguente



Figura 5.57 – Profilo per lo strato di usura

Si ottiene l'elemento mostrato sotto

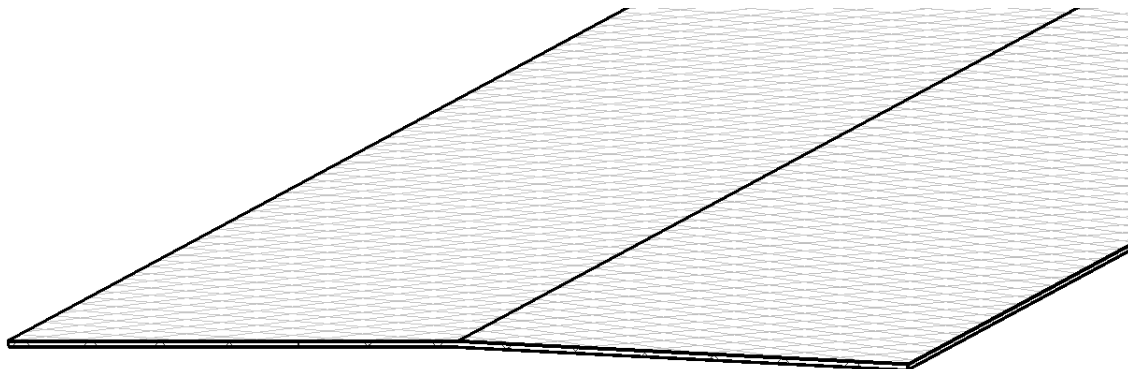


Figura 5.58 – Strato di usura

Per concludere la modellazione della strada mancano ancora i due strati del marciapiede, ovvero il massetto e le lastre di pietra. Qui è necessario creare elementi di dimensioni diverse per seguire l'andamento del muro redirettivo e la diversa ampiezza del marciapiede sul lato in cui è presente l'edificio. Gli elementi sono stati modellati, anche in questo caso, come componenti locali classificati come pavimenti e sono stati posizionati su un lato e poi copiati apportando le dovute modifiche sull'altro lato. Di seguito vengono mostrati solo i profili tipo e gli elementi corrispondenti.



Figura 5.59 – Profilo per il massetto

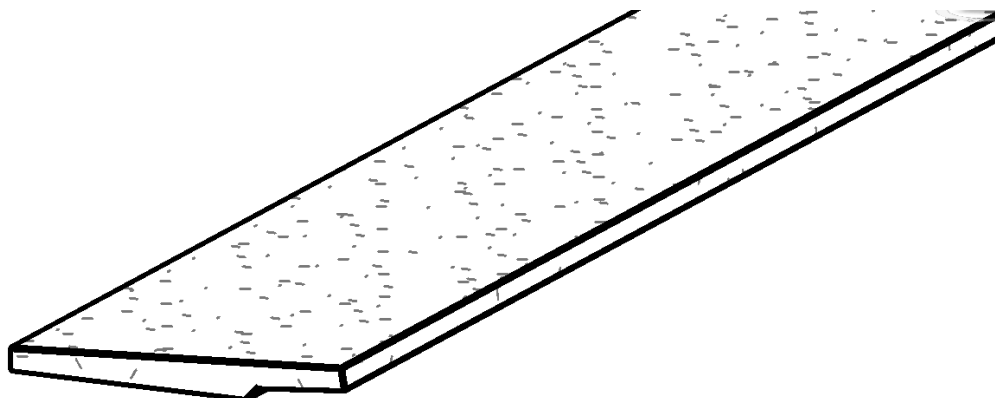


Figura 5.60 – Strato di usura



Figura 5.61 – Profilo per lo strato di lastre di pietra

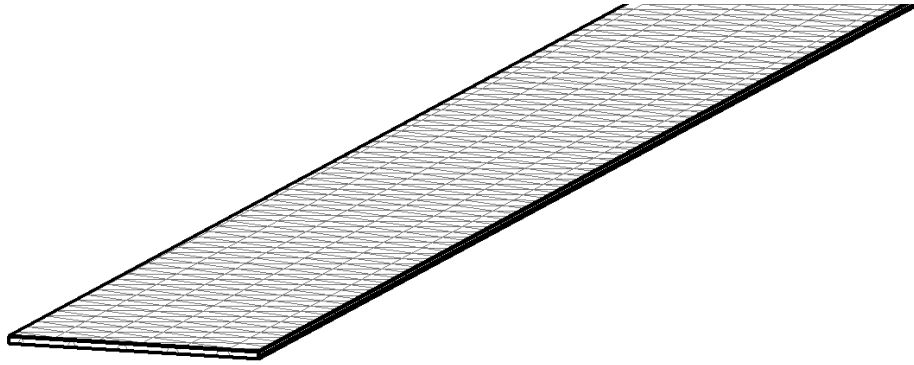


Figura 5.62 – Strato di lastre di pietra

Il risultato che si ottiene complessivamente è quello mostrato nella Figura sotto ed è perfettamente coerente con quello che è disegnato su Autocad.

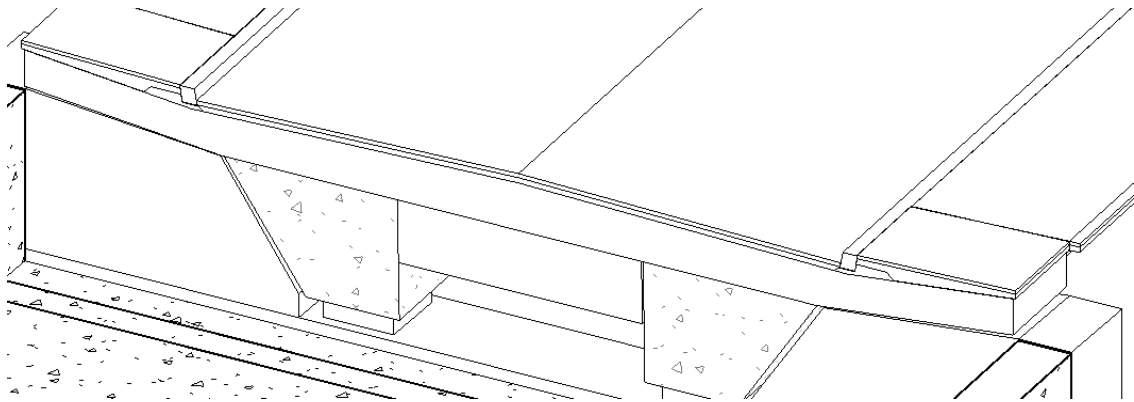


Figura 5.63 – Vista 3D della pavimentazione stradale

5.2.12. Cavi per la post tensione della trave e teste di ancoraggio dei cavi

Non sono state individuate delle famiglie che possano essere adeguate per i cavi per la post – tensione delle travi dell’impalcato. L’elemento che verrà modellato non potrà, quindi, essere corretto semanticamente ma sarà comunque utile avere un elemento rappresentativo delle guaine contenenti i cavi per capire l’ingombro all’interno della trave ed eventuali interferenze con altri elementi. Si è deciso di creare un solido di sottrazione per creare lo spazio all’interno della trave per poter posizionare al suo interno un altro solido rappresentativo della guaina.

Per creare il solido di sottrazione è stata copiata la famiglia della trave dell’impalcato e per prima cosa è stata inclinata con la stessa pendenza longitudinale del ponte per avere già gli elementi con la corretta inclinazione. Nella famiglia dei profili metrici è stato creato un profilo circolare di diametro pari a 15.7cm, ovvero il diametro esterno della guaina. Il profilo è stato caricato nella famiglia della trave in cui si vuole creare il vuoto. Successivamente è stato disegnato il percorso su cui creare l’estrusione. Il percorso in questione è l’andamento esatto della guaina all’interno della trave, le misure sono state

prese dal disegno su Autocad e poi riportate su Revit. Il percorso appena creato rappresenta il baricentro della guaina. Una volta creata l'estrusione è stata cancellata la trave che aveva il semplice scopo di fungere da sistema di riferimento per disegnare il percorso.

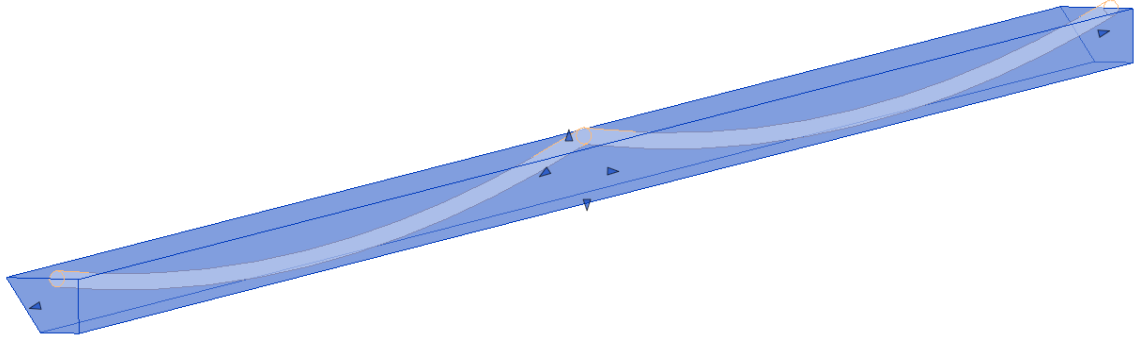


Figura 5.64 – Solido di sottrazione per la guaina

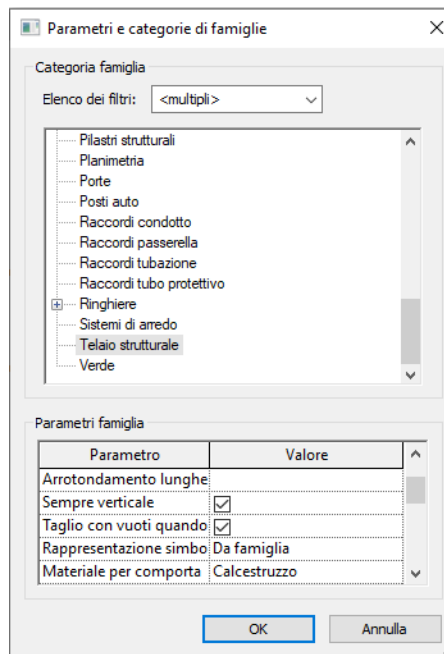


Figura 5.65 – Parametri per il solido di sottrazione per la guaina

La famiglia appena creata è stata caricata nel modello ed è stata posizionata all'interno delle travi. Tramite il comando "Taglia" è stato creato il vuoto effettivo all'interno della trave e della soletta, in corrispondenza degli appoggi e sulla pila, sottraendo così il volume del solido vuoto dalla trave. Il risultato che si ottiene è seguente

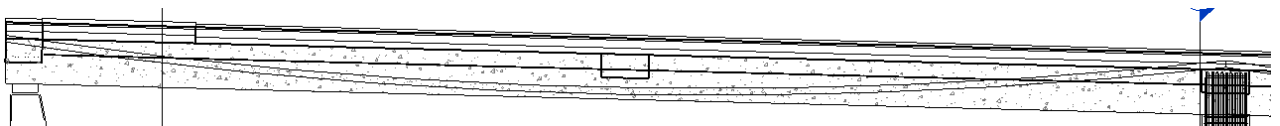


Figura 5.66 – Vista longitudinale del vuoto interno alla trave

È stato posizionato nuovamente il solido per creare anche tutti gli altri ingombri delle guaine all'interno delle due travi.

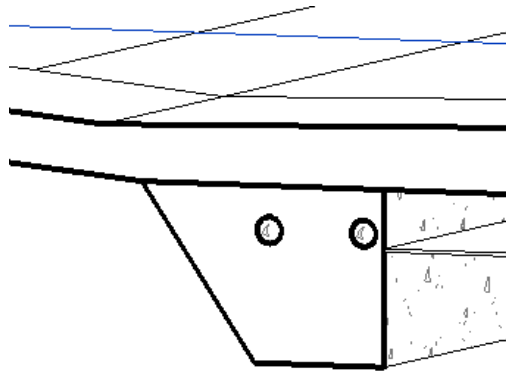


Figura 5.67 – Vista 3D degli ingombri

Lo step successivo prevede la modellazione di un solido cavo con sezione circolare rappresentativo della guaina in polipropilene. Si è deciso di partire dalla famiglia creata per il vuoto, in modo da mantenere la stessa sagoma che è stata assegnata al solido di sottrazione. Semanticamente questa soluzione non è corretta ma graficamente il risultato è molto buono e, dato che uno degli obiettivi è quello di ottenere degli elaborati grafici si è scelto di procedere con questa strada.

Il procedimento per la creazione del cilindro è sempre quello dell'estrusione su percorso appena utilizzata, è necessario però aggiungere un nuovo profilo che rappresenti il diametro interno del cilindro. Una volta completata la famiglia della guaina è stata caricata nel modello ed è stata posizionata in corrispondenza dei vuoti creati in precedenza.

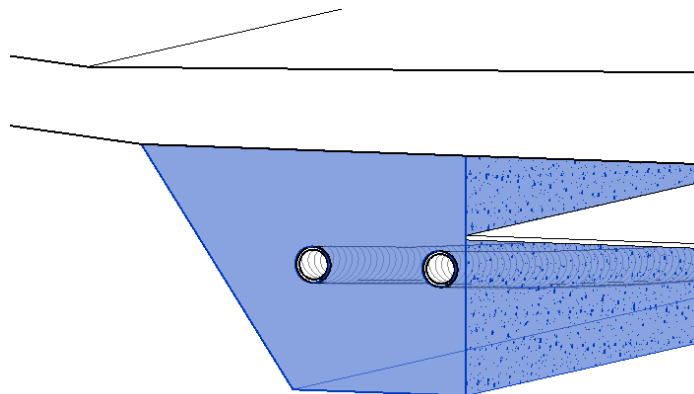


Figura 5.68 – Vista 3D della guaina all'interno della trave

Visto il procedimento abbastanza laborioso e l'impossibilità di modellare degli elementi corretti da un punto di semantico, non ha senso modellare anche i cavi per la post-tensione interni alle guaine. Sono elementi che comunque non creano problemi per le interferenze dato che sono interni alla guaina. Gli ultimi elementi che mancano sono le teste di ancoraggio dei cavi. Sono elementi piuttosto massicci che vanno posizionati in corrispondenza di tutti gli ancoraggi delle barre dell'armatura della trave. Inoltre,

andrebbero aggiunte anche le spirali di frettaggio attorno che, però, si è deciso di non rappresentare. Questi sono elementi che forniscono le ditte produttrici perché sono prodotti realizzati in serie e non sta al progettista disegnarli e modellarli. Dal momento che la ditta produttrice ha fornito il file .ifc delle teste di ancoraggio si è deciso di importarlo per aumentare il livello di dettaglio e le informazioni contenute nel modello. È stato posizionato e ruotato seguendo l'inclinazione della guaina appena modellata. Successivamente è stata modificata la famiglia della guaina accorciandola in modo che essa inizi esattamente dove finisce la testa di ancoraggio.

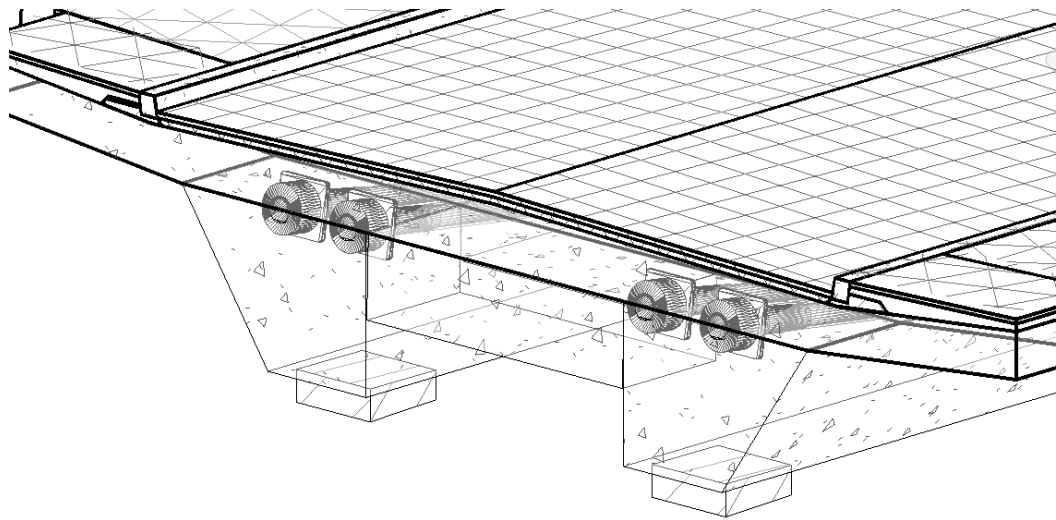


Figura 5.69 – Vista 3D delle teste di ancoraggio dei cavi

Procedendo in questo modo, tra la guaina e le teste di ancoraggio non si hanno sovrapposizioni e nell'ottica di realizzare un abaco dei materiali non vengono computati due volte determinati materiali.

5.2.13. Muro paraghiaia

Le travi del ponte arrivano sulle spalle e proseguono finendo in un risvolto della soletta, ovvero un muretto dello spessore di 30cm che ha la duplice funzione di muro paraghiaia e di elemento irrigidente per la soletta. La base del muro, chiaramente, si trova a una quota inferiore rispetto agli appoggi. In questo modo, il muro evita la caduta della terra oltre la spalla, nonostante la presenza di un piccolo spazio lasciato vuoto per lasciare libertà di movimento agli appoggi non c'è pericolo di risalita di terra o di infiltrazioni d'acqua. Questo elemento è stato classificato come “muro strutturale” e, per il muro dietro la spalla lato Locarno, è stata aggiunta un'estrusione che modella l'appoggio per la soletta di assestamento. Le proprietà del tipo sono le seguenti

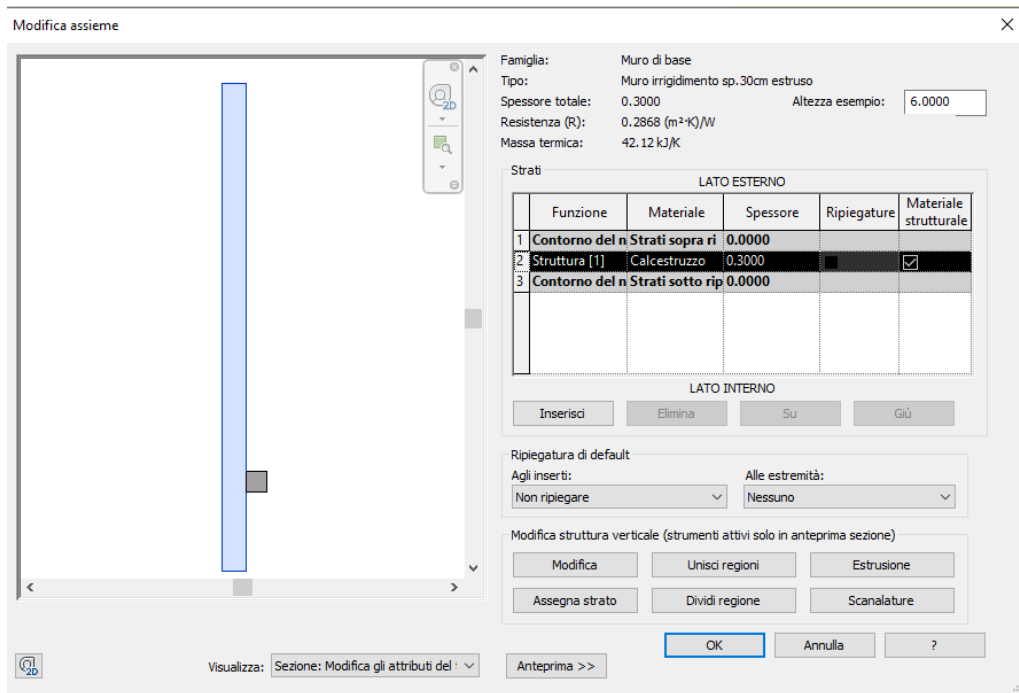


Figura 5.70 – Proprietà del tipo del muro di irrigidimento

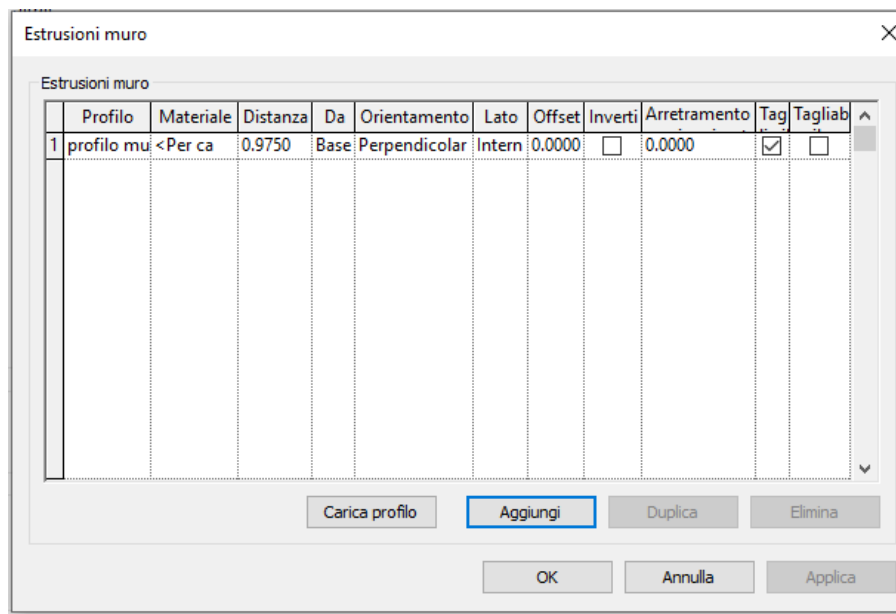


Figura 5.71 – Proprietà del tipo per l'estrusione del muro di irrigidimento

Il lato superiore del muro non è orizzontale ma segue l'andamento del profilo superiore della soletta, quindi, è stato necessario modificare il profilo del muro.

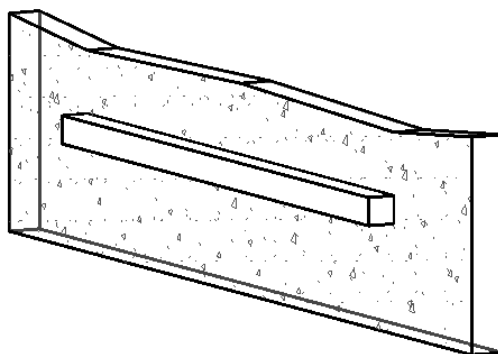


Figura 5.72 – Vista 3D del muro di irrigidimento lato Locarno

Per il lato Bellinzona, invece, non c'è la necessità di aggiungere l'estrusione dal momento che non c'è la soletta di assestamento.

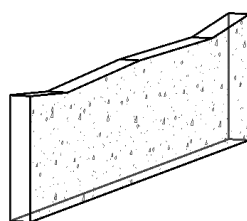


Figura 5.73 – Vista 3D del muro di irrigidimento lato Bellinzona

5.2.14. Muri redirettivi

Il muro redirettivo è il frutto di uno studio architettonico e chiaramente segue la pendenza longitudinale del ponte. È un elemento in calcestruzzo armato gettato in opera e ha due sezioni diverse sull'impalcato e sulle rampe di accesso al ponte. In corrispondenza dell'impalcato la sezione è più articolata, ha un incavo per l'illuminazione di terra per il marciapiede e in sommità è prevista l'aggiunta di una serie di piatti di acciaio che fungono da appoggio per i passanti desiderosi di osservare il panorama. Sul lato del ponte che si collega con il parcheggio dell'edificio adiacente c'è un'interruzione del muro redirettivo. Da un punto di vista semantico questi elementi dovrebbero essere modellati nella categoria dei muri. Sono stati fatti diversi tentativi per modellarli partendo da un muro in calcestruzzo a spessore costante a cui si aggiungono delle estrusioni rendendo, così, l'elemento corretto sotto tutti i punti di vista. Sono stati creati i profili metrici da inserire nelle estrusioni del muro per creare la sezione trasversale corretta del muro e il risultato è stato ottimo.



Figura 5.74 – Sezione del muro redirettivo realizzato con profili di estrusione

Purtroppo, però, le estrusioni collegate ai muri non seguono la pendenza del piano di lavoro su cui viene posizionato il muro; possono essere solo perfettamente orizzontali o perfettamente verticali. È stato, quindi, necessario ricorrere al componente locale. Si può concludere, dunque, che per questo elemento i problemi di modellazione sono esclusivamente legati ai vincoli geometrici legati al software.

5.2.14.1. Muro redirettivo dietro le spalle

Il muro redirettivo posizionato sulle rampe di accesso al ponte e fino alla fine delle spalle ha la sezione più semplice e per modellarlo dal menù “Struttura” è stato scelto il “Componente” e il “Modello locale”. Successivamente il componente che si sta modellando è stato assegnato alla categoria dei muri

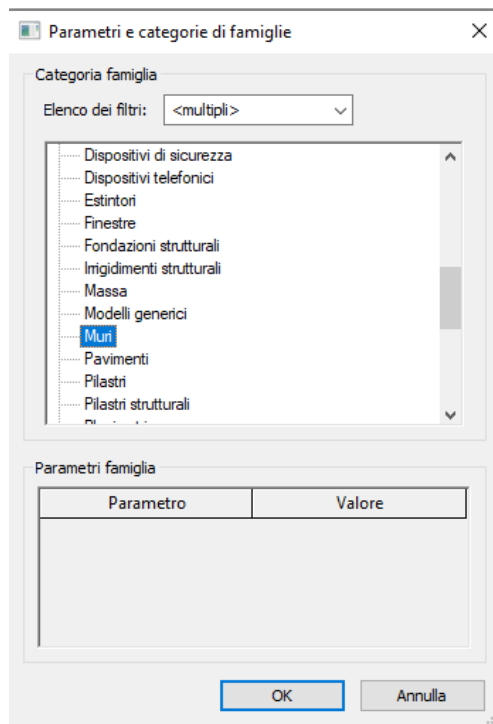


Figura 5.75 – Posizionamento dei traversi

Dal momento che il muro da realizzare è in pendenza si è scelto di creare il componente con il comando “Unione”. Sono stati disegnati i profili alle due estremità del muro e il software le ha collegate usando la profondità impostata.

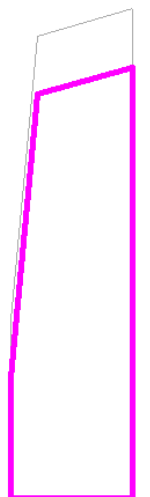


Figura 5.76 – Profilo per la modellazione del muro redirettivo sulle spalle

Si ottiene il seguente elemento

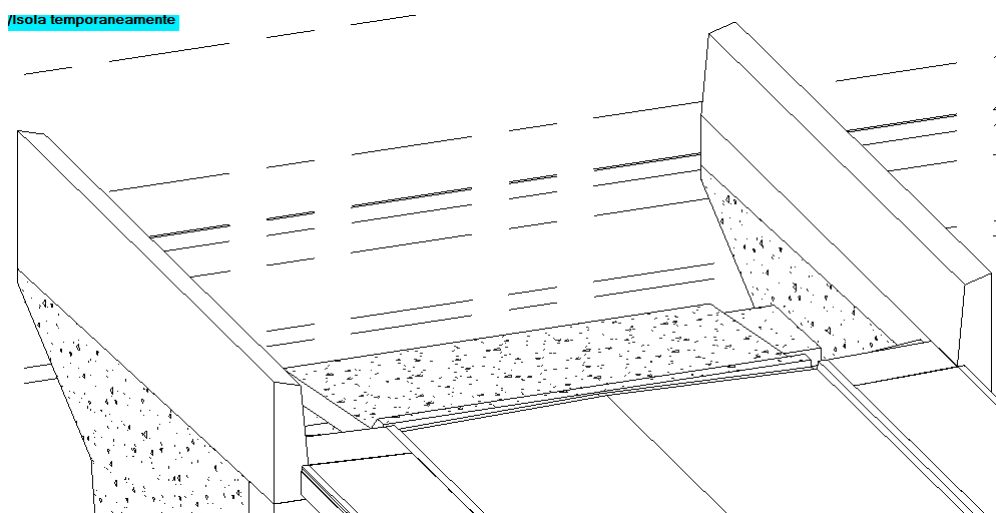


Figura 5.77 – Vista 3D del muro redirettivo dietro la spalla Locarno

Una volta che è stato creato l'elemento è stato posizionato anche sull'altro lato della stessa spalla e successivamente sulla spalla opposta, modificando, dove necessario, la lunghezza e la pendenza dell'elemento.

5.2.14.2. Muro redirettivo in corrispondenza dell'impalcato

Per realizzare il tratto di muro redirettivo sull'impalcato si devono creare due elementi diversi: uno per la parte in calcestruzzo armato e uno per la parte superiore in acciaio, entrambi sono dei componenti locali assegnati alla categoria dei muri.

Per modellare la parte in calcestruzzo armato è stata seguita la medesima procedura che è stata descritta in precedenza per il muro redirettivo. Il profilo usato per l'unione è il seguente

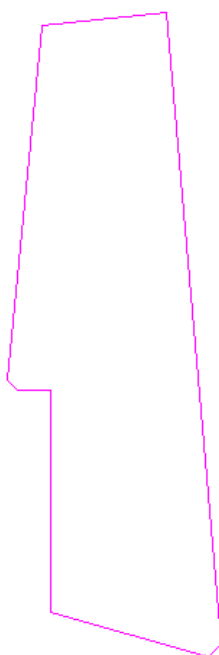


Figura 5.78 – Profilo per la modellazione del muro redirettivo sull'impalcato

Si ottiene il seguente elemento

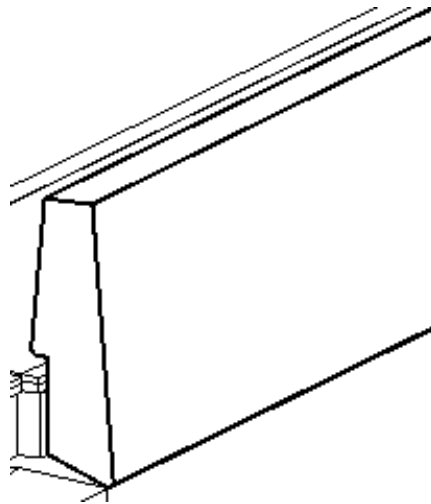


Figura 5.79 – Vista 3D del muro redirettivo sull'impalcato

Una volta che l'elemento appena modellato è stato collocato nelle varie posizioni si ottiene la vista riportata sotto

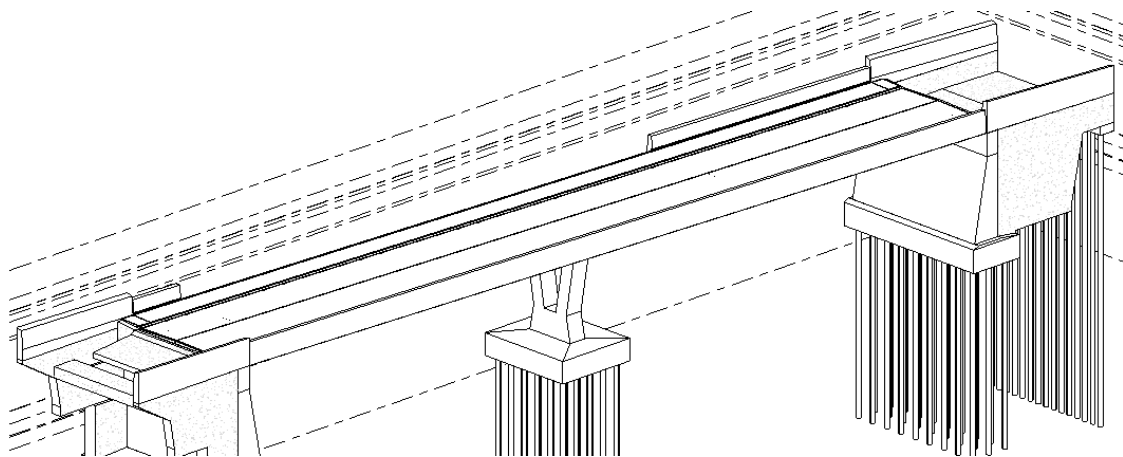


Figura 5.80 – Vista 3D del muro redirettivo completo

5.2.14.3. Elemento in acciaio

L'elemento sulla sommità del muro redirettivo verrà realizzata in acciaio, ha una sezione cava e ha uno spessore di 10mm. Per omogeneità con il resto dell'elemento, è stato realizzato come componente locale. Le dimensioni della sezione sono state dedotte dai disegni su Autocad. Il primo step è stata la modellazione di un elemento per unione di due profili.

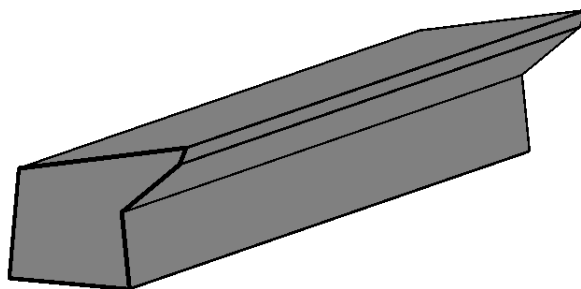


Figura 5.81 – Elemento in acciaio del muro redirettivo

Lavorando sempre all'interno dello stesso componente locale, è stato creato un solido di sottrazione, la cui sezione è stata realizzata facendo un offset di 10mm, ovvero lo spessore dell'elemento, verso l'interno del profilo disegnato prima. Così facendo si crea il vuoto all'interno dell'elemento di partenza.

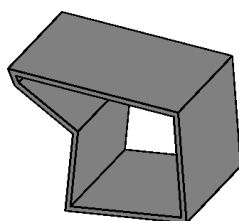


Figura 5.81 – Elemento in acciaio del muro redirettivo scavato internamente

L'elemento creato è stato posizionato, con lunghezze diverse in tutte le posizioni in cui è richiesto.

5.2.15. Soletta di assestamento

Per la realizzazione della soletta di assestamento dietro la spalla lato Locarno, sono stati impiegati tre tipi di pavimenti di spessori diversi. Il primo tratto è quello con uno spessore maggiore e per modellarlo correttamente sono stati aggiunti dei punti di manipolazione secondari.

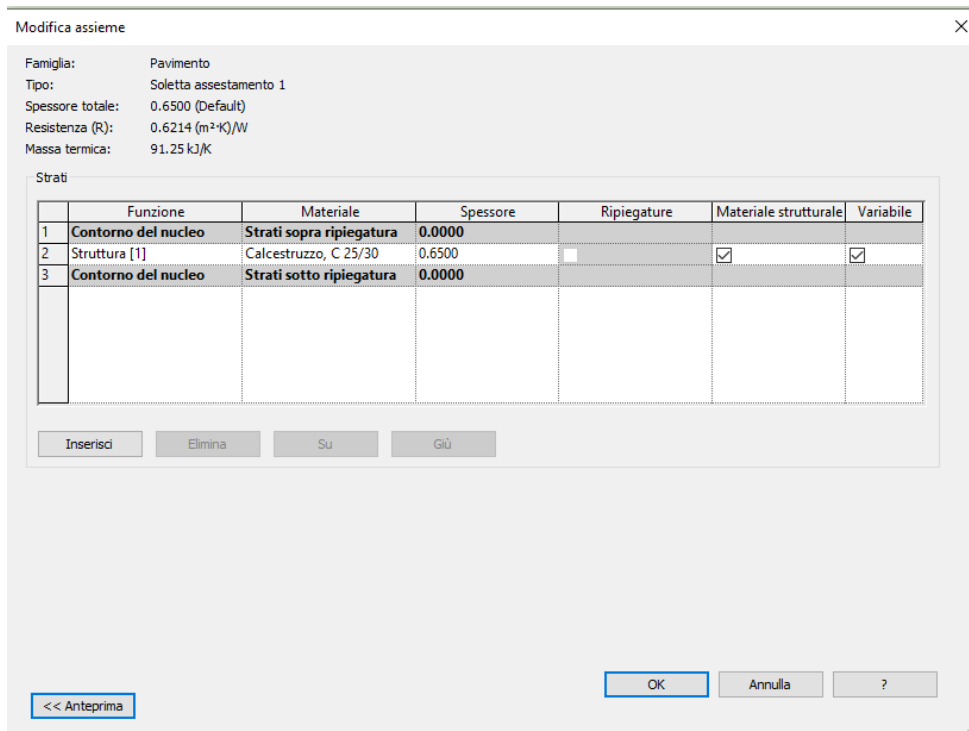


Figura 5.82 – Proprietà del primo tipo del pavimento per la soletta di assestamento

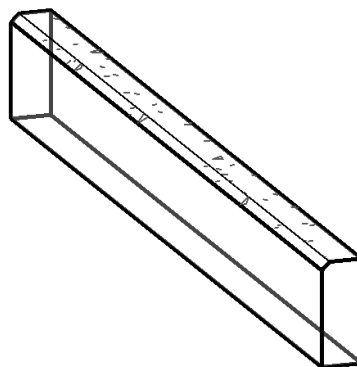


Figura 5.83 – Primo tratto della soletta di assestamento

Il secondo tratto ha caratteristiche diverse e ha bisogno anch'esso di uno spessore variabile

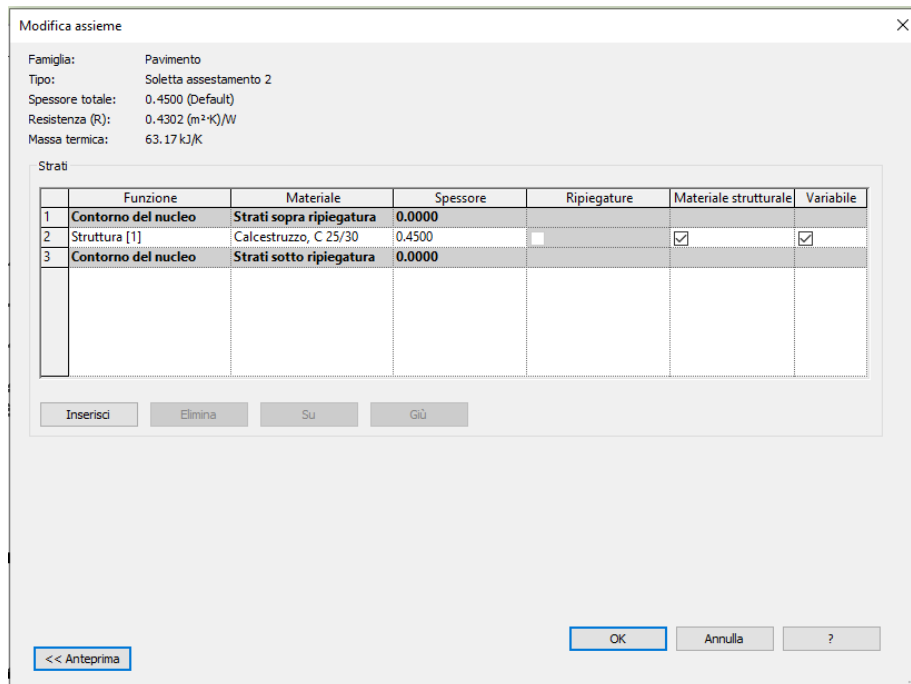


Figura 5.84 – Proprietà del secondo tipo del pavimento per la soletta di assestamento

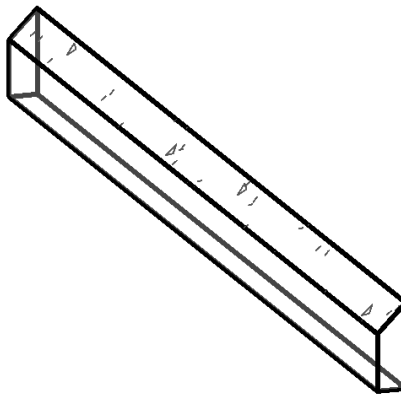


Figura 5.85 – Secondo tratto della soletta di assestamento

Infine, l'ultimo tratto ha le seguenti proprietà

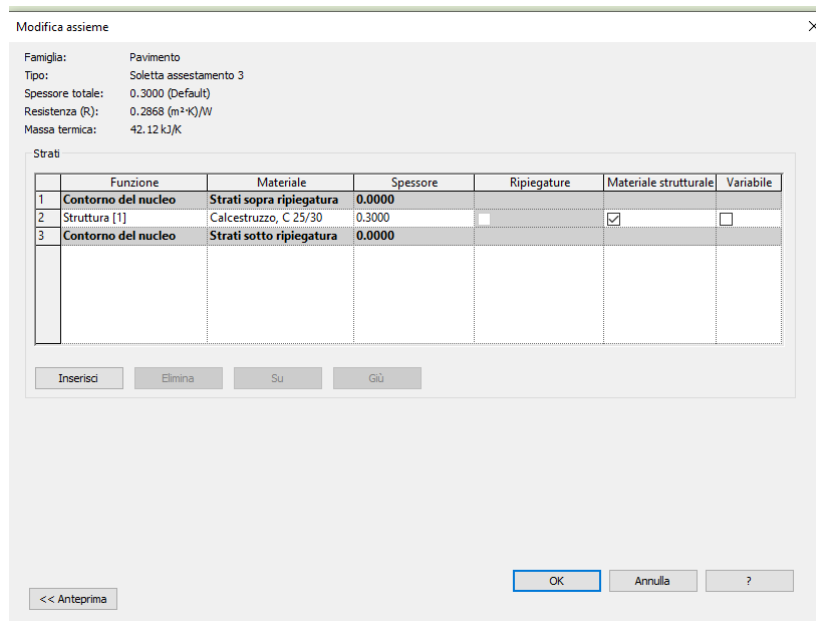


Figura 5.86 – Proprietà del terzo tipo del pavimento per la soletta di assestamento

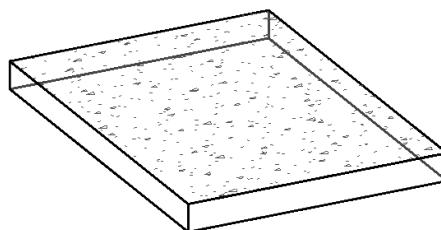


Figura 5.87 – Vista 3D del muro redirettivo completo

Il risultato complessivo che ottiene dall'unione dei tre elementi è il seguente

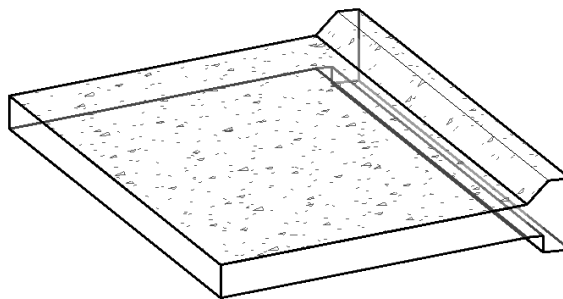


Figura 5.88 – Vista 3D del muro redirettivo completo

5.2.16. Carter metallico di copertura

Dal momento che il manufatto verrà realizzato in un ambiente fortemente urbano, è stata prestata una grande attenzione ai dettagli e all'aspetto estetico. In particolare, non è ammesso lasciare in vista impianti e qualsiasi tipo di infrastruttura. È stata, quindi, prevista la presenza di un carter metallico di copertura che nasconde la fascia delle infrastrutture. Per modellarla su Revit, dal menù "Acciaio", è stato scelto il comando piastra e sono stati disegnati i perimetri delle piastre da posizionare tra i traversi.

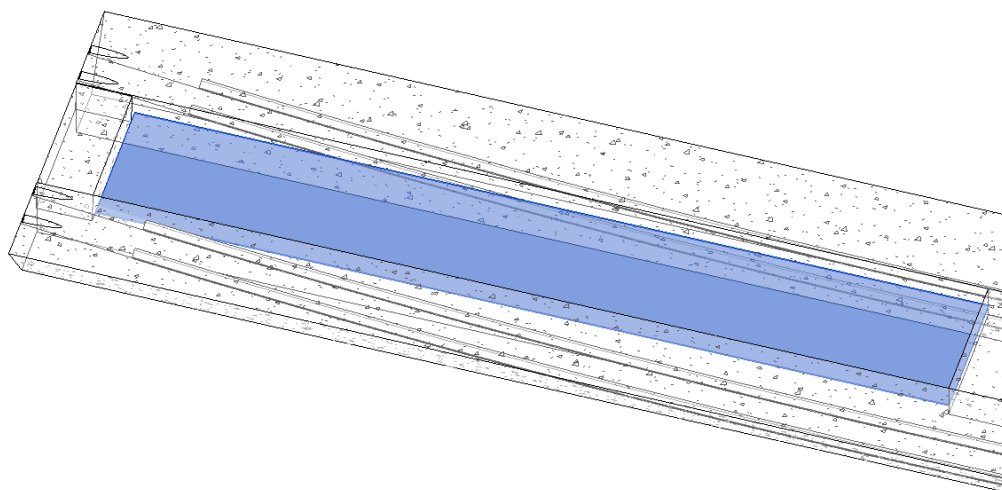


Figura 5.89 – Vista 3D del carter metallico di copertura

5.3. Assegnazione del materiale

Applicare un processo BIM ad un manufatto significa creare dei modelli completi di tutte le informazioni di cui si dispone affinché possano essere aggiornate con regolarità man mano che si prosegue con la progettazione per consentire a tutte le figure professionali che partecipano al progetto di avere sempre un quadro aggiornato dell'avanzamento dei lavori.

Il modello realizzato fino ad ora permette di avere una visione di insieme di tutti gli elementi costruttivi del ponte Remorino ma le informazioni inserite sono esclusivamente legate alla loro geometria. Si è, dunque, deciso di aggiungere tutte le informazioni legate ai materiali di cui sono costituiti gli elementi. L'obiettivo è quello di creare un database contenente tutte le proprietà degli elementi del ponte.

I micropali di fondazione sono costituiti da malta cementizia CEM I 52.5 e Acciaio S355. Nelle librerie di Revit sono caricati molti materiali, tra cui l'acciaio S355 quindi è sufficiente entrare all'interno dell'editor delle famiglie e assegnare il materiale al tubo e alla piastra superiore. È stato modificato il "motivo superficie" in modo da rendere il modello più chiaro ed esplicativo possibile. Per la malta cementizia è necessario creare un nuovo materiale a cui si possono assegnare tutte le caratteristiche del materiale.

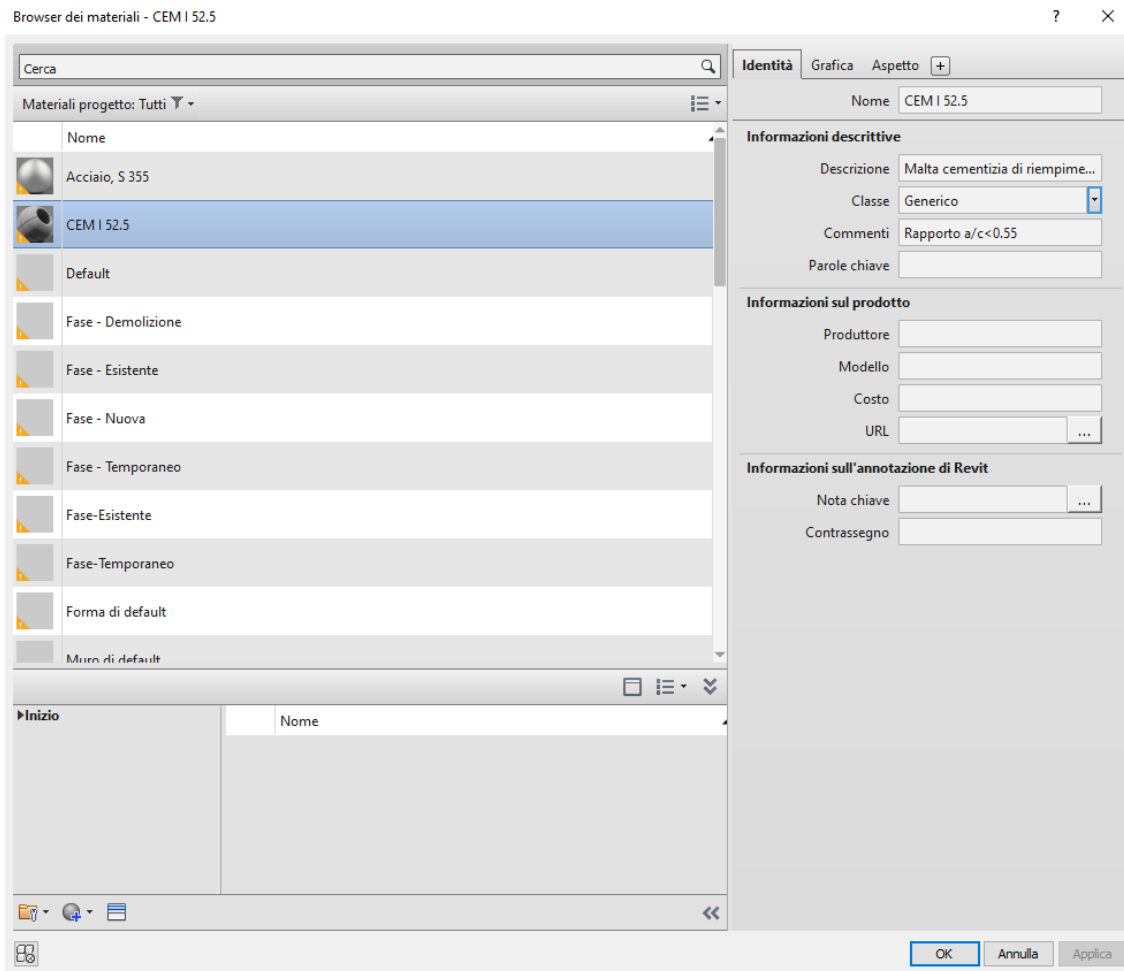


Figura 5.90 - Caratteristiche del materiale “CEM I 52.5” per micropali

Il risultato finale per i micropali di fondazione è il seguente

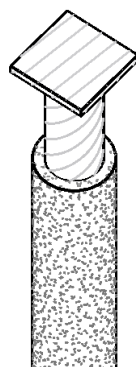


Figura 5.91 - Micropalo con i materiali corretti

Le platee di fondazione delle due spalle, le spalle, i muri d’ala, i muri d’irrigidimento, la trave tirante, la soletta di assestamento e la soletta di copertura saranno realizzate in calcestruzzo C25/30, un materiale già caricato di cui è stato modificato solamente il motivo della superficie. Lo stesso vale per il calcestruzzo C30/37 che va assegnato alla platea di fondazione della pila, alla pila e ai muri redirettivi. Le travi, la soletta strutturale

e tutti i traversi sono realizzati in calcestruzzo C35/45 a cui è stato assegnato lo stesso retino degli altri materiale calcestruzzo.

La pavimentazione stradale è costituita da due diversi materiali sovrapposti, lo strato di base è realizzato con un materiale bituminoso indicato con la sigla MA 16 H; lo strato di usura è anch'esso di materiale bituminoso indicato con la sigla MA 11 H. Il cordolo, il massetto e la pavimentazione del marciapiede, ovvero le lastre di pietra, sono tutti materiali che vanno creati da zero perché non sono contenuti nelle librerie Revit. Lo stesso vale anche per la malta polimerica e il polipropilene per le guaine contenenti i cavi per la post – tensione. L'acciaio per le barre di armature è da creare anch'esso: è un acciaio B500B.

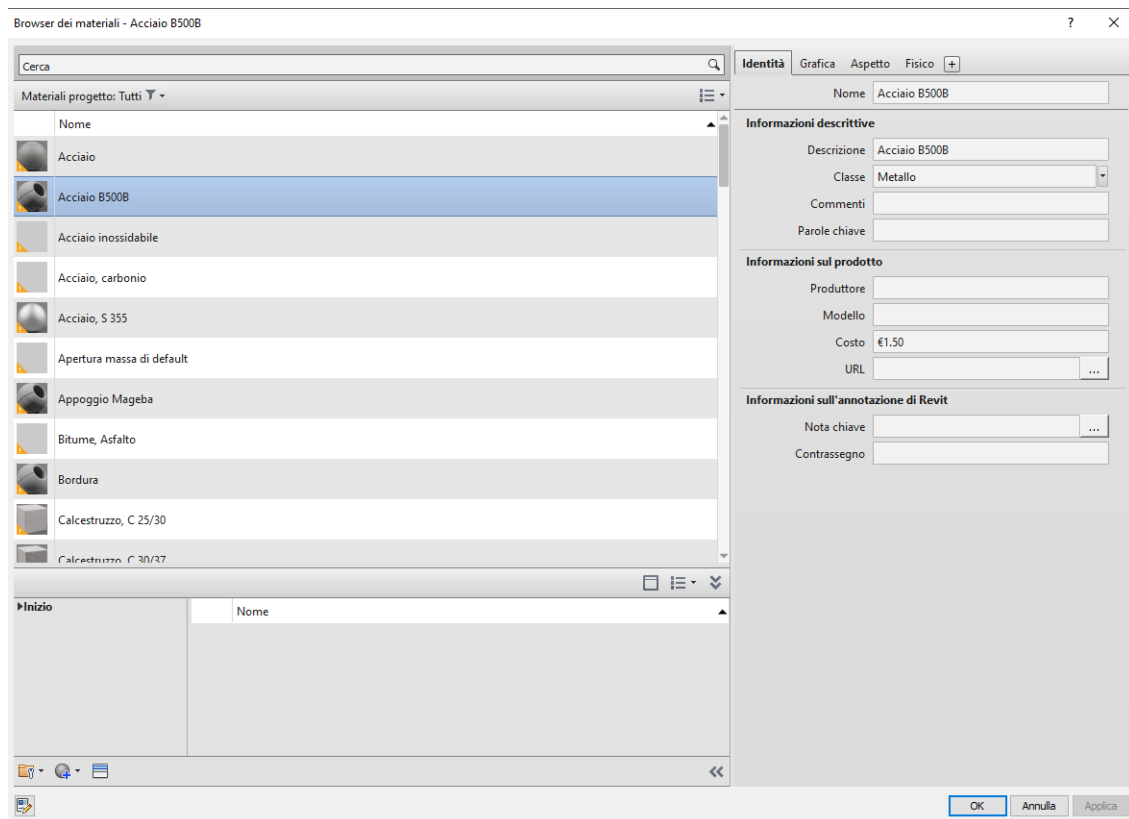


Figura 5.92 – Acciaio B500B

A questi materiali, oltre alle caratteristiche fisiche e meccaniche, si può assegnare un generico costo anche se non è possibile specificare l'unità di misura (€/m^3 , €/m^2 , €/kg ,...) che potrà risultare utile nel momento in cui verranno ricavati gli abachi per il computo dei materiali. Inoltre, è necessario ricordare che nella descrizione del materiale va specificato il nome che si vuole nelle annotazioni.

5.4. Inserimento del copriferro

Un'altra informazione fondamentale in un progetto strutturale è il valore del copriferro per ogni elemento. In questo caso è particolarmente significativo perché uno dei prossimi step sarà l'inserimento delle armature in alcuni elementi ritenuti particolarmente significativi. Dal momento che alla definizione del copriferro concorrono diversi fattori, tra cui la classe di resistenza e la classe di esposizione del calcestruzzo, solitamente si utilizzano dei valori approssimati validi per più elementi. Nel progetto del manufatto oggetto della tesi, è previsto l'impiego di tre classi di resistenza del calcestruzzo, il C25/30, il C30/37 e il C35/45. Le possibili classi di esposizione per ogni elemento sono diverse e solitamente, per semplificare e per evitare possibili errori in cantiere, si utilizzano solo un paio di valori di copriferro. Nel caso specifico è stato scelto un copriferro generale di 55mm valido per tutti gli elementi, ad esclusione delle spalle e delle loro platee di fondazione per le quali è sufficiente assegnare un copriferro di 45mm. In Revit è possibile impostare diversi valori del copriferro da assegnare agli elementi. Per farlo è sufficiente andare, dal menù "Struttura", nella voce "Rinforzo" e, infine, selezionare copriferro.

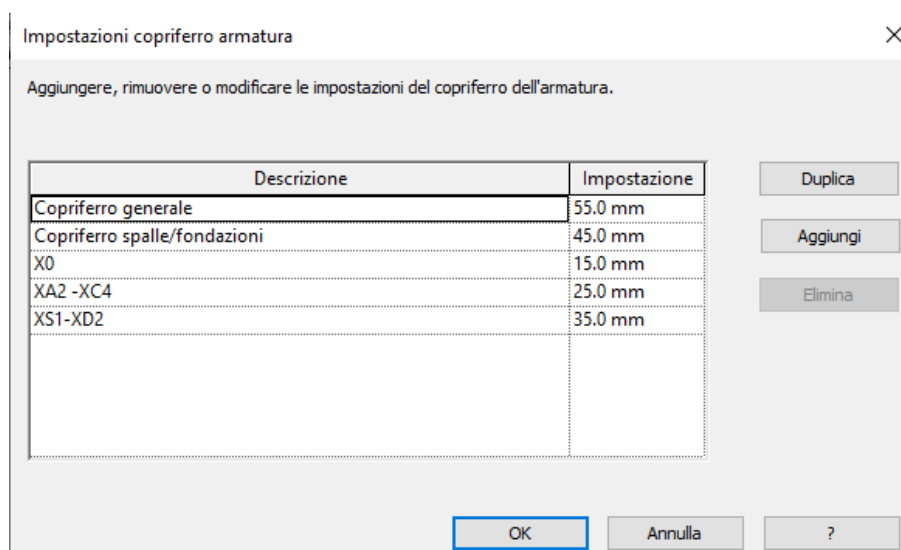


Figura 5.93 – Impostazione del copriferro

I valori impostati in questo modo possono essere assegnati ai vari elementi tramite le proprietà degli oggetti

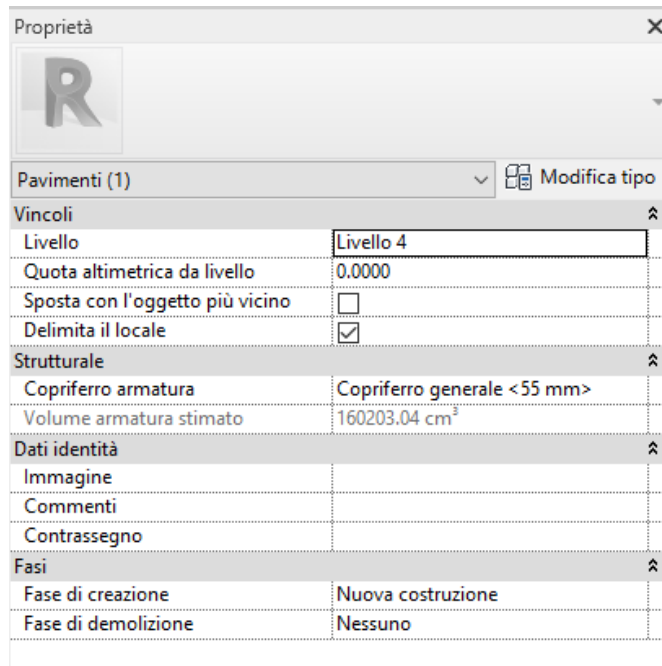


Figura 5.94 – Assegnazione del copriferro agli elementi

5.5. Controllo delle interferenze

Revit ha implementato uno strumento che consente il controllo delle interferenze tra i diversi elementi che compongono, principalmente, due modelli diversi collegati tra di loro. Lo stesso strumento può essere usato anche per verificare le interferenze tra elementi dello stesso modello. Lo strumento è nel menù “Collabora”, “Controllo interferenze”. È stato usato sul modello ottenuto fino ad ora per vedere quale può essere il risultato ottenibile.

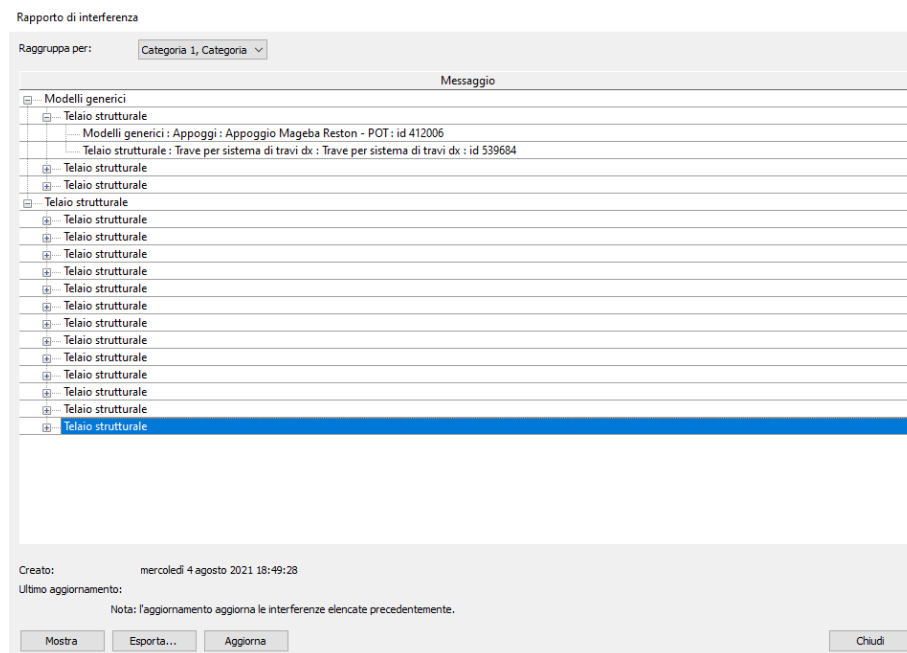


Figura 5.95 – Verifica delle interferenze tra elementi

La maggior parte delle interferenze trovate sono relative alle guaine dei cavi per la post tensione collocati all'interno delle travi. Non sono, dunque, interferenze da correggere o comunque da considerare come tali dal momento che le guaine sono state posizionate appositamente in quel punto.

5.6. Osservazioni

Per come è stata impostata la modellazione degli elementi geometrici, si può sicuramente affermare che, nel caso in cui sia richiesta, da parte di qualche figura professionale coinvolta nella progettazione, una modifica alla geometria, essa può essere applicata rapidamente e il modello si aggiorna in automatico. Questo vale sia da un punto di vista grafico delle viste che per quanto riguarda eventuali abachi delle quantità o dei materiali. È sufficiente aprire la famiglia da modificare nell'editor delle famiglie e cambiare il profilo usato per creare la geometria dell'elemento. È facilmente intuibile che più è articolata la geometria e più il processo è complicato ma il tempo richiesto è piuttosto ridotto. Questo fattore è di particolare utilità nelle prime fasi di progettazione quando le geometrie degli elementi non sono ancora definitive e le modifiche sono all'ordine del giorno.

È evidente che mancano molte famiglie necessarie per creare un progetto semanticamente corretto, per molti elementi si possono trovare delle alternative valide come è successo per la pila, le spalle, i muri d'ala e le due solette, quella di assestamento e quella di copertura. Per altri elementi, tra cui i micropali di fondazione, gli appoggi e le guaine contenenti i cavi per la post – tensioni, non sono presenti famiglie idonee, quindi, è stato deciso di utilizzare una delle famiglie più generiche tra quelle presenti nella libreria di Revit. Queste complicazioni non sono imputabili alla scelta del software, ma sono tutte legate all'assenza di uno standard IFC approvato e implementato dai software esteso ai ponti e, in generale, alle infrastrutture.

L'unico elemento che non è stato possibile modellare con una famiglia adeguata a causa dei vincoli geometrici imposti da Revit è la soletta dell'impalcato e di conseguenza anche tutti gli strati sovrastanti, quindi la pavimentazione stradale e i marciapiedi. Questo ostacolo sarebbe stato superabile facendo ricorso all'uso di Dynamo ma per la sperimentazione della tesi si era scelto di non avvalersi di tale opzione.

Si può, dunque, concludere che Revit, nonostante l'interfaccia chiaramente indirizzata all'edilizia, è perfettamente in grado di gestire anche geometrie tipiche delle infrastrutture, purché esse non siano troppo complicate.

Sarebbe stato molto utile avere uno strumento che fosse in grado di considerare anche le barre di armatura nel controllo delle interferenze. In un progetto come quello in esame le interferenze più significative, più complicate da individuare manualmente e da risolvere sono quelle tra le barre di armatura e i cavi per la post – tensione e le loro teste di ancoraggio come si vedrà nel prossimo capitolo. Inoltre, questo è uno studio da fare prima di arrivare in cantiere perché per risolvere queste interferenze non è sufficiente spostare una barra di qualche centimetro durante la posa in opera.

Lo strumento presente è, in ogni caso, molto utile perché ha permesso la correzione delle interferenze tra gli elementi presenti all'interno del modello. Sono state, ovviamente, escluse da questo processo le interferenze tra le travi e le guaine in polipropilene per i cavi.

6. Armatura degli elementi strutturali

Una parte fondamentale del processo di gestione informativa BIM per il progetto del ponte Remorino è costituita dall'inserimento dell'armatura. Dato che uno degli obiettivi della presente tesi è ottenere degli elaborati spendibili in cantiere, è fondamentale collocare le armature per avere le viste di dettaglio complete.

Autodesk mette a disposizione un'estensione gratuita, CADs Rebar, che consente di armare alcuni elementi standard, tra cui travi, pilastri, fondazioni e muri, in maniera automatica. È sufficiente specificare alcuni parametri per il posizionamento delle barre e esse vengono posizionate. Ovviamente le barre che vengono posizionate hanno delle forme standard e per completare e migliorare il lavoro è necessario intervenire manualmente. Il limite principale di questo strumento consiste nel fatto che esso riconosce solamente gli elementi che appartengono alle famiglie di sistema e non riesce a posizionare nessun tipo di armatura negli oggetti che sono stati modellati nell'editor delle famiglie perché non vengono riconosciuti dal plug-in.

Per prima cosa, dai documenti di progetto che sono stati forniti, sono stati individuati tutti i diametri delle barre utilizzate e sono stati creati dei tipi di barre di armature di tutti i diametri necessari a cui è stato assegnato, come materiale, l'acciaio B500B che era stato creato in precedenza.

Il fatto di aver assegnato a tutti gli oggetti il copriferro risulta molto utile in questa fase dato che, quando si entra nel comando delle armature, nella sezione da armare compare una linea tratteggiata che rappresenta il copriferro impostato per l'elemento e aiuta nel collocamento delle armature.

6.1. Armatura delle platee di fondazione

I primi elementi che sono stati armati sono state le platee di fondazione della spalla lato Locarno e quella della pila. Un primo tentativo di armatura è stato fatto con l'estensione CADs Rebar scegliendo l'opzione "Automatic Generation", così facendo si ottiene un'armatura assolutamente generica che addirittura fuoriesce dall'elemento e che, quindi, andrebbe modificata completamente. Si è, dunque, preferito procedere manualmente, almeno per quanto riguarda questi elementi.

6.1.1. Platea di fondazione della spalla lato Locarno

L'armatura dell'elemento è costituita da una doppia orditura di ferri perpendicolari tra di loro che vanno posizionati sia all'intradosso che all'estradosso della platea. La geometria dell'elemento non è regolare e la sommità dell'elemento presenta due facce inclinate che

comportano dimensioni diverse delle barre di armatura. Un ulteriore fattore che complica il posizionamento delle barre è dato dal fatto che la parte terminale dei micropali termina all'interno della platea di fondazione, quindi, bisogna prestare attenzione ad evitare il tubo e la piastra di acciaio quando si vanno a collocare i ferri. Questo vale anche per le altre platee di fondazione.

Revit prevede l'inserimento di un "Gruppo di armature" che può essere impostato secondo diverse regole di layout: può essere definito il numero di barre oppure la loro spaziatura. All'interno dello stesso gruppo di armature le barre devono avere tutte la stessa forma e il passo deve essere costante. Questo rende impossibile usare il gruppo di armature per le platee di fondazione, quindi, sono state collocate le barre singolarmente, modificando ogni volta le dimensioni delle barre seguendo la forma della sezione della platea.

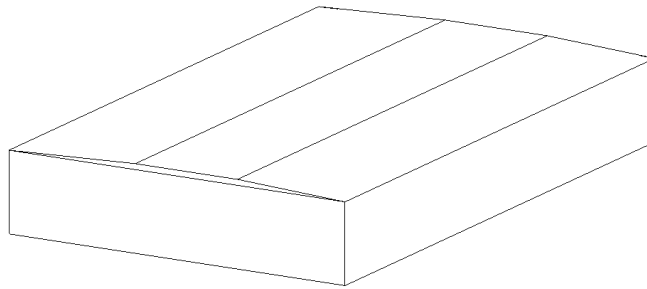


Figura 6.1 – Geometria della spalla Locarno in cui vanno inserite le armature

Si è deciso di posizionare le barre all'intradosso e all'estradosso prima in una direzione e poi nell'altra per cercare ottimizzare il processo. All'intradosso, in entrambe le direzioni, vanno posizionati dei $\phi 30/150$, mentre all'estradosso servono dei $\phi 20/200$. Le barre all'intradosso hanno ovunque le medesime dimensioni, invece quelle all'estradosso seguono la geometria della platea. Si ottiene la seguente armatura

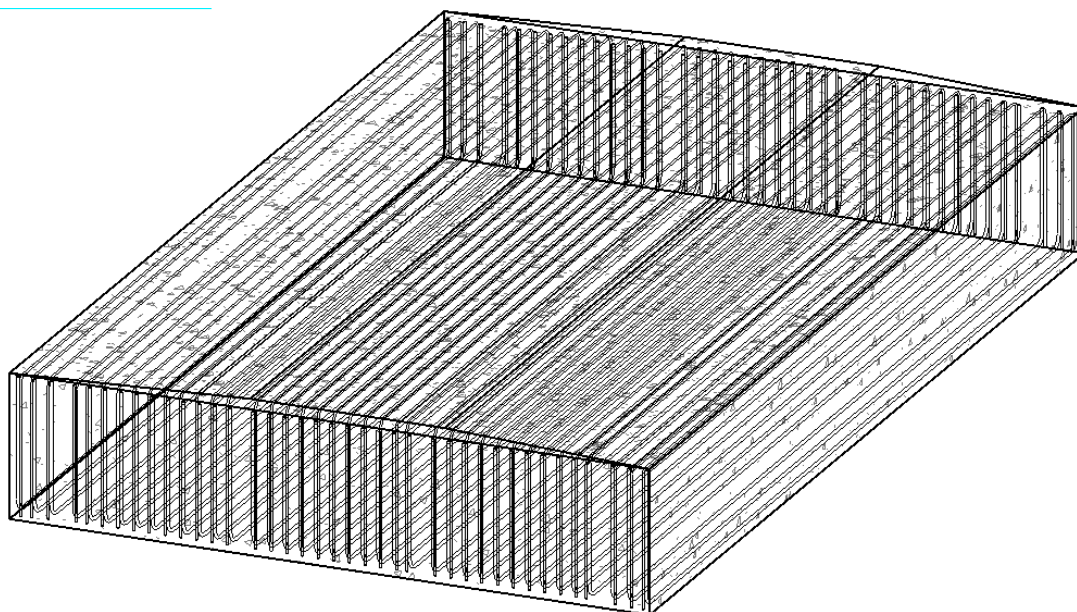


Figura 6.2 – Armature della platea spalla Locarno in una direzione

All'interno dell'estensione CADs Rebar è presente la possibilità di condurre la verifica delle interferenze tra le armature presenti all'interno del progetto. In questa fase sarebbe più interessante verificare che le barre non interferiscano con i micropali di fondazione ma purtroppo è una verifica che non si riesce a svolgere con nessuno strumento attualmente presente in Revit. È stata svolta, comunque, la verifica delle interferenze tra le armature per comprenderne appieno il funzionamento e le potenzialità.

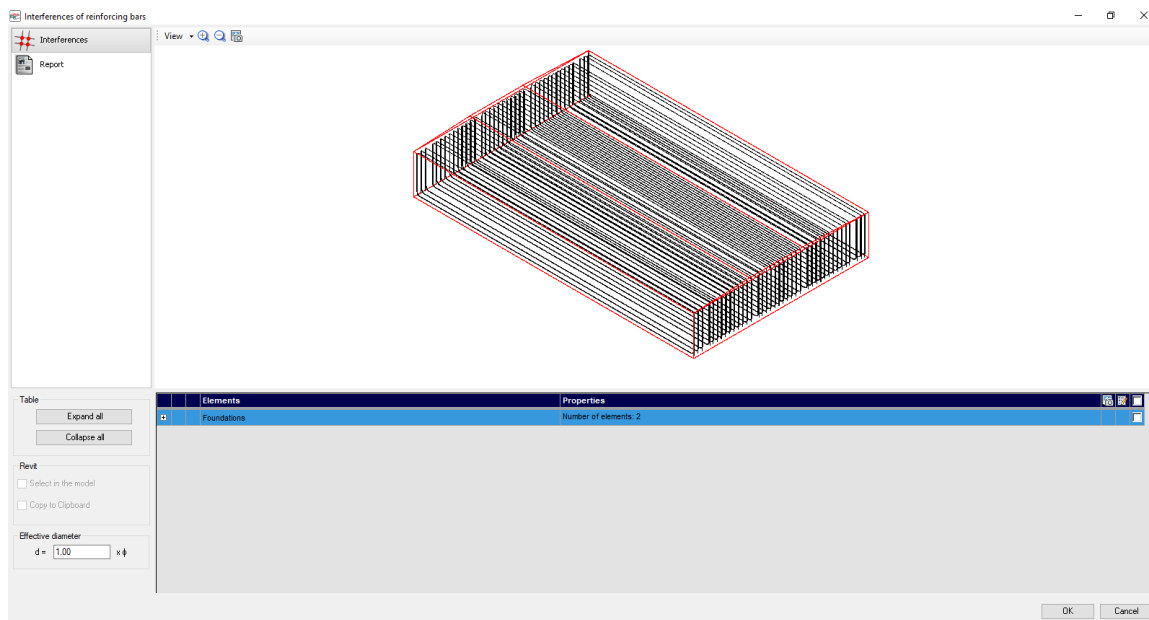


Figura 6.3 – Verifica delle interferenze tra le barre presenti

Le interferenze vengono suddivise in base agli elementi a cui appartengono le barre e all'interno di ogni elemento viene fatta un'ulteriore suddivisione a seconda che le

interferenze interessino armature dello stesso elemento o barre di due elementi distinti. Si possono selezionare a una a una e nella schermata della verifica vengono evidenziate le barre coinvolte come mostrato sotto

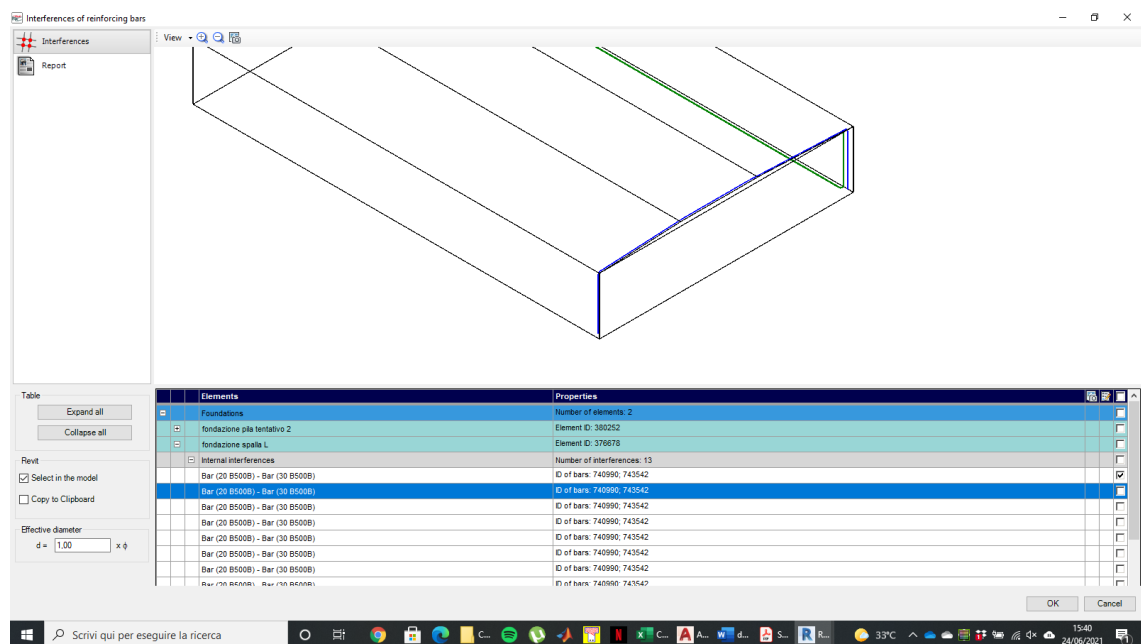


Figura 6.4 – Selezione di un'interferenza nella verifica

È possibile trasferire la selezione anche nel modello così da poter apportare le modifiche necessarie alle barre nel caso cui si ritenga che l'interferenza sia significativa.

Nel caso in cui non ne vengano individuate, i contorni dell'elemento vengono evidenziati con una linea rossa come si vede nella Figura precedente.

Visto che non sono state individuate interferenze si può procedere con l'inserimento delle armature. Sono state inserite le barre nella direzione perpendicolare a quella appena trattata. In questo caso il processo è più speditivo dal momento che la sezione dell'elemento rimane costante in qualsiasi punto e l'unico ostacolo è costituito dai tubi e dalle piastre dei tubi dei micropali di fondazione.

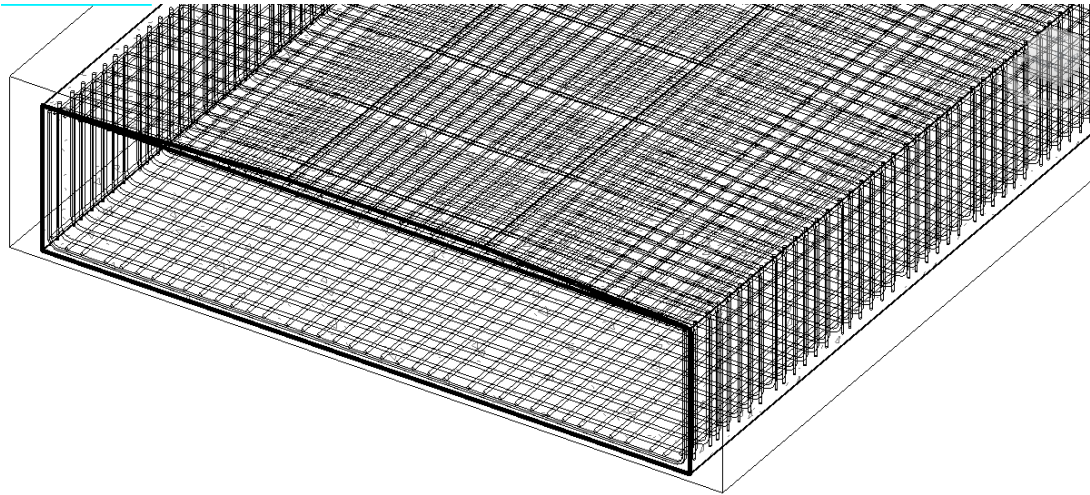


Figura 6.5 – Dettaglio 3D dell'armatura della platea di fondazione della spalla Locarno

Completata l'armatura dell'elemento è stata svolta nuovamente la verifica delle interferenze perché consente di verificare, in questa fase, che le barre siano posizionate una sopra l'altra e, quindi, che abbiano le dimensioni corrette.

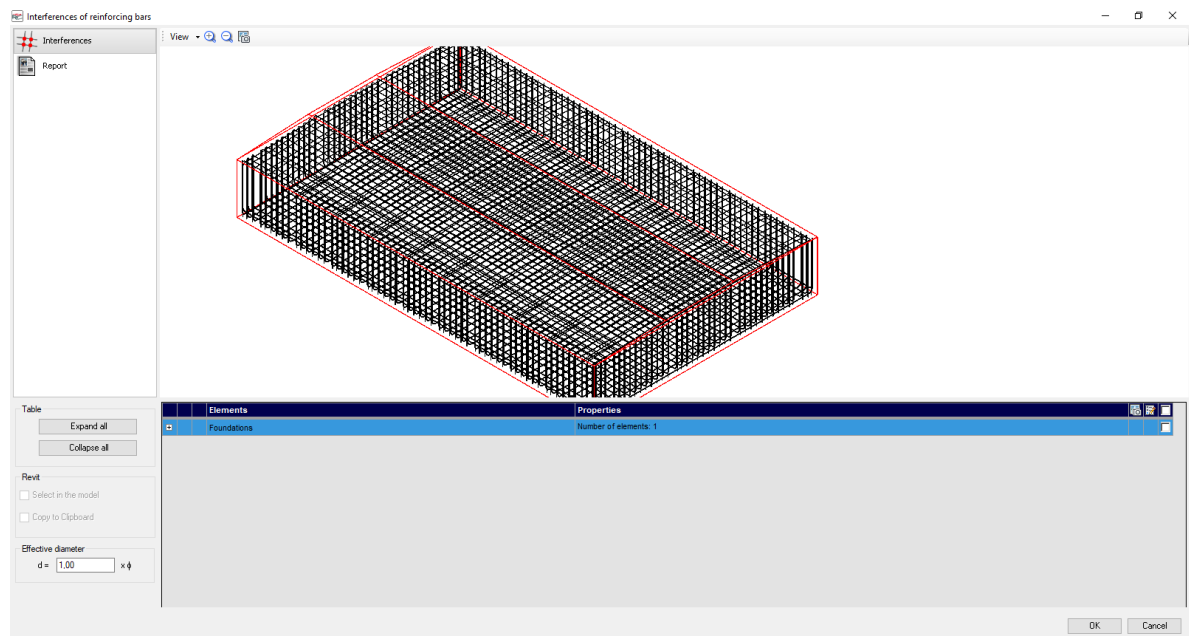


Figura 6.6 – Dettaglio 3D dell'armatura della platea di fondazione della spalla Locarno

6.1.2. Platea di fondazione della spalla lato Bellinzona

L'armatura della spalla lato Bellinzona segue lo stesso procedimento appena descritto per la spalla lato Locarno. Le difficoltà sono le medesime e, dunque, anche in questo caso è stato necessario procedere manualmente nel posizionamento delle barre. Per prime sono state posizionate le armature, all'intradosso e all'estradosso, nella direzione in cui la sezione rimane sempre costante

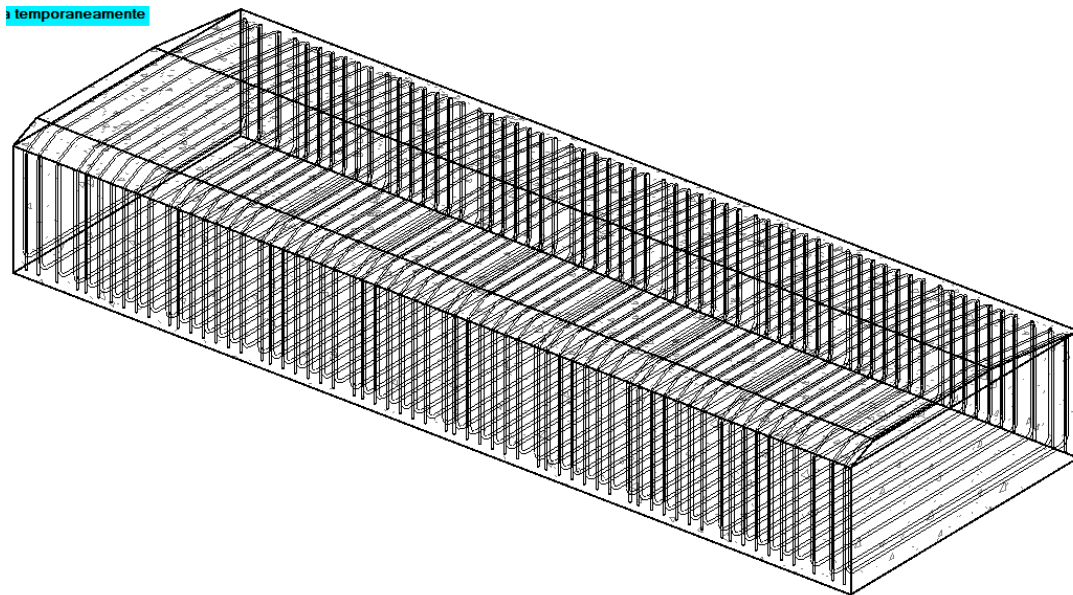


Figura 6.7 – Armature della platea spalla Bellinzona in una direzione

Dopo aver verificato che non ci fossero interferenze, sono state aggiunte le barre nella direzione perpendicolare. In questo caso le dimensioni delle sezioni cambiano a seconda della posizione in cui ci si trova quindi le barre hanno dimensioni sempre diverse.

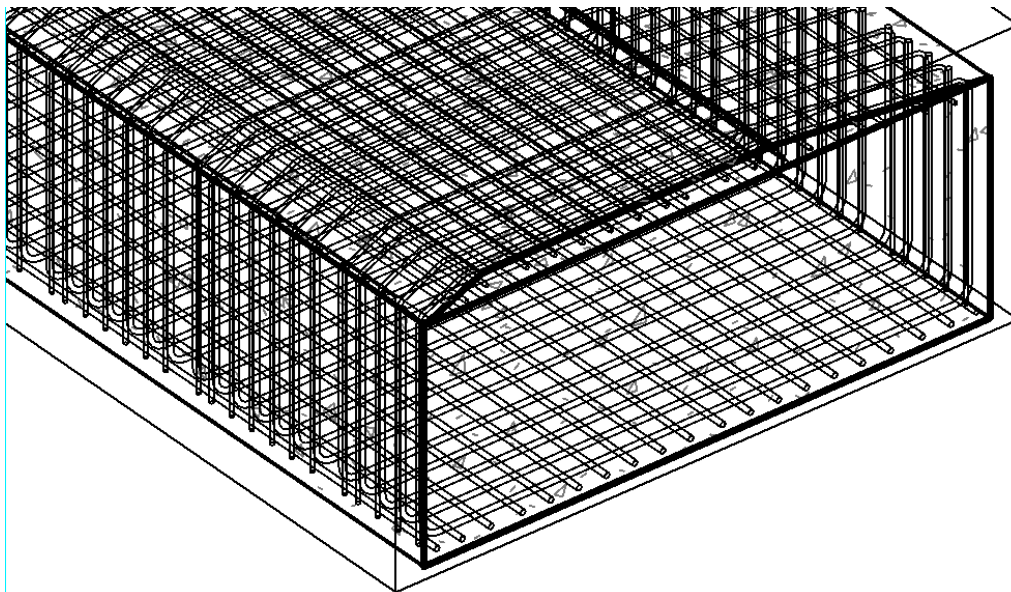


Figura 6.8 – Dettaglio 3D dell'armatura della platea di fondazione della spalla Bellinzona

Completato il posizionamento delle armature è stata svolta la verifica delle interferenze complessiva che viene riportata di seguito.

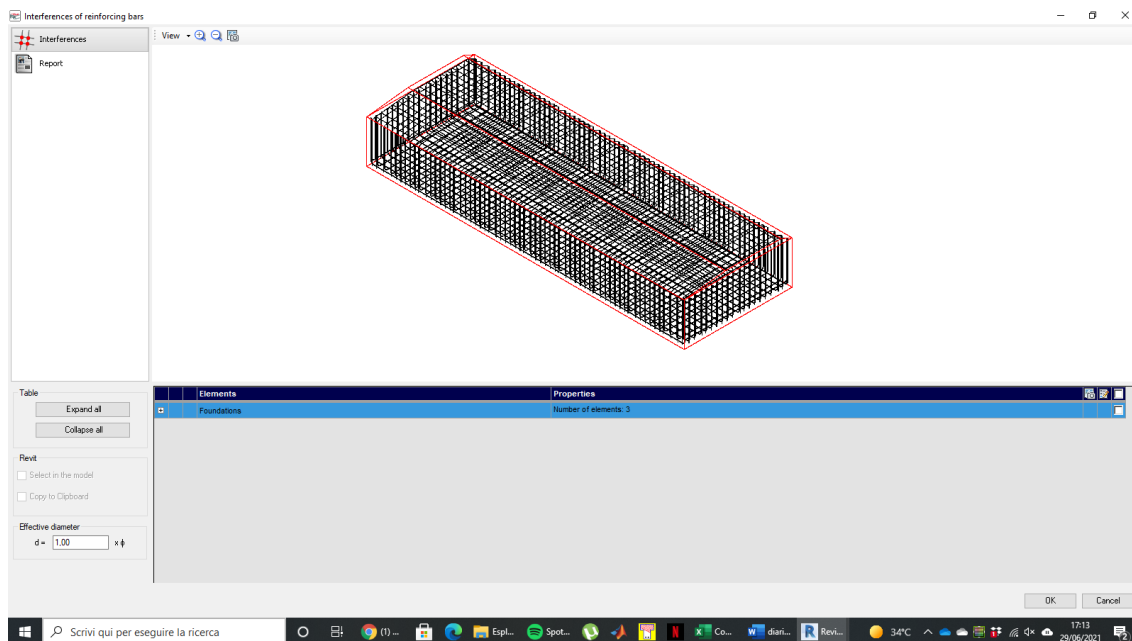


Figura 6.9 – Dettaglio 3D dell’armatura della platea di fondazione della spalla Bellinzona

6.1.3. Platea di fondazione della pila

La geometria della platea di fondazione della pila è quella meno regolare dato che le dimensioni delle sezioni variano a seconda della posizione in cui vengono fatte in entrambe le direzioni. La geometria, però, è simmetrica rispetto ai due assi e questo ha consentito di armare solo metà dell’elemento e poi specchiare i ferri.

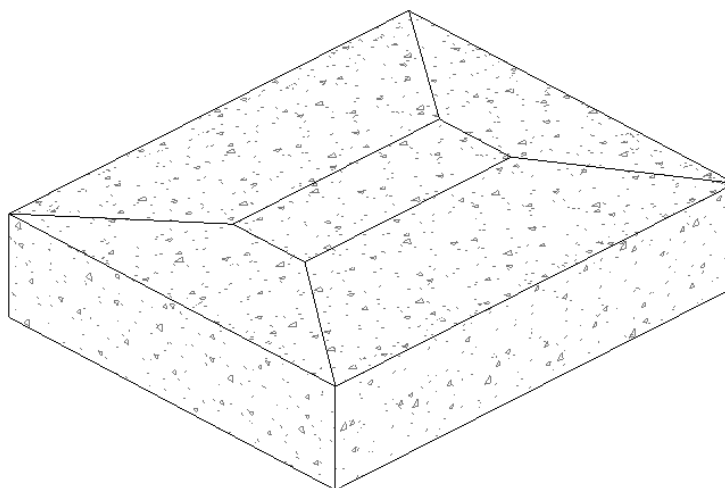


Figura 6.10 – Geometria della pila in cui vanno inserite le armature

Le barre all’intradosso sono tutti uguali, bisogna solo evitare le interferenze con i micropali di fondazione. All’estradosso, invece, cambiano le forme dei ferri a seconda della sezione, quindi, sono stati modificati a uno a uno aprendo la sezione corrispondente.



Figura 6.11 – Modifica della forma dei ferri all'estradosso

Dopo aver completato l'intera procedura e dopo aver specchiato le barre rispetto all'asse dell'elemento si ottiene quanto mostrato nella Figura seguente.

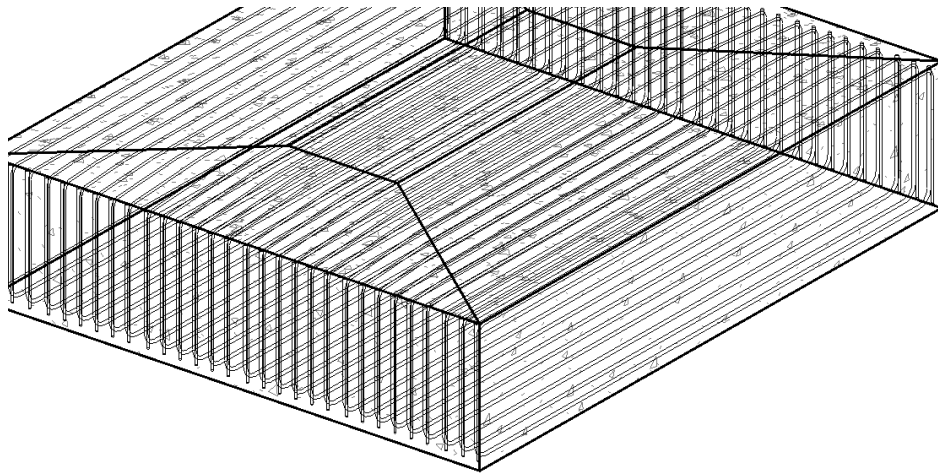


Figura 6.12 – Modifica della forma dei ferri all'estradosso

Dopo aver fatto la verifica delle interferenze si è passati alla direzione perpendicolare a quella appena mostrata. Il procedimento è il medesimo, per primi vengono posizionati i ferri all'intradosso e poi quelli all'estradosso. Di seguito si portano solo le immagini dell'armatura completa

neamente

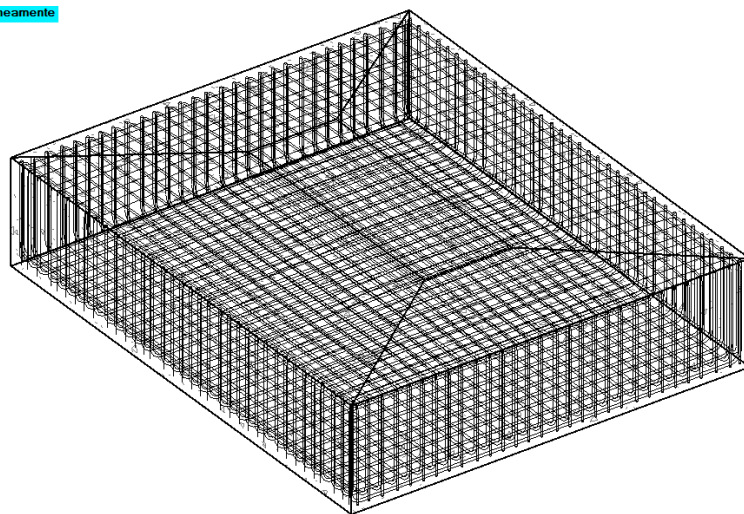


Figura 6.13 – Armatura completa della platea di fondazione della pila

Alla fine, è stata svolta la verifica delle interferenze. Procedendo in questa maniera le interferenze che vengono individuate sono pochissime.

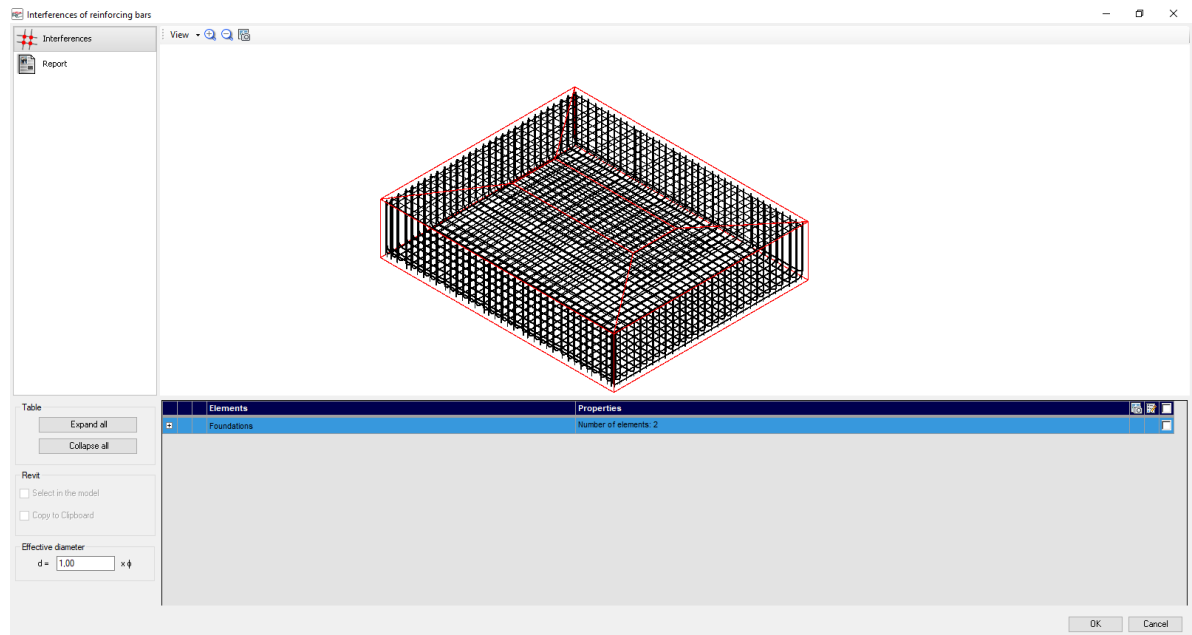


Figura 6.14 - Verifica delle interferenze finale

È un procedimento molto accurato ma estremamente lungo. In questo caso Revit non si è dimostrato il software più adatto per svolgere l'operazione anche se effettivamente permette il posizionamento delle barre di armatura in qualsiasi elemento modellato come elemento strutturale.

6.2. Armatura delle spalle

Le due spalle sono degli elementi molto massicci su cui poggiano le travi. Si è deciso di armare solamente la spalla lato Locarno dal momento che il tipo di armatura e il processo per inserirla sarebbe esattamente lo stesso anche per la spalla lato Bellinzona. Il file verrebbe appesantito notevolmente, con l'unico vantaggio di poter avere una vista di dettaglio bidimensionale e tridimensionale della spalla.

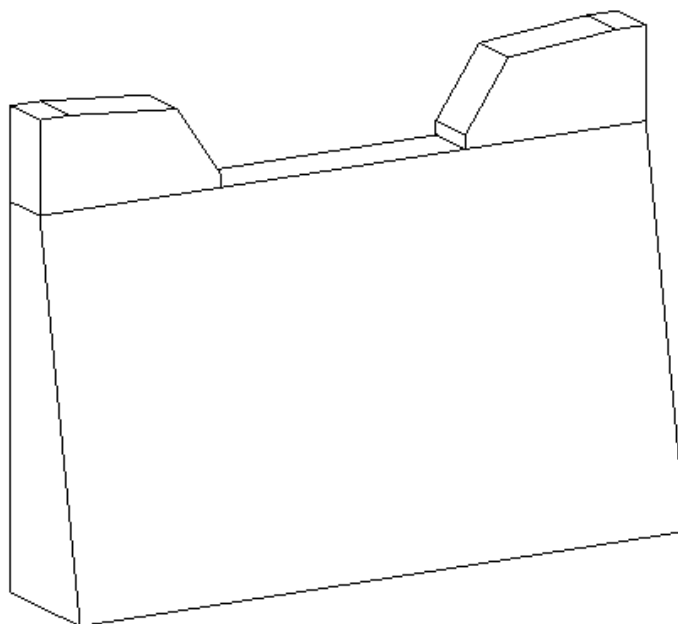


Figura 6.15 – Spalla lato Locarno

La spalla lato Locarno è armata con delle barre $\phi 18/150\text{cm}$, sia verticali che orizzontali. Per prima cosa sono state posizionate le armature sul lato verticale della spalla che hanno la seguente forma.



Figura 6.16 – Barre verticali della spalla Locarno

Anche in questo caso le barre si ancorano all'interno della platea di fondazione della spalla. Questo comporta possibili interferenze con i tubi dei micropali di fondazione e ovviamente anche con le barre della fondazione. Quello che si ottiene mostrato nella Figura seguente.

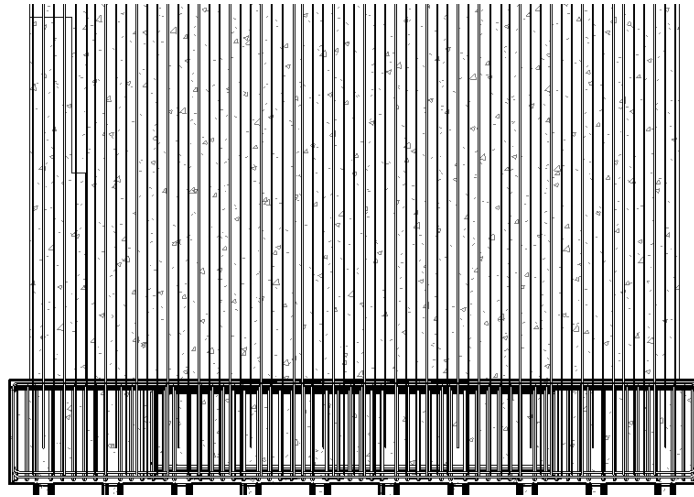


Figura 6.17 – Vista dell’armatura verticale della spalla Locarno

Completato il posizionamento è stata svolta una verifica delle interferenze tra i ferri della spalla e quelli della platea di fondazione.

Successivamente sono state posizionate le barre inclinate sul lato opposto della spalla lato Locarno. Il criterio di posizionamento è il medesimo, cambia solamente la forma delle barre. Nel collocamento è fondamentale evitare nuovamente le interferenze con le barre di armatura della platea di fondazione, con i micropali e con le altre barre della spalla con cui si devono, però, sovrapporre per una lunghezza complessiva di 50ϕ per garantire l’ancoraggio. Lo step successivo consiste nel modellare e posizionare le barre che chiudono le armature verticali e che vanno posizionate all’estremità superiore della pila. In una prima fase sono state posizionate solo nella parte centrale della pila.

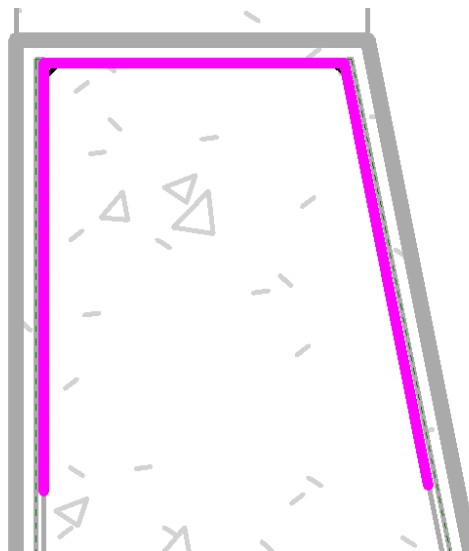


Figura 6.18 – Barra di chiusura dell’armatura verticale

È una barra che ha lo stesso diametro delle barre verticali.

Le barre orizzontali sono, anch’esse, dei $\phi 18/150mm$. Sono state posizionate tutte staffe a “C” con una sovrapposizione pari a 50ϕ da realizzare lungo lo spessore della spalla. Le

prime staffe ad essere posizionate sono quelle adiacenti al lato verticale della spalla. In questa occasione è stato possibile sfruttare il “gruppo variabile di armature”. Successivamente sono state posizionate le staffe sul lato inclinato della spalla e complessivamente il risultato è il seguente.

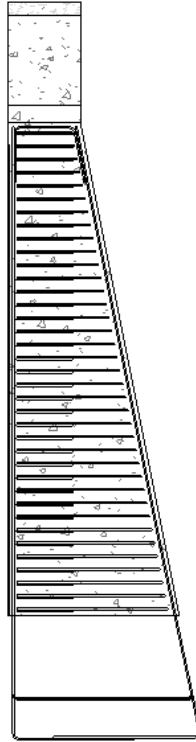


Figura 6.19 – Vista laterale dell'armatura della spalla Locarno

Per completare l'armatura è necessario armare le due sporgenze laterali della spalla. Per quanto riguarda i ferri verticali, sono stati fatti proseguire i ferri verticali della spalla e poi sono stati ripiegati in sommità.

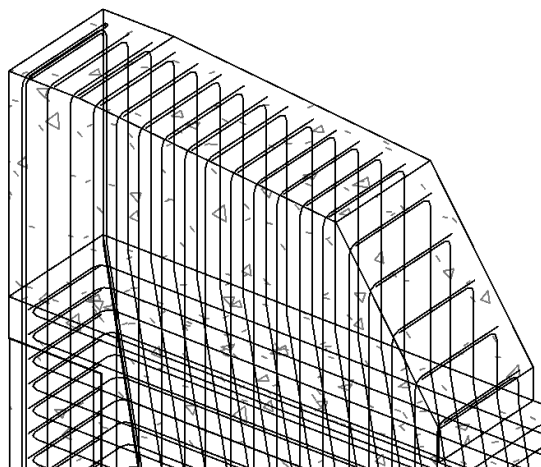


Figura 6.20 – Vista 3D delle barre verticali delle sporgenze laterali della spalla Locarno

Per le staffe sono state utilizzate delle barre a “C” con un passo di 150mm. Vista la geometria dell'elemento tutte le staffe hanno delle dimensioni differenti.

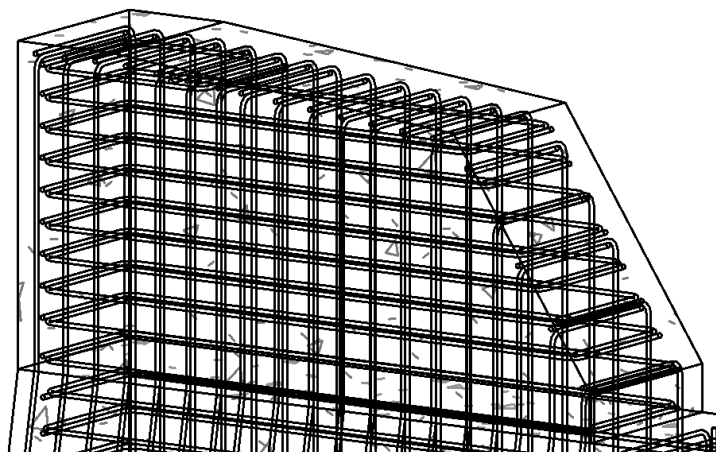


Figura 6.21 – Vista 3D dell'armatura completa della sporgenza laterale della spalla Locarno

Concluso il posizionamento è stata svolta una verifica complessiva delle interferenze tra le armature della spalla lato Locarno.

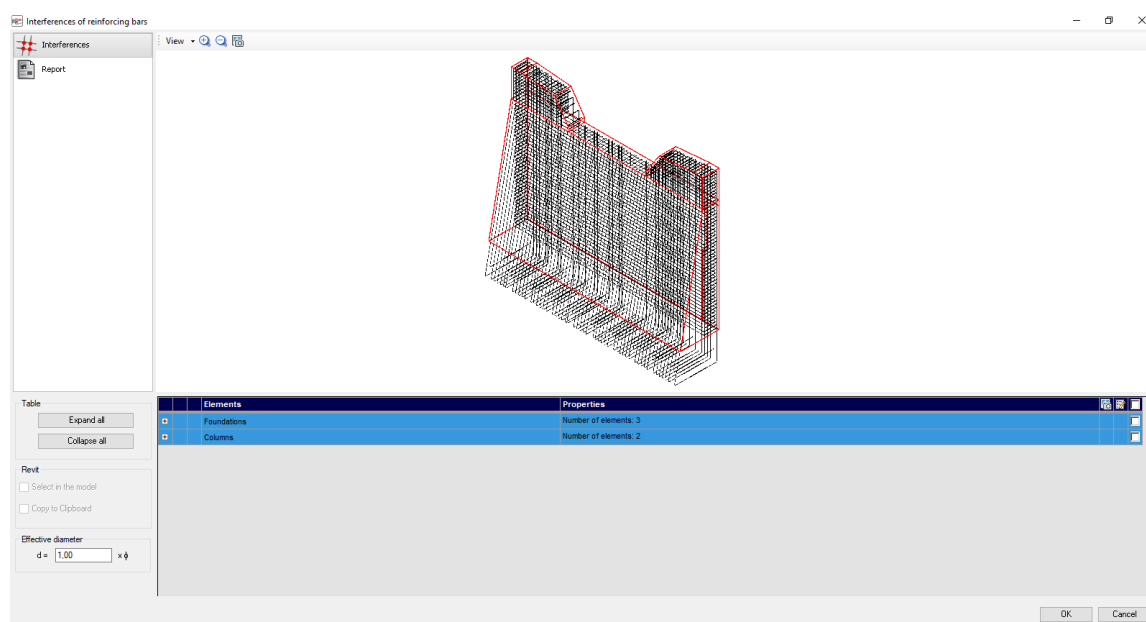


Figura 6.22 – Verifica delle interferenze per la spalla lato Locarno

Il posizionamento dell'armatura nella spalla non è un procedimento particolarmente complesso dato che la geometria è abbastanza regolare, l'armatura è ovunque la stessa e non è necessario prevedere degli ancoraggi dato che tutte le barre sono abbastanza corte da non dover essere divise in due.

6.3. Armatura della pila

La geometria della pila è abbastanza articolata dato che l'elemento è costituito dal fusto e da una forcilla composta da due aste inclinate. Questo comporta dei continui cambi di sezione e di pendenza delle armature.

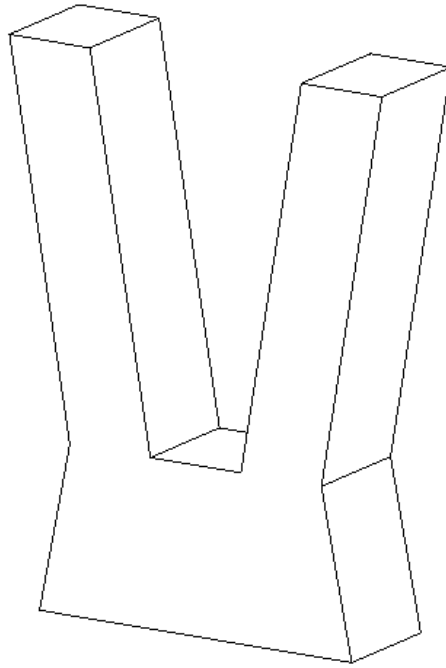


Figura 6.23 – Vista della pila in 3D

In questo elemento ci sono diversi fattori che complicano il collocamento dell'armatura. Dalla platea di fondazione escono i ferri di ripresa che non sono ancora stati modellati, il fusto e la forcella hanno due schemi diversi di armatura quindi esattamente nel punto in cui la geometria cambia pendenza bisogna realizzare l'ancoraggio dei ferri.

Armare completamente questo elemento è particolarmente utile per vedere quali interferenze possono nascere e come si possono gestire i cambi di sezione all'interno di uno stesso elemento.

Le prime barre a essere collocate sono quelle dello spessore del fusto (1.10m). Sono $6\phi 30$ che si ancorano all'interno della platea di fondazione.

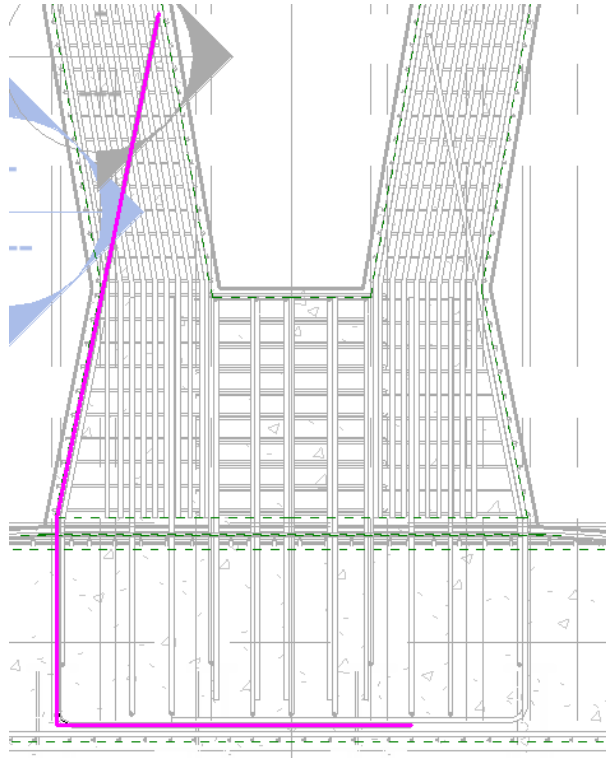


Figura 6.24 – Barre sullo spessore del fusto della pila

Sul lato opposto servono sempre $6\phi 30$ con la stessa forma che, nella platea di fondazione, poggiano sulle prime disegnate. Posizionando questi ferri bisogna evitare interferenze con i tubi dei micropali di fondazione, come già detto in precedenza, questo controllo va fatto visivamente e non ci sono strumenti che vengano in aiuto nella verifica di questo genere di interferenza. Le barre appena collocate sono state specchiate sull'altro lato, è stata richiesta una piccola modificata per far sì che poggiassero sulle prime. Per controllare le interferenze con l'armatura della platea può essere usato lo strumento di verifica che fornisce CADs Rebar. Man mano che è stato posizionato un tipo di barra è stata svolta una verifica delle interferenze correggendo quelle ritenute significative.

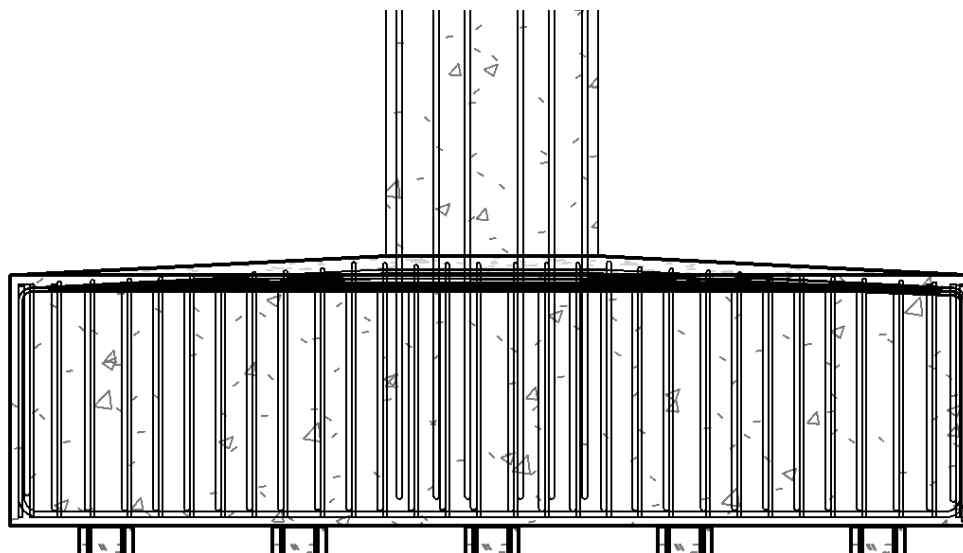


Figura 6.25 – Vista frontale delle barre dello spessore del fusto della pila

Di seguito viene riportata la schermata della verifica delle interferenze.

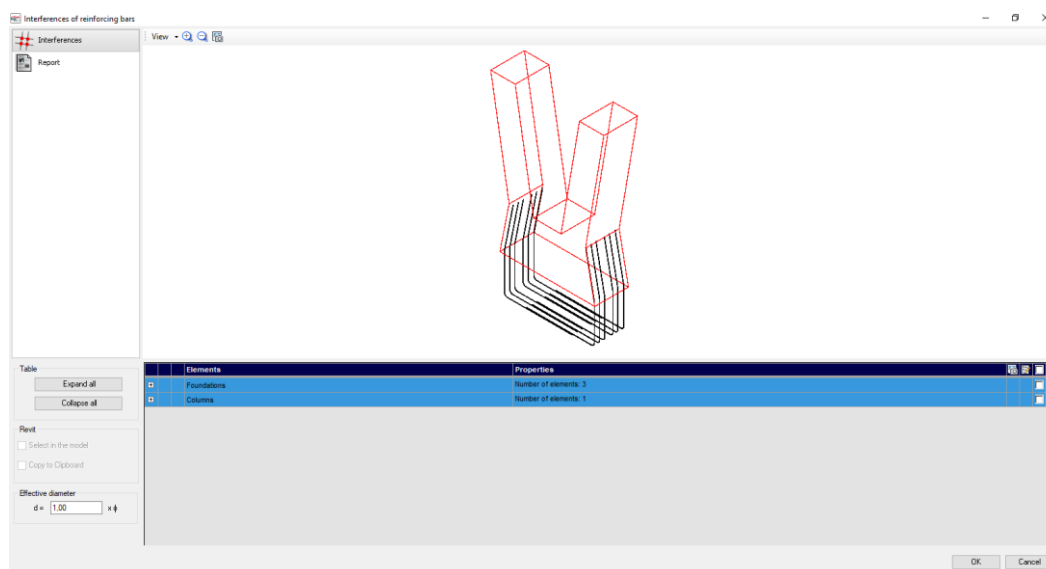


Figura 6.26 – Verifica delle interferenze per le barre dello spessore del fusto della pila

Nel seguito di questo paragrafo verranno mostrate solo le verifiche delle interferenze significative.

Successivamente sono state posizionate le barre sul lato esterno dello spessore dell'asta della forcella della pila. In questo elemento vanno posizionate $9\phi 30$. Posizionando questi ferri va tenuto in considerazione il fatto che la pila e le travi sono realizzate in continuità, quindi, le barre verticali dell'asta della forcella devono essere ancorate all'interno delle travi.

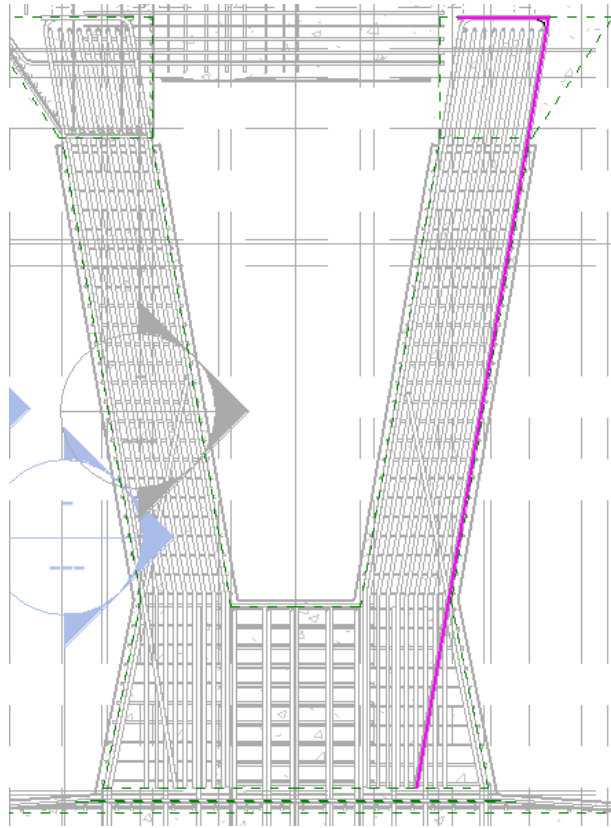


Figura 6.27 – Barre dello spessore esterno dell'asta della forcella

Tutte le 9 barre hanno altezze diverse perché l'altezza della pila è variabile dal momento che le travi sono inclinate. Per risolvere il problema è stata disegnata la prima barra poi è stata copiata 8 volte e ognuna è stata modificata per avere l'altezza corretta di ogni barra a seconda della posizione in cui si trova all'interno della pila.

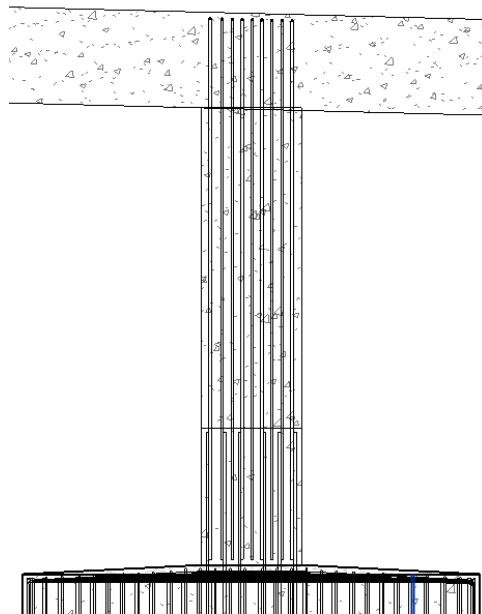


Figura 6.28 – Vista frontale delle barre dello spessore dell'asta della forcella

Le armature appena disegnate vanno specchiate anche sul lato esterno dell'altra asta della forcina. Dopo aver verificato le interferenze sono state posizionate le barre sul fronte della pila. Prima sono state posizionate quelle del fusto, sono barre che partono dalla base della platea di fondazione per ancorarsi. Nella parte centrale del fusto sono stati posizionati dei ferri a "U" mentre nelle parti laterali che proseguono nelle aste della forcina servono delle barre che proseguano verso l'alto. La barra che va posizionata nel punto più esterno ha una forma molto particolare ed è stato modellato con il comando "Multiplanare".

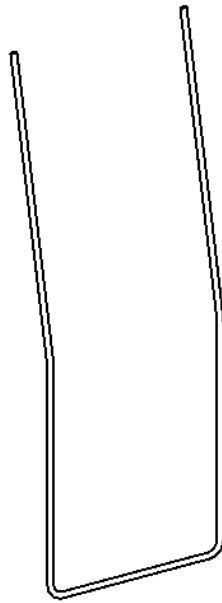


Figura 6.29 – Vista 3D della barra laterale del fusto della pila

Le armature posizionate sono state poi specchiate sull'altro lato della pila. Tutte le barre si ancorano all'interno della platea di fondazione, quindi, è importante fare una verifica delle interferenze prima di procedere.

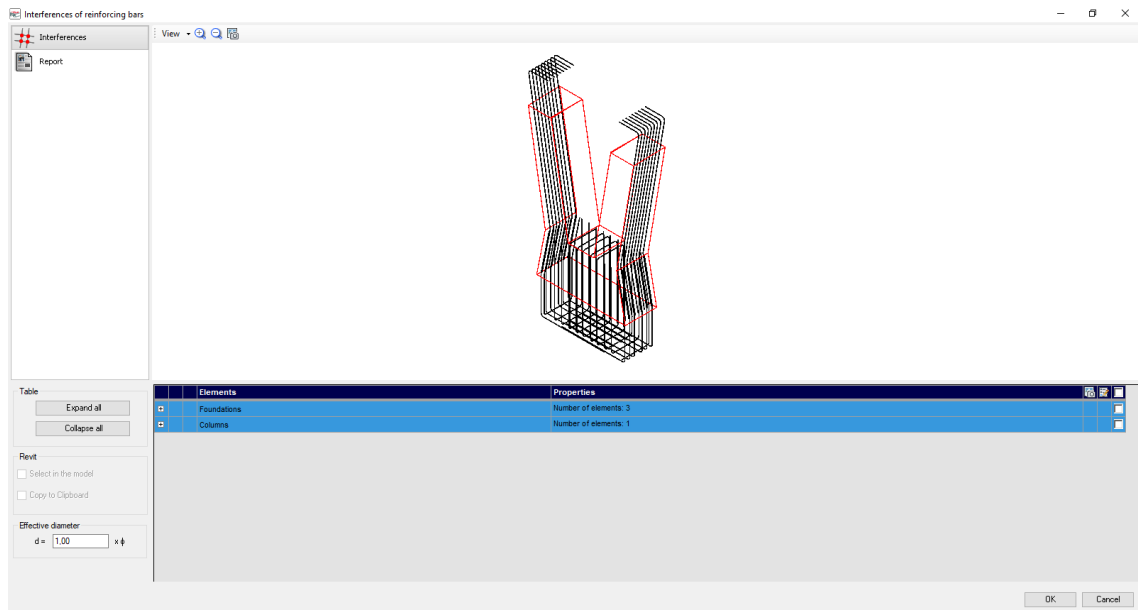


Figura 6.30 – Verifica delle interferenze tra le barre del fusto della pila e quelle della platea

Si può definire conclusa l'armatura del fusto della pila.

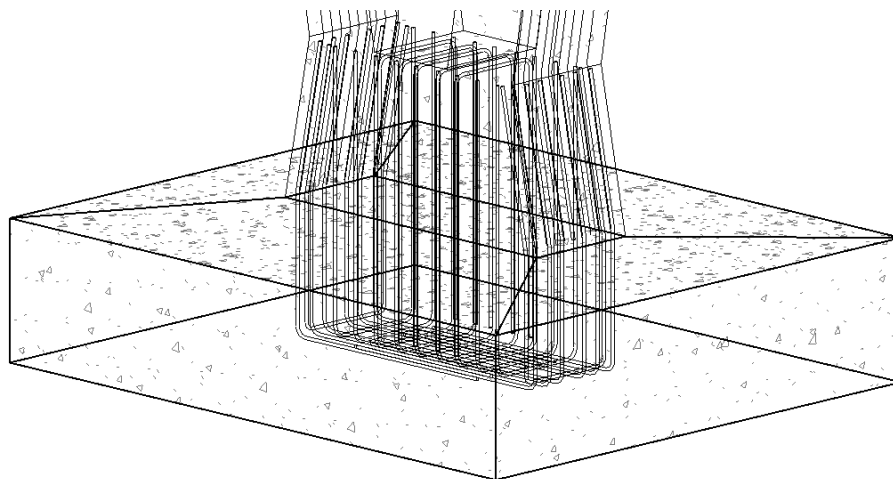


Figura 6.31 – Armatura tridimensionale dell'armatura del fusto della pila

Ora si può passare al completamento dell'armatura delle aste della forcella. L'armatura da posizionare sul lato interno lungo lo spessore dell'elemento segue lo stesso principio con cui è stata posizionata quella sul lato esterno, cambia solo la forma delle barre.

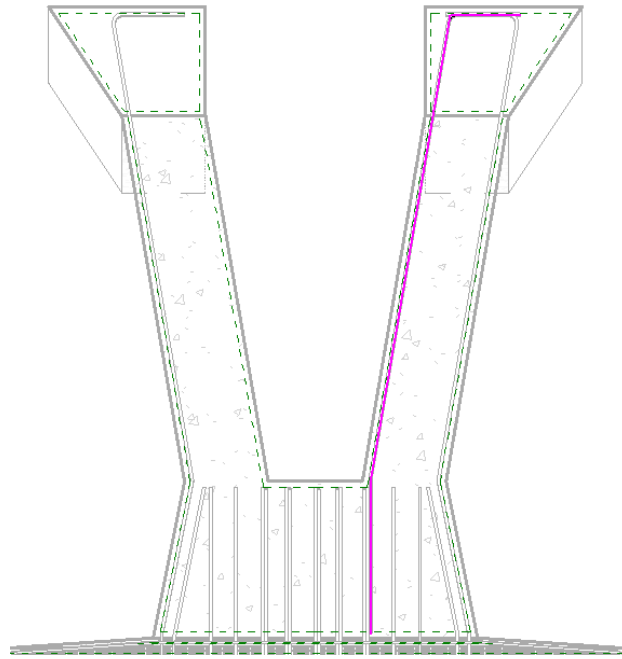


Figura 6.32 – Barre dello spessore interno dell'asta della forcella

Anche queste barre vanno modificate una per una a causa della pendenza delle travi. Dopo aver verificato le interferenze, le barre disegnate sono state specchiate sulla seconda asta della forcella, ottenendo la vista mostrata nella Figura seguente

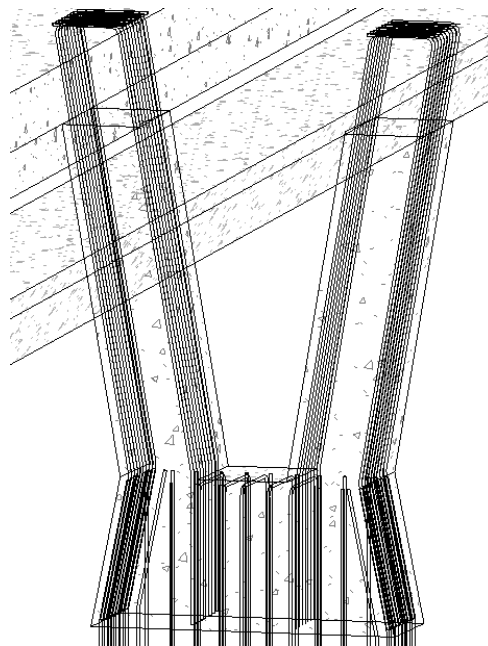


Figura 6.33 – Vista 3D delle armature sullo spessore della pila

Ora bisogna aggiungere le barre sul fronte dell'asta della forcella. Per ottenere la forma della barra desiderato è stato usato nuovamente il comando “Multiplanare”.

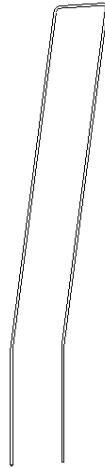


Figura 6.34 – Barre da posizionare sul fronte dell'asta della forcella della pila

Per ogni asta ci vogliono 9 barre di questo tipo, si ottiene un'armatura molto fitta. Prima di specchiare le barre sull'altra forcella è stata svolta una verifica delle interferenze. Una volta completato il processo si ottiene la seguente armatura.

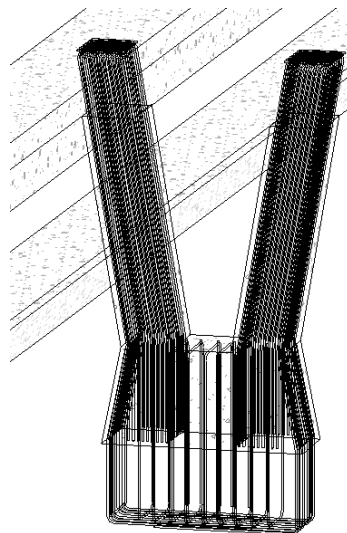


Figura 6.35 – Vista 3D dell'armatura della pila

È stata svolta una verifica delle interferenze prima di passare alla modellazione delle staffe.

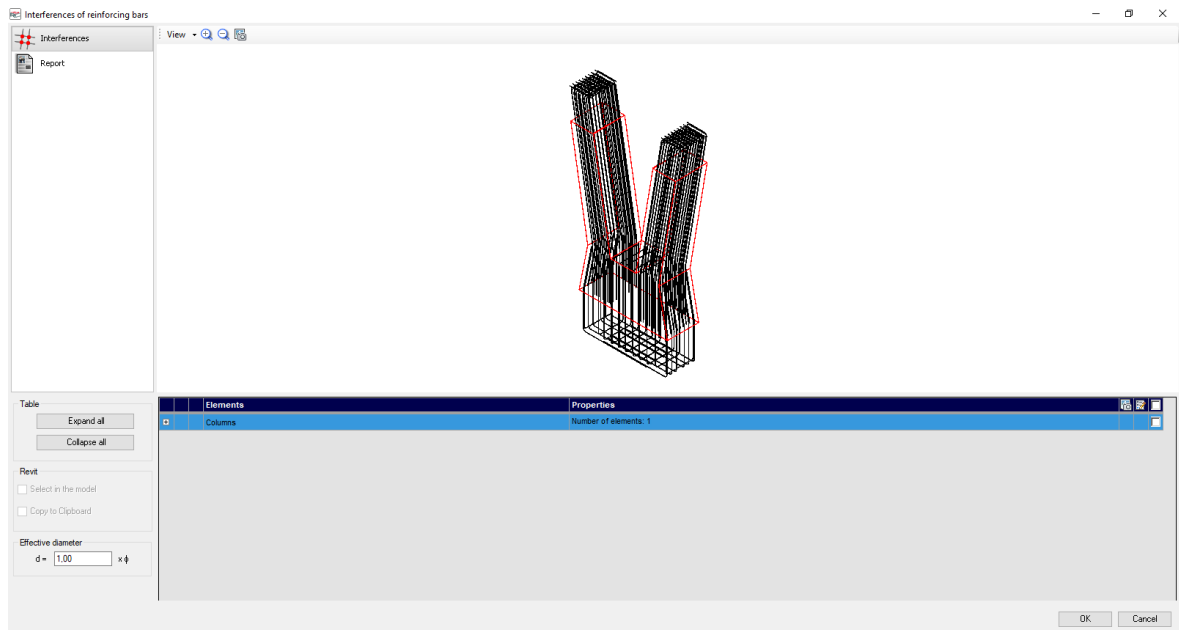


Figura 6.36 – Verifica delle interferenze per l'armatura della pila

Per le staffe si è partiti sempre dal fusto della pila per poi salire. Nel fusto è necessario inserire delle staffe a quattro bracci per racchiudere tutte le barre verticali con un passo di 15cm. Sono tutte staffe a “C” quindi in un secondo momento sono da chiudere sull'altro lato della pila. Dato che lo spigolo del fusto della pila è inclinato, è stato necessario posizionare tutte le staffe e poi modificarle assegnando le dimensioni corrette.

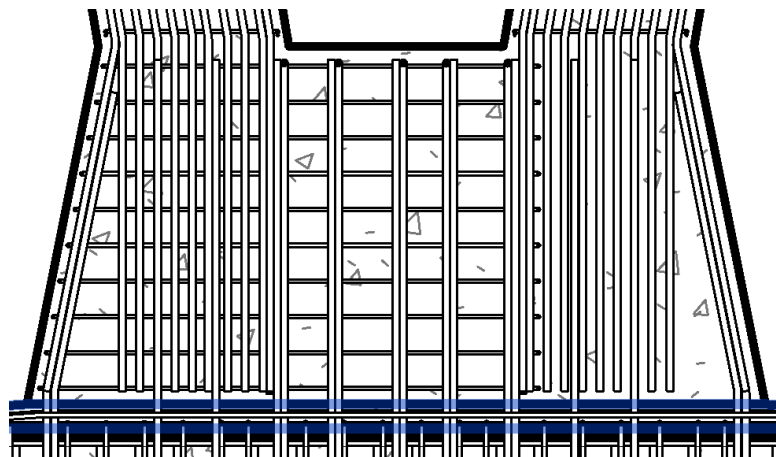


Figura 6.37 – Staffe di mezzo fusto della pila

Queste staffe sono state poi specchiate rispetto all'asse verticale del fronte della pila e poi traslate leggermente verso l'alto in modo che non si sovrappongano con quelle di sinistra.

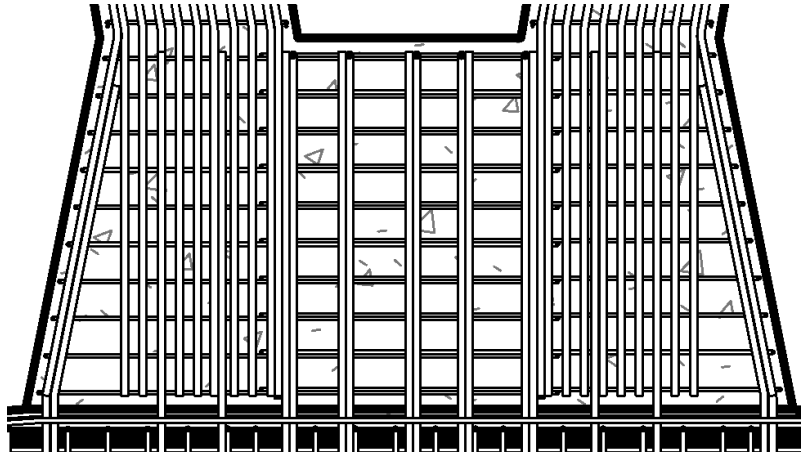


Figura 6.38 – Staffe del fusto della pila

È stata eseguita una verifica delle interferenze prima di specchiare le armature appena ottenute anche sull'altro lato della pila per chiudere la staffatura. Per effettuare questo passaggio sono state selezionate tutte le staffe e sono state specchiate rispetto all'asse verticale dello spessore della pila.

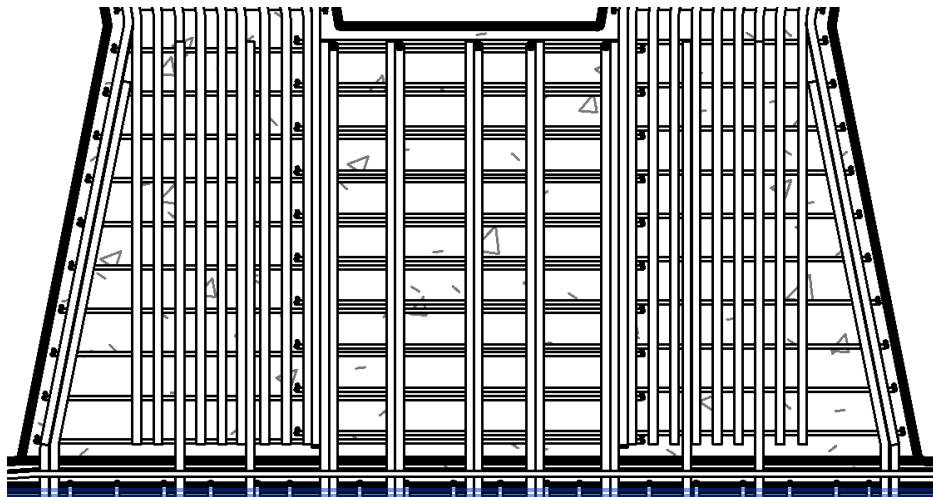


Figura 6.39 – Staffe complete del fusto della pila

Concluso il processo di posizionamento è stata eseguita la verifica delle interferenze. Nelle due aste della forcina è stato necessario modellare le staffe e posizionarle singolarmente prima su un lato e poi sull'altro. Dopo aver concluso l'armatura della prima asta, le staffe sono state selezionate e specchiate nell'altra asta.

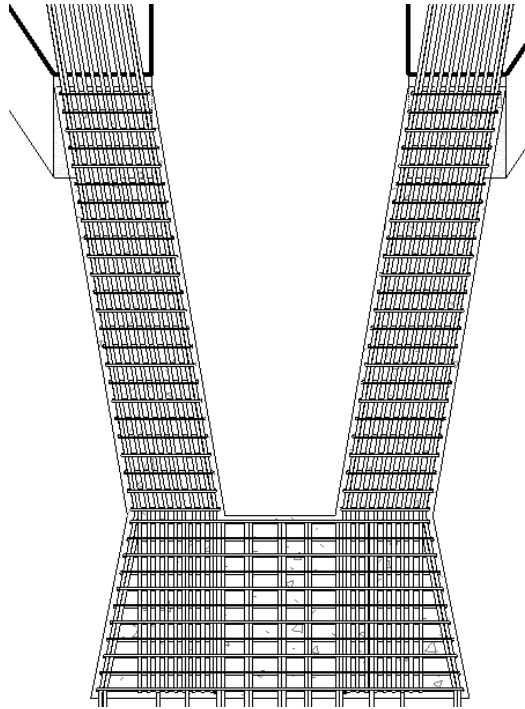


Figura 6.40 – Vista frontale dell'armatura completa della pila

È stata svolta la verifica complessiva delle interferenze tra le barre della pila

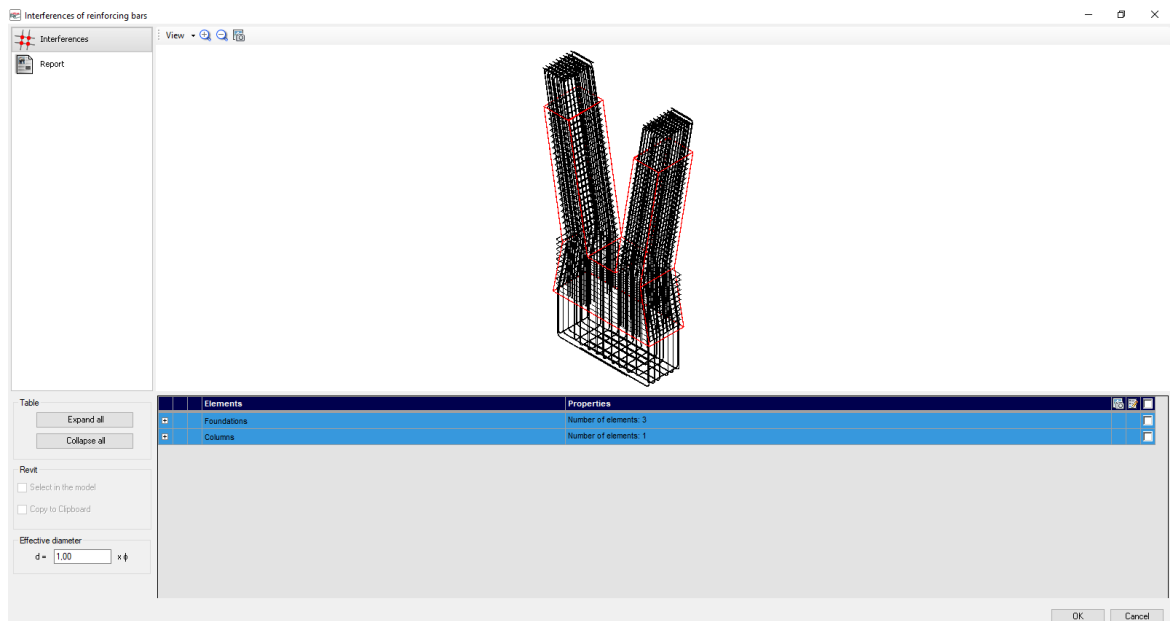


Figura 6.41 – Vista frontale dell'armatura completa della pila

L'armatura di questo elemento è molto più complessa rispetto a quella della spalla a causa della geometria con diverse inclinazioni e per i numerosi ancoraggi da realizzare a causa della diversità tra l'armatura del fusto e quella delle aste della forcina.

6.4. Armatura dei muri d'ala

I muri d'ala sono gli unici elementi che sono stati modellati sfruttando le famiglie di sistema, quindi, è stato anche l'unico elemento che il plug – in CADs Rebar riconosce ed è in grado di armare in maniera adeguata. CADs Rebar è uno strumento che, nel caso dei muri d'ala è molto utile per posizionare l'armatura diffusa ma, in un secondo momento, è necessario intervenire manualmente per completare l'armatura. Bisogna ricordare che ogni muro d'ala è costituito da tre elementi distinti di spessori diversi quindi ogni tratto verrà armato separatamente.

Si è deciso di armare solamente uno dei muri d'ala della spalla lato Locarno dal momento che non si trarrebbe alcun vantaggio armando tutti e quattro i muri. Inoltre, le difficoltà sarebbero esattamente le stesse e il file diventerebbe troppo pesante e difficoltoso da gestire, soprattutto in vista del gran numero di armature che andranno posizionate all'interno della trave e della soletta. Il primo tratto in cui è stata collocata l'armatura è quello inferiore, avente uno spessore di 80cm . All'interno dell'estensione CADs Rebar è necessario selezionare la voce relativa all'armatura dei muri e poi impostare correttamente il diametro, il passo delle barre nelle due direzioni e il copriferro che deve essere garantito. Sarebbe possibile prevedere anche dei ferri di ripresa ma, visti i cambi di spessore degli elementi, si è scelto di non posizzionarli e intervenire manualmente.

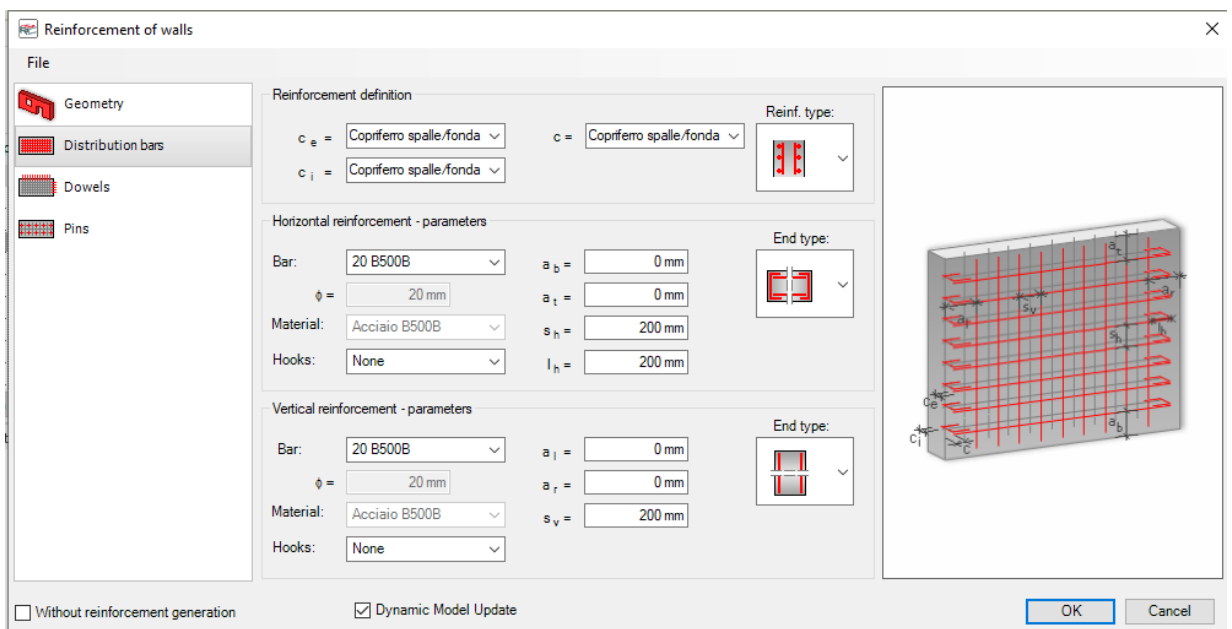


Figura 6.42 – Impostazioni di CADs Rebar per l'armatura del tratto inferiore del muro d'ala

Il primo intervento manuale necessario è dovuto al fatto che la base del muro è leggermente in pendenza e CADs Rebar posiziona tutte barre di lunghezza uguale. Per far avere le barre ovunque, è stato selezionato il gruppo di barre verticale ed è stato

impostato come “Gruppo di armature variabile”. Successivamente è stata impostata l’area da armare in modo tale che le armature arrivassero alla base del muro. In questo modo si ottiene la seguente armatura

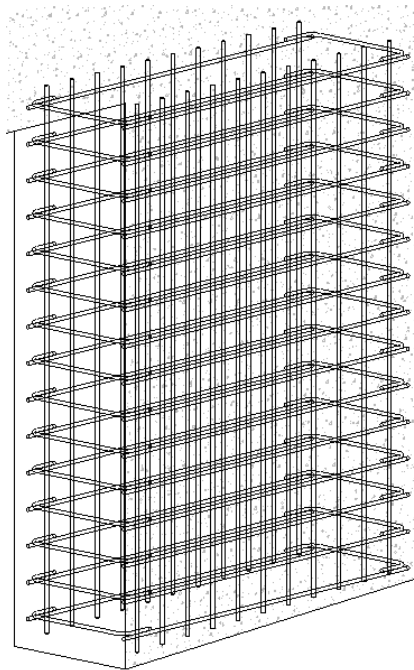


Figura 6.43 – Armatura del tratto inferiore del muro d’ala creato ca CADs Rebar

Ora è necessario procedere manualmente modellando delle barre a “C” da posizionare nella parte inferiore del muro che funzionino da ancoraggi per le barre verticali già posizionate.

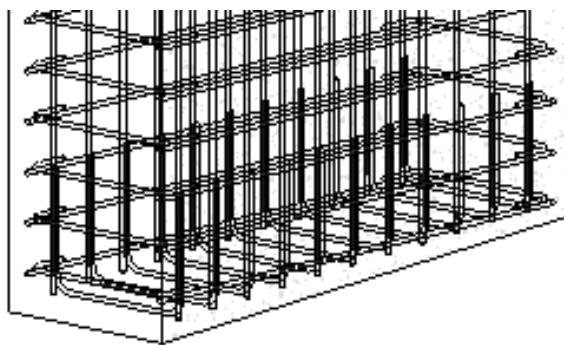


Figura 6.44 – Ancoraggi delle barre verticali

Sono stati prolungati i ferri sul lato esterno del muro perché funzionino da ferri di ripresa per le armature della seconda fascia del muro. Facendo in questo modo vengono prolungati anche quelli del lato interno che, però, dovranno essere modificati.

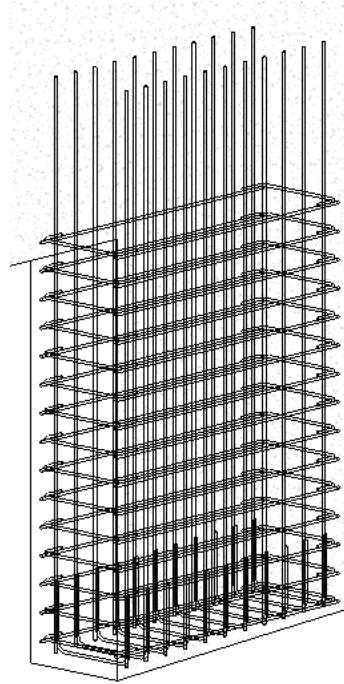


Figura 6.45 – Ancoraggi delle barre verticali

Infine, sono state selezionate le barre verticali sul lato interno ed è stata cambiata la loro geometria ripiegandole verso l'interno in modo che terminino all'interno del secondo tratto di muro che ha spessore inferiore. L'ideale è fare questa operazione dopo aver posizionato l'armatura diffusa del tratto intermedio del muro per avere dei punti di riferimento. In questo caso, modificando la forma di una barra si modificano tutte di conseguenza, dal momento che sono contenute all'interno di un gruppo.

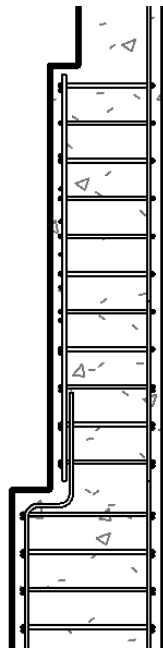


Figura 6.46 – Vista in sezione del dettaglio del ferro di ripresa piegato

Il tratto di muro d'ala intermedio ha uno spessore di 60cm ed è stato armato seguendo la medesima procedura che è appena stata descritta per il tratto inferiore.

Il primo step è stato usare CADs Rebar per l'armatura diffusa a cui vanno apportate, poi, le dovute modifiche. La geometria è più complessa rispetto al tratto inferiore quindi le modifiche necessarie sono maggiori. Sono stati aggiunti i ferri a "C" di ancoraggio solo nella parte sporgente rispetto alla parte inferiore del muro e in un primo momento sono state prolungate le barre verticali su entrambi i lati.

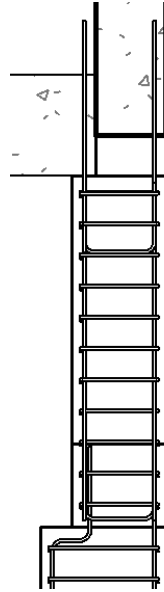


Figura 6.47 – Vista in sezione dell'armatura del tratto intermedio di muro d'ala

Dopo aver posizionato l'armatura diffusa dell'ultimo tratto di muro, le barre verticali interne sono state piegate esattamente come è stato fatto per il tratto inferiore.

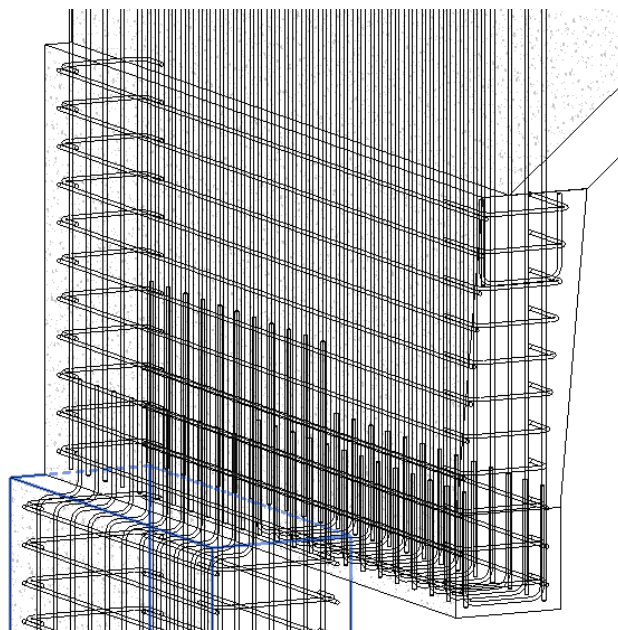


Figura 6.48 – Vista 3D dell'armatura del tratto intermedio di muro d'ala

Per concludere, è stata posizionata l'armatura del tratto superiore del muro. Per primo è stato usato CADs Rebar per l'armatura diffusa a cui sono state aggiunte le barre mancanti e quelle con dimensioni diverse dovute alla geometria del muro.

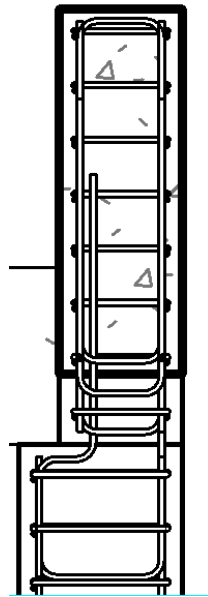


Figura 6.49 – Vista in sezione dell'armatura del tratto superiore del muro d'ala

L'armatura completa del tratto superiore del muro d'ala vista tridimensionalmente assume il seguente aspetto

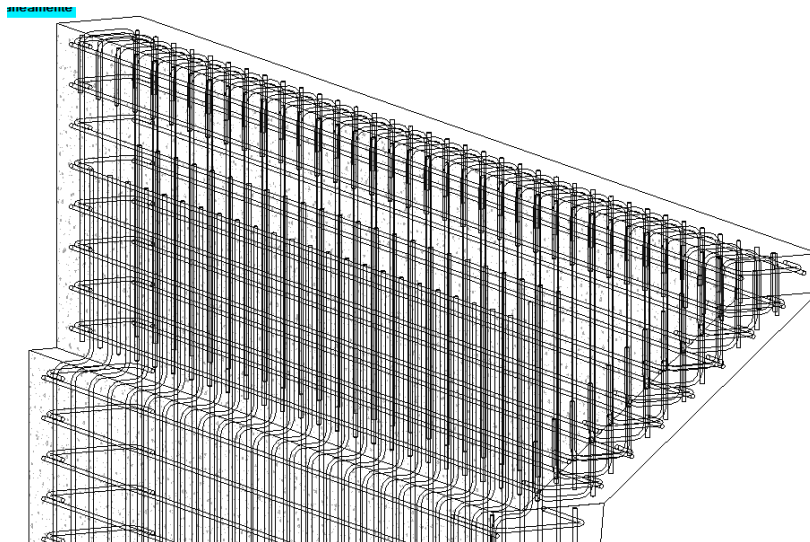


Figura 6.50 – Vista 3D dell'armatura del tratto superiore del muro d'ala

6.5. Armatura della trave e della soletta

Le travi dell'impalcato e la soletta sarebbero da considerarsi un unico elemento per come sono state pensate e progettate. In Revit, invece, vengono considerate come due elementi nettamente distinti per come sono stati modellati. I cavi per la post tensione e alcune armature sono elementi che i due oggetti condividono, dunque, nel seguito di questo

paragrafo, verrà descritto il processo di armatura di entrambi gli elementi. In questo elemento le complicazioni sono legate alla presenza delle guaine per la post tensione che seguono un tracciato ad arco, al fatto che l'armatura varia lungo il tracciato longitudinale dell'impalcato e, infine, non è possibile utilizzare delle barre troppo lunghe quindi alcune sono state divise, rendendo necessario creare una sovrapposizione. Anche per questo elemento si è deciso di lavorare su una sola trave e solamente sulla campata tra la spalla lato Locarno e la pila. Le motivazioni che hanno portato a questa scelta sono principalmente legate a quelli che sono gli scopi della presente tesi; copiare l'armatura della trave nell'altra non porterebbe alcun beneficio allo studio condotto.

Vista la complessità dell'elemento, si è ragionato in base alla posizione delle barre all'interno della trave (intradosso, estradosso e pareti) e per le tre sezioni in cui cambia l'armatura (spalla, campata e pila). Si è considerato che la sezione di spalla e di pila terminassero a 2.50m dall'asse degli elementi. Man mano che vengono posizionate delle tipologie di armatura è stata svolta la verifica delle interferenze, cercando di risolvere le interferenze significative.

Per prima cosa è stato posizionato un ferro rappresentativo delle staffe ($\phi 16$) che ha come scopo quello di confinare lo spazio in cui è possibile posizionare le barre longitudinali. Una volta concluso il lavoro per le barre longitudinali verrà sostituito con le staffe di forma corretta.

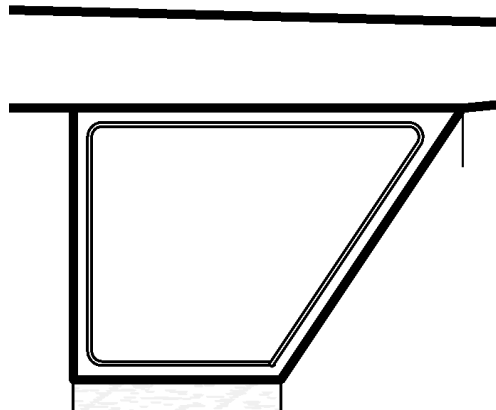


Figura 6.51 – Barra rappresentativa delle staffe

Per primi, sono stati posizionati i ferri all'intradosso della trave. Passando dalla spalla alla pila cambia sia il loro numero che il diametro: nella spalla ci sono $2 \times 6 \phi 26$, in campata $2 \times 7 \phi 30$ e, infine, $2 \times 6 \phi 30$. I primi a essere posizionati sono quelli nella sezione di spalla, i quali necessitano di essere ancorati in corrispondenza della testata della trave.

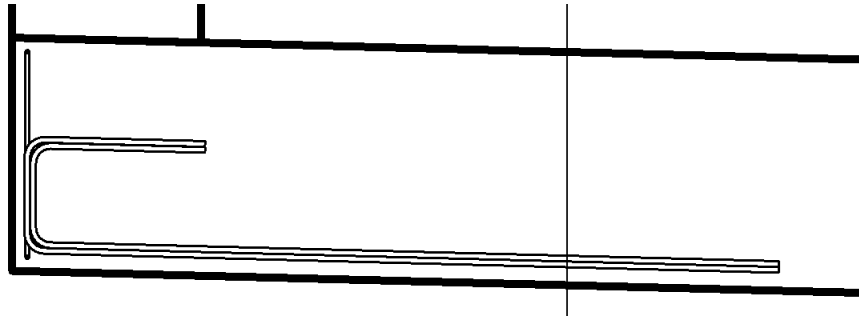


Figura 6.52 – Vista in sezione delle barre all'intradosso della trave – sezione di spalla

Ovviamente le barre vanno prolungate oltre la fine della sezione di spalla per far sì che funzionino correttamente per tutta la lunghezza della sezione di spalla.

I $2 \times 7\phi 30$ da mettere nella sezione di campata sono da dividere perché altrimenti sarebbero troppo lunghi quindi è stata realizzata una sovrapposizione.

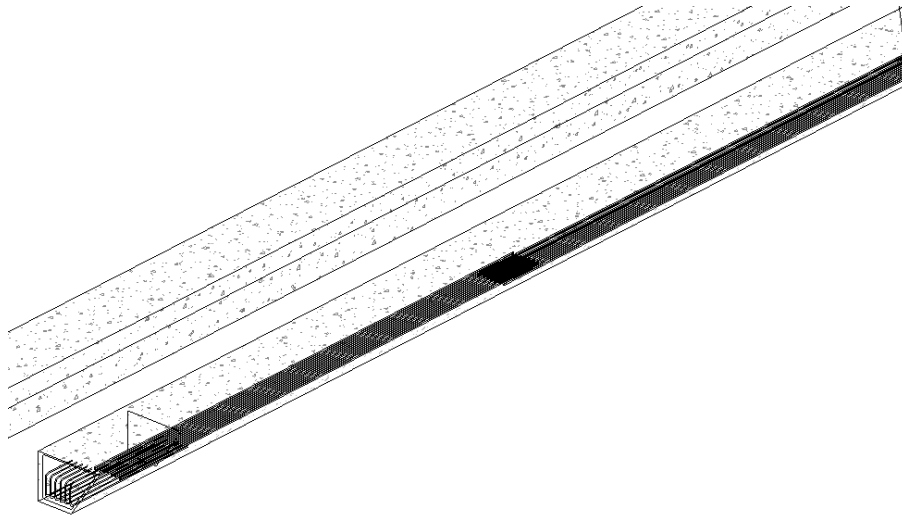


Figura 6.53 – Vista 3D delle barre all'intradosso della trave – sezione di campata

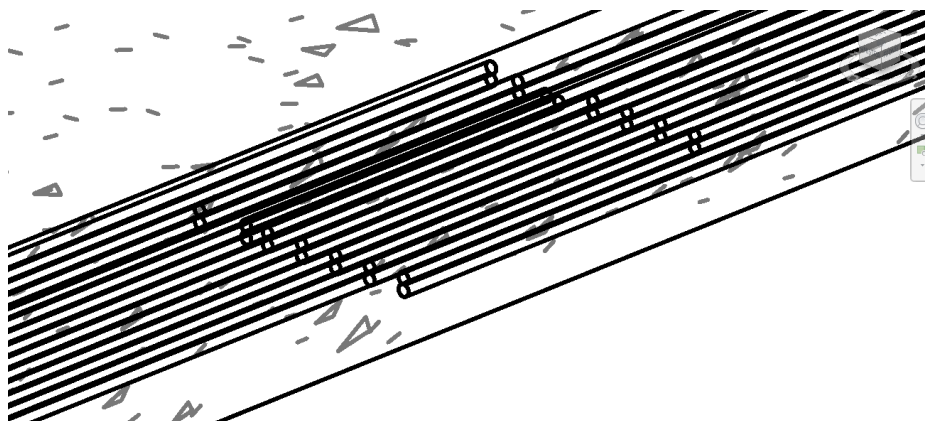


Figura 6.54 – Dettaglio della sovrapposizione delle barre all'intradosso della trave – sezione di campata
 Infine, bisogna posizionare $2 \times 6\phi 30$ nella sezione di pila. Per questi la complicazione consiste nell'evitare interferenze con le barre della pila.

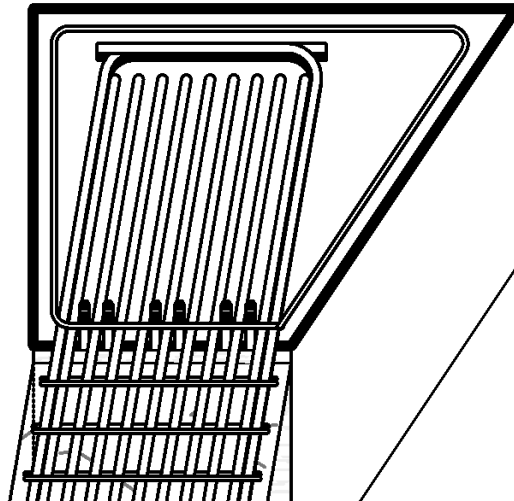


Figura 6.55 – Vista frontale delle barre all'intradosso della trave – sezione di pila

A conclusione del processo, è stata svolta una verifica delle interferenze tra tutte le barre della trave appena collocate.

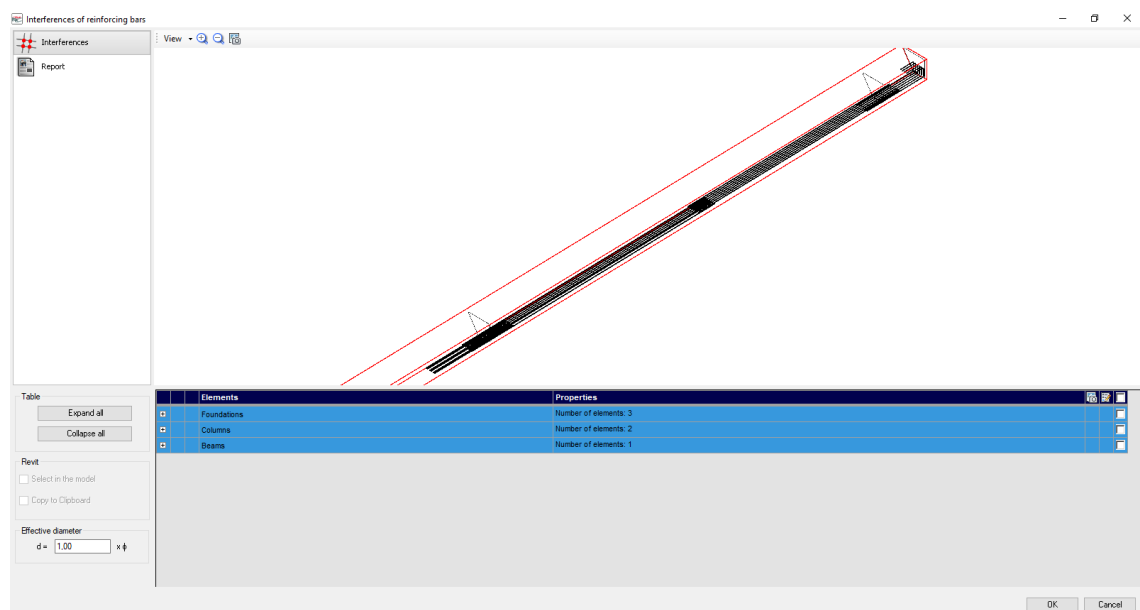


Figura 6.56 – Verifica delle interferenze per le barre della trave

I problemi principali nascono proprio in corrispondenza della pila dove ci sono già numerose barre e lo spazio a disposizione per posizionare dei $\phi 30$ non è molto.

Sono stati poi posizionati i ferri all'estradosso dell'elemento composto da trave e soletta, per Revit sono barre che appartengono all'elemento della soletta. Anche in questo caso nelle tre sezioni cambia sia il passo che il diametro delle barre. La prima sezione ad essere armata è stata quella di spalla dove sono necessari $\phi 22/125mm$.

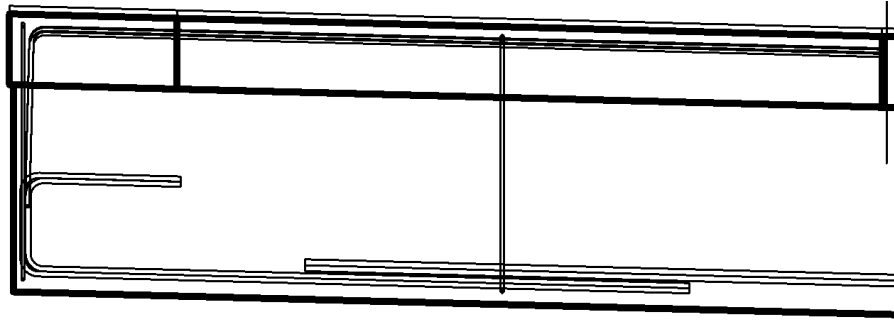


Figura 6.57 – Vista in sezione delle barre all’estradosso della trave – sezione di spalla

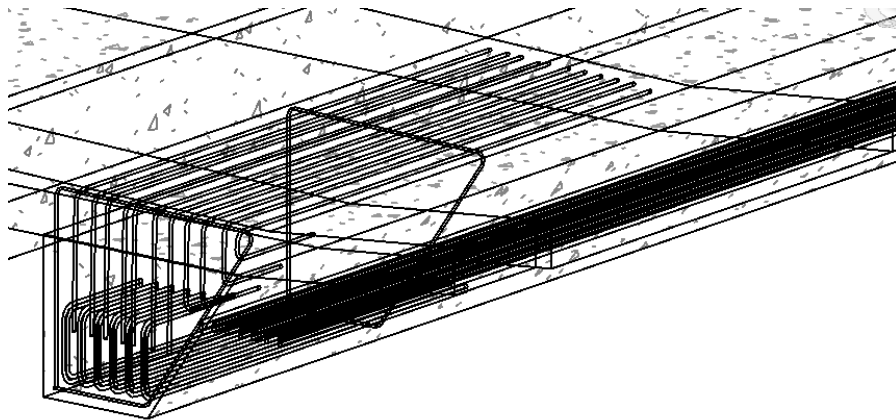


Figura 6.58 – Vista 3D delle barre all’estradosso della trave – sezione di campata

Dal momento che nella testata della trave è stato realizzato l’ancoraggio anche di queste barre è stata svolta una verifica delle interferenze. Nella sezione di campata vanno inseriti dei $\phi 18/150mm$. È necessario dividere le barre esattamente come è stato fatto per quelle di intradosso, prevedendo una sovrapposizione di 50ϕ tra le barre oltre all’ancoraggio oltre la fine della sezione di campata.

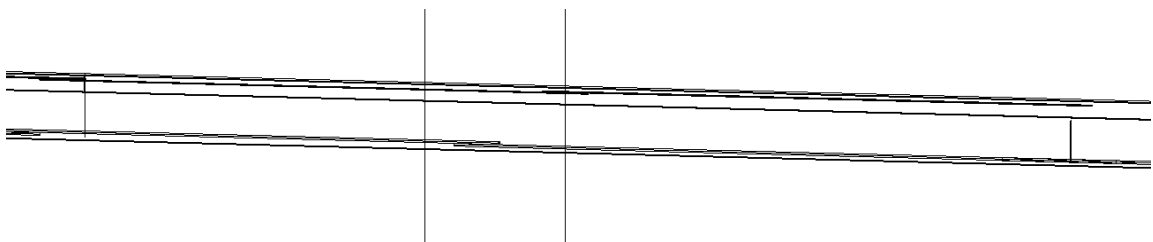


Figura 6.59 – Vista in sezione delle barre all’estradosso della trave – sezione di campata

Nella sezione di pila servono $\phi 26/100$.

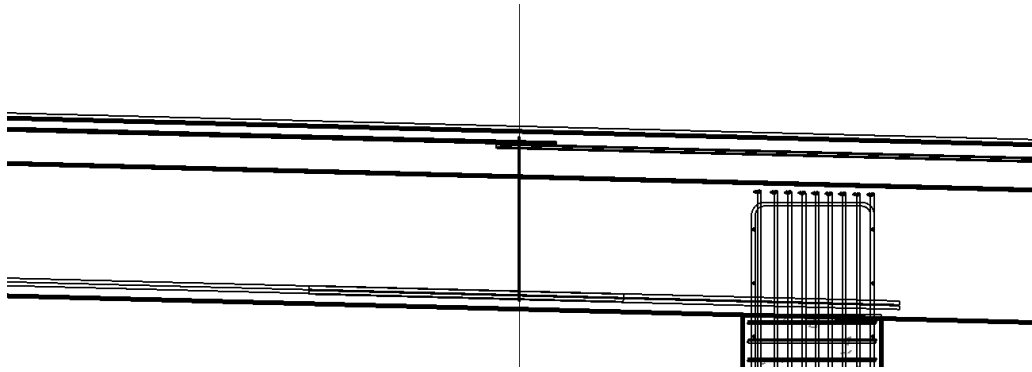


Figura 6.60 – Vista in sezione delle barre all’estradosso della trave – sezione di campata

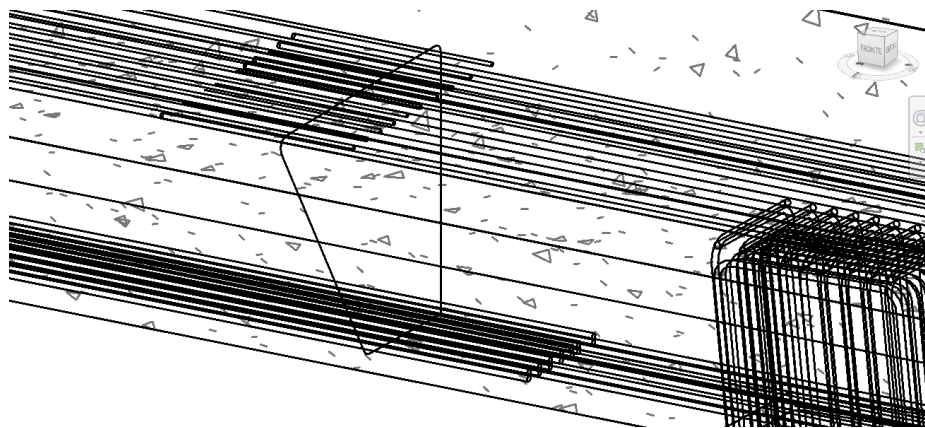


Figura 6.61 – Vista 3D delle barre all’estradosso della trave – sezione di campata

Completato il posizionamento delle barre all’estradosso è stata svolta la verifica delle interferenze che ha portato alla luce qualche problema nella testata della trave dove già erano presenti gli ancoraggi delle barre all’intradosso e le teste di ancoraggio dei cavi per la post tensione.

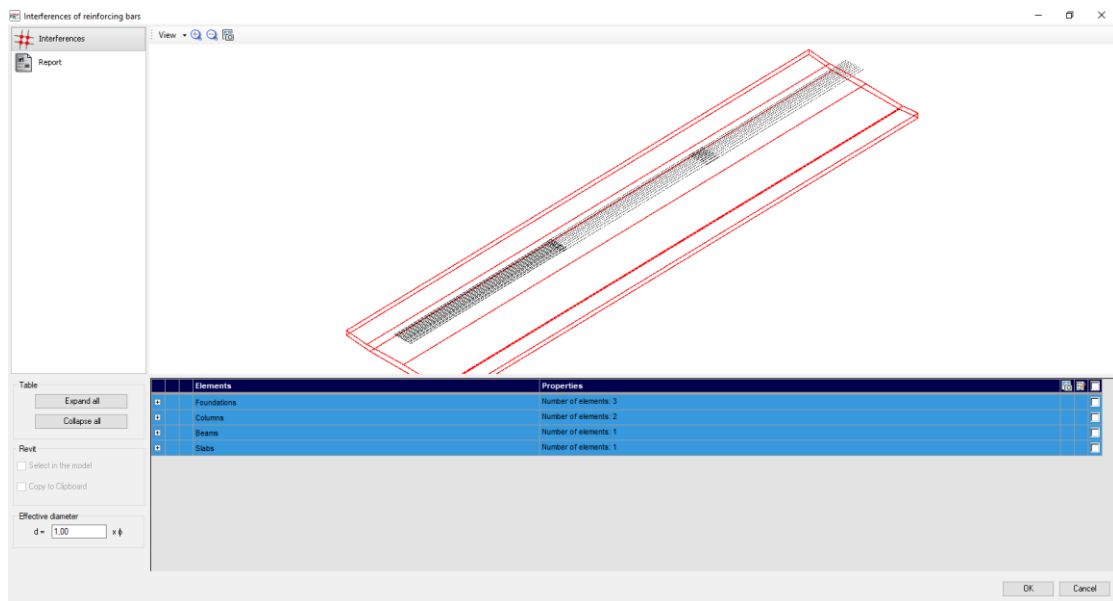


Figura 6.62 – Verifica delle interferenze per le barre della trave

È significativo ricordare che le interferenze con le teste di ancoraggio e, in generale, con le guaine, non vengono evidenziate da questa verifica quindi, nei limiti del possibile, la verifica con questi elementi è stata fatta visivamente.

Per quanto riguarda l'armatura da posizionare sulle pareti della trave, è stato considerato prima il lato verticale nelle tre diverse sezioni poi quello inclinato. Le sezioni di spalla e di pila prevedono lo stesso tipo di armatura. Per prima è stata armata la sezione di spalla su cui vanno inseriti $12\phi 22$ da ancorare nuovamente nella testata della trave con una piegatura a "L". Una parte di queste barre è collocate nella trave e una parte nella soletta. È l'unica soluzione possibile vista la quantità di acciaio già presente; per queste barre non è stato possibile fare uno studio delle interferenze con i sistemi di post tensione perché avrebbe richiesto moltissimo tempo senza ottenere, in ogni caso, risultati particolarmente precisi.

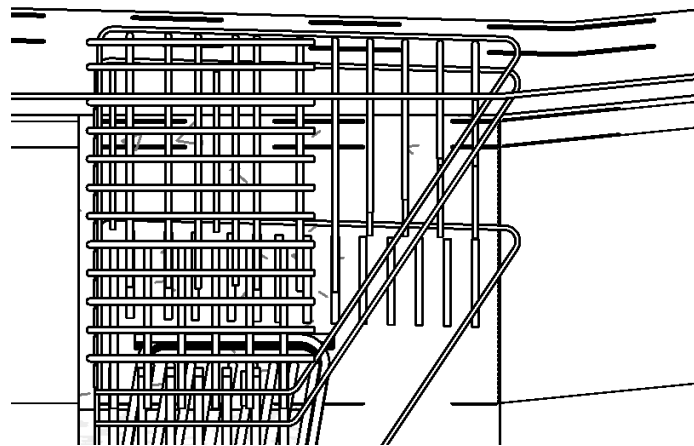


Figura 6.63 – Ancoraggi delle barre della parete verticale della trave – sezione di spalla

Nella sezione di spalla queste barre devono continuare quindi quello che si vede da una vista di sezione della trave è mostrato nella Figura seguente

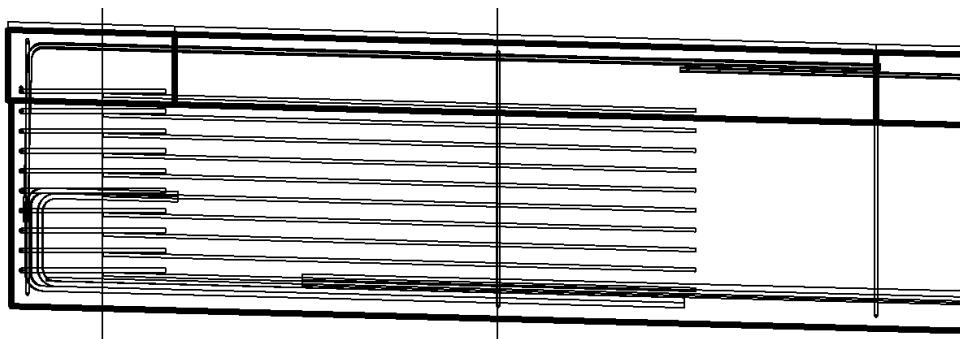


Figura 6.64 – Vista in sezione delle barre della parete verticale della trave – sezione di spalla

È stata svolta subito una verifica delle interferenze per valutare quali potessero essere le interferenze significative in una sezione di questo tipo. Uno dei problemi principali è il

mantenimento del copriferro su tutti i lati della trave. Le barre appena inserite sono state copiate nella sezione di pila come previsto dalle sezioni tipologiche fornite.

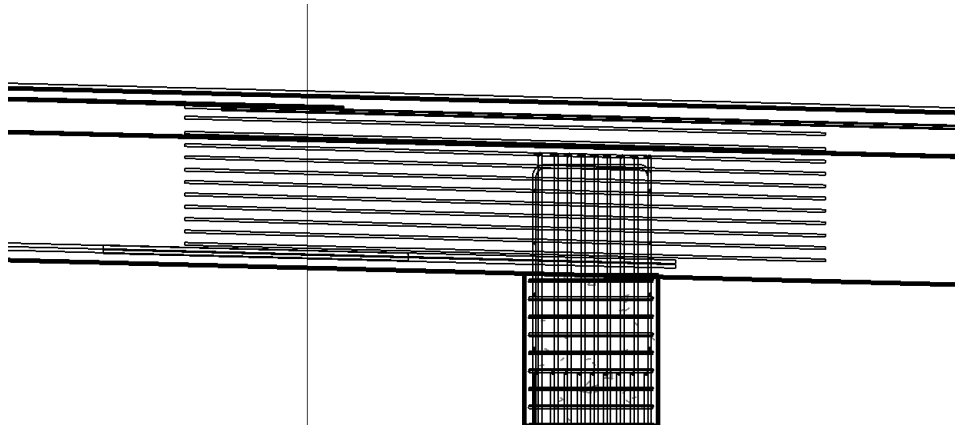


Figura 6.65 – Vista in sezione delle barre della parete verticale della trave – sezione di pila

Le barre relative alla sezione di campata devono essere $\phi 20/200$, vista la lunghezza della zona è necessario dividere le barre e realizzare una sovrapposizione.

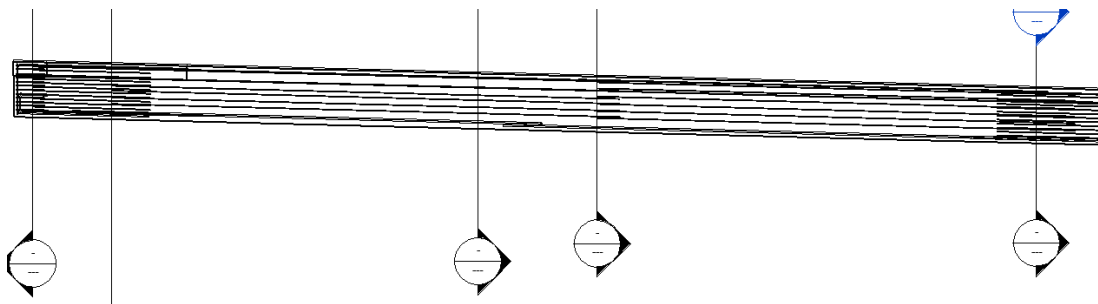


Figura 6.66 – Vista in sezione delle barre della parete verticale della trave – sezione di campata

È stata svolta la verifica delle interferenze che ha portato alla luce alcuni problemi ma nessuno di particolare interesse dal momento che erano tutte risolvibili spostando di qualche millimetro le barre verso l'alto o il basso. Risolvere queste problematiche richiede tempo ma nessun vantaggio, in cantiere le armature vengono posizionate direttamente una sopra l'altra quindi per gli scopi della presente tesi non sono significative.

Le armature da mettere sulla parete inclinata della trave seguono lo stesso principio di quelle appena posizionate. Nella sezione di spalla vanno inseriti $14\phi 22$ con ancoraggio ad "L" nella testa. Sono stati specchiati quelli della parete verticali e sono stati spostati nelle posizioni corrette.

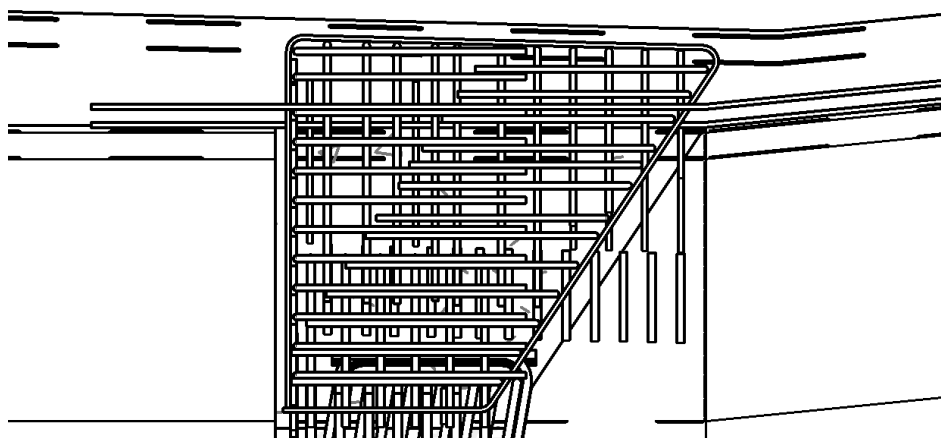


Figura 6.67 – Ancoraggi delle barre della parete obliqua della trave – sezione di spalla

Per prima cosa sono stati risolti i problemi significativi evidenziati dal controllo delle interferenze. Man mano che vengono aggiunte armature vengono trovati sempre più interferenze ed è più complesso risolvere i problemi.

Le barre orizzontali della sezione di spalla sono i seguenti

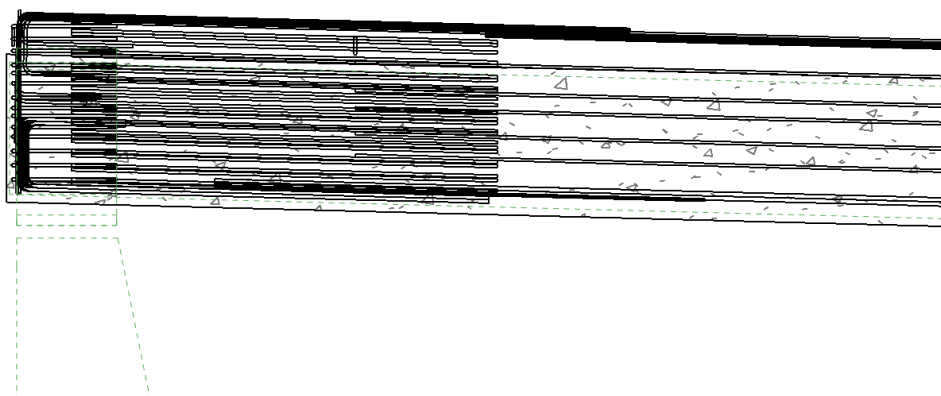


Figura 6.68 – Vista in sezione delle barre della parete obliqua della trave – sezione di spalla

I medesimi ferri vanno collocati anche nella sezione di pila, quindi, sono stati copiati e posizionati correttamente

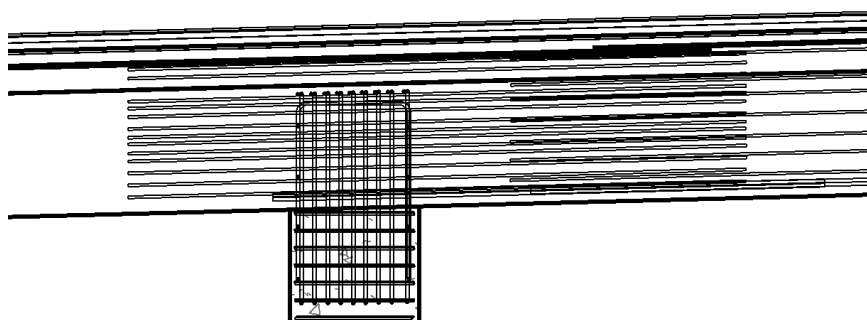


Figura 6.69 – Vista in sezione delle barre della parete obliqua della trave – sezione di pila

Infine, vanno inseriti $\phi 20/200$ nella sezione di campata, vanno divisi in due parti per evitare barre troppo lunghe e prevedere una sovrapposizione circa a metà della campata.

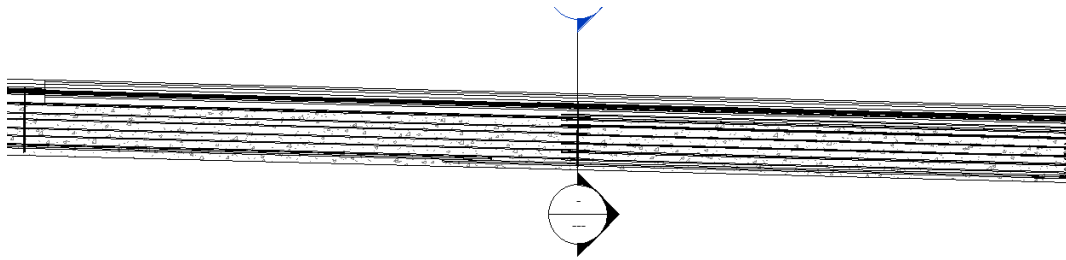


Figura 6.70 – Vista in sezione delle barre della parete obliqua della trave – sezione di campata

La verifica delle interferenze anche in questo caso ha trovato problematiche legate alla sovrapposizione delle barre.

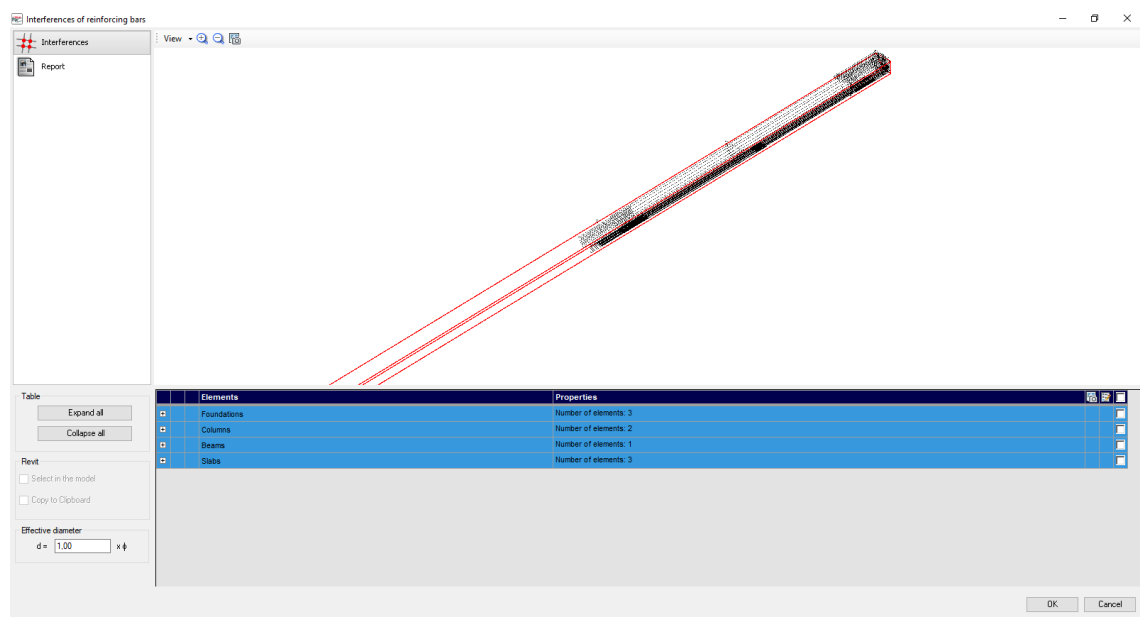


Figura 6.71 – Verifica delle interferenze delle barre della trave

Per concludere l'armatura delle travi mancano le staffe. È necessario usare delle staffe a quattro bracci aventi la stessa forma lungo tutta la trave ma con passi diversi a seconda della sezione in cui ci trova. È stata disegnata la forma delle due staffe

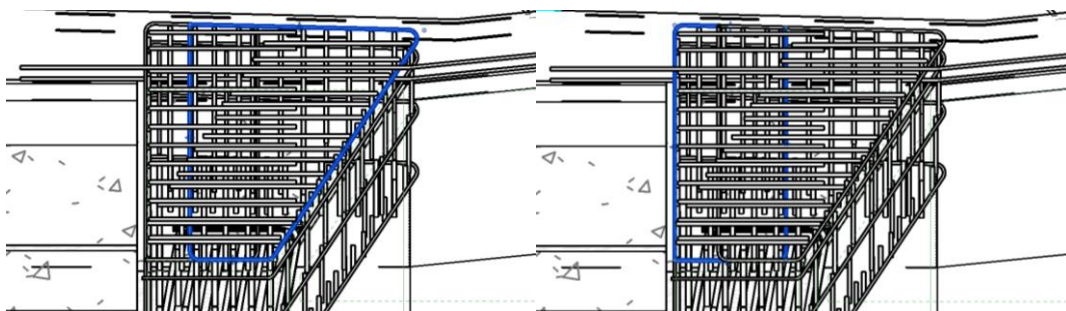


Figura 6.72 – Forma delle staffe della trave

Nella sezione di spalla le staffe hanno un passo di 150mm mentre in campata il passo è 250mm .

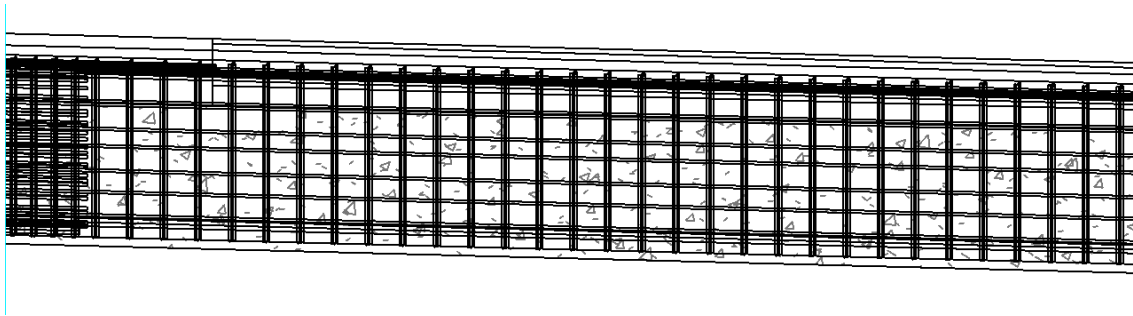


Figura 6.73 – Staffe della trave nella sezione di spalla e campata

Nella sezione di pila il passo è nuovamente 150mm. Concluso il posizionamento è stata svolta la verifica delle interferenze. Visto che due lati delle staffe tagliano la trave le interferenze sono tante, soprattutto nelle sezioni di pila e di spalla dove ci sono molte barre longitudinali e tutti gli ancoraggi delle barre degli altri elementi.

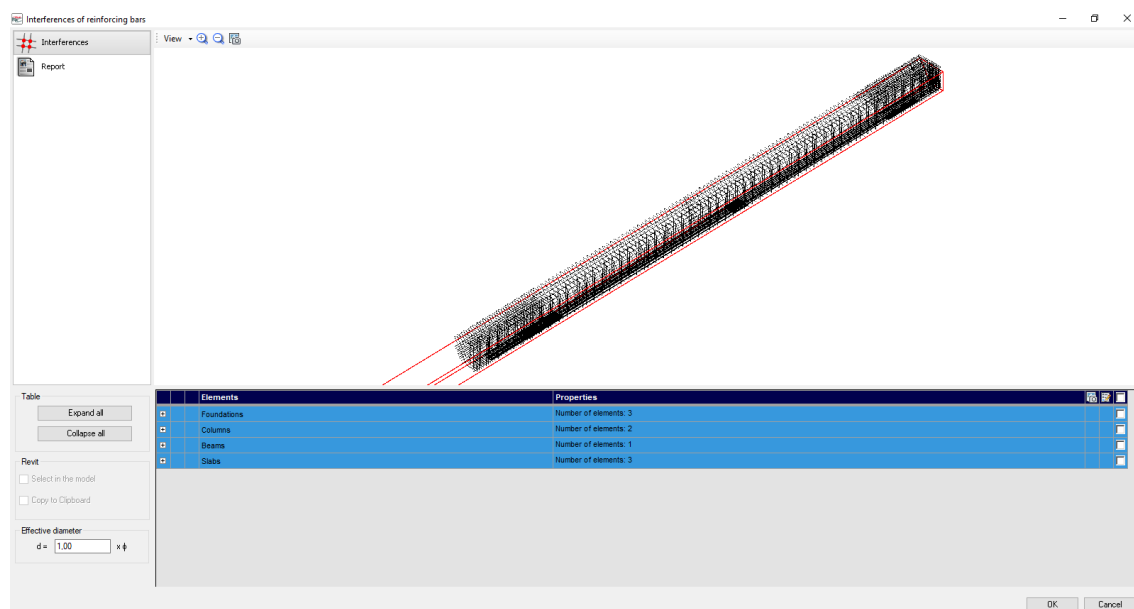


Figura 6.74 – Verifica delle interferenze delle barre della trave

Si può considerare conclusa l'armatura della trave, la vista tridimensionale che si ottiene è la seguente

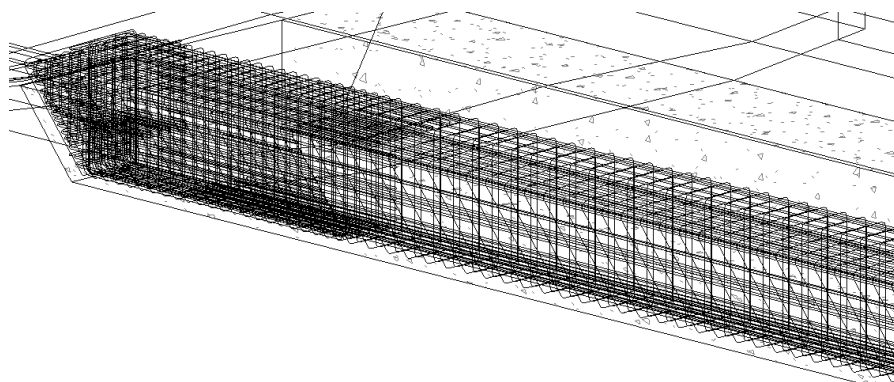


Figura 6.75 – Verifica delle interferenze delle barre della trave

Il passo successivo prevede il completamento dell'armatura della soletta. Le armature sono diverse a seconda delle sezioni, sia quelle trasversali che quelle longitudinali. L'armatura è simmetrica rispetto all'asse dell'impalcato quindi, come per le travi, si è scelto di armare solamente metà della soletta.

Le prime barre che sono state posizionate sono quelle trasversali all'intradosso della soletta. È stato posizionato un unico ferro che parte dallo sbalzo della soletta e arriva fino a metà della soletta

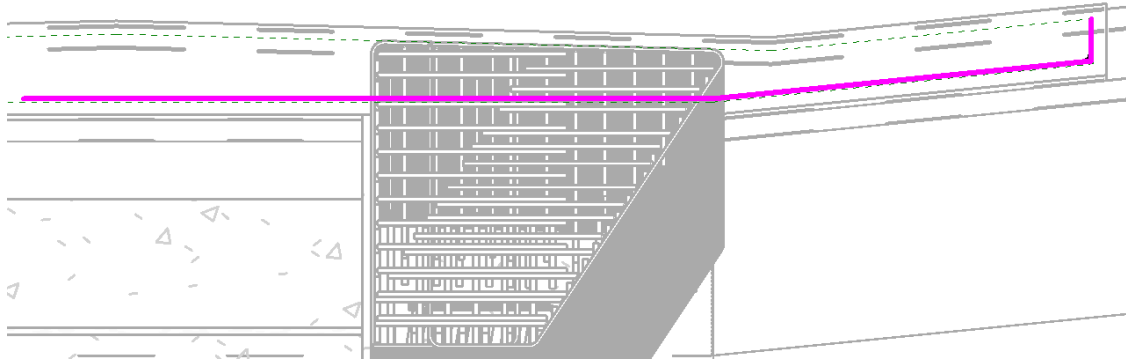


Figura 6.76 – Forma della barra di armatura trasversale all'intradosso della soletta

Nella sezione di spalla sono necessari dei $\phi 18/150\text{mm}$, il passo si mantiene costante per tutta la lunghezza della trave, dalla spalla alla pila. Dato che la soletta ha larghezza variabile lungo lo sviluppo longitudinale dell'impalcato, anche le barre appena disegnate hanno una lunghezza variabile a seconda della posizione in cui ci si trova.

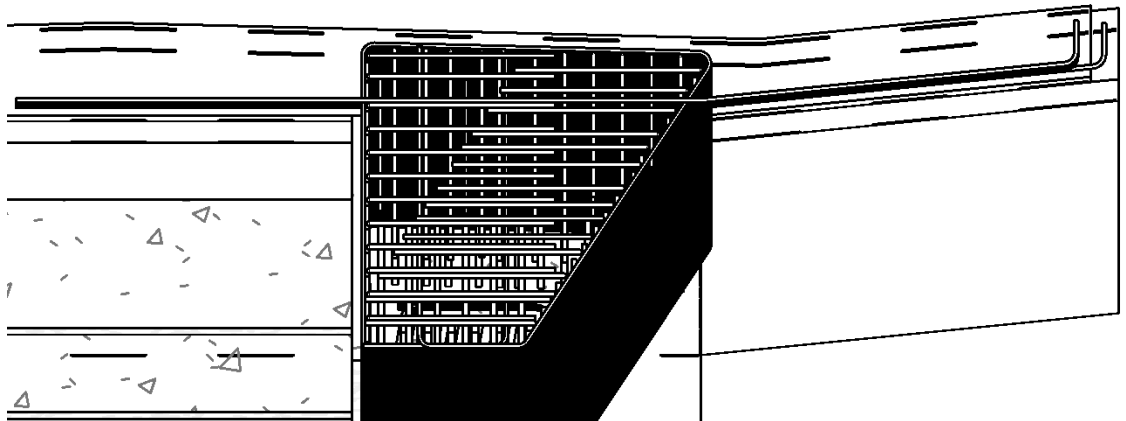


Figura 6.77 – Barre all'intradosso della soletta di lunghezze diverse

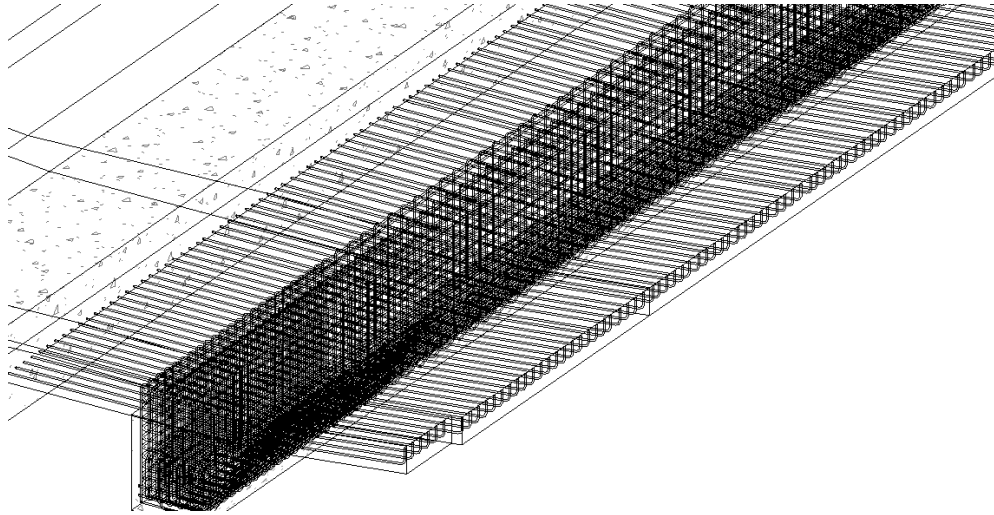


Figura 6.78 – Vista 3D dell'armatura all'intradosso della soletta

Completato il posizionamento di tutte le barre, è stata svolta la verifica delle interferenze e sono state corrette quelle ritenute significative.

Lo stesso procedimento è stato applicato anche alle barre all'estradosso della soletta dove servono dei $\phi 26/150$. Anche queste barre mantengono il diametro e il passo costante, varia solo la loro lunghezza al variare della sezione della soletta.

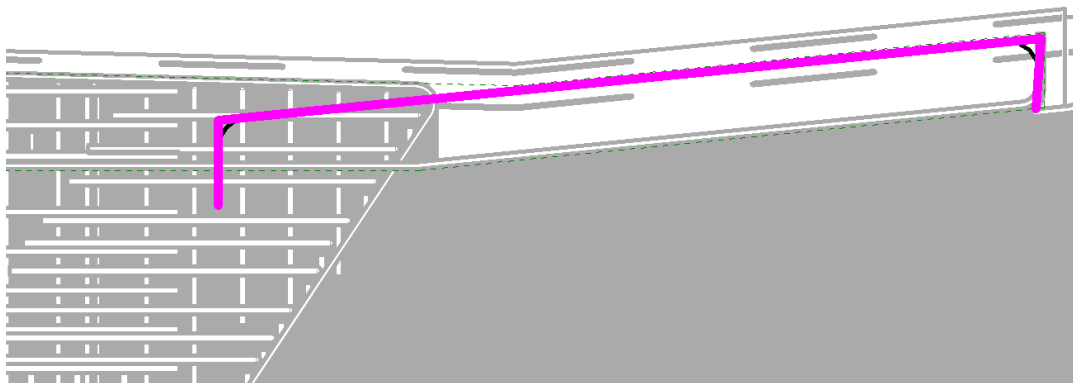


Figura 6.79 – Verifica delle interferenze delle barre della trave

Dopo aver posizionato il ferro è stata eseguita la verifica delle interferenze prima di copiarlo lungo tutta la campata. Vista la posizione della barra e del gran numero di armature già inserite, le interferenze sono inevitabili, sono state corrette quelle significative.

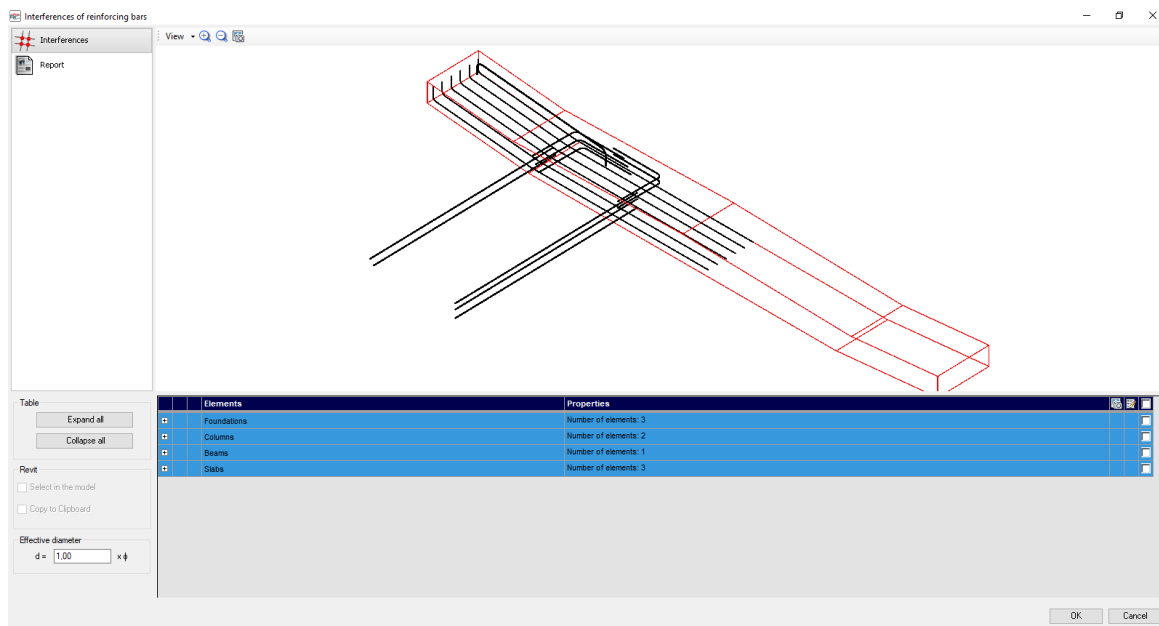


Figura 6.80 – Verifica delle interferenze della barra all'estradosso della soletta

Una volta risolti i problemi, la barra è stata copiata lungo la soletta ed è stata modificata la dimensione a seconda della sezione in cui ci si trova. Completata questa operazione è stata svolta la verifica delle interferenze che ha individuato moltissimi problemi, alcuni dei quali sono stati risolti.

Per completare l'armatura all'estradosso della soletta è stato disegnato un ferro che segue l'inclinazione della soletta nella parte centrale dell'impalcato.

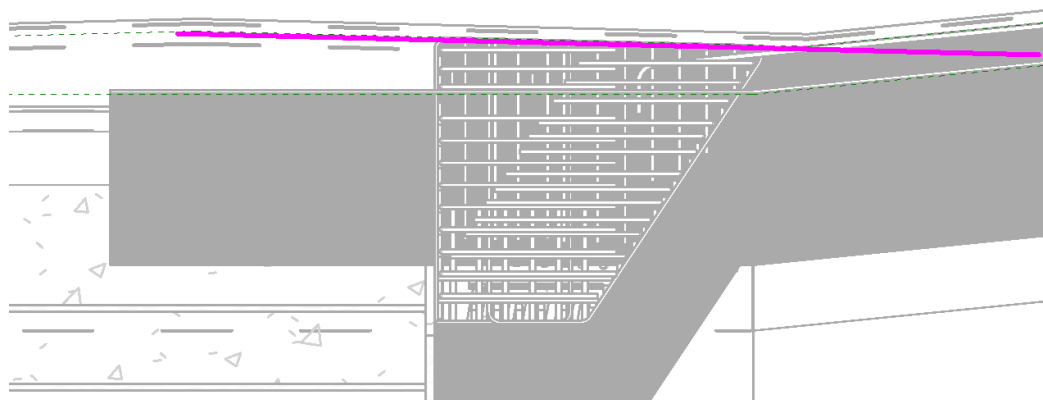


Figura 6.81 – Forma della barra trasversale all'estradosso della soletta

Dopo aver verificato possibili interferenze, è stato copiato lungo tutta la soletta. Questa è l'unica armatura che non ha bisogno di modifiche a prescindere dalla posizione in cui viene collocata.

A questo punto mancano solo le barre longitudinali, vanno posizionati dei $\phi 18/150\text{mm}$. Nella sezione di spalla tali barre vanno ancorate e per farlo è stato realizzato un risvolto nell'altezza della soletta.

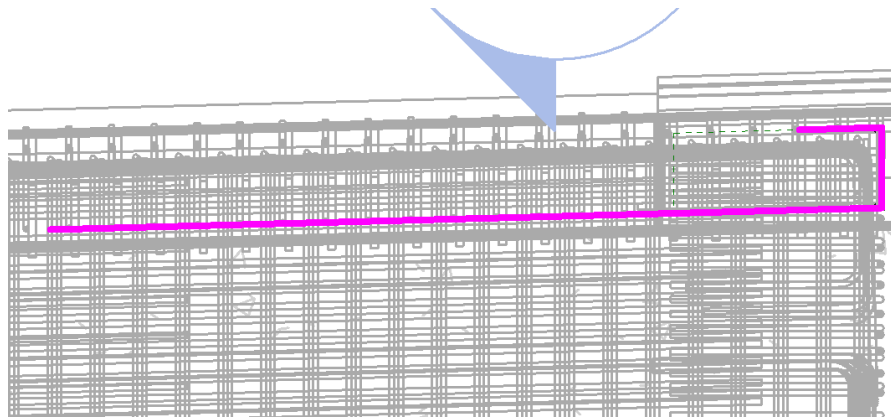


Figura 6.82 – Ancoraggio dei ferri longitudinali nella soletta

Essendo variabile lo spessore della soletta, è variabile anche la lunghezza dell'ancoraggio. La verifica delle interferenze per questo elemento è molto complicata e non tiene conto della presenza delle teste di ancoraggio dei cavi della post tension. I primi ad essere stati posizionati sono stati quelli in corrispondenza della trave dove ci sono già molti altri ferri. Poi sono state collocate le barre in posizione esterna rispetto alla trave, dove i problemi sono minori. Successivamente sono state verificate tutte le interferenze e sono state risolte quelle significative. Completato il processo di verifica, sono state posizionate le barre lungo tutto l'intradosso della soletta, prevedendo una zona di sovrapposizione per evitare barre troppo lunghe. Sono tutte barre $\phi 18$ da 12m l'una.

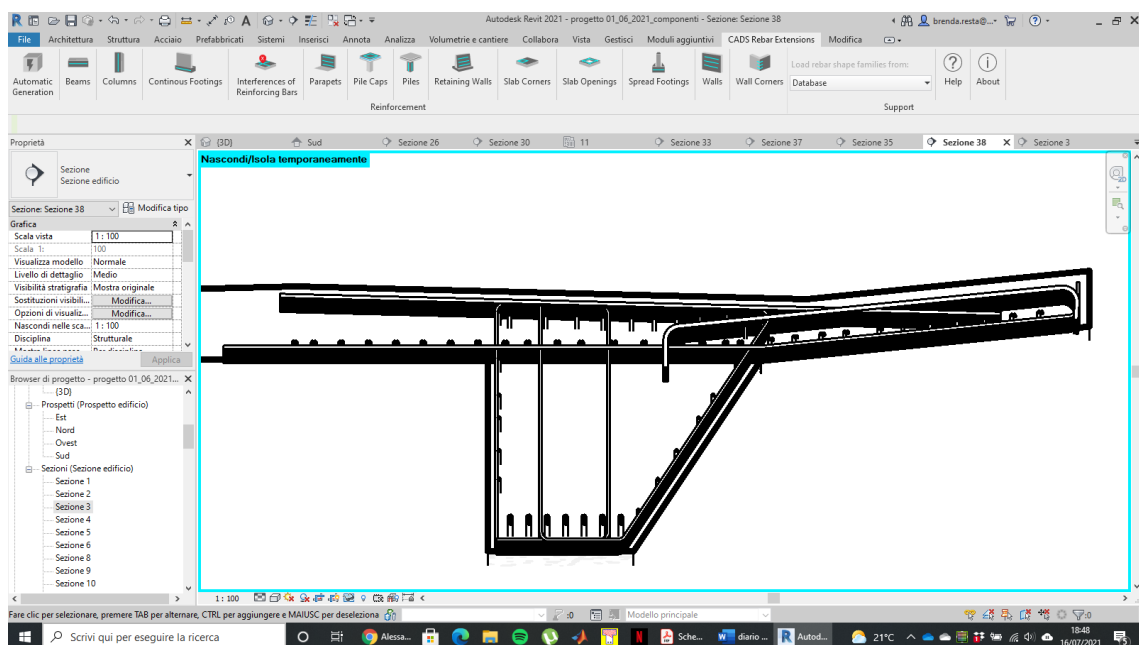


Figura 6.83 – Vista in sezione delle barre longitudinali all'intradosso della soletta

È stata svolta una verifica delle interferenze che ha portato alla luce delle interferenze principalmente legate alla realizzazione della sovrapposizione delle barre da 12m.

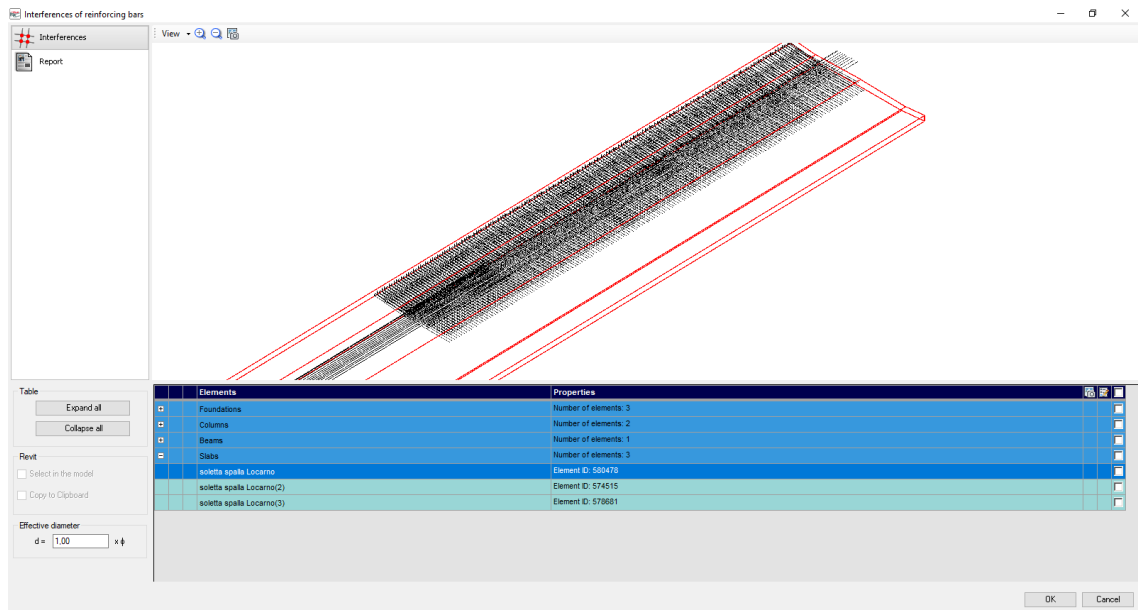


Figura 6.84 – Verifica delle interferenze delle barre all'intradosso della soletta

Ora mancano solo le barre all'estradosso della soletta. Quelle in corrispondenza della trave sono già state posizionate quando è stata armata la trave, quindi, mancano solamente le barre relative alla soletta, sia nella parte a sbalzo sia nella parte centrale a schiena d'asino. Anche all'estradosso sono richiesti dei $\phi 18/150\text{mm}$. Sono stati utilizzati ferri aventi la medesima forma di quelli all'intradosso a cui sono state leggermente modificate le dimensioni.

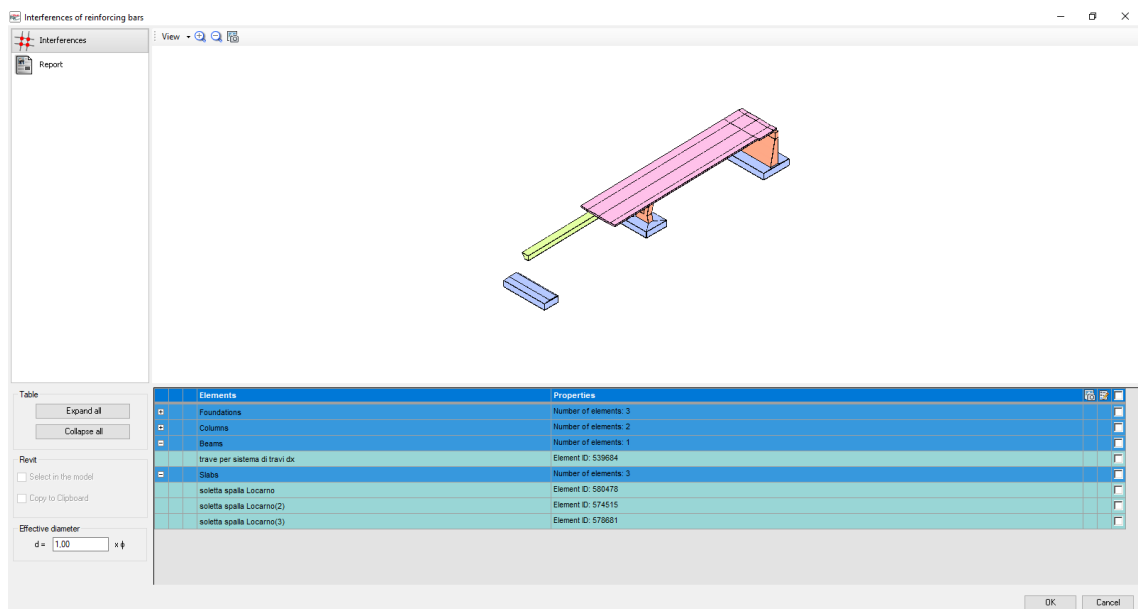


Figura 6.85 – Verifica delle interferenze delle barre della trave

Le interferenze trovate da Revit sono relative alle sovrapposizioni realizzate per ancorare le barre quindi nessuna di esse è particolarmente significativa, sono tutti errori principalmente di disegno. Nel momento in cui si va in cantiere a posare le barre le

interferenze che Revit evidenzia vengono automaticamente risolte collocando le barre una di fianco all'altra.

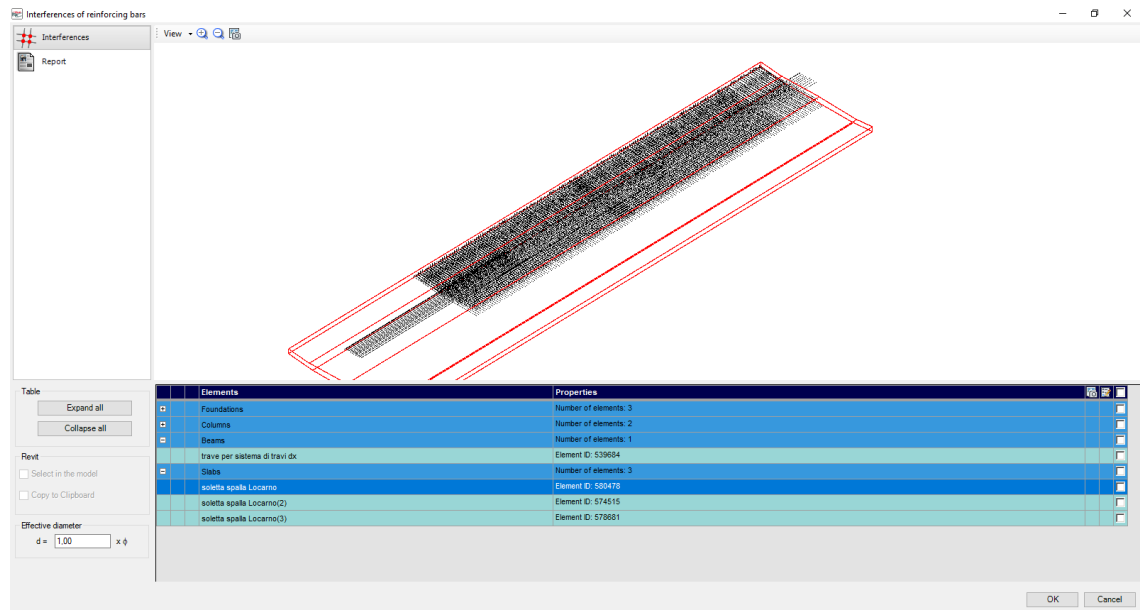


Figura 6.86 – Verifica delle interferenze delle barre della soletta

Si può ritenere conclusa l'armatura della trave e della soletta.

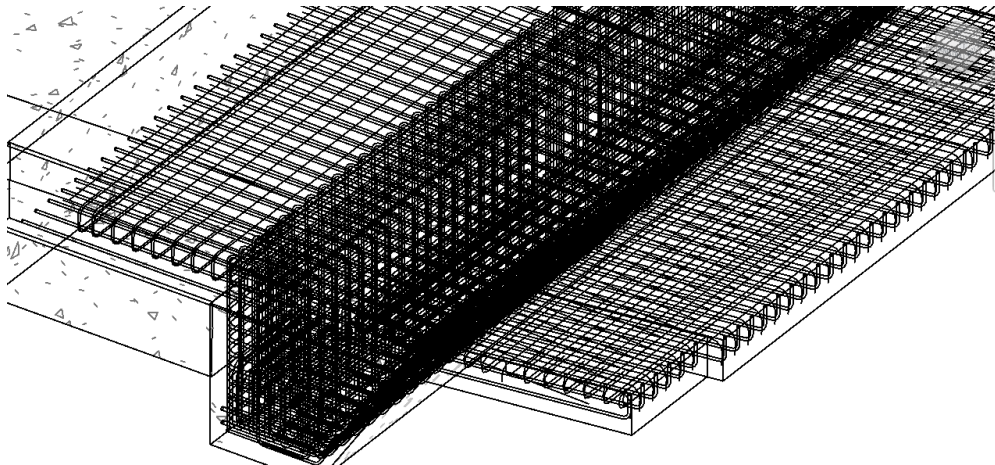


Figura 6.87 – Vista 3D delle armature di trave e soletta

A questo punto del lavoro il file su cui si sta lavorando è diventato molto pesante e difficoltoso da gestire per Revit. Il software, infatti, va a scatti e per fare ogni verifica è richiesto molto tempo. Per cercare di migliorare la situazione sono stati eliminati tutti gli elementi non utilizzati per alleggerire il file. Effettivamente le cose sono migliorate in maniera abbastanza significativa ma sarebbe comunque difficile pensare di riuscire a posizionare l'armatura in tutti gli elementi del modello. Va precisato il fatto che la modellazione è stata eseguita con un PC portatile ordinario e l'esperienza potrebbe essere diversa nel caso in cui venisse utilizzata una macchina più performante.

6.6. Armatura dei traversi

I traversi sono gli ultimi elementi che si è scelto di armare. Dei cinque traversi presenti nell'impalcato si è scelto di armare solamente quelli di maggior interesse, ovvero quello di testata dal lato Locarno e quello di pila. Questi traversi, inoltre, sono stati armati solo per metà, nella parte di impalcato dove sono già state inserite le armature in modo da poter capire quali sono le problematiche legate alle interferenze con le altre armature. Il traverso di campata compreso tra la spalla Locarno e la pila non è stato armato perché non comporta vantaggi per la tesi e non presenta neanche difficoltà diverse da quelle dei due traversi che, invece, si è deciso di armare.

Il primo traverso ad essere armato è quello di testata.

6.6.1. Traverso di testata

Dallo studio delle sezioni tipo dell'armatura è risultato che le barre trasversali all'estradosso della soletta, nella sezione di spalla, sono anche le armature trasversali del traverso di testata. In corrispondenza del traverso, quindi, è stata modificata l'armatura della soletta trasformando i $\phi 26$ in $\phi 30$ e riducendo il passo in modo tale che all'interno del traverso siano contenute otto barre, come previsto dagli schemi delle armature. Alla fine, è stata svolta la verifica delle interferenze.

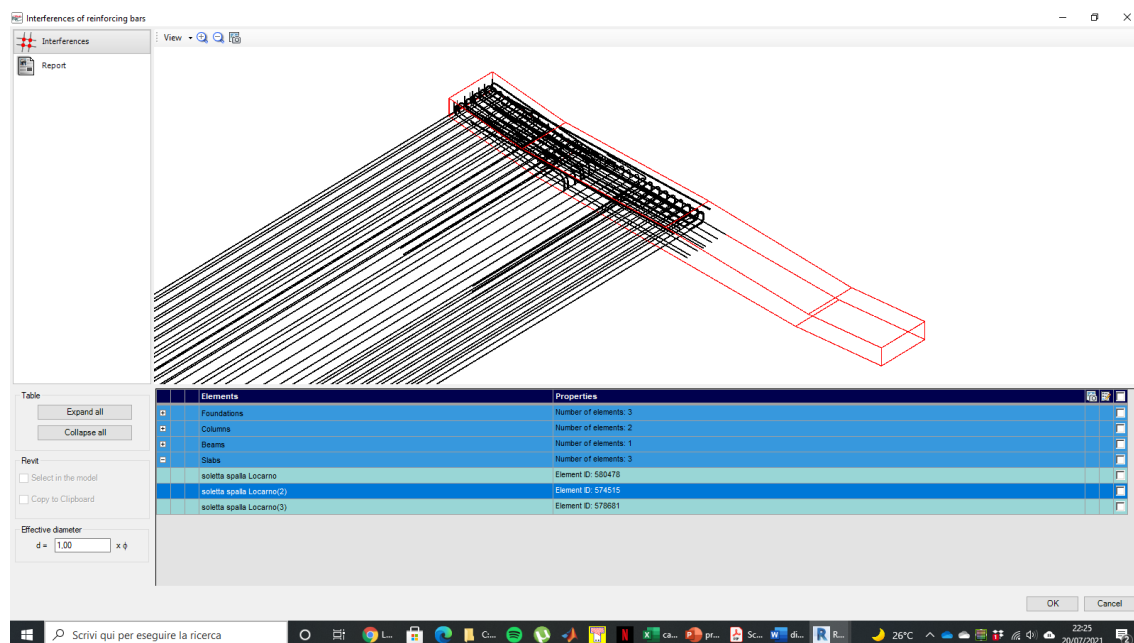


Figura 6.88 – Verifica delle interferenze tra le barre del traverso e quella della soletta

Le interferenze individuate sono moltissime a causa del cambio di diametro. Risulta particolarmente complesso risolverle e mantenere anche il copriferro di tutti gli elementi dato che è una zona con una percentuale altissima di armatura.

All'intradosso del traverso vanno collocati $6\phi 26$ che si ancorano all'interno della trave e presentano la seguente forma

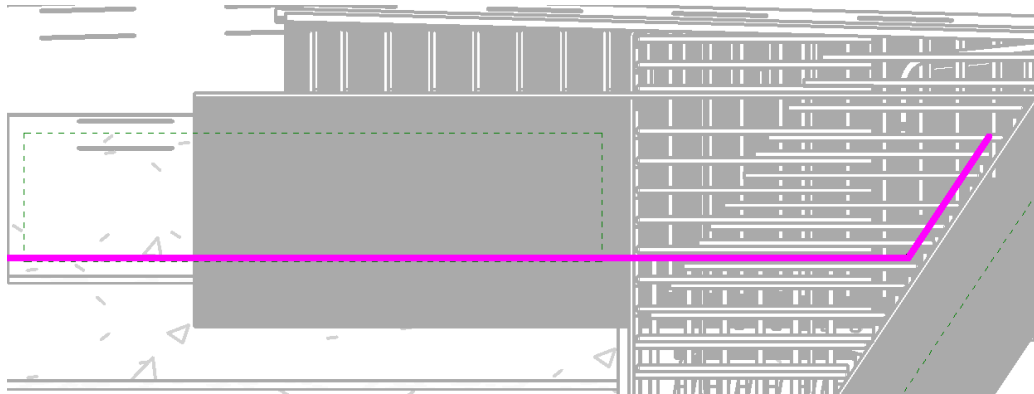


Figura 6.89 – Barre all'intradosso del traverso

In questo caso le interferenze sono molto meno e facilmente risolvibili.

Per quanto riguarda la staffatura, sono necessarie delle staffe $\phi 16/150\text{mm}$ a quattro bracci. Dopo aver disegnato le sagome delle due staffe è stata svolta una verifica delle interferenze per controllare eventuali problematiche legate alla forma delle staffe e alle barre già inserite. Apportate le dovute modifiche per evitare le interferenze, sono state copiate con passo costante pari a 150mm ed è stata eseguita nuovamente la verifica delle interferenze.

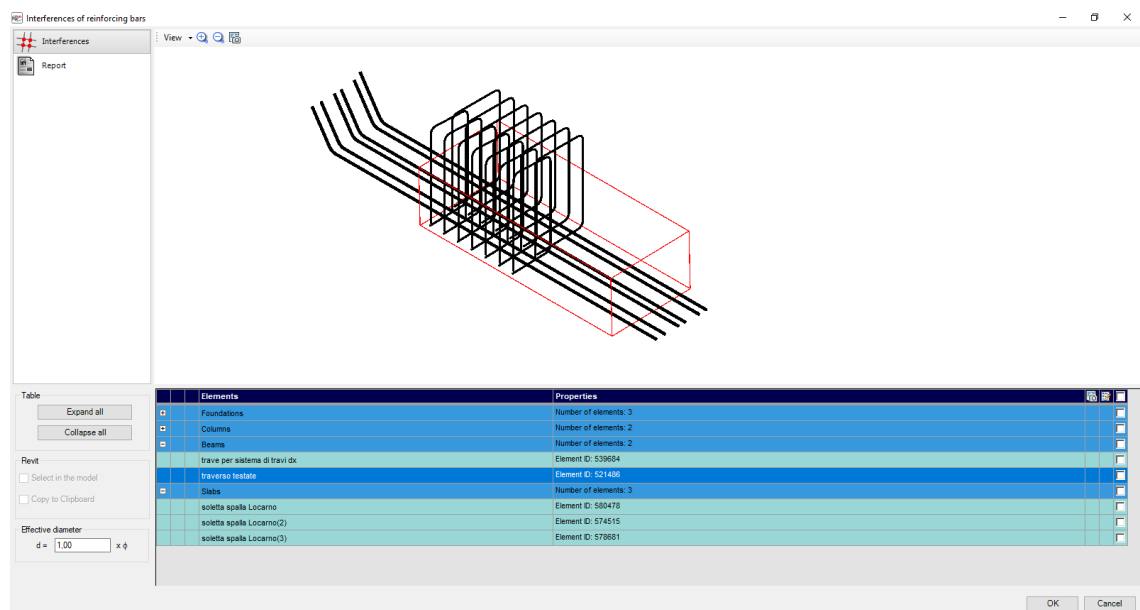


Figura 6.90 – Verifica delle interferenze per le staffe del traverso di testata

Mancano solamente i ferri da posizionare lungo l'altezza del traverso. Sono semplici barre orizzontali che si ancorano all'interno della trave senza bisogno di piegature. Sono stati inseriti prima quelli sul lato del traverso rivolto verso la spalla e poi sull'altro, ottenendo il risultato mostrato nella Figura seguente

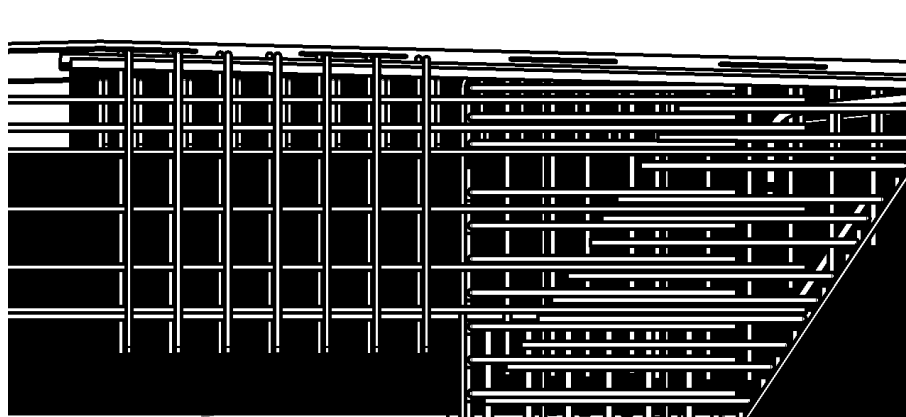


Figura 6.91 – Vista frontale delle barre del traverso e della trave

È stata svolta una verifica complessiva delle armature che non ha portato alla luce numerosi problemi vista la relativa semplicità dell'armatura. Le interferenze più significative sono quelle che coinvolgono le teste di ancoraggio dei cavi per la post tensione e le guaine. Come è già stato detto in precedenza, non c'è uno strumento che controlli tali interferenze, quindi, il controllo va svolto visivamente.

6.6.2. Traverso di pila

Le problematiche che si presentano in questo elemento sono le medesime che sono state riscontrate anche nel traverso di testata. In questo caso è leggermente più semplice dato che gli ancoraggi delle armature sono meno e ci sono solamente le guaine per i cavi della post tensione e non ci sono le teste di ancoraggio. I passaggi da seguire per inserire l'armatura sono i medesimi che sono stati descritti per il traverso di testata.

All'estradosso del traverso sono stati modificati i $7\phi 22$ della soletta trasformandoli in $6\phi 30$. Cambiare diametro e il passo è molto semplice ma comporta la nascita di interferenze che con il diametro precedente non si avevano. Inoltre, risulta anche complesso rispettare il copriferro.

Le barre all'intradosso del traverso hanno la medesima forma di quelle che sono state posizionate nel traverso di testata e, nuovamente, si ancorano all'interno della trave.

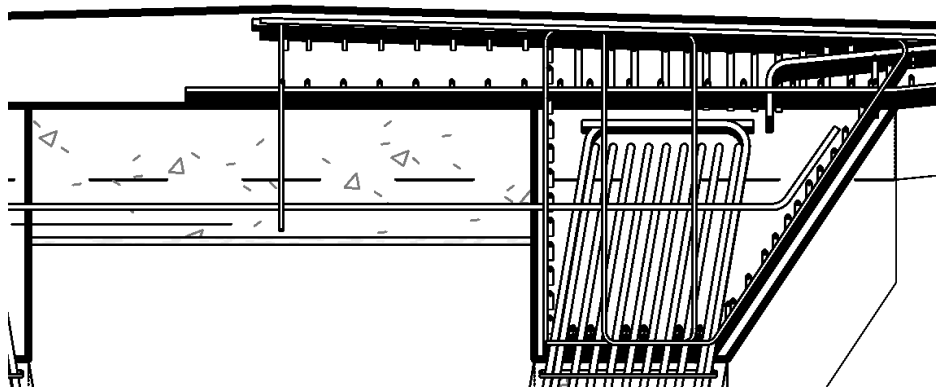


Figura 6.92 – Vista frontale delle barre all'intradosso del traverso di campata

Dopo aver verificato le interferenze con un solo ferro, è stato copiato per sei volte così da avere l'armatura completa all'intradosso e sono state nuovamente controllate le interferenze.

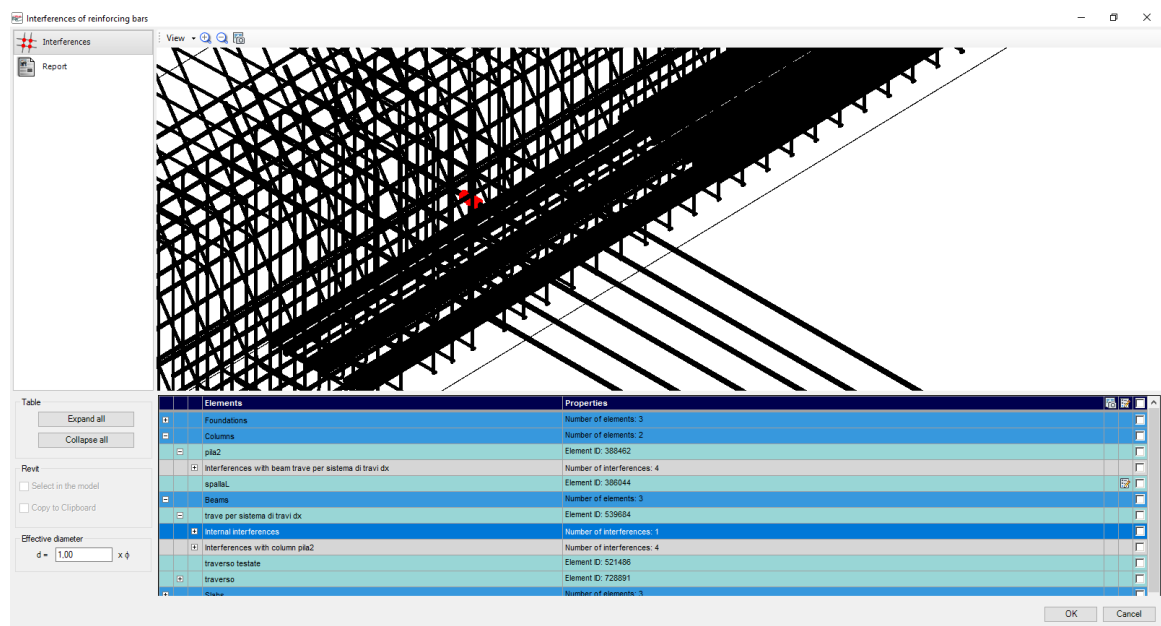


Figura 6.93 – Verifica delle interferenze delle barre del traverso di pila

Per risolverle si è cercato di evitare di toccare le barre della pila, della trave e della soletta per evitare di creare nuove interferenze negli elementi dove erano già state risolte.

Le staffe sono dei $\phi 14/150\text{mm}$ e si tratta nuovamente di staffe a quattro bracci. Sono state disegnate e poi controllate prima di essere copiate lungo tutto il traverso.

Per concludere l'armatura del traverso sono stati posizionati i ferri sulle pareti del traverso. Su entrambi i lati vanno collocati $5\phi 20$, senza bisogno di ripiegarli, per realizzare l'ancoraggio all'interno delle travi.

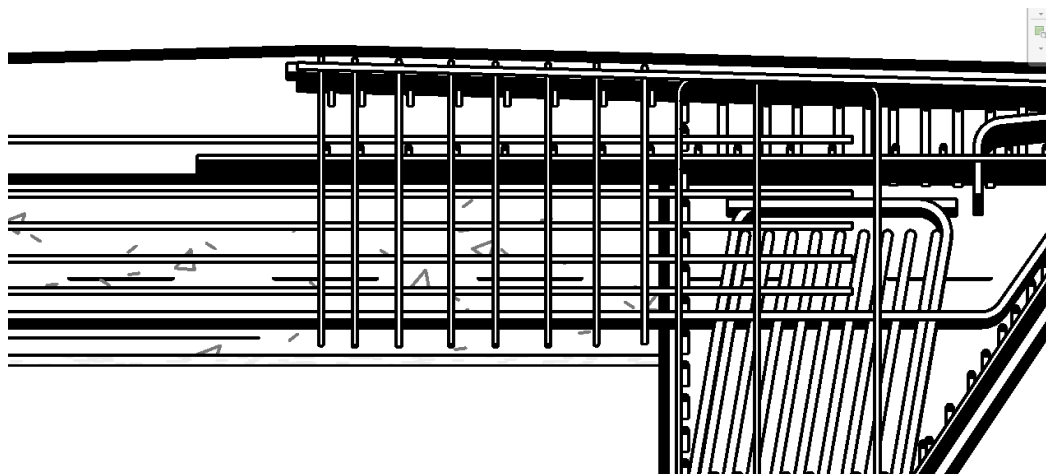


Figura 6.94 – Vista delle barre del traverso di pila

È stata svolta la verifica delle interferenze che ha individuato qualche problema, come era prevedibile, ma la loro correzione è risultata piuttosto rapida.

L'armatura che si ottiene complessivamente in corrispondenza della pila è la seguente

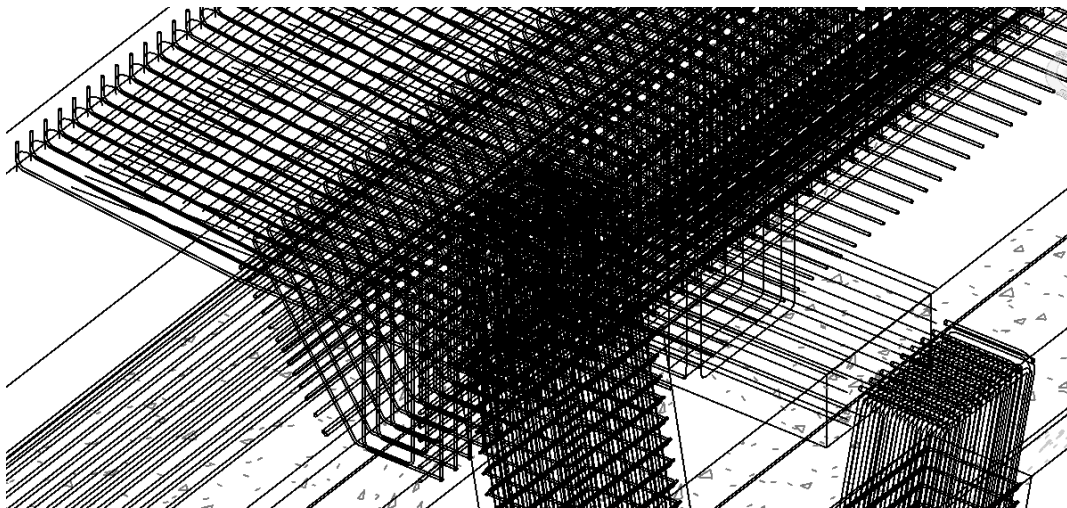


Figura 6.95 – Vista 3D delle armature di trave, traverso e soletta

6.7. Osservazioni

Il procedimento che è stato seguito per inserire l'armatura si è rivelato essere estremamente lungo e laborioso. La maggior parte delle armature inserite non è associata all'elemento a cui appartengono dato che sono state inserite tutte manualmente quindi nel caso in cui venga modificata la geometria l'armatura non si aggiorna automaticamente. Non si può, dunque, contare su un automatismo che aggiorni l'armatura insieme alla geometria. Questo rende difficoltosa l'eventuale modifica delle armature, sia nel caso in cui venga modificata la geometria, sia nel caso in cui si renda necessaria la modifica della sola armatura. Nel caso in cui sia necessario armare completamente gli elementi del modello con Revit, è opportuno verificare che le armature siano quelle definitive. Rimane comunque preferibile scegliere un software più adatto per questa attività, o quanto meno è opportuno utilizzare un plug – in di Revit specifico per le armature di qualsiasi elemento che semplifichi la procedura e che la renda più efficace.

Gli elementi più complessi da armare, come la pila, la trave e la soletta, hanno richiesto giornate di lavoro. Il risultato che si ottiene è abbastanza preciso, si possono cambiare abbastanza rapidamente i diametri delle barre degli elementi e i passi, soprattutto nel caso in cui le barre appartengano a un gruppo. La modifica la geometria delle barre invece richiede più tempo e se sono barre singole sono da modificare una per una. Gli altri vantaggi sono l'aggiornamento automatico di tutte le viste che contengono le barre modificate e degli abachi e, infine, la possibilità di ottenere delle viste tridimensionali degli elementi armati molto dettagliate.

L'estensione CADs Rebar mette a disposizione uno strumento che permette la verifica delle interferenze tra le armature ma non viene considerato nessuno degli altri elementi che compongono il modello. Questo fa sì che si possano correggere delle interferenze che a livello progettuale si possono considerare insignificanti, come quelle che si generano quando si realizzano le sovrapposizioni, raggiungendo un livello di precisione ben superiore rispetto a quello che si raggiunge in cantiere durante la posa in opera delle armature. Non è possibile, però, controllare che non ci siano interferenze tra le armature ed elementi quali i tubi e le piastre in acciaio dei micropali o le guaine e le teste di ancoraggio dei cavi della post tensione. Per questi elementi l'unica verifica fattibile è quella visiva, ovvero la stessa che si può fare anche in Autocad. Questo è un grosso limite del software ma è prevedibile dato che non nasce per la modellazione dell'armatura degli elementi strutturali. In un primo momento si è cercato di risolvere qualsiasi interferenza venisse individuata dalla verifica, principalmente per capire quali potessero essere i vantaggi ottenibili. È possibile verificare che tutte le barre possano essere contenute all'interno delle staffe mantenendo l'interfero minimo e, allo stesso tempo, si può verificare che venga rispettato ovunque il copriferro. Il rischio che si corre, però, è quello di ottenere delle viste nelle tavole poco chiare.

Viste le difficoltà legate alle tempistiche e alla gestione del modello che sono state riscontrate, a seconda della fase di progetto in cui ci si trova, si può valutare il diverso livello di dettaglio che si vuole raggiungere per le armature. In una fase di progetto definitivo, si può valutare l'ipotesi di armare esclusivamente le sezioni rappresentative dell'armatura e, in generale, quelle più significative, dove ci sono più interferenze tra i ferri stessi e tra i ferri e altri elementi come le guaine o le teste di ancoraggio. Per questa fase progettuale, Revit risulta essere uno strumento adeguato anche per l'inserimento delle armature, oltre che per la modellazione della geometria degli elementi. In fase di progetto esecutivo è fondamentale modellare l'armatura nella sua interezza e con tutti i dettagli costruttivi necessari e questo, invece, con Revit senza l'ausilio di plug in – in specifici, risulta più complesso.

Inoltre, quando è l'obiettivo è quello di creare degli elaborati tecnici, la correzione di tutte le interferenze può portare ad avere disegni poco chiari ed intuitivi quindi è opportuno concentrarsi esclusivamente su quelle importanti.

Nonostante sia stata armata solamente una parte del progetto, il file è diventato molto pesante e quando viene cambiata l'angolazione della vista tridimensionale Revit impiega

moltissimo tempo per rigenerare l'armatura. Questo rende molto complicato continuare a lavorare sul modello.

7. Produzione di elaborati tecnici

Conclusa la fase di modellazione delle armature si può considerare finita la fase di creazione del modello. Successivamente si è cercato di sfruttarlo per ottenere tavole e qualsiasi altro tipo di informazione che possa essere considerata utile. In particolare, sono stati ricavati degli elaborati tecnici e degli abachi dei materiali da confrontare con le quantità già computate in precedenza; questo argomento verrà affrontato nel prossimo capitolo.

L'obiettivo principale è quello di ottenere delle tavole tecniche perfettamente confrontabili con quelle comunemente realizzate con Autocad. Dato che si sta andando nella direzione di rendere obbligatorio, negli appalti pubblici, la creazione di un modello BIM, si vuole capire se è possibile o meno passare dal modello di informazioni centrale a delle tavole tecniche utilizzabili in cantiere. Sono state create quattro tavole, una con i disegni d'assieme, una con le sezioni trasversali, una con i dettagli costruttivi e l'ultima è quella con i corrispondenti dettagli tridimensionali.

7.1. Disegni d'assieme

Per prima è stata creata una tavola con i disegni d'assieme, in particolare sono state inserite nella tavola una vista planimetrica e una sezione longitudinale realizzata lungo l'asse del progetto.

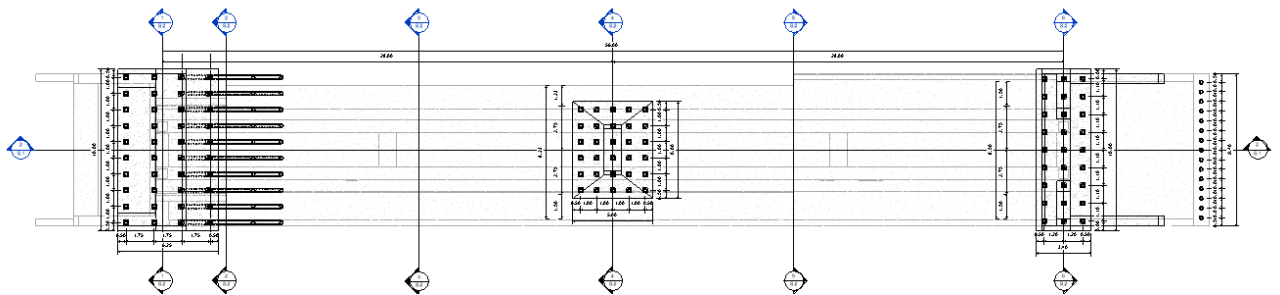


Figura 7.1 – Planimetria del progetto

Per creare la planimetria è stata utilizzata una vista in pianta dei pavimenti a cui sono stati ampliati i limiti di visualizzazione sia superiore che inferiore per vedere tutti gli elementi del progetto. È fondamentale impostare un livello di dettaglio della vista adeguato alla scala che si desidera impostare. Per questa tavola è stata utilizzata la scala 1: 100 e il livello di dettaglio alto per far sì che si vedano tutti i dettagli. Nella vista sono state aggiunte le quote significative per ogni elemento, nello specifico, sono stati indicati gli interassi tra i micropali di fondazione e le diverse dimensioni della soletta, a seconda della posizione in cui ci si trova. Successivamente è stata creata la vista longitudinale dell'opera.

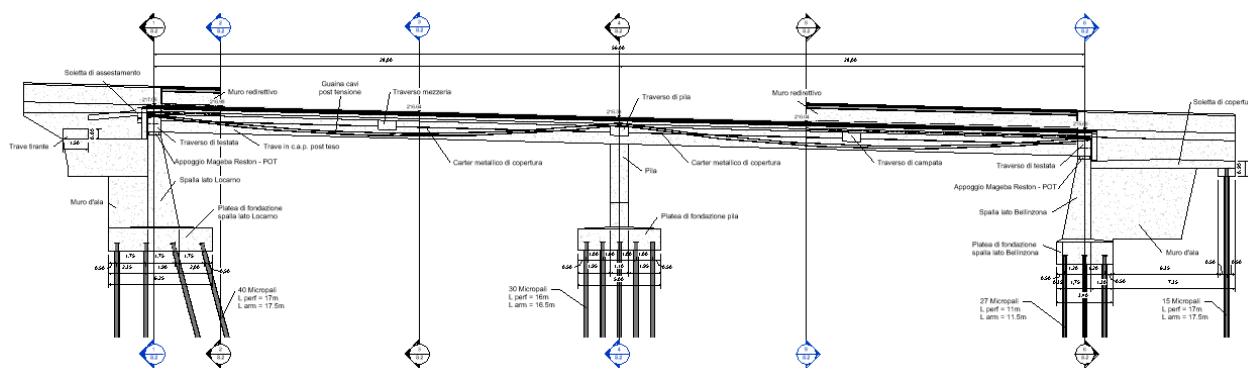


Figura 7.2 – Sezione longitudinale del manufatto

Nella sezione longitudinale, per avere una visuale completa del manufatto, è necessario mantenere una profondità della vista molto ampia. Questo, però, fa sì che vengano compresi nella vista anche dei dettagli che normalmente in una scala 1:100 non verrebbero rappresentati. Un esempio è la parte in acciaio del parapetto, in questa vista non si possono apprezzare le diverse pendenze dei piatti che la costituiscono ma non è possibile rappresentarla in maniera più semplice. Si può intervenire in ogni vista con degli strumenti grafici che nascondono delle linee singole oppure creando delle mascherature che nascondano gli elementi. Lo stesso ragionamento può essere fatto anche per gli strati della pavimentazione stradale e dei marciapiedi. I vari elementi che li compongono hanno pendenze diverse e dunque vengono visualizzate moltissime linee che, però, in scala 1:100 non si riescono a distinguere. Il risultato è un'unica striscia nera che va a influire negativamente sulla leggibilità della tavola. Questo problema può essere parzialmente risolto cambiando gli spessori delle linee. Ne esistono 16 tipi e ad ognuno di essi si può assegnare uno spessore a seconda della scala di rappresentazione. Assegnando uno spessore molto ridotto alle linee in vista nella scala 1:100 il risultato finale migliora nettamente come si può vedere dalla Tavola S.1 allegata alla presente tesi.

Un discorso diverso va fatto, invece, per le teste di ancoraggio dei cavi per la post tensione. Sono elementi in formato .ifc importati in Revit e la rappresentazione è quella di una superficie mesh triangolata per cui nelle viste create sono visibili tutte le linee diagonali delle facce della mesh, sono un chiaro esempio delle diverse rappresentazioni di un oggetto nativo di Revit e di uno che, invece, è stato importato. Per pulire il disegno e renderlo leggibile si possono nascondere tali linee ma sono talmente tante e sovrapposte che è un lavoro che richiede moltissimo tempo.

7.2. Sezioni trasversali

La seconda tavola contiene le sezioni trasversali, per realizzarle sono state posizionate le linee di sezione e poi bloccate nei punti di interesse creando le sei sezioni trasversali mostrate nella Tavola S.2 allegata. Per la creazione di queste viste è stato creato un “Modello di vista” da applicare a tutte le viste delle sezioni trasversali.

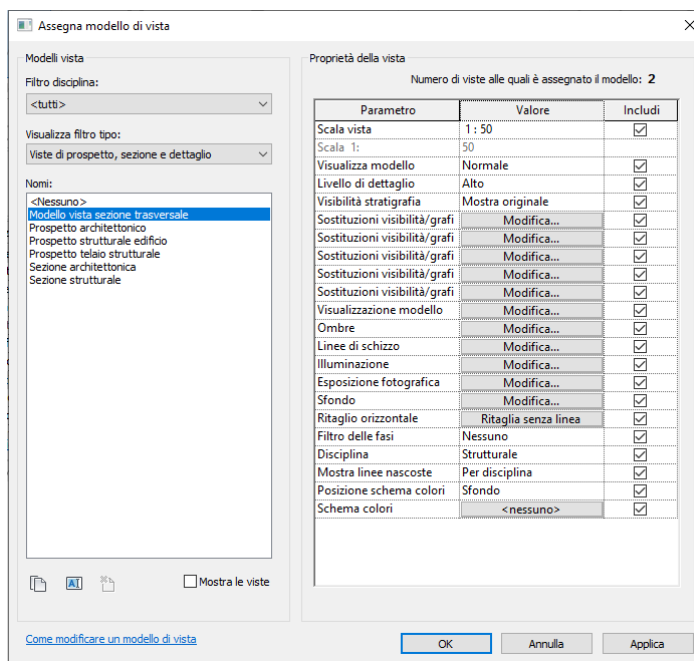


Figura 7.3 – Sezione trasversale

All'interno del modello di vista si possono impostare la scala di rappresentazione, il livello di dettaglio, gli spessori delle linee ed eventualmente si può scegliere di nascondere tutti gli elementi di una determinata categoria. In questo modo si ha la certezza di impostare nello stesso modo e rapidamente tutte le viste dello stesso tipo. Per le sezioni trasversali è stata impostata la scala 1: 50 e un livello di dettaglio alto. In questo caso, la profondità delle viste è molto ridotta per evitare che la pendenza longitudinale del ponte renda illeggibili i disegni. Per avere delle viste chiare può essere utile assegnare dei motivi superficiali diversi ai vari materiali così da rendere più facilmente leggibile il disegno. Sono state nascoste anche tutte le armature dal momento che sono sezioni che hanno come scopo principale quello di mostrare la geometria del manufatto. In ogni sezione sono state aggiunte le quote e le etichette con i nomi degli elementi. Si possono inserire delle annotazioni automatiche con il nome dell'elemento o il materiale, lo stesso non si può dire per le quote che invece sono leggermente più complicate da inserire

armatura. Nel caso specifico del progetto di un ponte, per avere dei dettagli significativi è fondamentale aver inserito le armature nel modello. Si è deciso di creare complessivamente sei dettagli, uno della giunzione tra la platea di fondazione della pila e la pila stessa, due della testata della trave, uno che mostra gli ancoraggi delle armature e uno fatto dopo qualche centimetro che mostra l'armatura longitudinale della trave, uno nella mezzera della trave, uno sulla pila e l'ultimo in direzione longitudinale, che mostri la testa di ancoraggio dei cavi per la post tensione. Il motivo per cui sono stati fatti è capire come si possono utilizzare e sfruttare tutte le informazioni che sono state inserite nel modello, in particolare è stato investito moltissimo tempo per inserire le armature di molti elementi e sono state verificate tutte le interferenze e molte sono state corrette. Ora è interessante vedere che tipo di dettagli si possono ottenere e quali sono i vantaggi che si hanno rispetto ai tradizionali elaborati creati con Autocad. Il dettaglio della giunzione tra la platea di fondazione e la pila è molto utile per vedere se le interferenze tra le armature e i micropali di fondazione sono state gestite ed eliminate correttamente, inoltre è utile anche per comprendere come è stato gestito il posizionamento delle diverse armature tra il fusto della pila e le aste della forcella. Con i dettagli fatti nelle varie posizioni della trave si vuole far vedere come varia l'armatura al suo interno e la sua complessità, legata anche alla presenza delle guaine per i cavi della post tensione. Infine, il dettaglio della testata della trave con le teste di ancoraggio dei cavi è utile a comprendere come vengono gestiti gli elementi importati all'interno del modello e come si possono migliorare graficamente quando si passa dal modello di informazioni centrale alle tavole di disegno. È stato anche molto funzionale per risolvere interferenze tra le armature e le teste di ancoraggio che in un primo momento non era stato rilevate.

Per creare ogni dettaglio è stata posizionata una linea di sezione in corrispondenza del punto in cui si vuole creare il dettaglio e all'interno della vista in sezione è stata posizionata la vista di dettaglio. All'interno di tale vista sono stati nascosti alcuni elementi e aggiunte le quote e le annotazioni. La pendenza longitudinale del ponte crea difficoltà anche in questo caso quindi il problema è stato risolto riducendo la profondità della sezione di partenza. In questo caso bisogna prestare particolare attenzione a non escludere elementi che, invece, devono rimanere nella vista, in particolare è necessario prestare attenzione alle barre di armatura. Ogni elemento che si vuole nascondere deve essere selezionato e tramite in comando "Nascondi nella vista" e poi "Elementi" viene escluso dalla vista.

Se si riescono a escludere dalla vista molti elementi selezionando l'intera categoria, magari anche utilizzando il modello di vista, il processo di rielaborazione delle viste non è particolarmente dispendioso in termini di tempo. Per avere questi dettagli è stato appunto impostato un modello di vista in cui sono stati impostati gli spessori delle linee, la scala e sono state nascoste alcune categorie di elementi come le griglie e i livelli per snellire la procedura per nascondere elementi singoli. La scala utilizzata per tutti i dettagli è 1:20, ad esclusione di quello delle teste di ancoraggio dei cavi della post tensione che è in scala 1:10.

Il primo dettaglio realizzato è quello della testata della trave con gli ancoraggi delle armature.

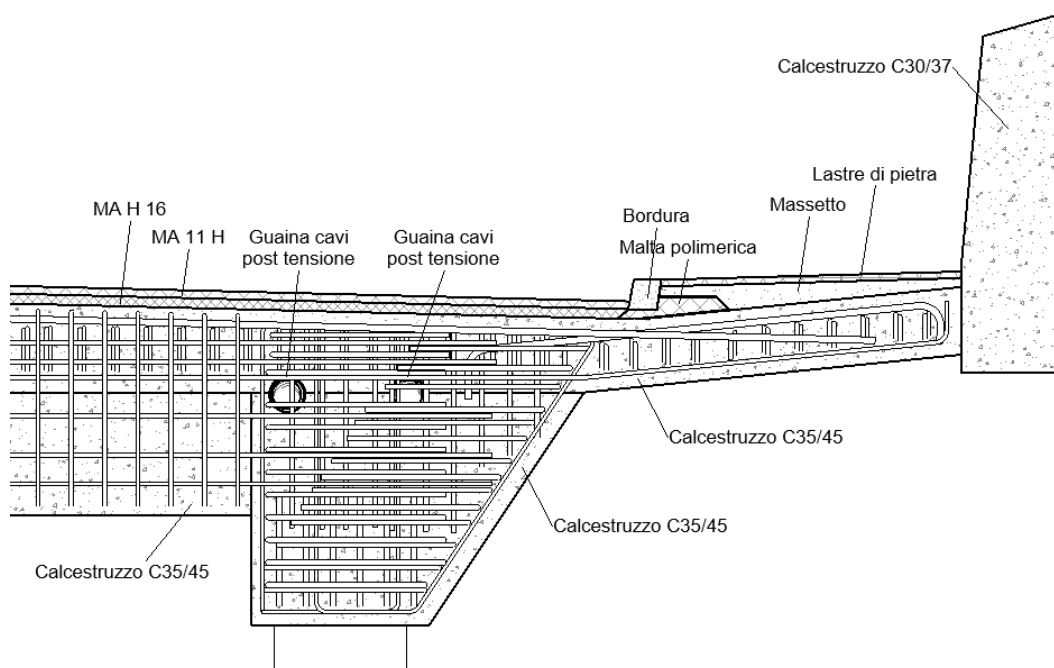


Figura 7.5 – Dettaglio testata della trave – ancoraggi con annotazioni

Le annotazioni per i materiali sono automatiche, per come sono stati creati i materiali vengono riconosciuti i nomi che sono stati assegnati alla descrizione del materiale stesso. Le etichette per le armature creano qualche problema, anche modificando la famiglia a cui appartengono è possibile riconoscere solo il diametro e il materiale. Il passo tra i ferri non è costante e molte barre sono state inserite singolarmente quindi non può essere riconosciuto dalle etichette. Inoltre, le etichette seguono delle convenzioni diverse da quelle italiane e, in generale, da quelle europee quindi si è scelto di inserire delle annotazioni di testo che mantenessero l'annotazione classica per le armature. In questo modo viene a mancare l'automatismo che caratterizza, invece, le annotazioni dei materiali ma si ha la certezza che non si vadano a creare possibili malintesi per scarsa chiarezza delle note. Il problema della mancanza di una modifica automatica, in ogni caso, non è

così grave dal momento che le barre sono per la maggior parte singole e devono comunque essere modificate una per una.

Una volta finita la procedura di annotazione e aggiunta delle quote il risultato che si ottiene è il seguente

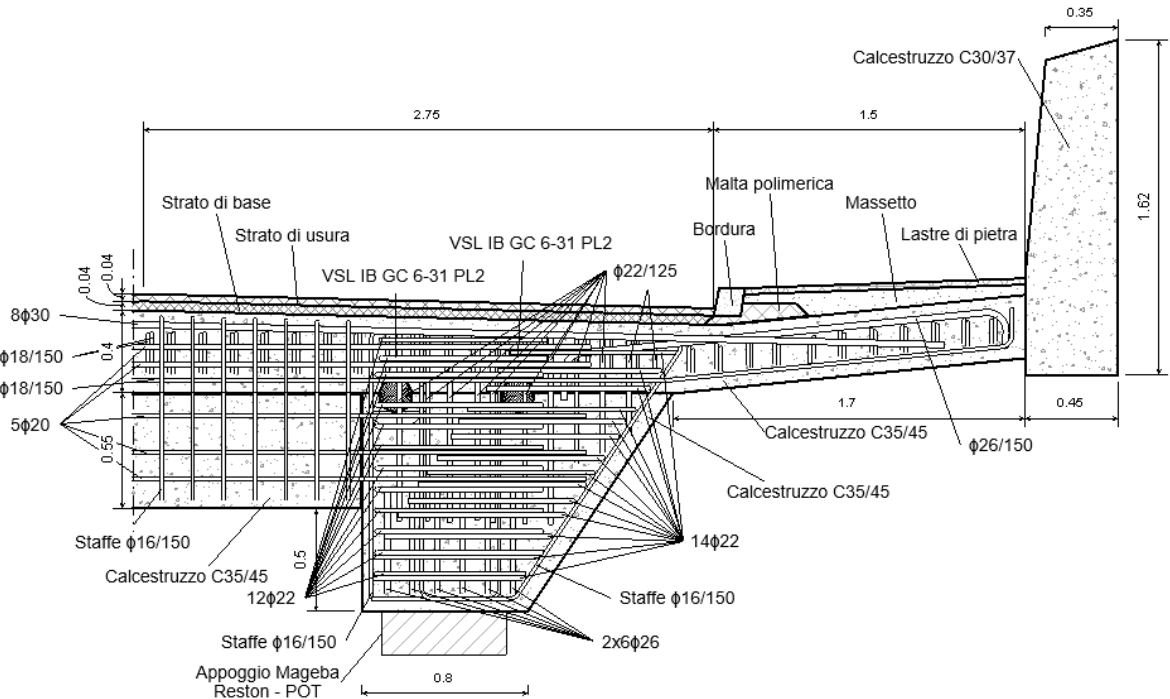


Figura 7.6 – Dettaglio testata della trave – ancoraggi

Lo stesso procedimento è stato adottato anche per tutti gli altri dettagli che si desidera impaginare. Si è cercato il giusto compromesso per la quantità di linee direttrici da inserire per far sì che sia chiaro il diametro di tutti i ferri ma senza appesantire troppo il dettaglio, rendendolo illeggibile. Per esempio, nel dettaglio della giunzione tra la pila e la sua platea di fondazione sono state inserite tutte le linee direttrici per tutte le barre che si trovano nella pila dove si ha il cambio di armatura tra il fusto e le due aste della forcella.

Andando a creare i dettagli è diventato evidente che l'idea di eliminare ogni interferenza tra le armature, se da un certo punto di vista, può essere molto utile e in alcuni casi può aiutare nella posa in opera oppure per sapere le dimensioni esatte di ogni barra, dall'altro lato può portare ad avere dei disegni poco chiari e apparentemente disordinati. I passi tra le barre non sarebbero rispettati e viene a mancare la corrispondenza tra quanto viene mostrato nel disegno e quanto indicato nell'annotazione. La soluzione migliore può essere quella di posizionare le barre a intervalli regolare rispettando il passo richiesto da progetto e intervenire modificando la posizione delle barre solo in determinate viste per far sì che i dettagli risultino di facile lettura e comprensione.

Il dettaglio realizzato lungo la sezione longitudinale della trave ha lo scopo di mostrare chiaramente le teste di ancoraggio per i cavi della post tensione e la loro guaina.

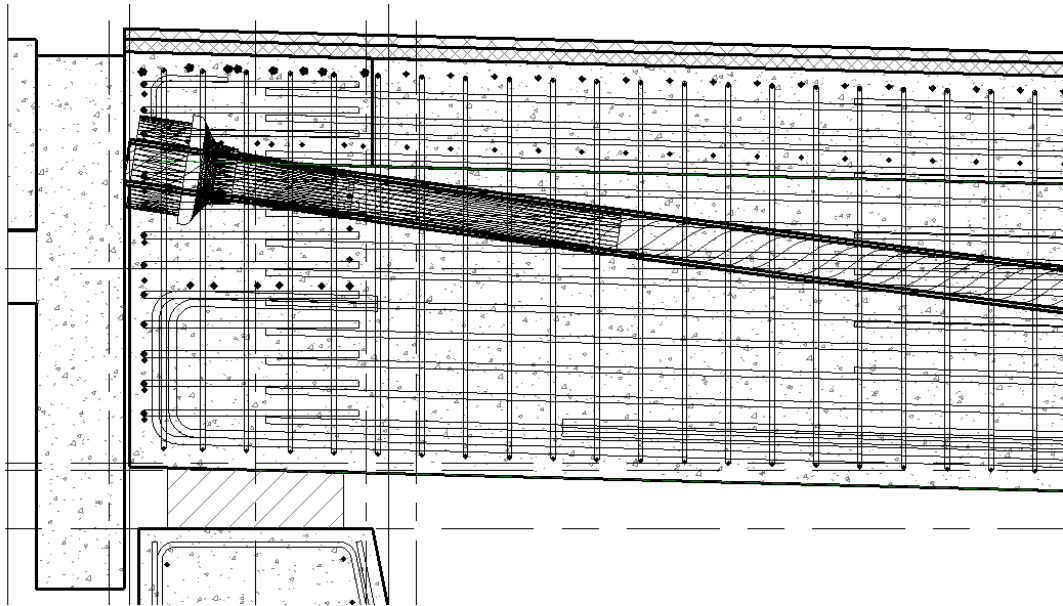


Figura 7.7 – Dettaglio testata della trave – ancoraggi completo

In questo elemento sorgono nuovamente i problemi legati alla diversa natura degli elementi presenti nella vista. La testa di ancoraggio dei cavi è una mesh triangolata importata e caratterizzata da molteplici linee che in una vista bidimensionale si sovrappongono. Per migliorare il dettaglio sono state rese invisibili la maggior parte di tali linee in modo da rendere il dettaglio più facilmente leggibile. Sono state apportate delle modifiche anche alla guaina in polipropilene per migliorarne l'effetto visivo. In particolare, è stato modificato il motivo superficie del materiale in modo che, almeno graficamente, i due elementi appaiano uno la naturale prosecuzione dell'altro. Il risultato che si ottiene è quello mostrato nella Figura seguente

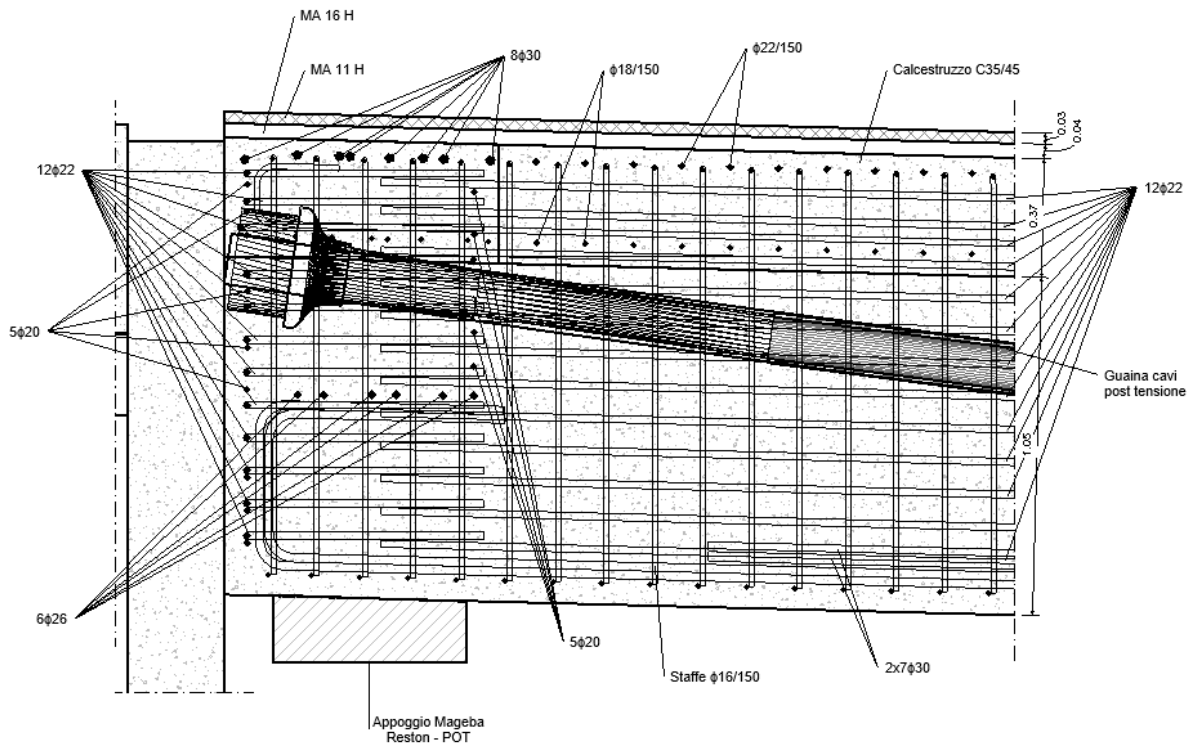


Figura 7.8 – Dettaglio degli ancoraggi cavi post tensione

Ovviamente il risultato che si ottiene non è perfetto e non del tutto preciso dato che si è cercato di allineare il motivo di superficie di un materiale con le linee di un elemento importato in Revit. Sicuramente il risultato sarebbe stato migliore se il dettaglio fosse stato realizzato con Autocad o con un qualsiasi altro software che lavora con le linee invece che con degli oggetti. In alternativa, si potrebbero usare delle mascherature che eliminerebbero questi problemi. Anche in questo caso si ha da una parte la rapidità di rappresentazione contro la qualità. Per questo dettaglio specifico, il tempo necessario per disegnarlo su Autocad non è eccessivo dato che le ditte produttrici solitamente forniscono anche i file in formato dwg o, nel peggiore dei casi, in cui non sia disponibile alcun disegno, si può ottenere una sagoma molto semplice e schematica della testa di ancoraggio in poco tempo ma che avrebbe dato una resa grafica migliore.

7.4. Viste di dettaglio tridimensionali

Il fatto di partire da una modellazione tridimensionale della geometria degli elementi rende particolarmente agevole creare, poi, delle viste di dettaglio tridimensionali in cui si può apprezzare la complessità delle armature, gli ancoraggi, le sovrapposizioni e le interferenze che possono nascere tra le armature e gli altri elementi del modello. Le viste che si è deciso di creare sono quelle corrispondenti ai dettagli bidimensionali che sono stati realizzati in precedenza così che possano anche aiutare nella lettura e nella comprensione dei disegni. Per creare queste viste è stata duplicata la vista 3D del modello,

è stato visualizzato il riquadro di sezione e bloccata la vista. Tramite il riquadro di sezione è possibile mantenere all'interno della vista esclusivamente la parte di modello che interessa e nascondere tutto il resto. È stata aumentata la trasparenza dei materiali per fare in modo che si possa vedere all'interno di determinati elementi. Il primo dettaglio ad essere realizzato è quello della giunzione tra la pila e la sua platea di fondazione e i micropali di fondazione. In questo caso la trasparenza è stata aumentata al calcestruzzo della pila e della platea e alla malta cementizia dei micropali così da far vedere le armature e i tubi in acciaio dei micropali.

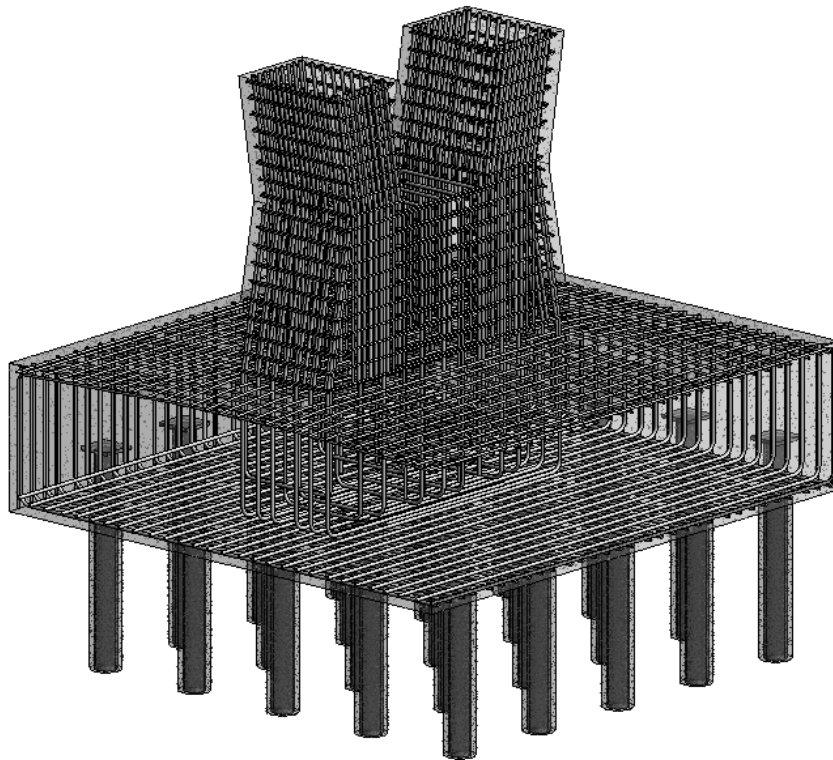


Figura 7.9 – Dettaglio 3D giunzione tra platea di fondazione e pila

Con il riquadro di sezione si è deciso di sezionare la platea in modo da far vedere come si ancorano le barre del fusto della pila all'interno della platea di fondazione e le possibili interferenze che nascono tra le armature e i micropali di fondazione.

Nello stesso modo è stato impostato anche il dettaglio della connessione tra la spalla Locarno e la sua platea di fondazione.

In un secondo momento sono stati impostati i dettagli tridimensionali nelle varie posizioni delle travi in modo da mettere ben in luce la complessità delle armature, soprattutto nella testata della trave dove sono stati realizzati gli ancoraggi di tutte le armature.

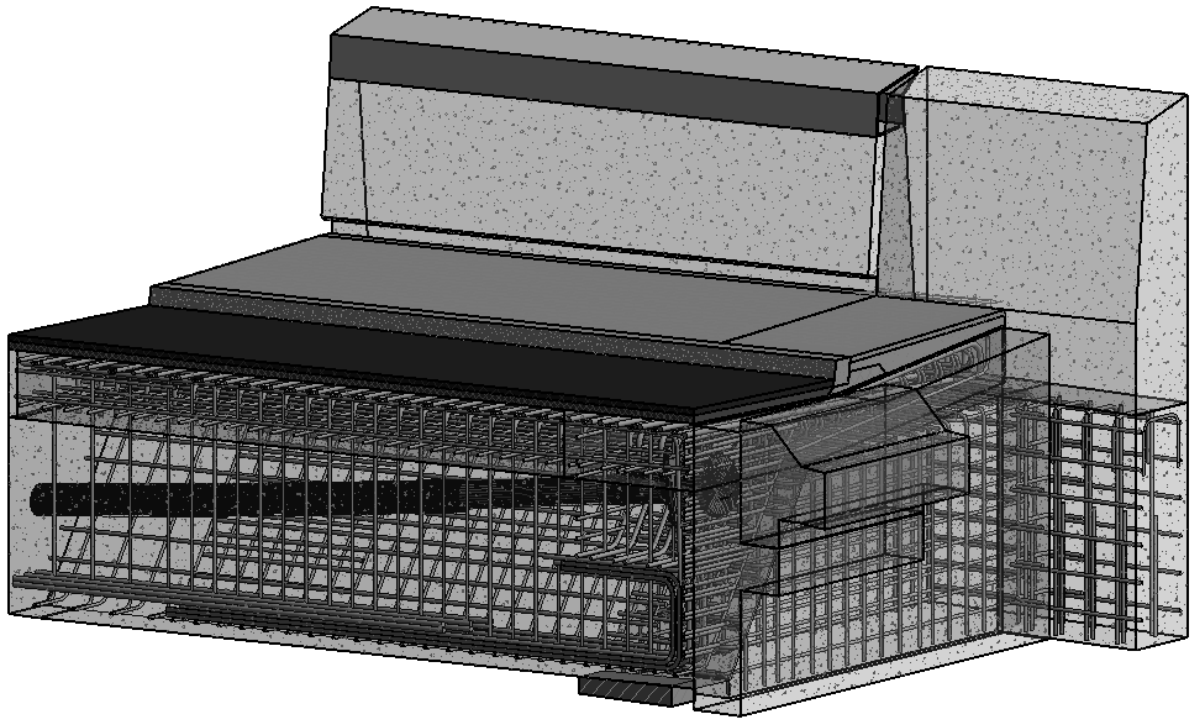


Figura 7.10 – Dettaglio 3D testata della trave

Da questa vista si riesce a intuire chiaramente la complessità dell'armatura e l'impossibilità di eliminare tutte le interferenze che si generano tra le e le testa di ancoraggio dei cavi della post tensione. Per risolverle tutte quante sarebbe stato necessario creare una serie di sezioni molto ravvicinate e ridisegnare le armature evitando le guaine e le teste di ancoraggio.

Il dettaglio realizzato in corrispondenza della connessione tra pila, trave e traverso, invece, mostra come sia stato più semplice eliminare la maggior parte delle interferenze tra le armature e le guaine per la precompressione, e allo stesso tempo la complessità delle armature dovuta all'intersezione di tre elementi in un punto solo.

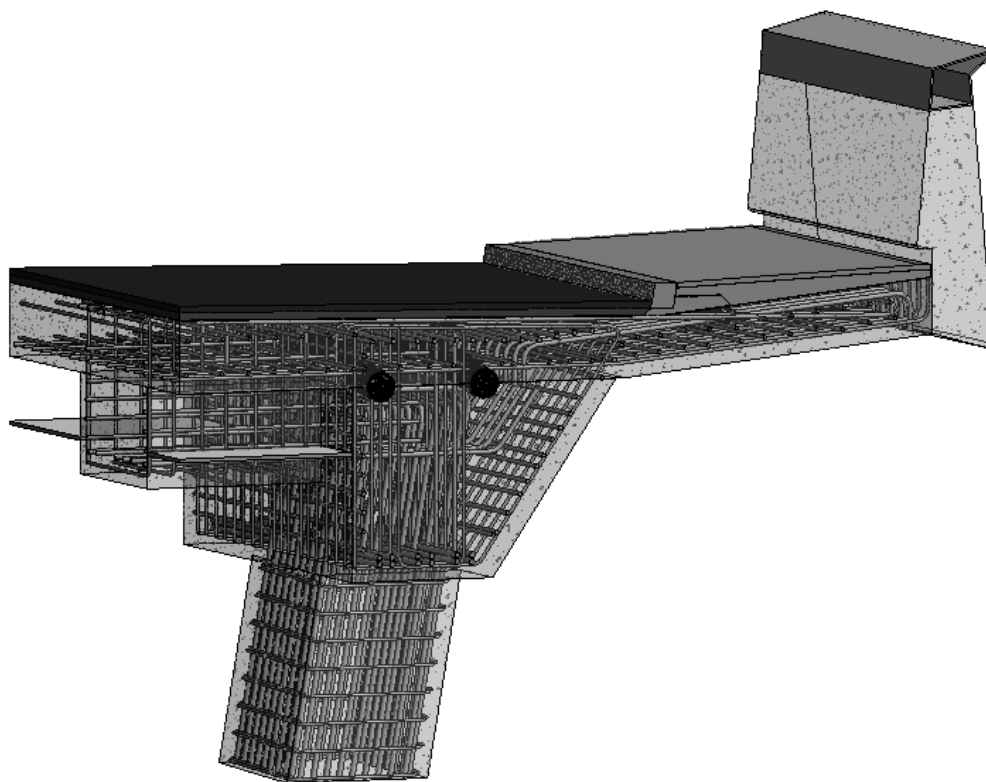


Figura 7.11 – Dettaglio 3D pila trave traverso

Creare queste viste di grande impatto è stato un procedimento molto speditivo che ha richiesto pochissimo tempo. Possono risultare anche molto utili per una migliore comprensione del progetto e della disposizione delle armature. Perché le viste siano così dettagliate, però, è necessario disporre di elementi completamente armati e questo richiede un dispendio di tempo molto significativo.

7.5. Impaginazione delle tavole

Per l'impaginazione è stata creata una famiglia con la squadratura del foglio. Per fare in modo che tutte le viste appena impostate potessero essere contenute in tavole singole, è stato predisposto un foglio con le dimensioni di un A1 allungato. In basso a destra è stato impostato un cartiglio con le dimensioni di un foglio A4 parzialmente aggiornabile in automatico.

<p>Università degli Studi di Bologna Scuola di Ingegneria e Architettura</p> <p>Facoltà di Ingegneria Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile</p> <p>Il processo di gestione informativa BIM per il progetto di un ponte in c.a.p.: la modellazione digitale del ponte Remorino a Minusio (Svizzera)</p>	
Disegnato da: Brenda Resta	Numero tavola: S.1
Planimetria - Sez.longitudinale	Scala: 1 : 100

Figura 7.12 – Cartiglio per le tavole

In particolare, sono state inserite le informazioni relative all'autore della tavola, il nome e il numero della tavola e infine la scala. Nel caso in cui nella tavola ci siano viste rappresentate con scale diverse compare la scritta "Come indicato". In alto a destra, invece, è stato inserito un PDF con le prescrizioni relative ai materiali, alla posa in opera degli stessi e altre disposizioni di vario genere.

Anche nell'impaginazione delle tavole, quindi, vengono aggiunte informazioni relative al modello. Sono state create quattro tavole, una con le viste d'assieme, una con le sezioni trasversali, una con i dettagli costruttivi e l'ultima con i dettagli tridimensionali; in ogni tavola sono state inserite le viste create in precedenza. Ovviamente nel caso in cui una vista venga modificata anche la tavola viene aggiornata di conseguenza. Il procedimento di impaginazione è molto simile a quanto si fa con Autocad con i layout.

7.6. Osservazioni

Il processo di creazione di viste spendibili in cantiere e confrontabili con quelle ottenute con Autocad è piuttosto rapido e speditivo ma è comunque necessario rielaborare le viste che si ottengono inserendo le linee di sezione, principalmente a causa della pendenza

longitudinale del ponte. Inoltre, il passaggio da un modello centrale di informazioni a un modello di disegno che sia leggibile e facilmente interpretabile comporta dei limiti grafici che impediscono una rappresentazione fedele in ogni suo aspetto al progetto di partenza. In Autocad il problema non sussiste dal momento che gli oggetti vengono disegnati tramite delle linee, ognuna delle quali può essere assegnata a un layer specifico. In Revit, e in generale nel BIM, questo non è possibile ed è stato possibile constatarlo nelle sezioni trasversali e nei dettagli dove non è stato possibile rappresentare come unico elemento le travi e la soletta. Nella migliore delle ipotesi si possono utilizzare degli strumenti grafici che migliorano la vista ma non si riesce, in ogni caso, a raggiungere il livello di correttezza grafico che si ha lavorando con le linee. È fondamentale, inoltre, evidenziare il fatto che le problematiche grafiche vengono risolte solo nella vista che su cui si sta lavorando, se lo stesso elemento compare in più viste il problema persiste nelle viste non modificate graficamente. Per esempio, non c'è un modo per unificare nel modello le travi con la soletta. Un'ulteriore differenza rispetto al disegno tradizionale si ha nell'impostazione dello spessore delle linee. In Revit si ragiona per categorie di elementi presenti nel modello quindi gli spessori vengono assegnati agli oggetti e possono essere diversi a seconda che essi siano in sezione oppure in vista.

Nonostante la rapidità con cui si possono ottimizzare le viste, non bisogna dimenticare che per avere dei disegni dettagliati è necessario fare un lavoro molto lungo per inserire le armature se non si dispone di plug – in specifici.

Infine, è bene ricordare che Revit non nasce in ambiente italiano o europeo e questo fa sì che gli stili di annotazione che adotta in automatico sono diversi da quelli usati comunemente e questo è un altro fattore che può portare a fraintendimenti in fase di cantiere. Il problema è risolvibile facendo annotazioni di testo che siano coerenti con le annotazioni standard italiane ma si perde l'aggiornamento automatico delle viste quindi se un elemento viene modificato nel modello bisogna ricordarsi di andare a modificare tutte le annotazioni relative a tale oggetto. Non è niente di diverso da quello che si fa quotidianamente con Autocad ma uno degli scopi del BIM è evitare questi passaggi, principalmente quando sono coinvolte più figure professionali.

Il fatto di avere un progetto esistente che è stato digitalizzato con un processo BIM è di particolare utilità per valutare questi aspetti dal momento che è immediato fare un confronto diretto tra gli elaborati tecnici realizzati con Autocad e quelli che si possono ricavare da un modello di informazioni come quello creato con Revit.

8. Computi metrici

Prima dell'avvento della metodologia BIM, le quantità di materiali utilizzati in un progetto erano calcolate tramite conteggi e calcoli manuali delle superfici e dei volumi. I modelli BIM sono composti da oggetti distinti che possono essere computati in maniera automatica attraverso l'uso di abachi in cui possono essere inseriti campi diversi come il volume e l'area dei materiali o il loro costo. Tutti i software di BIM authoring, compreso Revit, sono in grado di computare le quantità di materiale e di componenti utilizzati all'interno del modello e riportarle in abachi più o meno dettagliati. Per avere un computo metrico estimativo più accurato è necessario fare affidamento su programmi specifici o, quanto meno, plug – in di Revit come Dynamo. Solitamente una prima stima dei costi viene eseguita nelle fasi preliminari di progettazione per avere delle previsioni economiche ed è quello che è stato per il progetto oggetto della tesi. Per il progetto in esame è già stato calcolato un preventivo dei costi che verrà utilizzato per fare un confronto tra le quantità reali che effettivamente servono per realizzare il progetto del ponte e quelle che, invece, vengono computate da Revit. Va precisato che nel calcolo del preventivo è stato inserito un margine di sicurezza al rialzo delle quantità e questo porterà sicuramente ad avere delle differenze nelle quantità. Si è deciso di creare degli abachi per ogni materiale che compone il modello.

Come è già stato possibile constatare in altre occasioni, le armature sono considerate in maniera diversa rispetto a tutti gli altri elementi, quindi, sono stati creati abachi di tipo diverso.

8.1. Computo metrico dei materiali

Per creare gli abachi è stato usato il comando “Vista -> Abachi -> Computo dei materiali”. Dopo aver selezionato le discipline che si vogliono considerare, ovvero “Architettura” e “Struttura”, è necessario selezionare i campi che si vogliono inserire all'interno dell'abaco. Dal momento che ogni materiale viene conteggiato con unità di misura diverse è più opportuno creare abachi diversi per ogni materiale. Il primo materiale di cui si crea l'abaco è il calcestruzzo C25/30. Per prima cosa bisogna scegliere i campi che si vogliono visualizzare nell'abaco che, nel caso specifico, sono i seguenti

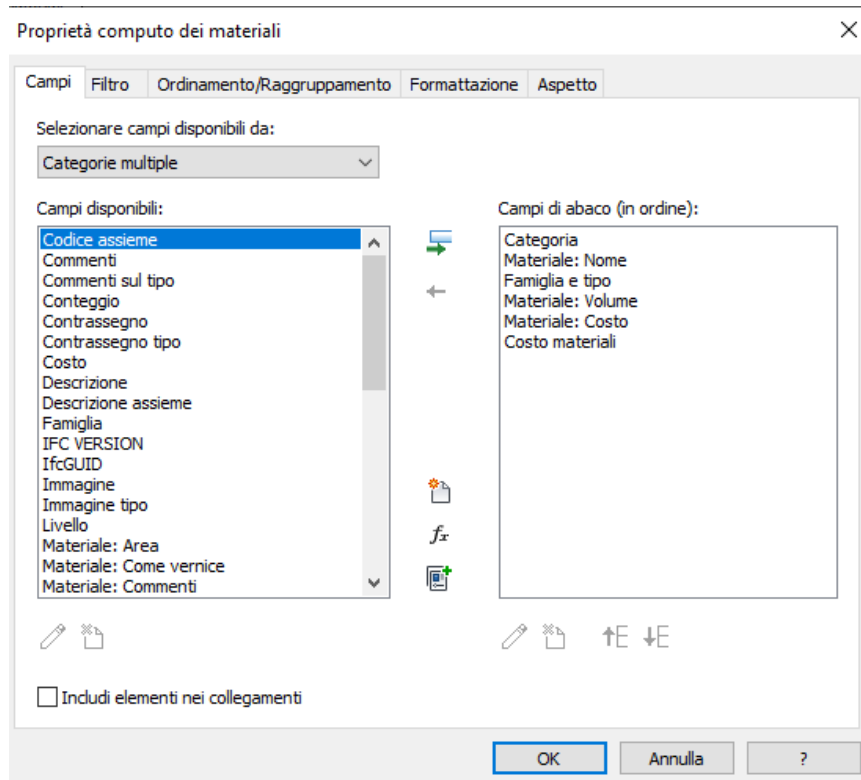


Figura 8.1 – Campi dell'abaco per il calcestruzzo C25/30

In particolare, è stato creato un nuovo parametro calcolato per determinare il costo totale del materiale. È stata impostata una formula che prende i valori del volume e li moltiplica per quelli del costo unitario. Nei materiali, come si è già detto, si può assegnare un costo senza che sia specificata l'unità di misura e questo comporta poi delle problematiche nel momento in cui viene eseguito il calcolo. Inoltre, è necessario far presente che i costi unitari dei materiali sono indicati in franchi svizzeri, valuta non disponibile in Revit, quindi, si è scelto di lasciare la valuta in euro per non dover fare ricorso a conversioni. Per fare in modo che non ci siano problemi di unità di misura, nella formula è necessario introdurre degli artifici che rendano omogenee le unità di misura.

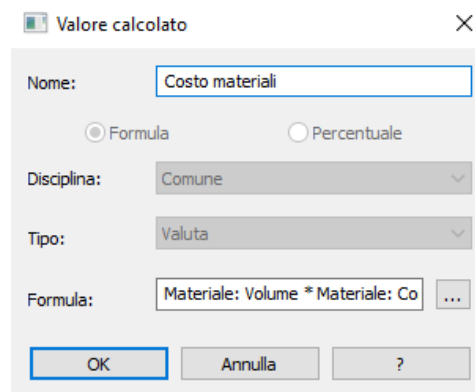


Figura 8.2 – Parametro calcolato

In automatico, Revit farebbe il computo di tutti i materiali presenti all'interno del modello ma, per come si è deciso di impostare il computo, è stato necessario impostare un filtro che faccia computare un materiale alla volta.

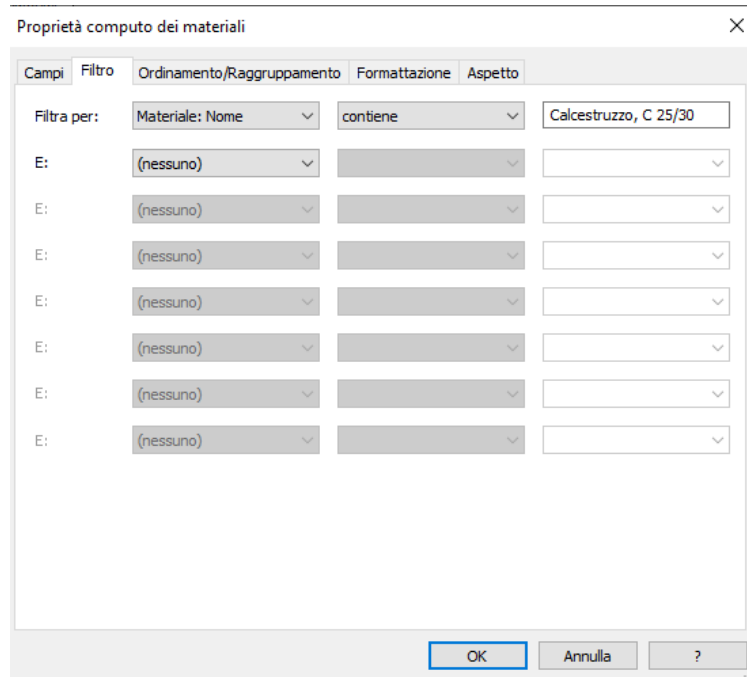


Figura 8.3 – Filtro per computare solo il calcestruzzo C25/30

Dalla voce “Ordinamento/raggruppamento” è possibile impostare alcuni parametri che permettono di calcolare le quantità dei campi presenti nell’abaco. Sono state scelte le impostazioni mostrate nella Figura sottostante.

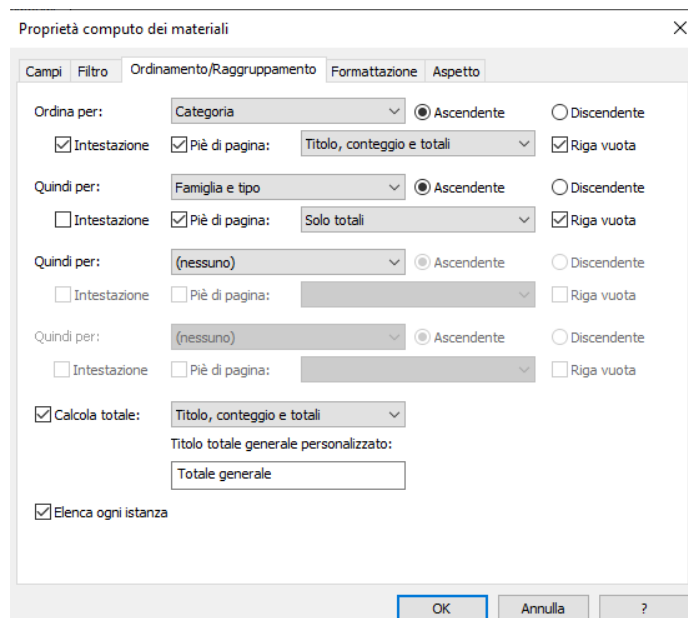


Figura 8.4 – Impostazioni di ordinamento/raggruppamento

Nel menù “Formattazione”, infine, vengono scelti i parametri di cui si vogliono calcolare determinate quantità.

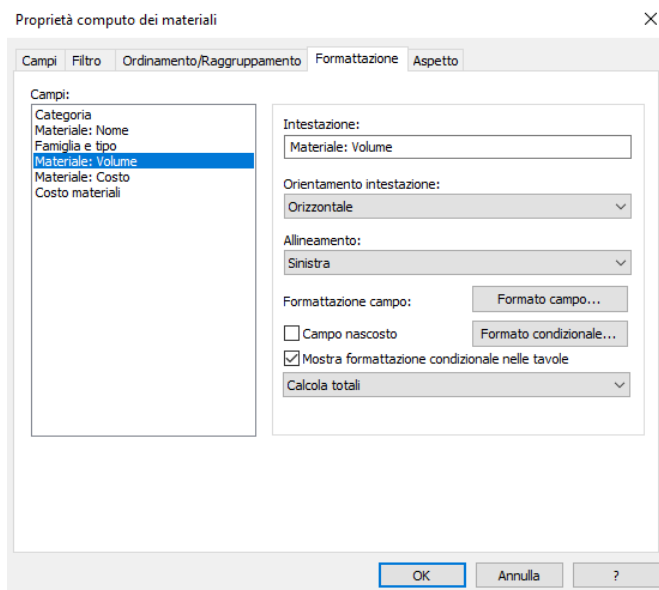


Figura 8.5 – Impostazioni di ordinamento/raggruppamento

In questo caso è stato richiesto il volume totale di calcestruzzo C25/30 utilizzato e il suo costo complessivo. L'abaco che si ottiene è il seguente

<Computo calcestruzzo C 25/30>				
A	B	C	D	E
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume	Materiale: Costo	Costo materiali
Fondazioni strutturali				
Calcestruzzo, C 25/30	Platea di fondazione Bellinzona: Platea di fondazione Bellinzona	49.75 m ³	€250.00	€12438.06
		49.75 m ³		€12438.06
Calcestruzzo, C 25/30	Platea di fondazione Locarno: Platea di fondazione Locarno	91.58 m ³	€250.00	€22893.75
		91.58 m ³		€22893.75
Calcestruzzo, C 25/30	Platea: Platea soletta di copertura cabina	4.70 m ³	€250.00	€1175.00
		4.70 m ³		€1175.00
Fondazioni strutturali: 3		146.03 m ³		€36506.81
Muri				
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.45cm	6.92 m ³	€250.00	€1729.73
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.45cm	6.92 m ³	€250.00	€1729.73
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.45cm	4.62 m ³	€250.00	€1154.62
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.45cm	4.62 m ³	€250.00	€1154.62
		23.07 m ³		€5768.69
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.60cm	6.62 m ³	€250.00	€1654.70
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.60cm	6.63 m ³	€250.00	€1656.39
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.60cm	15.04 m ³	€250.00	€3760.79
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.60cm	15.04 m ³	€250.00	€3760.79
		43.33 m ³		€10832.68
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.80cm	5.72 m ³	€250.00	€1430.45
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro d'ala sp.80cm	5.73 m ³	€250.00	€1433.50
		11.46 m ³		€2863.95
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro irrigidimento sp.30cm	4.22 m ³	€250.00	€1054.86
		4.22 m ³		€1054.86
Calcestruzzo, C 25/30	Muro di base: Muro irrigidimento sp.30cm estruso	4.65 m ³	€250.00	€1163.00
		4.65 m ³		€1163.00
Muri: 12		86.73 m ³		€21683.18

Figura 8.6 – Abaco per il calcestruzzo C25/30

Lo stesso procedimento è stato adottato anche per il calcestruzzo C30/37 e per il C35/45 di cui vengono riportati nel seguito solo gli abachi finali.

<Computo calcestruzzo C 30/37>				
A	B	C	D	E
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume	Materiale: Costo	Costo materiali
Fondazioni strutturali				
Calcestruzzo, C 30/37	Platea di fondazione pila: Platea di fondazione pila	40.45 m³	€500.00	€20225.72
		40.45 m³		€20225.72
Fondazioni strutturali: 1		40.45 m³		€20225.72
Muri				
Calcestruzzo, C 30/37	Muro redirettivo Bellinzona 1: Muro redirettivo Bellinzona	6.04 m²	€500.00	€3017.68
		6.04 m²		€3017.68
Calcestruzzo, C 30/37	Muro redirettivo Bellinzona 2: Muro redirettivo Bellinzona	6.04 m²	€500.00	€3017.68
		6.04 m²		€3017.68
Calcestruzzo, C 30/37	Muro redirettivo Locarno 1: Muro redirettivo Locarno	5.66 m²	€500.00	€2828.18
		5.66 m²		€2828.18
Calcestruzzo, C 30/37	Muro redirettivo Locarno 2: Muro redirettivo Locarno	5.66 m²	€500.00	€2828.18
		5.66 m²		€2828.18
Calcestruzzo, C 30/37	Parapetto1: Parapetto	1.43 m²	€500.00	€715.33
		1.43 m²		€715.33
Calcestruzzo, C 30/37	Parapetto2: Parapetto	6.62 m²	€500.00	€3312.11
		6.62 m²		€3312.11
Calcestruzzo, C 30/37	Parapetto: Parapetto	22.38 m²	€500.00	€11188.89
		22.38 m²		€11188.89
Muri: 7		53.82 m²		€26908.03
Pilastrini strutturali				
Calcestruzzo, C 30/37	Pila: Pila	10.78 m³	€500.00	€5390.60
		10.78 m³		€5390.60
Pilastrini strutturali: 1		10.78 m³		€5390.60
Totale generale: 9		105.05 m³		€52524.35

Figura 8.7 – Abaco per il calcestruzzo C30/37

<Computo calcestruzzo C 35/45>					
A	B	C	D	E	F
Categoria	Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume	Materiale: Costo	Costo materiali
Pavimenti					
Pavimenti	Calcestruzzo, C 35/45	Soletta spalla Locarno1: Soletta spalla Locarno	10.67 m²	€500.00	€5335.56
			10.67 m²		€5335.56
Pavimenti	Calcestruzzo, C 35/45	Soletta spalla Locarno2: Soletta spalla Locarno	101.04 m²	€500.00	€50522.41
			101.04 m²		€50522.41
Pavimenti	Calcestruzzo, C 35/45	Soletta spalla Locarno3: Soletta spalla Locarno	2.64 m²	€500.00	€1322.32
			2.64 m²		€1322.32
Pavimenti	Calcestruzzo, C 35/45	Soletta spalla Locarno4: Soletta spalla Locarno	48.65 m²	€500.00	€24324.82
			48.65 m²		€24324.82
Pavimenti	Calcestruzzo, C 35/45	Soletta spalla Locarno: Soletta spalla Locarno	2.48 m²	€500.00	€1237.79
			2.48 m²		€1237.79
			165.49 m²		€82742.90
Telaio strutturale					
Telaio strutturale	Calcestruzzo, C 35/45	Trave per sistema di travi dx: Trave per sistema di travi dx	66.61 m²	€500.00	€33307.30
			66.61 m²		€33307.30
Telaio strutturale	Calcestruzzo, C 35/45	Trave per sistema di travi sx: Trave per sistema di travi sx	66.56 m²	€500.00	€33280.66
			66.56 m²		€33280.66
Telaio strutturale	Calcestruzzo, C 35/45	Traverso di testata: Traverso di testata	0.98 m²	€500.00	€489.31
Telaio strutturale	Calcestruzzo, C 35/45	Traverso di testata: Traverso di testata	0.97 m²	€500.00	€487.01
			1.95 m²		€976.32
Telaio strutturale	Calcestruzzo, C 35/45	Traverso: Traverso	1.27 m²	€500.00	€635.25
Telaio strutturale	Calcestruzzo, C 35/45	Traverso: Traverso	1.27 m²	€500.00	€635.25
Telaio strutturale	Calcestruzzo, C 35/45	Traverso: Traverso	1.27 m²	€500.00	€635.25
			3.81 m²		€1905.75
			138.94 m²		€69470.03
Totale generale: 12			304.43 m²		€152212.93

Figura 8.8 – Abaco per il calcestruzzo C35/45

Rispetto al preventivo dei costi fornito, i volumi che si ottengono con Revit sono diversi. Questo è dovuto al fatto che nella digitalizzazione del progetto si è scelto di interrompere l'opera in corrispondenza delle spalle mentre nel preventivo è stato computato l'intero manufatto. Questo si specchia nei volumi di calcestruzzo diversi computati per la soletta. Inoltre, nella modellazione degli elementi sono state fatte determinate scelte legate all'assenza di categorie adatte nello standard IFC e ai vincoli geometrici che presenta la versione di Revit senza l'aggiunta di plug – in specifici. Questo fa sì che le dimensioni dei singoli elementi, come i muri d'ala, le spalle e il muro redirettivo posizionato sopra di essi, siano diverse da quelle del progetto. Ovviamente complessivamente le dimensioni totali del modello Revit sono le medesime del progetto reale ma la suddivisione tra gli elementi è diversa. Per esempio, le spalle e i muri d'ala sono da realizzare in calcestruzzo C25/30 mentre il muro redirettivo è in C30/37 e questo porta ad avere dei volumi di calcestruzzo diversi rispetto a quelli del computo di preventivo.

I materiali di cui sono composti gli strati della pavimentazione stradale, il cordolo del marciapiede e il marciapiede stesso sono i più complessi da computare. Sono elementi che sono stati modellati come componenti locali e questo limita i valori che Revit è in grado di mostrare senza far uso di plug – in specifici. Per quanto riguarda lo strato di base e quello di usura sono stati ricavati il volume e il costo unitario del materiale (€/ton).

<Computo strato di base>			
A	B	C	D
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume	Materiale: Costo
Pavimenti			
MA 16 H	Strada: Strada	13.79 m ³	€265.00
		13.79 m ³	
		13.79 m ³	
Totale generale: 1		13.79 m ³	

Figura 8.9 – Abaco per lo strato di base

<Computo strato di usura>			
A	B	C	D
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume	Materiale: Costo
Pavimenti			
MA 11 H	Strada1: Strada1	10.96 m ³	€265.00
		10.96 m ³	
Totale generale: 1		10.96 m ³	

Figura 8.10 – Abaco per lo strato di usura

Nel preventivo sono stati computati in tonnellate, quindi, è difficile fare un confronto anche se, avendo modellato tali elementi solo fino in corrispondenza delle spalle, è facile intuire che il volume è meno di quello effettivamente richiesto. Non è possibile ottenere il costo complessivo di questi materiali dato che il costo che si ha a disposizione non è relativo al volume. In casi come questo, sarebbe sufficiente avere a disposizione la densità

del materiale per trasformare il volume in una massa. Questo può essere fatto sia in Revit che esportando l'abaco in Excel.

Lo stesso ragionamento vale anche per il cordolo che solitamente viene computato in metri lineari. Senza far uso di plug – in, però, non è possibile ottenere i metri lineari di questo oggetto.

<Computo bordura>				
A	B	C	D	E
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume	Materiale: Costo	Costo materiali
Pavimenti				
Bordura	Bordura2: Bordura	1.00 m ²	€125.00	€124.62
Bordura	Bordura: Bordura	1.00 m ²	€125.00	€124.62
		1.99 m ²		€249.24
Totale generale: 2		1.99 m ²		€249.24

Figura 8.11 – Abaco per il cordolo

Il medesimo problema è stato riscontrato anche per la guaina in polipropilene contenente i cavi per la post – tensione. Per questo materiale sono stati ricavati area e costo unitario.

<Computo sistemi di precompressione>			
A	B	C	D
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Area	Materiale: Costo
Telaio strutturale			
Polipropilene	Guaina cavi post tensione: Guaina cavi post tensione	50 m ²	€700.00
Polipropilene	Guaina cavi post tensione: Guaina cavi post tensione	50 m ²	€700.00
Polipropilene	Guaina cavi post tensione: Guaina cavi post tensione	50 m ²	€700.00
Polipropilene	Guaina cavi post tensione: Guaina cavi post tensione	50 m ²	€700.00

Figura 8.12 – Abaco per le guaine in polipropilene

Le difficoltà che si riscontrano negli elementi del marciapiede sono fondamentalmente le stesse. Per il massetto non è stato fornito il costo unitario, quindi, non è possibile quantificare il costo complessivo dell'elemento anche se presumibilmente sarà computato in metri cubi e, dunque, è stato ricavato il volume totale dell'elemento.

<Computo massetto>		
A	B	C
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume
Pavimenti		
Massetto	Marciapiede1: Marciapiede	0.09 m ³
Massetto	Marciapiede4: Marciapiede	6.05 m ³
Massetto	Marciapiede5: Marciapiede	0.38 m ³
Massetto	Marciapiede8: Marciapiede	0.09 m ³
Massetto	Marciapiede10: Marciapiede	0.09 m ³
Massetto	Marciapiede12: Marciapiede	1.79 m ³
Massetto	Marciapiede14: Marciapiede	3.38 m ³
Massetto	Marciapiede: Marciapiede	0.09 m ³
Totale generale: 8		11.97 m ³

Figura 8.13 – Abaco per il massetto

Le lastre di pietra che costituiscono la pavimentazione del marciapiede, invece, sono state computate al metro quadro, così come è stato fornito il costo. Anche di questo materiale si ottiene un computo metrico estimativo completo.

<Computo lastre di pietra>				
A	B	C	D	E
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Area	Materiale: Costo	Costo materiali
Pavimenti				
Lastre di pietra	Marciapiede2: Marciapiede2	2 m ²	€175.00	€424.31
Lastre di pietra	Marciapiede3: Marciapiede2	2 m ²	€175.00	€424.31
Lastre di pietra	Marciapiede6: Marciapiede2	11 m ²	€175.00	€1881.74
Lastre di pietra	Marciapiede7: Marciapiede2	163 m ²	€175.00	€28440.38
Lastre di pietra	Marciapiede9: Marciapiede2	3 m ²	€175.00	€451.59
Lastre di pietra	Marciapiede11: Marciapiede2	3 m ²	€175.00	€450.99
Lastre di pietra	Marciapiede13: Marciapiede2	48 m ²	€175.00	€8402.37
Lastre di pietra	Marciapiede15: Marciapiede2	79 m ²	€175.00	€13798.60
Totale generale: 8		310 m ²		€54274.29

Figura 8.14 – Abaco per le lastre di pietra

In questo caso l'area di materiale computata da Revit è leggermente maggiore rispetto a quella prevista nel preventivo. Il problema può essere legato alla modellazione del marciapiede in corrispondenza del collegamento con la pavimentazione dell'edificio adiacente al ponte.

Anche per l'acciaio del corrimano del muro redirettivo non è possibile ottenere i metri lineari da associare al costo fornito quindi è necessario un rimaneggiamento con altri strumenti.

<Computo corrimano in acciaio>			
A	B	C	D
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume	Materiale: Costo
Muri			
Acciaio inossidabile	Parapetto in acciaio1: Parapetto in acciaio	0.04 m ²	€90.00
Acciaio inossidabile	Parapetto in acciaio3: Parapetto in acciaio	0.19 m ²	€90.00
Acciaio inossidabile	Parapetto in acciaio: Parapetto in acciaio	0.64 m ²	€90.00
Totale generale: 3		0.87 m ²	

Figura 8.15 – Abaco per corrimano in acciaio

Infine, per gli appoggi è stato ricavato un abaco con il conteggio di elementi presenti e il loro prezzo unitario. Per ricavare il costo totale è necessario inserire un'ulteriore colonna con un parametro calcolato ottenuto moltiplicando il costo del singolo appoggio per uno. Di questa colonna Revit è in grado di calcolare il totale.

<Computo appoggi>				
A	B	C	D	E
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Conteggio	Materiale: Costo	Costo materiale
Modelli generici				
Appoggio Mageba	Appoggi: Appoggio Mageba Reston - POT	1	€6000.00	€6000.00
Appoggio Mageba	Appoggi: Appoggio Mageba Reston - POT	1	€6000.00	€6000.00
Appoggio Mageba	Appoggi: Appoggio Mageba Reston - POT	1	€6000.00	€6000.00
Appoggio Mageba	Appoggi: Appoggio Mageba Reston - POT	1	€6000.00	€6000.00
Totale generale: 4				€24000.00

Figura 8.16 – Abaco per corrimano in acciaio

Gli ultimi materiali da computare sono quelli che compongono i micropali di fondazione, ovvero la malta cementizia CEM I 52.5 e l'acciaio S355. Per tali materiali sono stati ricavati i volumi complessivi anche se per l'acciaio sarebbe più utile avere una massa. Una volta noto il volume e la densità del materiale si può comunque pensare di esportare l'abaco in Excel e calcolare i chilogrammi di acciaio S355 necessari per realizzare i micropali.

<Computo acciaio S355>		
A	B	C
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume
Fondazioni strutturali		
Acciaio, S 355	Micropali 11m: Micropali 11m	2.85 m ³
Acciaio, S 355	Micropali 16m: Micropali 16m	4.50 m ³
Acciaio, S 355	Micropali 17m inclinati: Micropali 17m inclinati	3.18 m ³
Acciaio, S 355	Micropali 17m: Micropali 17m	5.57 m ³
Totale generale: 112		16.09 m ³

Figura 8.17 – Abaco per corrimano in acciaio

<Computo malta cementizia>		
A	B	C
Materiale: Nome	Famiglia e tipo	Materiale: Volume
Fondazioni strutturali		
CEM I 52.5	Micropali 11m: Micropali 11m	15.65 m³
CEM I 52.5	Micropali 16m: Micropali 16m	25.15 m³
CEM I 52.5	Micropali 17m inclinati: Micropali 17m inclinati	17.81 m³
CEM I 52.5	Micropali 17m: Micropali 17m	31.16 m³
		89.77 m³
Totale generale: 112		89.77 m³

Figura 8.18 – Abaco per corrimano in acciaio

Solitamente, il computo per i micropali di fondazione viene fatto al metro lineare e si fa riferimento al costo necessario per la realizzazione dell'elemento.

8.2. Computo degli elementi

Il costo che è stato fornito per i micropali di fondazione fa riferimento alla realizzazione dell'elemento al metro lineare quindi si è deciso di fare un computo degli elementi e di assegnare il costo unitario all'elemento. Dal momento che i micropali sono stati modellati come componenti locali assegnati alla categoria di fondazioni strutturali, è stato realizzato un abaco delle quantità e dai filtri è stata selezionata la voce fondazioni strutturali. In questo modo vengono computati tutti gli elementi classificati come fondazioni strutturali, quindi, vengono considerate anche le platee di fondazione. Per visualizzare solamente le famiglie dei micropali è necessario impostare un filtro che escluda tutti gli altri elementi. Per farlo, ad ogni famiglia di micropali è stato assegnato il parametro relativo al modello, a cui è stato assegnato il valore della lunghezza dei micropali e, nel mentre, è stato anche assegnato il costo ad ogni elemento. Successivamente sono stati selezionati i campi che si vogliono visualizzare nell'abaco, tra i quali è stato assegnato anche il parametro del modello così da poter impostare i filtri ed è stato impostato come colonna nascosta dal momento che ha la sola funzione di escludere determinati elementi dall'abaco.

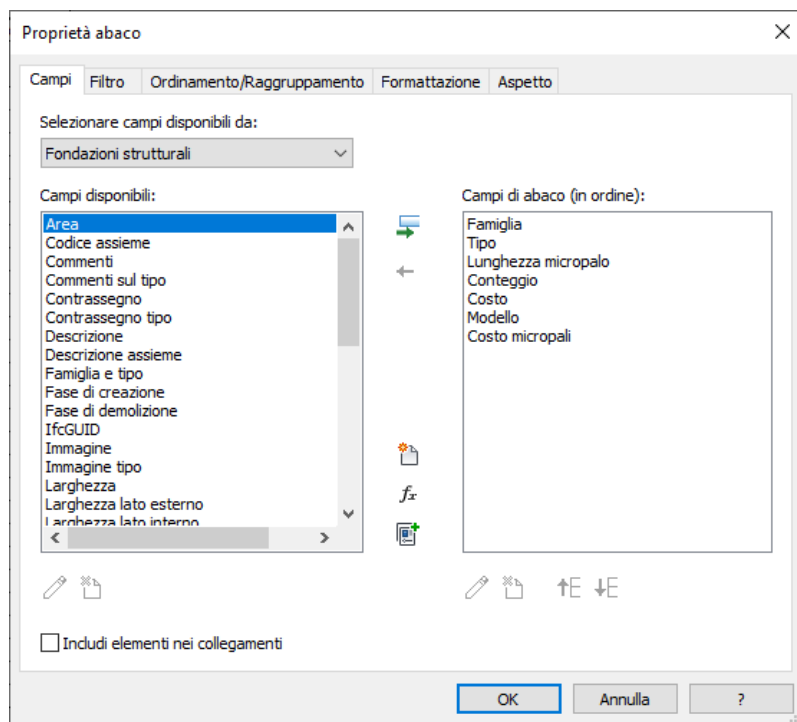


Figura 8.19 – Campi per abaco dei micropali di fondazione

Dal momento che i micropali sono modellati come componenti locali, gli abachi in automatico non riescono a individuare la lunghezza dell'elemento, quindi, è stato creato un parametro calcolato nella cui formula è stato inserito il valore relativo alla lunghezza del micropalo in considerazione. Vista questa difficoltà, è necessario creare quattro abachi distinti, uno per ogni lunghezza.

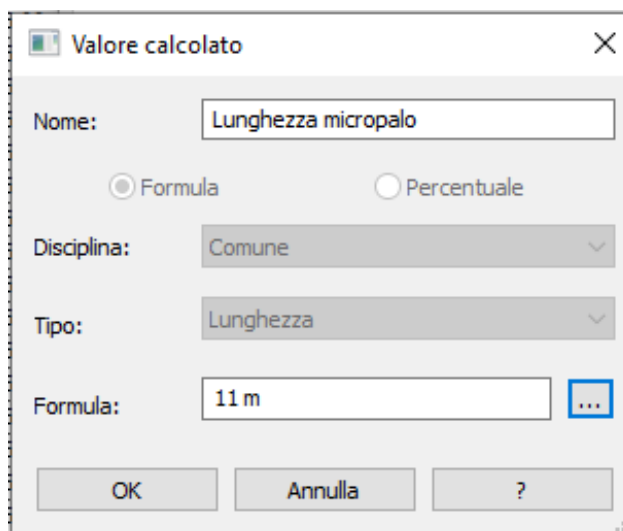


Figura 8.20 – Impostazione della lunghezza del micropalo

Ovviamente in ogni abaco è stata impostata la lunghezza corrispondente al micropalo in questione. L'altro parametro calcolato è quello relativo al costo complessivo dei micropali.

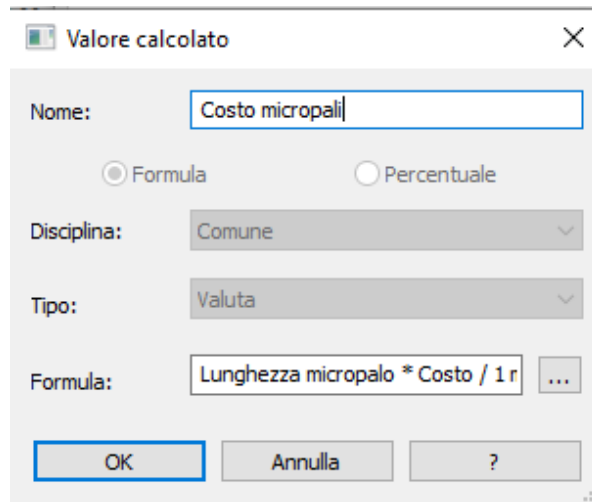


Figura 8.21 – Impostazione del calcolo del costo dei micropali

Nella voce dei filtri è stato impostato il filtro in modo da avere in ogni abaco solo i micropali di una determinata lunghezza

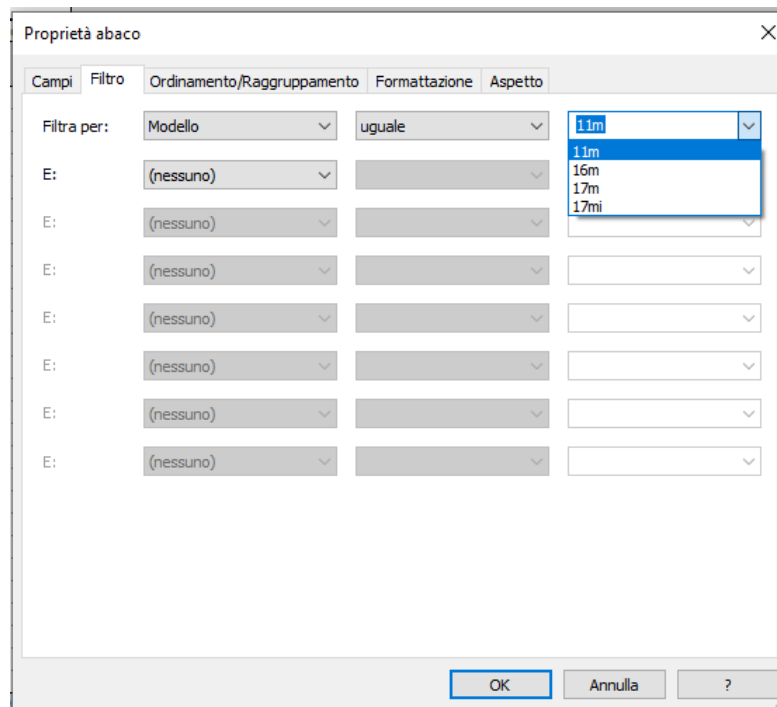


Figura 8.22 – Impostazione del filtro

Infine, nella voce della formattazione è stata nascosta la colonna del modello ed è stato impostato il calcolo del totale del costo degli elementi.

<Abaco micropali di fondazione 16,0m>					
A	B	C	D	E	F
Famiglia	Tipo	Lunghezza microp	Conteggio	Costo	Costo micropali
Micropali 16m					
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m	Micropali 16m	16.0000	1	€215.00	€3440.00
Micropali 16m			30		€103200.00

Figura 8.25 – Abaco dei micropali da 16m

Quello che si osserva in questo caso è una differenza nel costo totale degli elementi rispetto al preventivo fornito che rispecchia chiaramente il margine di sicurezza che è stato mantenuto nel calcolo del preventivo.

Anche per le armature è necessario creare un abaco delle quantità dal momento che non vengono considerate all'interno dell'abaco che si ottiene facendo il computo dei materiali. L'obiettivo principale di questo abaco è quello di ottenere i chilogrammi di acciaio B500B necessario per le armature. In questo caso, la categoria da selezionare è quella dell'armatura strutturale e i campi da inserire nell'abaco sono i seguenti.

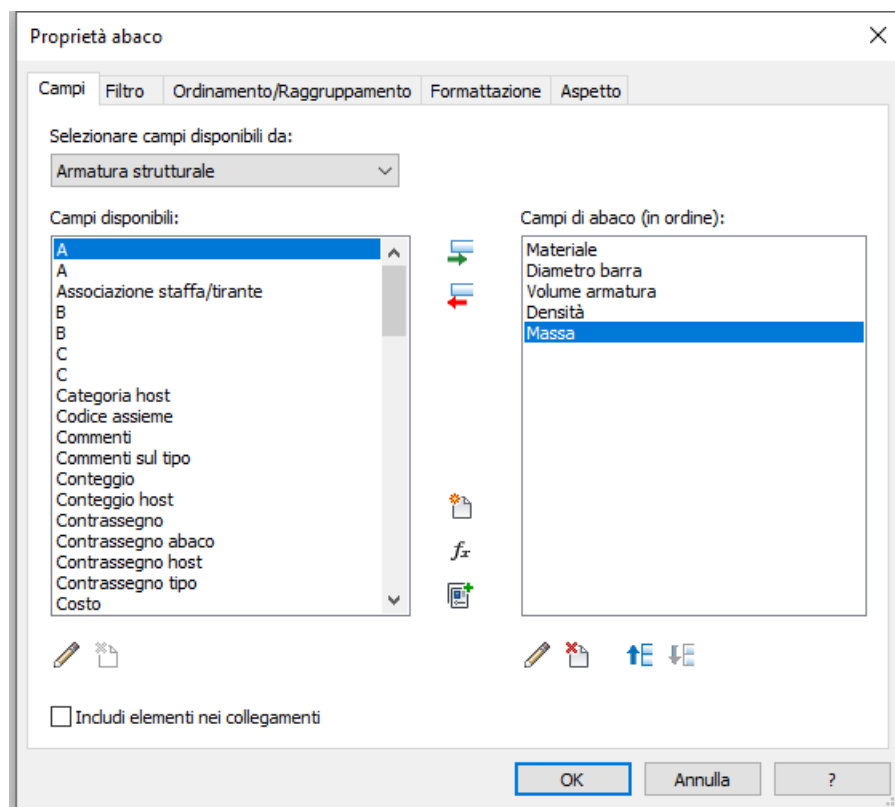


Figura 8.28 – Campi dell'abaco delle armature

Per ottenere la massa di acciaio contenuta all'interno del modello è stato inserito il campo definito "Massa" come valore calcolato con le seguenti impostazioni

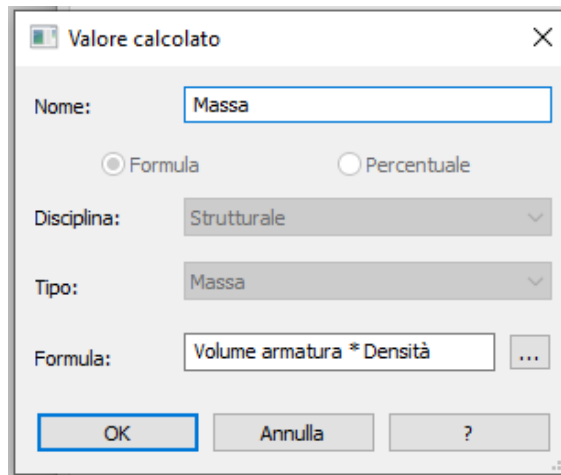


Figura 8.29 – Impostazioni per il calcolo della massa

I valori della densità sono da inserire manualmente all'interno dell'abaco nella colonna corrispondente. Una volta inseriti tali valori, vengono calcolati i chilogrammi di acciaio necessari per ogni diametro delle barre e quelli totali.

<Abaco delle armature>				
A	B	C	D	E
Materiale	Diametro barra	Volume armatura	Densità	Massa
Acciaio B500B	14 mm	0.06 m ³	7850.00 kg/m ³	504.39 kg
Acciaio B500B	16 mm	0.25 m ³	7850.00 kg/m ³	1937.30 kg
Acciaio B500B	18 mm	1.28 m ³	7850.00 kg/m ³	10035.93 kg
Acciaio B500B	20 mm	1.01 m ³	7850.00 kg/m ³	7916.06 kg
Acciaio B500B	22 mm	0.41 m ³	7850.00 kg/m ³	3238.88 kg
Acciaio B500B	26 mm	0.40 m ³	7850.00 kg/m ³	3179.03 kg
Acciaio B500B	30 mm	2.28 m ³	7850.00 kg/m ³	17908.15 kg
Totale generale: 2350		5.70 m ³		44719.73 kg

Figura 8.30 – Abaco delle armature

I dati ottenuti fanno ovviamente riferimento alle sole barre inserite, ma ipotizzando di completare l'armatura di tutto il manufatto, l'abaco si aggiornerebbe in maniera automatica. L'unica cosa da continuare a inserire manualmente è la densità dell'acciaio. Lo stesso discorso vale anche nel caso in cui sia necessario modificare le armature. Assegnando il costo all'elemento si può ottenere rapidamente anche l'abaco corretto e completo dei costi per gli appoggi, senza bisogno di ricorrere agli artifici mostrati prima per calcolare i costi degli elementi.

<Abaco appoggi>		
A	B	C
Famiglia	Tipo	Costo
Appoggi		
Appoggi	Appoggio Mageba	€6000.00
Appoggi	Appoggio Mageba	€6000.00
Appoggi	Appoggio Mageba	€6000.00
Appoggi	Appoggio Mageba	€6000.00
Appoggi: 4		€24000.00

Figura 8.31 – Abaco degli appoggi

8.3. Osservazioni

Dagli abachi ricavati si può concludere che per alcuni materiali si riesce ad ottenere un computo metrico che conteggi le quantità desiderate. Questo avviene per il calcestruzzo, per esempio, per il quale si ottengono dei valori perfettamente confrontabili con un computo metrico estimativo prodotto secondo i criteri della progettazione tradizionale. Per tutti i materiali, comunque, è possibile ricavare delle quantità che possono essere utilizzate per fare dei computi metrici, magari con unità di misura differenti da quelle solitamente utilizzate.

Spesso è necessario fare ricorso all'uso di strategie piuttosto articolate per arrivare al risultato desiderato. È quello che è stato necessario fare per i micropali di fondazione. Questo è dovuto al fatto che ci sono dei limiti all'interno del software che non permettono di computare determinate quantità. In particolare, gli elementi da computare al metro lineare sono i più ostici a causa della difficoltà di Revit nel conteggiare la lunghezza complessiva di molti oggetti separati tra di loro. Questo è dovuto al fatto che Revit ragiona in termini semantici, quindi, è in grado di contare tutte le categorie contenute nel modello ma le informazioni che sono collegate ad esse sono più complesse da computare. Lo stesso problema si ha anche nel caso in cui si volesse determinare la lunghezza totale di un determinato diametro delle barre di armatura. Sono quantità che Revit conosce perché sono contenute all'interno del database che è stato creato però non possono essere riportate in maniera automatica all'interno di un abaco ed è necessario fare ricorso all'uso di plug – in come Dynamo. In alternativa, si possono esportare in Excel i dati che si ottengono automaticamente con Revit e poi rimaneggiarli per ottenere quantità più utili. Inoltre, non è possibile assegnare un'unità di misura alle valute, quindi, nel momento in cui si inseriscono le formule nei parametri calcolati è necessario aggiustare le unità di misura in modo che risultino omogenee.

Nonostante le difficoltà e i limiti che sono stati riscontrati, non si può negare l'enorme vantaggio legato al fatto che tutte le informazioni che si ricavano dal modello si aggiornano automaticamente quando il esso stesso viene modificato. L'automatismo viene parzialmente a mancare nel momento in cui alcune informazioni devono essere inserite manualmente, come è stato necessario fare per la lunghezza dei micropali o per la densità del calcestruzzo. È un processo più rapido e meno a rischio di errori rispetto a un processo che prevede di ricalcolare ogni quantità.

9. Conclusioni

9.1. Lavoro svolto

È stato applicato un processo di digitalizzazione al progetto di un ponte in calcestruzzo armato con travi in calcestruzzo armato precompresso con sistema di post tensione che verrà realizzato a Minusio in Svizzera. Si è deciso di concentrare l'attenzione esclusivamente sulla struttura del manufatto, senza considerare la parte impiantistica e l'ambiente circostante. Le prime informazioni che sono state inserite nel modello centrale sono quelle relative alla geometria degli elementi che compongono il manufatto. Per ogni elemento è stata scelta la categoria di componenti ritenuta più idonea, prendendo in considerazione diversi fattori, tra cui la funzione strutturale, i parametri e il tipo di informazioni che si possono associare all'oggetto e i vincoli geometrici che presenta il software, che si è deciso di utilizzare senza estensioni o plug – in.

In un secondo momento sono state associate agli elementi le informazioni relative al materiale, al copriferro e ai costi relativi a qualsiasi materiale ed elemento inserito nel modello. Così facendo sono state inserite tutte le informazioni, attualmente a disposizione, e si può ritenere conclusa la fase di modellazione. L'ultima fase del processo consiste nello sfruttare il modello creato. Inizialmente sono stati ricavati dal modello di informazioni tre elaborati tecnici confrontabili con quelli comunemente realizzati in Autocad. Nello specifico è stata creata una prima tavola contenente i disegni d'assieme, la seconda è quella relativa alle sezioni trasversali del ponte realizzate nelle posizioni più significative e nella terza, infine, sono rappresentati alcuni dettagli costruttivi ritenuti necessari per la comprensione della disposizione dell'armatura nei vari elementi. È stata creata anche una quarta tavola con i dettagli tridimensionali corrispondenti a quelli bidimensionali della terza tavola.

Per concludere la sperimentazione, sono stati creati degli abachi dei materiali per avere un computo metrico paragonabile a quello di preventivo così da poterli confrontare.

9.2. Risultati ottenuti (sintesi di quello che ho scoperto)

Da ogni fase del processo è stato possibile ricavare numerose informazioni relative sia al processo BIM che all'utilizzo di Revit come software per l'applicazione del processo al progetto oggetto della tesi.

Per come è stata eseguita la modellazione degli elementi, la modifica della loro geometria è piuttosto immediata, chiaramente più la sezione è articolata più la modifica richiede tempo. Questo fattore è particolarmente positivo soprattutto nelle fasi preliminari della

modellazione, quando i cambi di geometria sono all'ordine del giorno. Il fatto di avere la certezza che, modificando la geometria dell'oggetto, qualsiasi vista che lo contiene si aggiorna di conseguenza è molto comoda dal momento che evita possibili errori e riduce notevolmente le tempistiche richieste per l'aggiornamento dei disegni. Inoltre, qualsiasi soggetto coinvolto nel progetto si trova ad avere in automatico i disegni sempre aggiornati e viene avvisato quando vengono apportate delle modifiche.

Non si può, però, non evidenziare il fatto che mancano molte delle famiglie necessarie per creare il modello di una infrastruttura che sia semanticamente corretto, questo purtroppo è un limite legato allo stato attuale dell'arte, che troverà soluzione solo nel momento in cui verranno implementate dai software le nuove versioni dello standard IFC. Per molti degli elementi che sono stati modellati sono state trovate delle valide soluzioni, come è successo per la pila, le spalle e le travi. Per altri elementi come le guaine contenenti i cavi post tesi, invece, è stato necessario utilizzare famiglie non adatte ma che permettono di avere un modello corretto almeno da un punto di vista grafico. Per altri elementi, come i micropali di fondazione, è stato necessario fare ricorso alla generica categoria dei modelli generici. Questi elementi, finché si rimane in ambiente Revit, non generano problemi dal momento che possono essere assegnati ad una categoria come le fondazioni strutturali, i pavimenti o i muri, ma ragionando in ottica di esportazione in formato .ifc non sono particolarmente funzionali dal momento che vengono riconosciuti solo come modelli generici.

Per quanto riguarda, invece, la scelta di Revit come software di modellazione, essa si è rivelata una scelta valida. Questo è dimostrato dal fatto che la soletta dell'impalcato è l'unico elemento che poteva essere assegnato a una famiglia corretta, ovvero il pavimento strutturale, ma non è stato possibile per via dei vincoli di modellazione geometrica del software che impedivano di ottenere la sezione corretta dell'elemento. Questo problema poteva essere risolto facendo uso di Dynamo quindi si può sicuramente concludere che Revit, nonostante l'interfaccia ancora interamente basata sugli edifici, permette di ottenere un modello di un ponte, magari non troppo complesso da un punto di vista geometrico, che sia semanticamente corretto.

L'assegnazione delle informazioni relative al materiale è un processo agevole, per cui non si riscontrano problemi anche nel caso in cui sia necessario creare un nuovo materiale. È possibile assegnare a ciascun materiale qualsiasi tipo di informazione o caratteristica meccanica, fisica e termica.

L'inserimento dell'armatura è sicuramente un procedimento molto più laborioso e che porta a meno vantaggi rispetto alla modellazione tradizionale. Esiste il plug – in gratuito CADs Rebar che aiuta nell'inserimento dell'armatura negli elementi modellati all'interno delle famiglie di sistema ma non appena è richiesto l'utilizzo di una famiglia caricabile lo strumento non riconosce la semantica dell'oggetto e non è possibile utilizzarlo. L'unico altro strumento che può aiutare nell'inserimento dell'armatura è il “gruppo variabile di armature” ma anch'esso non sempre è utilizzabile. In particolare, negli elementi che hanno una geometria molto articolata o dove non è possibile mantenere il passo tra le barre costante non è possibile utilizzare neanche questo comando ed è necessario inserire le barre singolarmente. Questo porta ad avere delle armature che non sono direttamente associate all'elemento host quindi nel momento viene modificata la sua geometria, le armature vanno modificate una per una, rendendo l'operazione estremamente dispendiosa in termini di tempistiche. Il fatto che modificare, in maniera più o meno rapida, le armature nel modello centrale porta ad un aggiornamento automatico di tutte le viste rappresenta sicuramente un vantaggio, dal momento che non c'è il rischio di errori legati al mancato aggiornamento di alcune viste. Vista la complessità dell'operazione in mancanza di plug – in specifici, se sono sufficienti i disegni relativi alla fase definitiva del progetto si utilizza Revit, se invece, si vuole arrivare al livello di dettaglio richiesto dalla fase esecutiva è opportuno fare affidamento su strumenti più performanti o su altri software. Per quanto riguarda il controllo delle interferenze, lo strumento messo a disposizione da CADs Rebar, considera esclusivamente le interferenze tra le barre, ma non fornisce indicazioni sulle interferenze che si generano tra le barre e gli altri elementi che compongono il modello. In questo caso specifico sarebbe stato particolarmente utile individuare le interferenze tra le armature, le guaine per i cavi post tesi e le loro teste di ancoraggio. Queste, infatti, richiedono uno studio approfondito da svolgere ben prima della posa in opera in cantiere ma l'unico controllo che può essere svolto con la versione standard di Revit è quello visivo, esattamente lo stesso che si può svolgere anche con Autocad.

Le viste che si ricavano aggiungendo le linee di sezione nel modello centrale vanno necessariamente rielaborate per ottenere delle viste che siano coerenti con le convenzioni grafiche usate nella progettazione tradizionale. Revit, come tutti i software di BIM authoring, lavora con gli oggetti e non con le linee e questo rende più complessa la gestione degli stili di linea. Gli spessori delle linee sono da assegnare agli oggetti, a seconda che essi siano in vista o in sezione e questo può rendere difficile realizzare delle

viste che siano corrette sia graficamente che da un punto di vista di rappresentazione. Sono disponibili degli strumenti grafici che possono aiutare a risolvere errori di rappresentazione dovuti all'impossibilità di gestire diversamente le linee dello stesso oggetto. Non sempre, comunque, si possono utilizzare e questo ha portato ad avere nelle tavole finali una linea extragrossa che divide la soletta dalle travi quando, in realtà, dovrebbero essere un unico elemento. Questo può, ovviamente, portare a fraintendimenti nel caso in cui si decida di sostituire le tavole tradizionali di Autocad con quelle che si ottengono dal processo BIM. La creazione delle tavole è un processo piuttosto speditivo grazie ai modelli di vista che si possono impostare e applicare a tutte le viste desiderate. Le viste che si ottengono a partire dal modello di informazioni centrale, possono essere spendibili in cantiere purchè nella modellazione delle barre di armatura sia stato mantenuto un passo costante, senza preoccuparsi di possibili interferenze con le altre armature, a meno che esse non siano particolarmente significative. Dove sono state corrette tutte le interferenze trovate, le viste di dettaglio risultavano, infatti, disordinate e di difficile lettura, soprattutto dove i passi tra le barre risultavano tutti diversi e non coerenti con quanto indicato dalle annotazioni. Revit non nasce in un ambito europeo e questo si rispecchia nel diverso stile di annotazione, soprattutto quello delle armature. Se si vogliono realizzare delle tavole che si possano utilizzare in cantiere è importante che le annotazioni siano facilmente comprensibili e non portino a fraintendimenti, a costo magari di perdere gli aggiornamenti automatici in caso di modifica delle armature. L'unica sostanziale differenza rispetto alla progettazione tradizionale è quella di ottenere molto rapidamente delle viste di dettaglio tridimensionali estremamente dettagliate, comprensive anche delle armature. Tali viste sono particolarmente esplicative della reale distribuzione delle armature e della loro posizione all'interno degli elementi ma difficilmente giustificano le tempistiche necessarie a posizionare l'armatura completa degli elementi senza l'ausilio di plug – in specifici.

Il grande vantaggio che si ha ottenendo abachi e computi metrici estimativi dei materiali e degli elementi presenti nel modello è sicuramente quello di avere delle tabelle che si aggiornano automaticamente insieme al modello. Anche per questi elementi, per avere degli abachi con tutte le quantità richieste per fare un computo metrico estimativo, è necessario intervenire con altri strumenti che possono essere banalmente Excel, estensioni di Revit o altri programmi in grado di leggere il modello Revit. In generale, le quantità computate sono influenzate dalle scelte di modellazione, più o meno obbligate, e questo porta ad avere dei computi dei materiali che possono essere affetti da errori

dovuti proprio alle scelte fatte durante la modellazione. Nel processo analizzato nel presente elaborato di tesi le quantità computate risultano diverse da quelle previste da preventivo proprio a causa di tali scelte e al fatto che nel preventivo è computato l'intero progetto mentre in Revit il modello dell'impalcato è stato interrotto in corrispondenza delle spalle.

9.3. Sviluppi futuri

La presenti tesi offre moltissimi spunti per ulteriori sviluppi. Visto l'ambiente fortemente urbanizzato all'interno del quale si andrà a collocare il progetto sarebbe particolarmente utile modellare l'ambiente circostante per fare anche una valutazione di quali possono essere le interferenze che nascono e quali sono gli spazi disponibili e utilizzabili per il cantiere. Inoltre, la sperimentazione svolta si è concentrata esclusivamente sulla parte strutturale del progetto ma è sicuramente utile fare uno studio simile per quanto riguarda la parte impiantistica e infrastrutturale per valutare con quali problemi ci si scontra cambiando ambito.

Dal momento che sono stati riscontrati diversi limiti del software che impediscono di ottenere il risultato desiderato, sarebbe di grande interesse sfruttare Dynamo per capire quali sono esattamente i vantaggi rispetto a quanto è stato fatto e fino a che punto si possono risolvere i problemi riscontrati. Nello specifico sarebbe utile riuscire a modellare la soletta in calcestruzzo armato nella categoria dei pavimenti strutturali, così come anche tutti gli strati della pavimentazione stradale e del marciapiede. Lo stesso ragionamento andrebbe fatto anche per i muri redirettivi e qualsiasi altro elemento per il quale è stato necessario utilizzare il componente locale per superare i vincoli geometrici che Revit impone. Sempre con Dynamo si potrebbe cercare di ottenere tutti le quantità necessarie nel computo dei materiali.

Le scelte di modellazione fatte, oltre alla correttezza grafica, avevano come scopo principale quello di creare un modello corretto anche da un punto di vista semantico, quindi, sarebbe sicuramente molto utile esportare il modello in formato .ifc e valutare l'effettiva interoperabilità con altri programmi di BIM authoring.

In futuro, quando saranno implementate le nuove versioni dello standard IFC con le estensioni per le infrastrutture si può valutare l'ipotesi si riassegnare gli elementi alle nuove categorie e verificare quali sono i miglioramenti rispetto allo stato dell'arte attuale.

Bibliografia

Documenti:

- buildingSMART Italy, “Linea guida di applicazione dell’IFC a ponti e viadotti”. Documento PDF;
- Autodesk, “Manuale dello standard IFC per Revit”. Documento PDF;
- Autodesk, “Lo standard IFC: quando e come utilizzarlo”. Documento PDF;
- Andrea Passaniti, “Metofologia BIM per la gestione di infrastrutture: il caso studio del viadotto Portella”. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino;
- Angelo Campagna, “InfraBIM e interoperabilità: analisi di confronto a diversi livelli di progettazione”. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino;
- Simona Masciarelli, “La digitalizzazione delle infrastrutture esistenti con metodologia BIM: il caso del ponte Franco Balbis”. Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino.

Siti web:

- Autodesk, www.autodesk.it
- Autodesk help, www.help.autodesk.com/view/RVT/2021/ENU/
- Building Smart, www.buildingsmart.com

Ringraziamenti

Desidero ringraziare tutti coloro che hanno contribuito alla stesura del presente elaborato di tesi e al conseguimento della Laurea Magistrale in Ingegneria Civile.

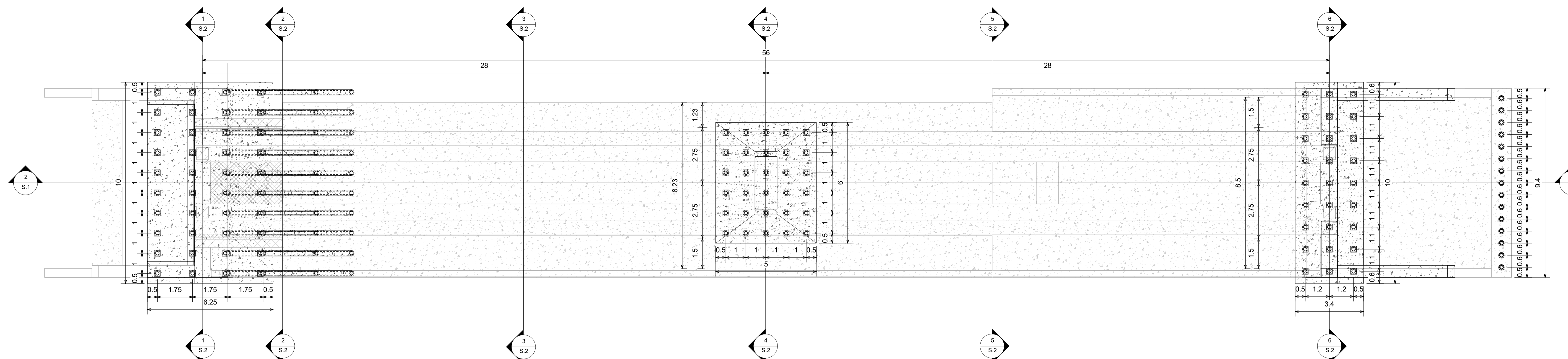
Un profondo ringraziamento va al Prof. Ing. Simone Garagnani e al Prof. Ing. Stefano Silvestri per avermi assegnato la presente tesi di Laurea, per i consigli e la disponibilità dimostrata nei miei confronti.

All' Ing. Gianni Neri e a tutto lo studio DMNIngegneria per i loro insegnamenti, per la gentilezza e l'accoglienza mostratami durante il tirocinio e per aver contribuito alla stesura della Tesi fornendomi il progetto oggetto della sperimentazione.

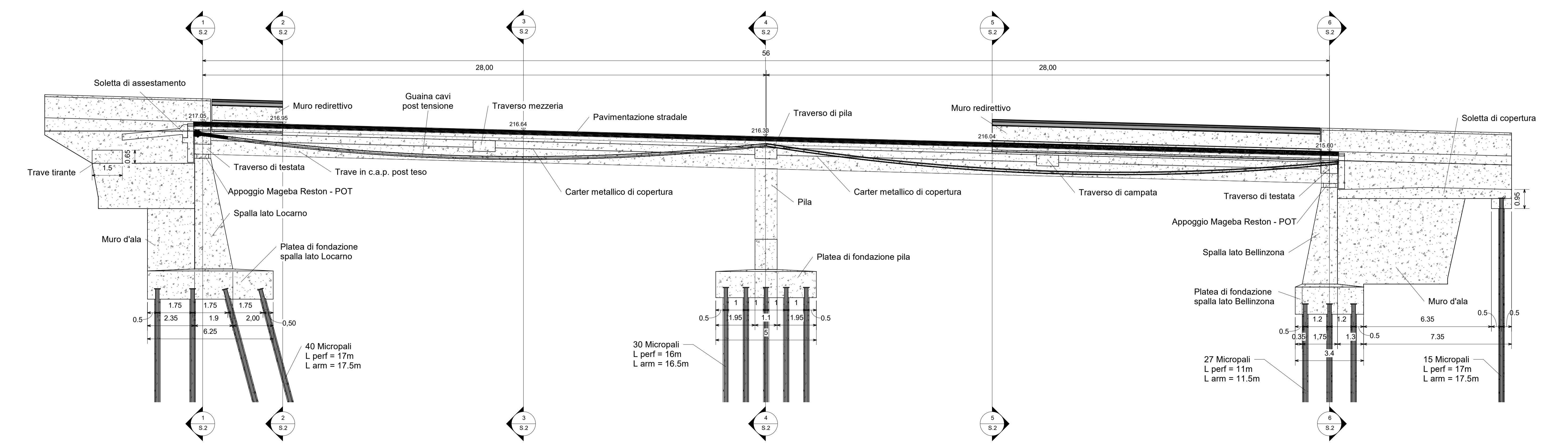
Ai miei genitori, Noemi e Giovanni, e a tutta la mia mia famiglia che mi ha sempre sostenuta ed aiutata spingendomi a dare il massimo per raggiungere i miei obiettivi.

Infine, ringrazio tutti i miei amici che sono stati con me, con cui ho condiviso tutto in questi anni e che mi sono stati vicini sia nei momenti felici che in quelli più complessi.

Grazie.



1 Planimetria
1 : 100



2 Sezione longitudinale
1 : 100

CALCESTRUZZI

- CORDOLI/MURI REDIRETTIVI: CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR
- IMPALCATO E PIATTABANDA: CPN D (T1) C35/45, XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR

Per i calcestruzzo d'impalcato e piattabanda è richiesto un modulo elastico minimo a 28gg pari a 30'000 MPa

- PILA (e relativa platea): CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR
- MURI D'ALA (solo sommità): CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR
- SPALLE E MURI (e relativa platea): CPN D (T1) C25/30, XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR

ACCIAIO PER PRECOMPRESSIONE

- 2 CAVI TIPO VSL GC 40 - VSL 6-XX (TREFOLI Y1770 S7-15.7) PER OGNUNA DELLE DUE TRAVI (XX vedi piano)
- TIRO INIZIALE AL MARTINETTO SU OGNI CAVO (vedi piano)
- IL TIRO POTRA' AVVENIRE TRASCORSI ALMENO 7gg DAL GETTO DELL'IMPALCATO
- IL TENSIONAMENTO DOVRA' AVVENIRE PER DUE CAVI SULLA SPALLA LATO LOCARNO E PER DUE CAVI SULLA SPALLA LATO BELLINZONA

ACCIAIO PER BARRE D'ARMATURA	CASSERI
- BARRE: B500B	- FONDAZIONI: TIPO 1
	- ELEVAZIONI CONTROTERRA: TIPO 2
COPRIFERRO	- ELEVAZIONI FACCIAVISTA: TIPO 4-1
- IN GENERALE: 55 mm	- IMPALCATO e PIATTABANDA: TIPO 4-1
- SPALLE e FONDAZIONI: 45 mm	- LISTA TRIANGOLARE: LISTA TRIANGOLARE
- MICROPALI: 40 mm	- SPIGOLI A VISTA: 30 x 30 mm

MICROPALI

- ARMATURA IN PROFILI ROR S355 (per lunghezza, diametro e spessore vedi indicazioni sul piano)
- PERFORAZIONE CON TUBO FODERA Ø278 mm
- MALTA CEMENTIZIA DI RIEMPIMENTO CEM I 52.5 - RAPPORTO A/C < 0.55
- PREVEDERE DISTANZIATORI ALL'INTERNO DEL FORO E GIUNTI FILETTATI MASCHIO/FEMMINA

DISTANZIATORI E CONTROLLO ARMATURA

- IL COPRIFERRO DEVE ESSERE GARANTITO UTILIZZANDO DISTANZIATORI DELLO SPESSORE RICHIESTO
- I DISTANZIATORI VANNO POSATI ANCHE SUI CALCESTRUZZI DI SOTTOFONDO
- L'IMPRESA NON INIZIERA' IL GETTO, PRIMA CHE L'ARMATURA SIA STATA CONTROLLATA DAL PROGETTISTA, CHE SARA' AVVISATO PER TEMPO (MIN. 24 ORE)

TRATTAMENTO SUPERFICI FACCIA A VISTA

- TRATTAMENTO ANTIGRAFFITI SECONDO POS. A CAPITOLATO

TERRENO DI FONDAZIONE

- IL TERRENO DI FONDAZIONE DOVRA' ESSERE CONTROLLATO DAL PROGETTISTA. IN SEGUITO, LA DL RILASCERA' L'APPROVAZIONE A PROCEDERE CON LE LAVORAZIONI

GIUNTI DI LAVORO

- IRRUVIMENTO DELLA SUPERFICIE IN CALCESTRUZZO MEDIANTE L'IMPIEGO DI UN PRODOTTO RITARDANTE DI PRESA PER SUPERFICI, TIPO "Rugasol-2W Liquido"

GETTI A BASSE TEMPERATURE (TEMPERATURE DELL'ARIA AL DI SOTTO DEI 5°C)

- CALCESTRUZZO CON ANTIGELO E INERTI RISCALDATI CON TEMPERATURE DELL'ARIA DA +5°C A -5°C
- LA SERA PRIMA DEL GETTO PREVEDERE LA POSA DI MATERASSINI TERMICI SULLA SUPERFICIE DEI CASSERI E DELLE BARRE D'ARMATURA IN CASO DI RISCHIO DI FORMAZIONE DI BRINA E/O GHIACCIO
- INTERRUZIONE DEL GETTO CON TEMPERATURE DELL'ARIA INFERIORI A -5°C

POST TRATTAMENTO

- RIMOZIONE DEL CASSERO DOPO IL GETTO: 3 GG (MURI D'ALA); 28 GG (PIATTABANDA)
- T>15°C: PROTEZIONE DELLE SUPERFICI CON STUOIA GEOTESSILE INUMIDITA, DURATA MINIMA 5 GG
- 10°C<T<15°C: PROTEZIONE DELLE SUPERFICI CON STUOIA GEOTESSILE INUMIDITA, DURATA MINIMA 7 GG
- T<10°C: PROTEZIONE A FINE GETTO DELLE SUPERFICI CON MATERASSINI TERMICI, DURATA MINIMA 9 GG

ALTRE DISPOSIZIONI

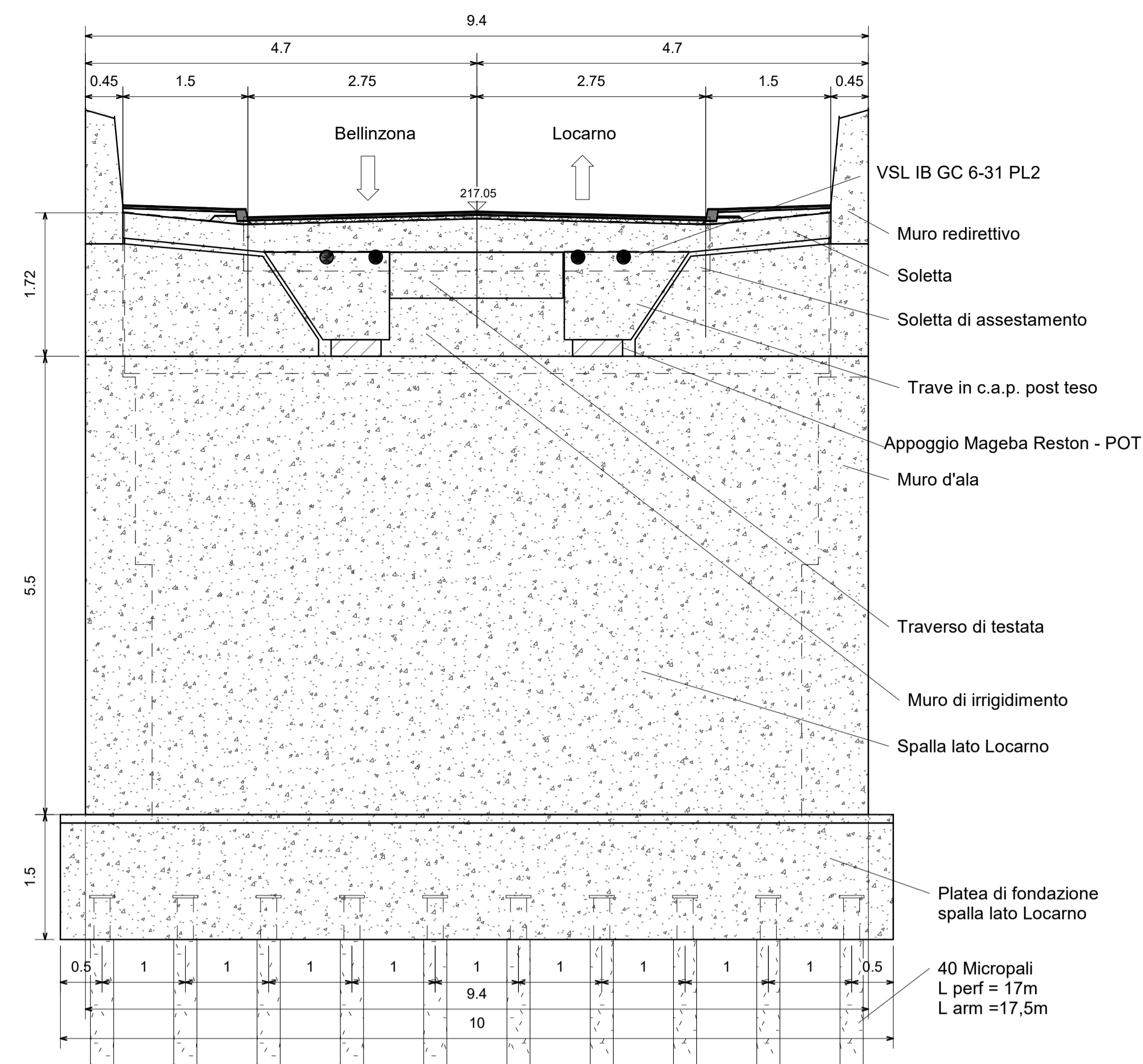
- CONTROLLO DELLA QUALITÀ SECONDO PIANO DEI CONTROLLI
- LA POSIZIONE DELLE INFRASTRUTTURE E' INDICATIVA. L'IMPRESA DOVRA' VERIFICARNE LA QUOTA E LA REALE POSIZIONE IN CANTIERE. L'EVENTUALE SPOSTAMENTO DI UN'INFRASTRUTTURA DEVE ESSERE CONCORDATO CON IP / DL E IL PROPRIETARIO DELLA STESSA
- TUTTE LE MISURE SONO DA VERIFICARE IN CANTIERE SUL POSTO DALL'IMPRESA. EVENTUALI ERRORI O DISCREPANZE, DEVONO ESSERE IMMEDIATAMENTE COMUNICATI AI PROGETTISTI E/O DIREZIONE LAVORI PER LE NECESSARIE VERIFICHE.
- EVENTUALI INFORMAZIONI MANCANTI SUI PIANI PER RAGGIUNGERE IL GRADO DI PRECISIONE RICHIESTO, SONO DA RICHIEDERE IMMEDIATAMENTE AI PROGETTISTI E/O DL.
- I PROGETTISTI DECLINANO OGNI RESPONSABILITÀ PER ESECUZIONI IMPRECISE O LAVORI NON ESEGUITI A REGOLA D'ARTE A SEGUITO DI DISCREPANZE O MANCANZA D'INFORMAZIONI

Università degli Studi di Bologna
Scuola di Ingegneria e Architettura

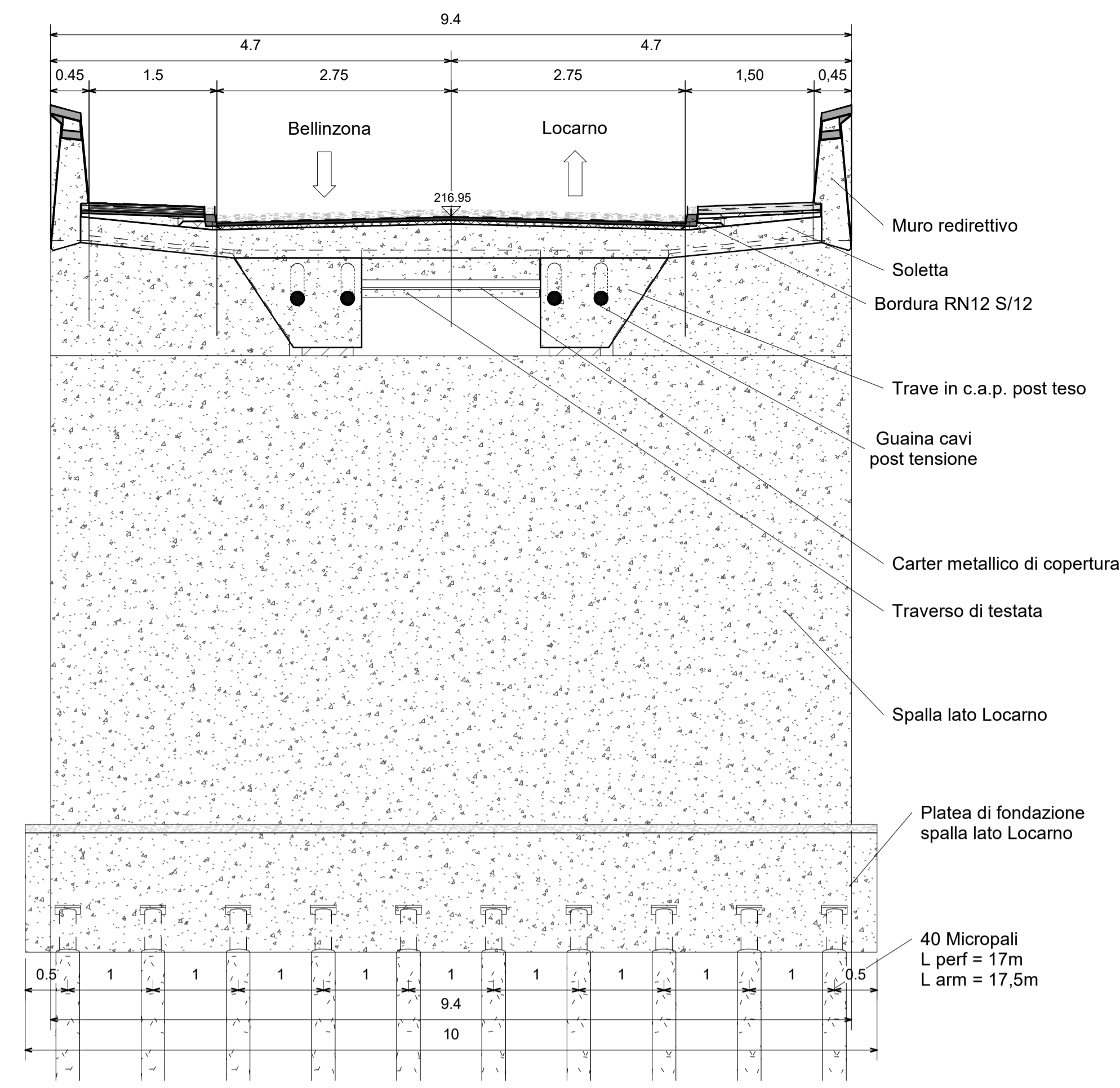
Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

**Il processo di gestione informativa BIM
per il progetto di un ponte in c.a.p.:
la modellazione digitale del
ponte Remorino a Minusio (Svizzera)**

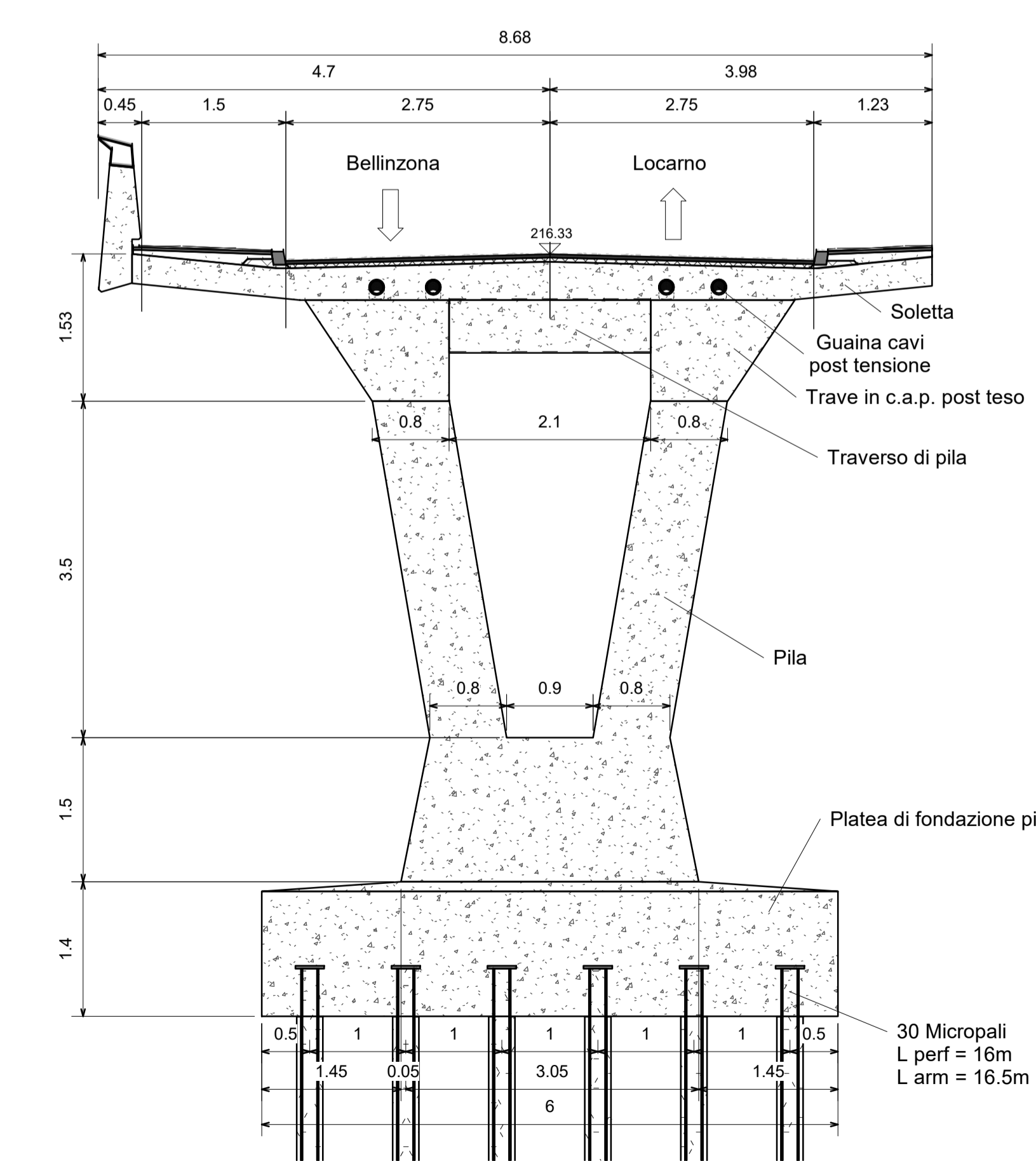
Disegnato da: Brenda Resta	Numero tavola: S.1
Planimetria - Sez.longitudinale	Scala: 1 : 100



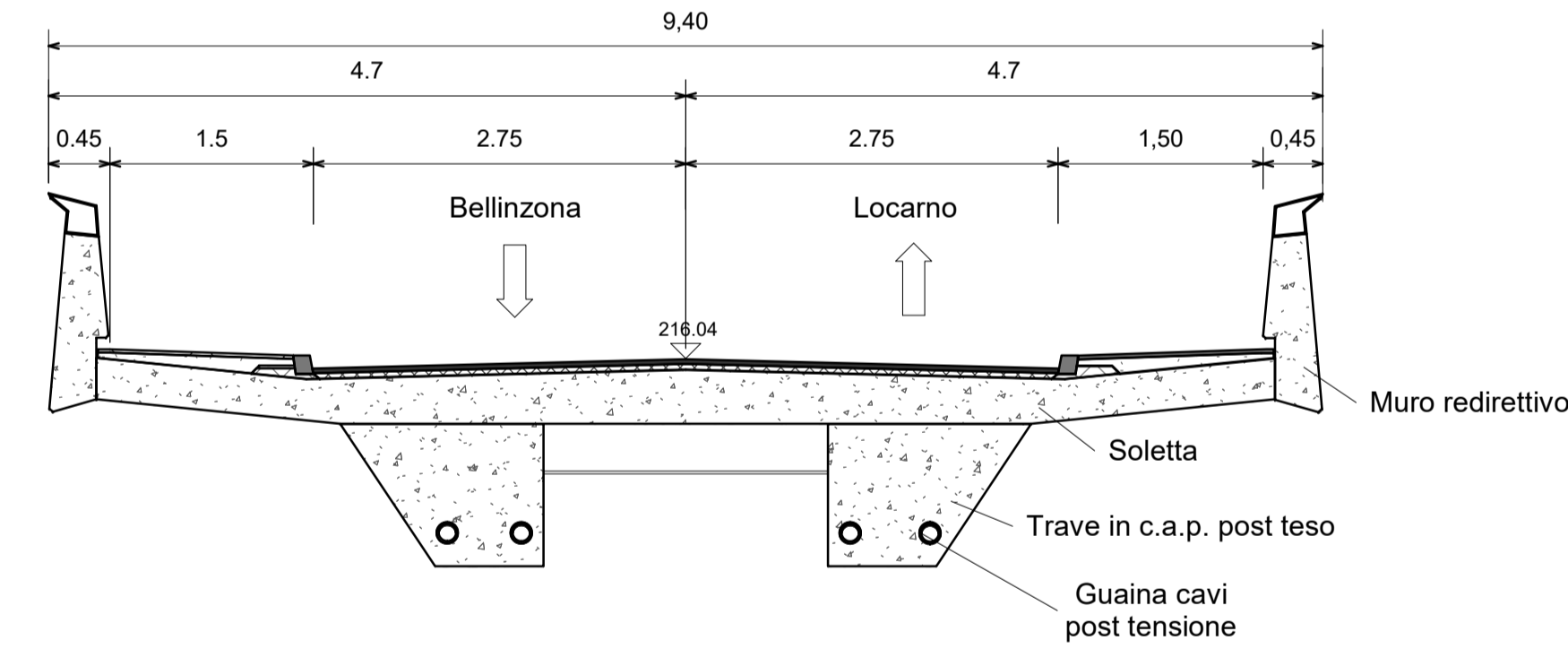
1 Sezione spalla Locarno
1 : 50



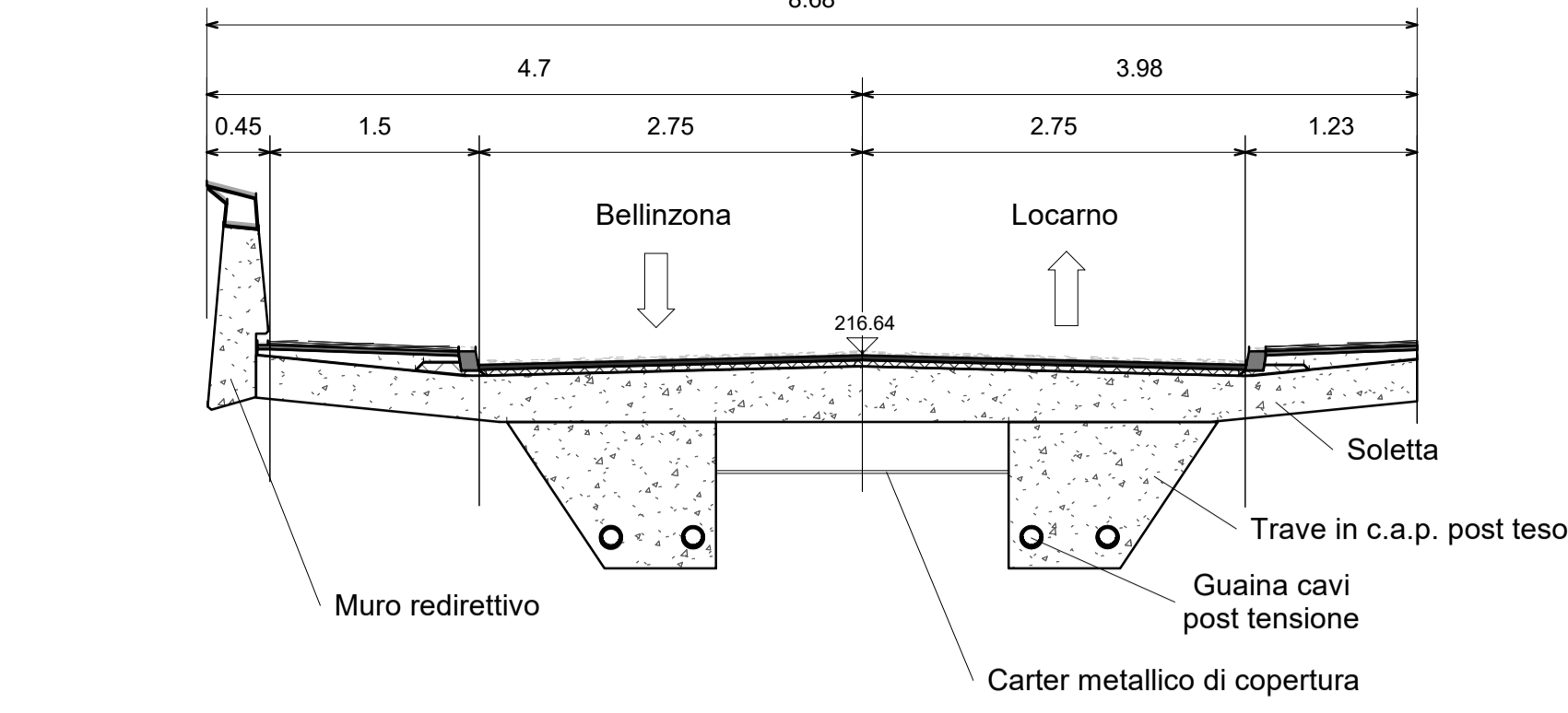
2 Sezione T1
1 : 50



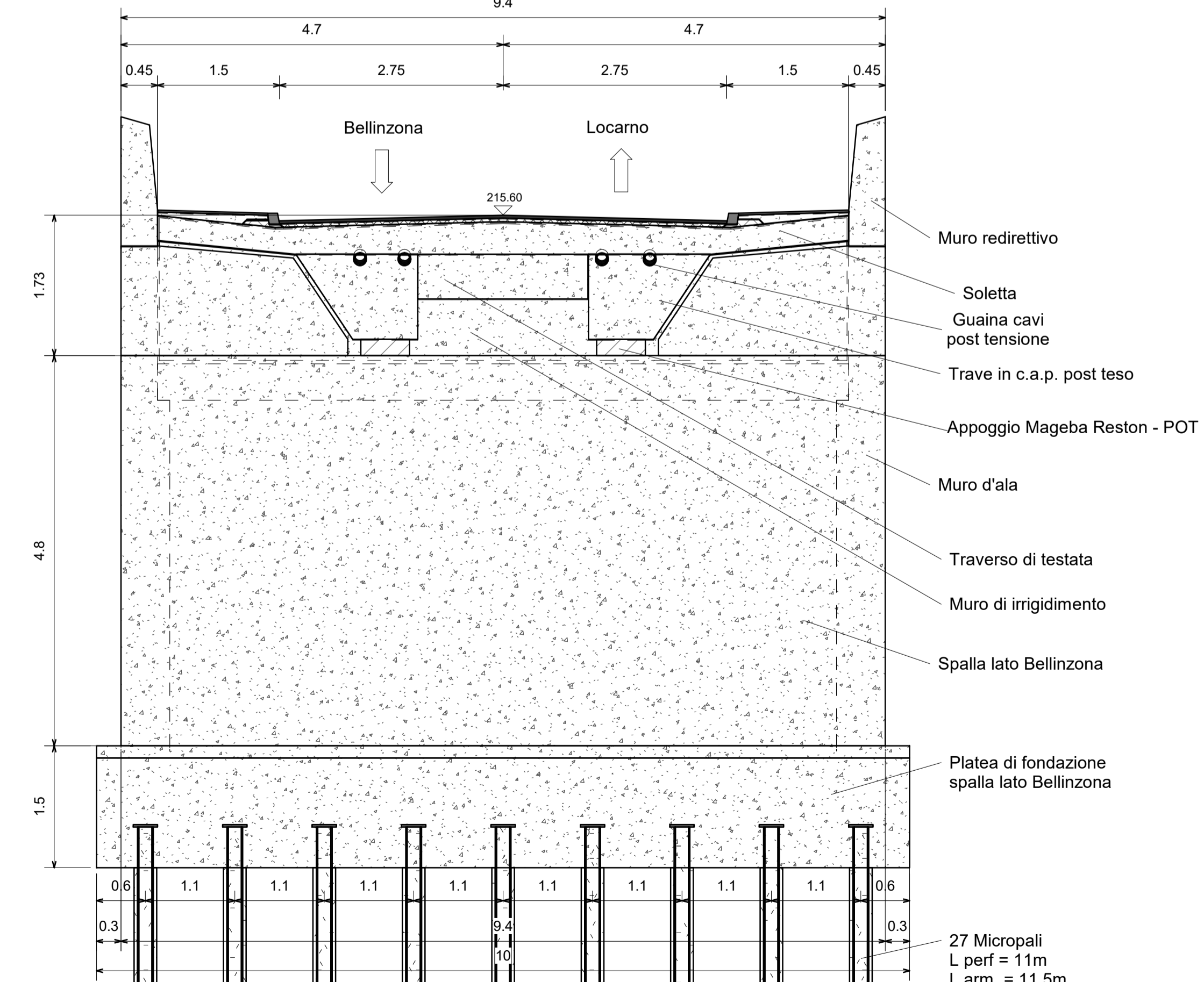
4 Sezione pila
1 : 50



5 Sezione T3
1 : 50



3 Sezione T2
1 : 50



6 Sezione spalla Bellinzona
1 : 50

CALCESTRUZZI

- CORDOLI/MURI REDIRETTIVI: CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR
- IMPALCATO E PIATTABANDA: CPN D (T1) C35/45, XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR

Per i calcestruzzi d'impalcato e piattabanda è richiesto un modulo elastico minimo a 28gg pari a 30'000 MPa

- PILA (e relativa platea): CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR
- MURI D'ALA (solo sommità): CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR
- SPALLE E MURI (e relativa platea): CPN D (T1) C25/30, XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH), Dmax32, CI 0.10, C3, AAR

ACCIAIO PER PRECOMPRESSIONE

- 2 CAVI TIPO VSL GC 40 - VSL 6-XX (TREFOLI Y1770 S7-15.7) PER OGNUNA DELLE DUE TRAVI (XX vedi piano)
- TIRO INIZIALE AL MARTINETTO SU OGNI CAVO (vedi piano)
- IL TIRO POTRA' AVVENIRE TRASCORSI ALMENO 9gg DAL GETTO DELL'IMPALCATO
- IL TENSIONAMENTO DOVRA' AVVENIRE PER DUE CAVI SULLA SPALLA LATO LOCARNO E PER DUE CAVI SULLA SPALLA LATO BELLINZONA

ACCIAIO PER BARRE D'ARMATURA	CASSERI	
- BARRE: B500B	- FONDAZIONI:	TIPO 1
- COPRIFERRO	- ELEVAZIONI CONTROTERRA:	TIPO 2
- IN GENERALE: 55 mm	- ELEVAZIONI FACCIAVISTA:	TIPO 4-1
- SPALLE e FONDAZIONI: 45 mm	- IMPALCATO e PIATTABANDA:	TIPO 4-1
- MICROPALI: 40 mm	- SPIGOLI A VISTA:	LISTA TRIANGOLARE 30 x 30 mm

MICROPALI

- ARMATURA IN PROFILI ROR S355 (per lunghezza, diametro e spessore vedi indicazioni sul piano)
- PERFORAZIONE CON TUBO FODERA Ø278 mm
- MALTA CEMENTIZIA DI RIEMPIMENTO CEM I 52.5 - RAPPORTO A/C < 0.55
- PREVEDERE DISTANZIATORI ALL'INTERNO DEL FORO E GIUNTI FILETTATI MASCHIO/FEMMINA

DISTANZIATORI E CONTROLLO ARMATURA

- IL COPRIFERRO DEVE ESSERE GARANTITO UTILIZZANDO DISTANZIATORI DELLO SPESSORE RICHIESTO
- I DISTANZIATORI VANNO POSATI ANCHE SUI CALCESTRUZZI DI SOTTOFONDO
- L'IMPRESA NON INIZIERA' IL GETTO, PRIMA CHE L'ARMATURA SIA STATA CONTROLLATA DAL PROGETTISTA, CHE SARA' AVVISATO PER TEMPO (MIN. 24 ORE)

TRATTAMENTO SUPERFICI FACCIA A VISTA

- TRATTAMENTO ANTIGRAFFITI SECONDO POS. A CAPITOLATO

TERRENO DI FONDAZIONE

- IL TERRENO DI FONDAZIONE DOVRA' ESSERE CONTROLLATO DAL PROGETTISTA. IN SEGUITO, LA DL RILASCIERA' L'APPROVAZIONE A PROCEDERE CON LE LAVORAZIONI

GIUNTI DI LAVORO

- IRRUVIMENTO DELLA SUPERFICIE IN CALCESTRUZZO MEDIANTE L'IMPIEGO DI UN PRODOTTO RITARDANTE DI PRESA PER SUPERFICI, TIPO "Rugasol-2W Liquido"

GETTI A BASSE TEMPERATURE (TEMPERATURE DELL'ARIA AL DI SOTTO DEI 5°C)

- CALCESTRUZZO CON ANTIGELO E INERTI RISCALDATI CON TEMPERATURE DELL'ARIA DA +5°C A -5°C
- LA SERA PRIMA DEL GETTO PREVEDERE LA POSA DI MATERASSINI TERMICI SULLA SUPERFICIE DEI CASSERI E DELLE BARRE D'ARMATURA IN CASO DI RISCHIO DI FORMAZIONE DI BRINA E/O GHIACCIO
- INTERRUZIONE DEL GETTO CON TEMPERATURE DELL'ARIA INFERIORI A -5°C

POST TRATTAMENTO

- RIMOZIONE DEL CASSERO DOPO IL GETTO: 3 GG (MURI D'ALA); 28 GG (PIATTABANDA)
- T>15°C: PROTEZIONE DELLE SUPERFICI CON STUOIA GEOTESSILE INUMIDITA, DURATA MINIMA 5 GG
- 10°C<T<15°C: PROTEZIONE DELLE SUPERFICI CON STUOIA GEOTESSILE INUMIDITA, DURATA MINIMA 7 GG
- T<10°C: PROTEZIONE A FINE GETTO DELLE SUPERFICI CON MATERASSINI TERMICI, DURATA MINIMA 9 GG

ALTRE DISPOSIZIONI

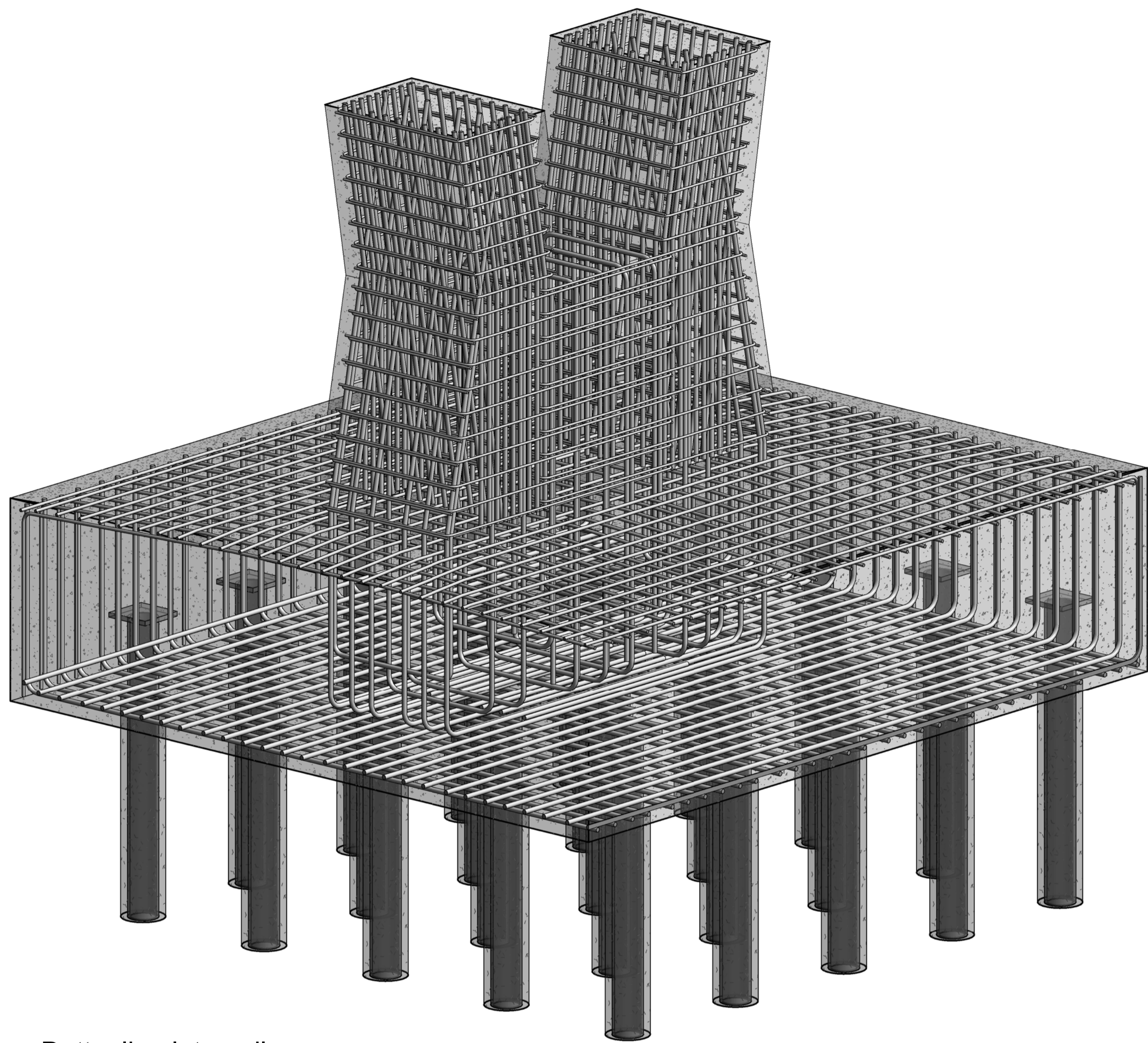
- CONTROLLO DELLA QUALITÀ SECONDO PIANO DEI CONTROLLI
- LA POSIZIONE DELLE INFRASTRUTTURE E' INDICATIVA. L'IMPRESA DOVRA' VERIFICARNE LA QUOTA E LA REALE POSIZIONE IN CANTIERE. L'EVENTUALE SPOSTAMENTO DI UN'INFRASTRUTTURA DEVE ESSERE CONCORDATO CON IP / DL E IL PROPRIETARIO DELLA STESSA
- TUTTE LE MISURE SONO DA VERIFICARE IN CANTIERE SUL POSTO DALL'IMPRESA. EVENTUALI ERRORI O DISCREPANZE, DEVONO ESSERE IMMEDIATAMENTE COMUNICATI AI PROGETTISTI E/O DIREZIONE LAVORI PER LE NECESSARIE VERIFICHE.
- EVENTUALI INFORMAZIONI MANCANTI SUI PIANI PER RAGGIUNGERE IL GRADO DI PRECISIONE RICHIESTO, SONO DA RICHIEDERE IMMEDIATAMENTE AI PROGETTISTI E/O DL.
- I PROGETTISTI DECLINANO OGNI RESPONSABILITÀ PER ESECUZIONI IMPRECISE O LAVORI NON ESEGUITI A REGOLA D'ARTE A SEGUITO DI DISCREPANZE O MANCANZA D'INFORMAZIONI

Università degli Studi di Bologna
Scuola di Ingegneria e Architettura

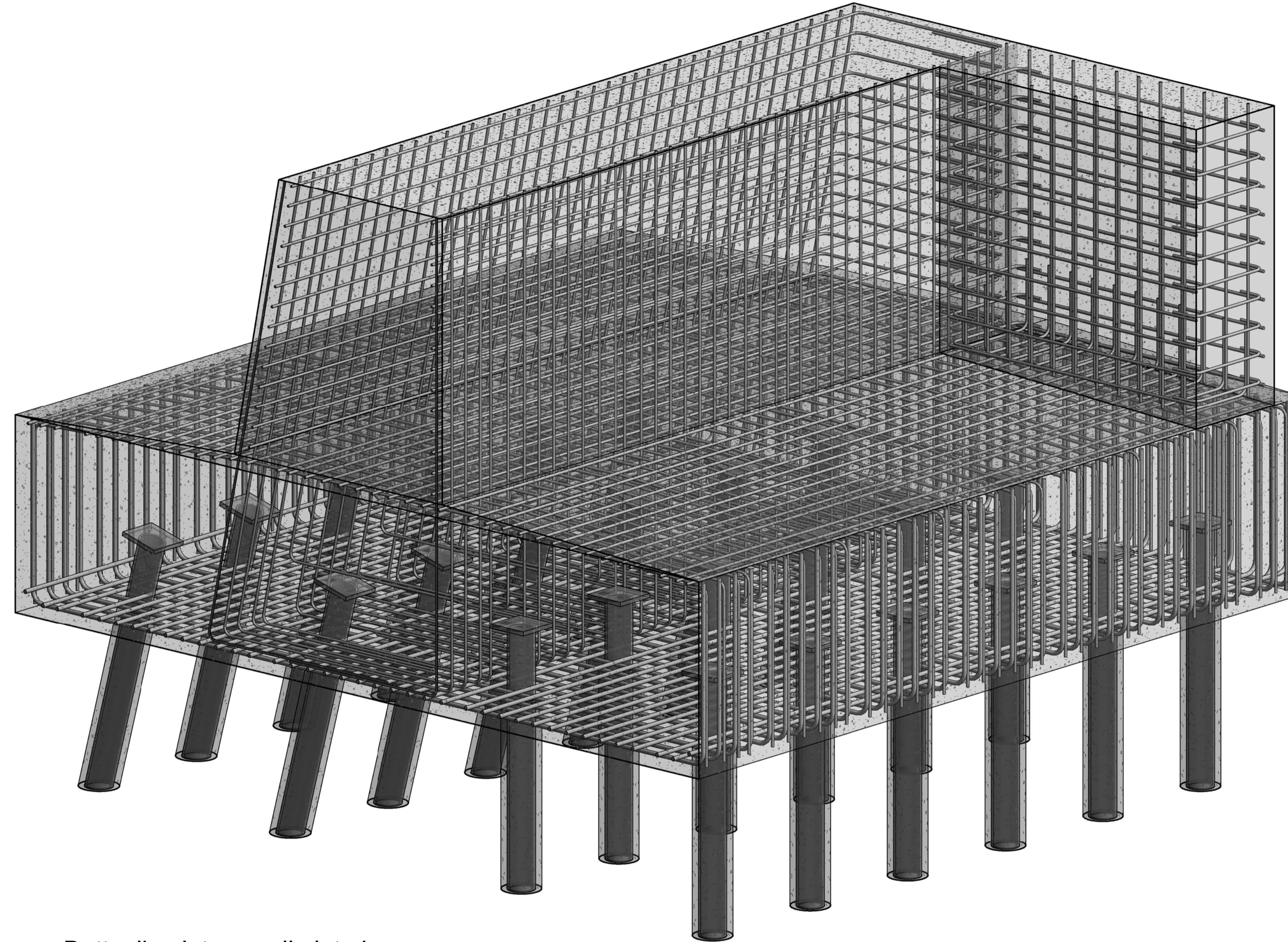
Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Il processo di gestione informativa BIM per il progetto di un ponte in c.a.p.: la modellazione digitale del ponte Remorino a Minusio (Svizzera)

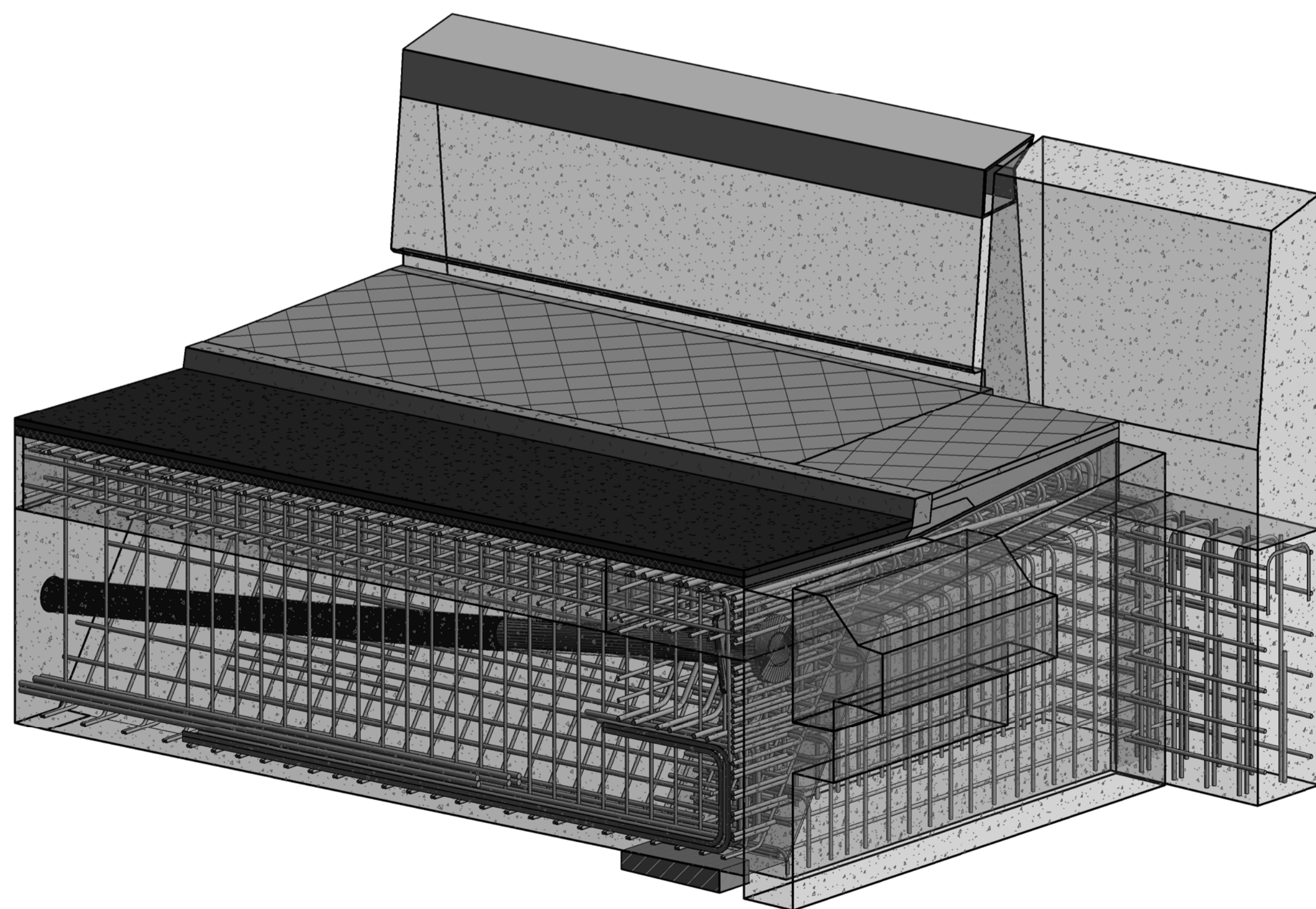
Disegnato da: Brenda Resta	Numero tavola: S.2
Sezioni trasversali	Scala: 1 : 50



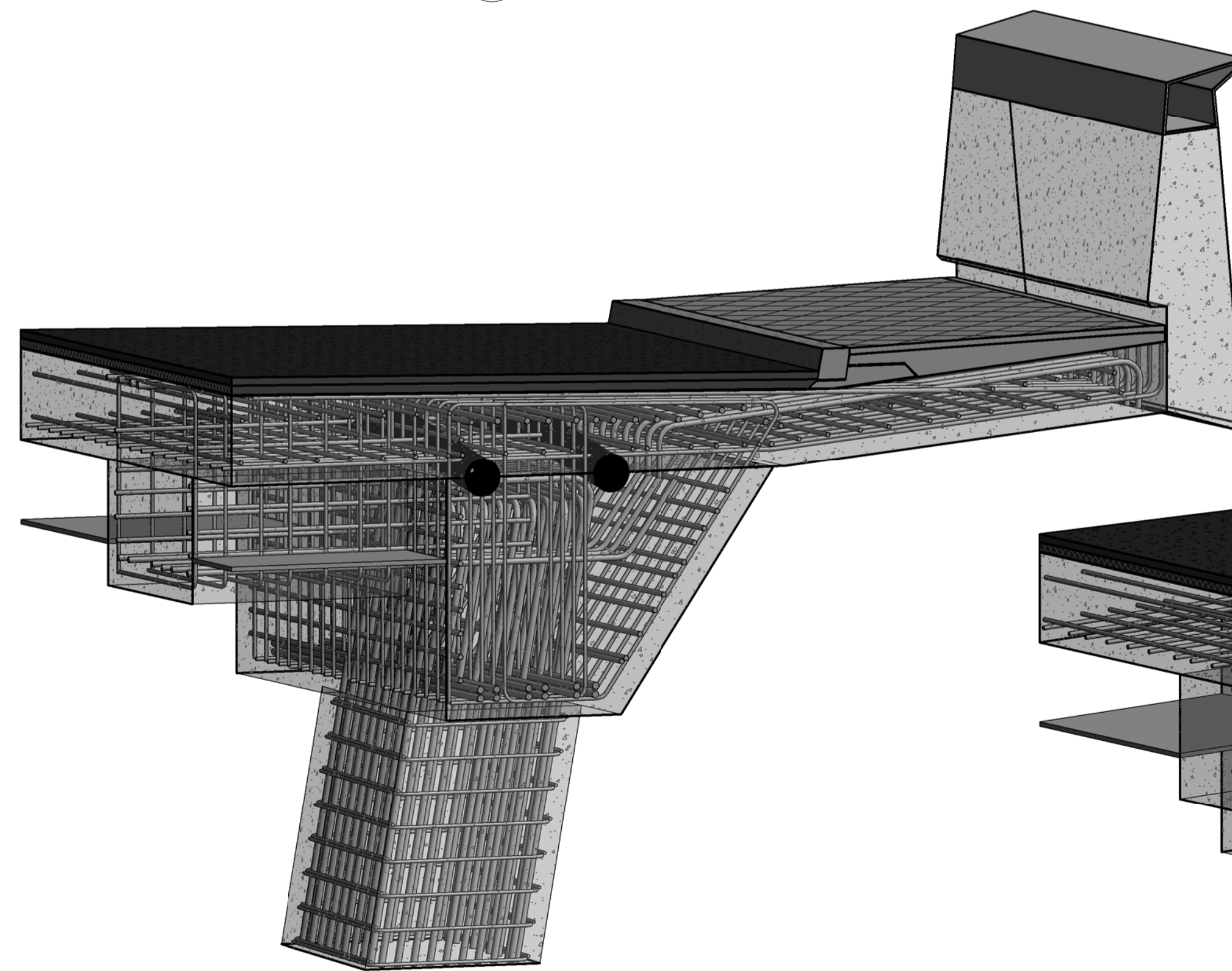
1 Dettaglio platea pila



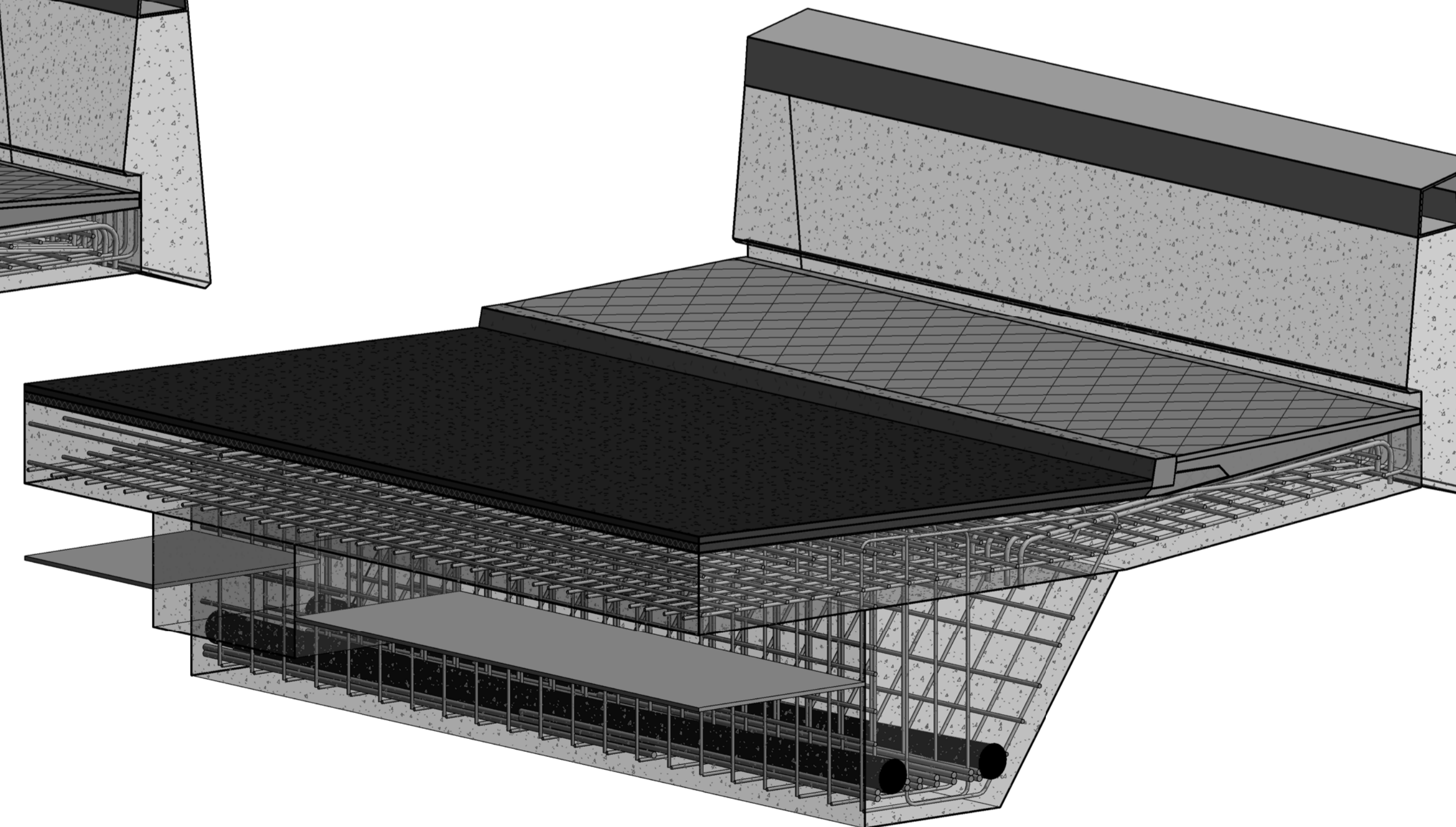
2 Dettaglio platea spalla lato Locarno



3 Dettaglio ancoraggi cavi



4 Dettaglio pila trave trasverso



5 Dettaglio trave in mezzeria della campata

CALCESTRUZZI

- CORDOLI/MURI REDIRETTIVI: CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, Ci 0.10, C3, AAR
- IMPALCATO E PIATTABANDA: CPN D (T1) C35/45, XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH), Dmax32, Ci 0.10, C3, AAR

Per i calcestruzzo d'impalcato e piattabanda è richiesto un modulo elastico minimo a 28gg pari a 30'000 MPa

- PILA (e relativa platea): CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, Ci 0.10, C3, AAR
- MURI D'ALA (solo sommità): CPN G (T4) C30/37, XC4(CH), XD3(CH), XF4(CH), Dmax32, Ci 0.10, C3, AAR
- SPALLE E MURI (e relativa platea): CPN D (T1) C25/30, XC4(CH), XD1(CH), XF2(CH), Dmax32, Ci 0.10, C3, AAR

ACCIAIO PER PRECOMPRESSIONE

- 2 CAVI TIPO VSL GC 40 - VSL 6-XX (TREFOLI Y1770 S7-15.7) PER OGNUNA DELLE DUE TRAVI (XX vedi piano)
- TIRO INIZIALE AL MARTINETTO SU OGNI CAVO: (vedi piano)
- IL TIRO POTRA' AVVENIRE TRASCORSI ALMENO 7gg DAL GETTO DELL'IMPALCATO
- IL TENSIONAMENTO DOVRA' AVVENIRE PER DUE CAVI SULLA SPALLA LATO LOCARNO E PER DUE CAVI SULLA SPALLA LATO BELLINZONA

ACCIAIO PER BARRE D'ARMATURA	CASSERI	
- BARRE: B500B	- FONDAZIONI:	TIPO 1
	- ELEVAZIONI CONTROTERRA:	TIPO 2
COPRIFERRO	- ELEVAZIONI FACCIAVISTA:	TIPO 4-1
- IN GENERALE: 55 mm	- IMPALCATO e PIATTABANDA:	TIPO 4-1
- SPALLE e FONDAZIONI: 45 mm	- SPINGOLI A VISTA:	LISTA TRIANGOLARE
- MICROPALI: 40 mm		30 x 30 mm

MICROPALI

- ARMATURA IN PROFILI ROR S355 (per lunghezza, diametro e spessore vedi indicazioni sul piano)
- PERFORAZIONE CON TUBO FODERA Ø278 mm
- MALTA CEMENTIZIA DI RIEMPIMENTO CEM I 52.5 - RAPPORTO A/C < 0.55
- PREVEDERE DISTANZIATORI ALL'INTERNO DEL FORO E GIUNTI FILETTATI MASCHIO/FEMMINA

DISTANZIATORI E CONTROLLO ARMATURA

- IL COPRIFERRO DEVE ESSERE GARANTITO UTILIZZANDO DISTANZIATORI DELLO SPESSORE RICHIESTO
- I DISTANZIATORI VANNO POSATI ANCHE SUI CALCESTRUZZI DI SOTTOFONDO
- L'IMPRESA NON INIZIERA IL GETTO, PRIMA CHE L'ARMATURA SIA STATA CONTROLLATA DAL PROGETTISTA, CHE SARA' AVVISATO PER TEMPO (MIN. 24 ORE)

TRATTAMENTO SUPERFICCI FACCIA A VISTA

- TRATTAMENTO ANTIGRAFFITI SECONDO POS. A CAPITOLATO

TERRENO DI FONDAZIONE

- IL TERRENO DI FONDAZIONE DOVRA' ESSERE CONTROLLATO DAL PROGETTISTA. IN SEGUITO, LA DL RILASCIERA' L'APPROVAZIONE A PROCEDERE CON LE LAVORAZIONI

GIUNTI DI LAVORO

- IRRUVIMENTO DELLA SUPERFICIE IN CALCESTRUZZO MEDIANTE L'IMPIEGO DI UN PRODOTTO RITARDATE DI PRESA PER SUPERFICCI, TIPO "Rugasol-2W Liquido"

GETTI A BASSE TEMPERATURE (TEMPERATURE DELL'ARIA AL DI SOTTO DEI 5°C)

- CALCESTRUZZO CON ANTIGELO E INERTI RISCALDATI CON TEMPERATURE DELL'ARIA DA +5°C A -5°C
- LA SERA PRIMA DEL GETTO PREVEDERE LA POSA DI MATERASSINI TERMICI SULLA SUPERFICIE DEI CASSERI E DELLE BARRE D'ARMATURA IN CASO DI RISCHIO DI FORMAZIONE DI BRINA E/O GHIACCIO
- INTERRUZIONE DEL GETTO CON TEMPERATURE DELL'ARIA INFERIORI A -5°C

POST TRATTAMENTO

- RIMOZIONE DEL CASSERO DOPO IL GETTO: 3 GG (MURI D'ALA); 28 GG (PIATTABANDA)
- >+15°C: PROTEZIONE DELLE SUPERFICCI CON STUOIA GEOTESSILE INUMIDITA, DURATA MINIMA 5 GG
- 10°C < T < 15°C: PROTEZIONE DELLE SUPERFICCI CON STUOIA GEOTESSILE INUMIDITA, DURATA MINIMA 9 GG
- < 10°C: PROTEZIONE A FINE GETTO DELLE SUPERFICCI CON MATERASSINI TERMICI, DURATA MINIMA 9 GG

ALTRE DISPOSIZIONI

- CONTROLLO DELLA QUALITÀ SECONDO PIANO DEI CONTROLLI
- LA POSIZIONE DELLE INFRASTRUTTURE E' INDICATIVA. L'IMPRESA DOVRA' VERIFICARNE LA QUOTA E LA REALE POSIZIONE IN CANTIERE. L'EVENTUALE SPOSTAMENTO DI UN' INFRASTRUTTURA DEVE ESSERE CONCORDATO CON IP / DL E IL PROPRIETARIO DELLA STESSA
- TUTTE LE MISURE SONO DA VERIFICARE IN CANTIERE SUL POSTO DALL'IMPRESA. EVENTUALI ERRORI O DISCREPANZE, DEVONO ESSERE IMMEDIATAMENTE COMUNICATI AI PROGETTISTI E/O DIREZIONI LAVORI PER LE NECESSARIE VERIFICHE.
- EVENTUALI INFORMAZIONI MANCANTI SUI PIANI PER RAGGIUNGERE IL GRADO DI PRECISIONE RICHIESTO, SONO DA RICHIEDERE IMMEDIATAMENTE AI PROGETTISTI E/O DL.
- I PROGETTISTI DECLINANO OGNI RESPONSABILITÀ PER ESECUZIONI IMPRECISE O LAVORI NON ESEGUITI A REGOLA D'ARTE A SEGUITO DI DISCREPANZE O MANCANZA D'INFORMAZIONI

Università degli Studi di Bologna
Scuola di Ingegneria e Architettura

Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

**Il processo di gestione informativa BIM
per il progetto di un ponte in c.a.p.:
la modellazione digitale del
ponte Remorino a Minusio (Svizzera)**

Disegnato da: Brenda Resta	Numero tavola: S.4
Dettagli 3D	Scala: 1:20