POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

InfraBIM e Construction Management: valutazione di interoperabilità OPEN BIM

Relatore

Prof.ssa Anna Osello

Correlatore

Arch. Arianna Fonsati

Candidato

Alessio Giovine

Aprile 2019

ABSTRACT

L'interoperabilità tra le differenti piattaforme BIM oriented è un concetto fondamentale per la collaborazione tra le diverse figure coinvolte nelle fasi di progettazione e gestione di un'opera; inoltre, a seguito del Decreto Ministeriale 560 del 2017 (conosciuto come decreto BIM), nei prossimi anni si andrà incontro all'obbligatorietà di eseguire progetti con metodi e strumenti informatici. Risulterà quindi fondamentale per le stazioni appaltanti avere garanzia di conservazione del dato, indipendentemente dalla piattaforma usata.

La tesi propone un approccio metodologico volto alla valutazione comparativa tra diverse piattaforme di modellazione BIM tramite il formato di scambio IFC. Questa valutazione viene definita tramite uno schema a cascata partendo dall'individuazione dei differenti domains di valutazione fino alla definizione dei metodi per determinare il risultato; si passa quindi attraverso l'individuazione di parametri oggettivi di valutazione (KPI: Key Performance Indicators) eventualmente scalabili tramite l'uso di un coefficiente di importanza.

Infine, la tesi, attraverso il caso studio della stazione Italia 61 della metropolitana di Torino, affronta il tema del construction management. In particolare, vengono stimati i tempi (4D) e i costi (5D) mantenendo sempre il focus sulla possibilità di scambio e aggiornamento dei dati con piattaforme specifiche tramite il formato OPEN BIM.

ABSTRACT

The interoperability between different BIM oriented platforms is a basic concept for collaboration among the various professional figures involved in design phases and facility management; furthermore, following the Italian Ministerial Decree 560/2017 (known as "BIM Decree"), in the next few years carrying out design with informatic tools and methods will be mandatory. For the contracting authority will be essential to have guarantee of the data conservation, indipendently from the platform that has been used.

The thesis purposes a methodological approach focused on comparative evalutation among various BIM modeling programs through IFC exchange format. This evaluation is defined from individuation of different domains until the definition of the methods to determine the result; it pass through the identification of objective evaluation parameters (KPI: Key Performance Indicators), if needed scalable through the use of importance coefficient.

To conclude, the thesis, by means of a case study of Turin metropolitan station Italia 61, debate the subject of construction management. In specific, times (4D) and costs (5D) are estimated and the focus is maintained on the possibility of data exchange and update with specific programs through OPEN BIM format.

INDICE

Introduzione 9

Capitolo I - Metodologia BIM 10

1.1 Stato dell'arte 10

1.2 InfraBIM 11

1.3 Normativa italiana 11

1.4 Interoperabilità OPEN BIM 13

Capitolo II - Il caso studio: la stazione metropolitana Italia 61 15

2.1 La metropolitana di Torino e la stazione 16

2.2 Operabilità di un modello esistente 19

2.3 Metodi e strumenti per il flusso di lavoro 20

Capitolo III - Modello teorico di valutazione 23

3.1 Domains e KPI: definizione e individuazione 24

3.2 Determinazione dei test 27

3.3 Coefficiente di importanza 31

Capitolo IV - Test di interoperabilità orizzontale 35

4.1 Esportazione da Revit e importazione in Allplan 36

4.2 Esportazione da Allplan e importazione in Revit 48

4.3 Interoperabilità OPEN BIM: criticità e vantaggi 60

Capitolo V - Il BIM per il Construction Management tramite il formato IFC 65

5.1 Le dimensioni del BIM 66

5.2 Modellazione per il Construction Management 67

5.3 Stima di tempi e costi 85

5.4 Simulazione 4D del cantiere 98

Capitolo VI - Conclusioni e sviluppi futuri 105

Fonti 107

Bibliografia 107

Sitografia 108

Allegati 109

A – Esportazione tramite formato IFC da Revit 2018 109

B – Importazione tramite formato IFC in Allplan 2019 112

C – Esportazione tramite formato IFC da Allplan 2019 115

D – Importazione tramite formato IFC in Revit 2018 118

E – Codifica elementi 121

F – Armatura diaframma secondario: viste laterali 123

G – Armatura diaframma secondario: sezione trasversale ed esploso ferri 125

H – Armatura diaframma secondario: sezioni tipo ed esploso staffe 127

I – Report quantità armatura diaframma secondario 129

L – Computo metrico estimativo della stazione Italia 61 137

M – Cronoprogramma tramite diagramma di Gantt 139

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: schema di condivisone tradizionale e con file IFC 13
Figura 2: tracciato metropolitana di Torino 17
Figura 3: collocazione stazione Italia '61 18
Figura 4: modello originale da Revit 2018 20
Figura 5: flow chart dell'elaborato 21
Figura 6: finestra di dialogo Revit per esportazione IFC 37
Figura 7: impostazione di Revit per l'esportazione dei parametri 38
Figura 8: finestra Revit di mappatura classi IFC 38
Figura 9: opzioni di importazione file IFC in Allplan 39
Figura 10: definizione parametri istanza e tipo in Revit 40
Figura 11: esportazione scala Revit 2018 – IFC 4 41
Figura 12: confronto dei valori dei parametri tra Revit e Solibri 44
Figura 13: confronto diaframmi forati tramite formato IFC 4 Revit 2018 – Solibri Model Viewer Free – Allplan 2019 45
Figura 14: scelta del formato di esportazione in Allplan 48
Figura 15: opzioni di esportazione file IFC in Allplan 49
Figura 16: finestra di personalizzazione importazione IFC in categorie di Revit 50
Figura 17: gestione dell'ambiente di modellazione tramite Allplan 51
Figura 18: definizione degli attributi in Allplan 52
Figura 19: confronto trasferimento armatura tramite formato IFC Allplan 2019 – Solibri Model Viewer Free – Revit 2018 57
Figura 20: modello completo Allplan 61
Figura 21: modello completo Solibri Model Viewer Free 61
Figura 22: modello completo Revit lingua italiana 62
Figura 23: modello completo Revit lingua inglese, a destra una vista in sezione 62
Figura 24: dimensioni del BIM 66
Figura 25:struttura di gestione del modello 68
Figura 26: schema diaframmi perimetrali 69

Figura 27: sezione assonometrica solettone di copertura 70
Figura 28: processo di creazione degli attributi 71
Figura 29: definizione dell'attributo personalizzato 72
Figura 30: creazione di un nuovo *catalogo sezioni acciaio* 73
Figura 31: menù di scelta della forma delle barre di armatura 74
Figura 32: parametri per la modellazione di una staffa 75
Figura 33: opzioni di immissione di un ferro 75
Figura 34: impostazioni di posa delle staffe e risultato grafico ottenuto 76
Figura 35: parametri e opzioni di immissione di un ferro dritto 77
Figura 36: posizionamento ferri longitudinali 77
Figura 37: elemento con armatura 78
Figura 38: armatura a spirale in un palo di fondazione 79
Figura 39: report disponibili in Allplan 80
Figura 40: parametri del modello di scavo 81
Figura 41: modello 3D generato dello scavo 81
Figura 42: comando di esportazione del solido di scavo 82
Figura 43: rappresentazione dei volumi di scavo 82
Figura 44: modello per il Construction Management 86
Figura 45: raggruppatori creati in STR Vision e struttura ad albero 87
Figura 46: codice progetto nel software STR Vision 87
Figura 47: codifica delle voci di capitolato 88
Figura 48: proprietà geometriche associate agli elementi del modello IFC 88
Figura 49: collegamento tra elementi del modello IFC e voci di computo 89
Figura 50: controllo grafico degli elementi computati 89
Figura 51: finestra di aggiornamento dei modelli IFC 90
Figura 52: confronto tra modelli aggiornati 91
Figura 53: link dei report delle quantità alle voci di computo 91
Figura 54: creazione nuovo programma lavori e impostazione dei raggruppatori 96
Figura 55: diagramma di Gantt generato automaticamente dal software STR Vision 97
Figura 56: diagramma di Gantt modificato dall'utente 97
Figura 57: formati di esportazione del cronoprogramma 98
Figura 58: definizione regola di Auto Matching in Synchro PRO 100
Figura 59: risultato dell'operazione di Auto Matching 100
Figura 60: immagini estratte dall'animazione 4D originale fatta in Synchro 101

Figura 61: contesto dell'area tramite InfraWorks..... 102
Figura 62: immagini estratte dell'animazione 4D finale fatta in Synchro..... 102
Figura 63: realtà mista tramite Hololens 103

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: modellazione e output, indicatori e test 28
Tabella 2: interoperabilità OPEN BIM, indicatori e test 30
Tabella 3: livelli di importanza e modelli di valutazione 33
Tabella 4: test esportazione elementi propri Revit in IFC 42
Tabella 5: test esportazione livelli altimetrici e attributi Revit in IFC 42
Tabella 6: test importazione elementi IFC in Allplan 46
Tabella 7: test importazione livelli altimetrici e attributi IFC in Allplan 46
Tabella 8: elementi modellati in Allplan e classi IFC utilizzate per l'esportazione 53
Tabella 9: test esportazione elementi propri Allplan in IFC 54
Tabella 10: test esportazione livelli altimetri e proprietà Allplan in IFC 55
Tabella 11: test importazione elementi IFC – Revit 58
Tabella 12: test importazione livelli altimetrici e attributi IFC – Revit 58
Tabella 13: tabella riepilogativa del domain dell'interoperabilità OPEN BIM 63
Tabella 14: riepilogo produzioni orarie e tempi unitari 95

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni il settore delle costruzioni, inteso sia dal punto di vista progettuale sia da quello realizzativo e manutentivo, sta vivendo una profonda rivoluzione metodologica comunemente chiamata BIM; questa sta interessando in modo differente le varie realtà professionali presenti in Italia risultando più sviluppata nelle grandi società di progettazione e ancora sconosciuta nelle realtà più piccole.

Tramite l'introduzione di nuovi strumenti si vuole andare verso una gestione interconnessa del ciclo di vita di una struttura che inizi nelle fasi preliminari di concezione dell'opera e si sviluppi per tutta la vita dell'edificio fino alla sua dismissione. Questa rivoluzione richiede sicuramente grande impegno e dedizione da parte di tutti gli attori che prendono parte alla filiera in quanto si trovano a dover abbandonare un metodo di lavoro ormai consolidato, ma critico soprattutto dal punto di vista gestionale dei dati, per affacciarsi alla metodologia in cui sono richieste nuove conoscenze e competenze per ottimizzare il processo che sicuramente è in grado di portare a grandi vantaggi una volta consolidatasi.

La prima parte della tesi proposta, dopo aver introdotto gli aspetti generali della metodologia, vuole descrivere la situazione da cui lo sviluppo dell'elaborato è iniziato, quindi partendo da un modello esistente, e l'approccio metodologico che si è voluto definire per la valutazione dei diversi aspetti toccati dalla metodologia BIM.

Successivamente, tramite il caso studio della stazione metropolitana torinese Italia 61, si è posta l'attenzione sul tema dell'interoperabilità orizzontale OPEN BIM, ossia tramite il formato di scambio libero IFC, arrivando ad attribuire un punteggio rappresentante la *performance* dei due software utilizzati: Revit 2018, poiché il modello iniziale è stato creato in questa piattaforma, e Allplan 2019, scelto come software di modellazione.

Infine, dopo aver importato il modello originale nel software Allplan, si è affrontata prima la tematica della modellazione degli elementi in cemento armato e in particolare gli aspetti legati alla modellazione delle armature, successivamente, tramite il modello modificato, si è affrontato il tema del Construction Management (CM) e quindi la stima dei tempi e costi di realizzazione di una parte della stazione metropolitana.

CAPITOLO I

METODOLOGIA BIM

1.1 Stato dell'arte

BIM è l'acronimo di *Building Information Modeling* e il NIBS (*National Institutes of Building Science*) lo definisce come la rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto. [1] [1S]

Il BIM rappresenta il passaggio dalla metodologia tradizionale di progettazione consolidatasi negli ultimi decenni a una metodologia volta alla collaborazione tra le diverse figure coinvolte nel ciclo di vita di un'opera. Questo è un aspetto molto importante nell'ambito della metodologia poiché l'obiettivo che questa si propone è la creazione di un modello, non solo geometrico ma anche informativo, che una volta terminata la realizzazione sia utilizzato per la gestione della manutenzione.

La metodologia BIM porta non solo alla creazione di un modello tridimensionale dell'opera in progetto ma di un database contenente informazioni, utili sin dalla fase preliminare. Tali informazioni vengono poi aggiornate fino al termine dei lavori così da ottenere il modello *As built* della struttura; successivamente da questo verrà derivato il modello a tutti gli effetti utilizzato per la manutenzione della struttura.

Ad oggi, con l'utilizzo della metodologia BIM, la gestione di un progetto sotto tutti i suoi punti di vista si sta dimostrando sempre più efficace e vantaggiosa sia per la progettazione grazie alla presenza di un unico modello centrale a cui tutti lavorano sia per la possibilità di trasmissione dei dati verso software specifici utilizzati per elaborare, per esempio, la stima dei tempi e dei costi e la relativa gestione durante la realizzazione dell'opera. Questo sicuramente è frutto anche della notevole diffusione che la metodologia sta avendo e dello sviluppo che le software house stanno dedicando ai programmi BIM oriented.

Un'altra ragione dello sviluppo che la metodologia sta avendo in Italia è sicuramente legata all'emanazione del Decreto Ministeriale 560 del 2017 in attuazione dell'articolo 23, comma 13, del Decreto Legislativo 50 del 18/04/2016 il quale porterà alla progressiva obbligatorietà dell'introduzione dei metodi e strumenti elettronici di modellazione per l'edilizia e le

infrastrutture. Le stazioni appaltanti dovranno quindi richiedere l'uso del BIM negli appalti pubblici in modo progressivo secondo le tempistiche di seguito riportate [2S]:

- 01/01/2019 per lavori d'importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di €
- 01/01/2020 per lavori d'importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni di €
- 01/01/2021 per lavori d'importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di €
- 01/01/2022 per lavori d'importo a base di gara pari o superiore alla soglia definita nell'articolo 35 del codice dei contratti (5,225 milioni di € per gli appalti di lavori)
- 01/01/2023 per lavori d'importo a base di gara pari o superiore a 1 milioni di €
- 01/01/2025 per le nuove opere d'importo a base di gara inferiore a 1 milioni di €

Con l'emanazione di questo decreto si vuole a tutti gli effetti andare verso la conversione totale dai metodi tradizionali di progettazione a quelli proposti dalla metodologia BIM.

1.2 InfraBIM

"Infrastructure BIM o I-BIM è il sistema di gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni infrastrutturali" [8]. In questo ambito l'applicazione della metodologia è certamente più complicata per via dell'interazione tra l'opera e l'ambiente in cui essa si inserisce. In particolare, è il caso delle opere in sotterraneo come le gallerie e le linee e stazioni metropolitane per le quali la modellazione del terreno non può e non deve essere affrontata in modo separato da quella dell'opera. Il tema della modellazione del terreno è un aspetto molto delicato per via delle proprietà che il terreno inteso come materiale presenta essendo queste molto variabili spazialmente e ricavate generalmente tramite sondaggi fatti a campione in determinati punti dell'intera area interessata dall'opera.

Sicuramente questo settore si svilupperà notevolmente in questi anni poiché le prime opere per cui ci sarà l'obbligo di progettazione in BIM saranno proprio opere infrastrutturali essendo queste le più importanti dal punto di vista economico.

Il BIM per le opere infrastrutturali potrà probabilmente esprimere a pieno il suo potenziale per quanto riguarda l'aspetto della manutenzione dell'opera dove questo è un tema molto sentito da parte della committenza per via del notevole impatto economico che questa ha sull'opera, soprattutto quando questa diventa straordinaria e non pianificata in anticipo.

1.3 Normativa italiana

La normativa tecnica di riferimento per la filiera di progetto è la UNI 11337 del 2017 la quale si articola in dieci differenti parti di cui devono essere ancora pubblicate le parti 2, 8, 9 e 10. [3S] [4S]

- Parte 1: questa parte ha come tema generale i modelli, gli elaborati e gli oggetti; viene spiegato cosa sono i dati e la loro organizzazione all'interno del modello. In questa parte viene anche introdotto il concetto di livello di maturità digitale.
- Parte 2: in questa parte la norma affronta il problema della denominazione degli elementi. Questo può sembrare un problema secondario ma è alla base della buona trasmissione dei dati dell'intero progetto.
- Parte 3: questa parte è già norma dalla versione originale della UNI 11337 del 2009 per quanto riguarda i prodotti da costruzione. Questa parte è stata ampliata con le schede informative all'opera, dei mezzi, delle lavorazioni e dei lavoratori.
- Parte 4: qui vengono introdotti i LOD ossia i livelli di definizione degli oggetti digitali i quali dipendono dalla fase progettuale in cui vengono creati. In questa parte viene definito che il committente ha l'onere di identificare qual è lo scopo del modello e di conseguenza verranno definiti i LOD appropriati.
- Parte 5: si affronta il tema della gestione dei modelli e viene introdotto il capitolato informativo.
- Parte 6: ha lo scopo di fornire informazioni procedurali e uno schema generale del capitolato informativo.
- Parte 7: vengono definiti i requisiti che le figure professionali devono possedere nell'ambito del processo BIM. Le figure identificate sono quattro: BIM Manager è il responsabile a livello aziendale e ha eventualmente la supervisione o il coordinamento generale della commessa. BIM Coordinator è il coordinatore dei flussi informativi di una commessa. BIM Specialist è il soggetto in grado di introdurre nelle modalità operative della modellazione le conoscenze disciplinari. CDE Manager, ossia il gestore dell'ambiente di condivisione dei dati.
- Parte 8: riguarda i rapporti decisionali nella transizione verso il digitale, vengono quindi definite le linee guida di applicazione del BIM.
- Parte 9: vengono normati la "Due Diligence", il rilievo digitale (nuvola di punti, termografia, ecc.), le regole di costruzione delle piattaforme di condivisione e soprattutto il fascicolo del costruito.
- Parte 10: affronta le nuove tematiche del BIM verso gli aspetti di gestione amministrativa.

1.4 Interoperabilità OPEN BIM

L'interoperabilità nel processo della metodologia BIM è un l'aspetto fondamentale poiché alla base del metodo c'è la condivisione dei dati tra le varie figure coinvolte. Durante lo sviluppo del progetto di un'intera opera si può dire con certezza che sarà necessario trasferire i dati, tutti o parte di essi, tra due software differenti; questa operazione può svolgersi tra software della stessa casa produttrice, oppure tramite plug in, che rendono possibile l'utilizzo di formati proprietari oppure tra software di differenti case produttrici e quindi in questo caso risulta necessario come formato di scambio il formato IFC. Questo è un formato non proprietario, quindi open ed aperto, sviluppato da buildingSMART per consentire l'interoperabilità tra le diverse discipline sia in termini di ambiti di progettazione (architettonica, strutturale e impiantistica) sia come diverse fasi della progettazione come per esempio può essere la computazione di tutte le opere progettate. Questo approccio è stato definito come OPEN BIM e ha lo scopo di rendere il tutto il processo non legato a dei singoli formati proprietari. [5S]

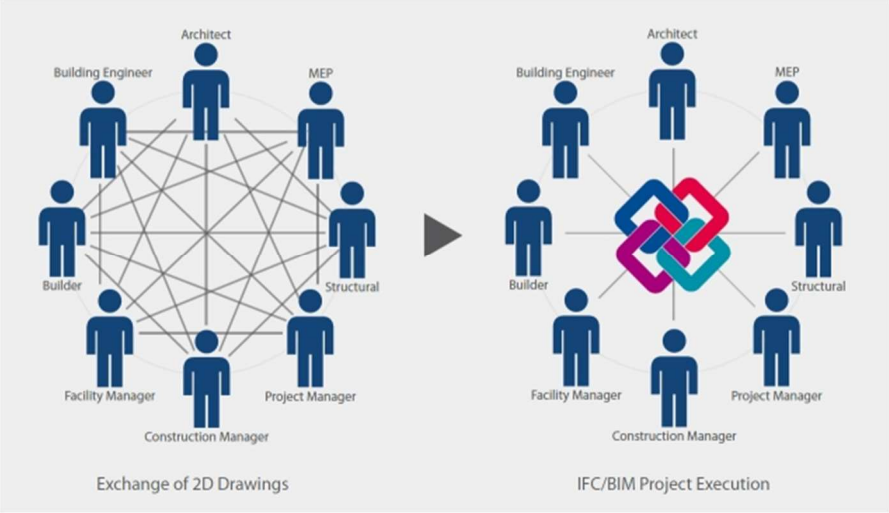


Figura 1: schema di condivisone tradizionale e con file IFC
fonte: https://www.wincasa.ch/de-ch/aktuelle-themen/2015/oktober-2015

Il formato IFC (*Industry Fondation Class*) è presente in differenti versioni sviluppate nel corso degli anni e ad oggi le più diffuse sono due:

- IFC 2x3 Coordination View 2.0
- IFC 4

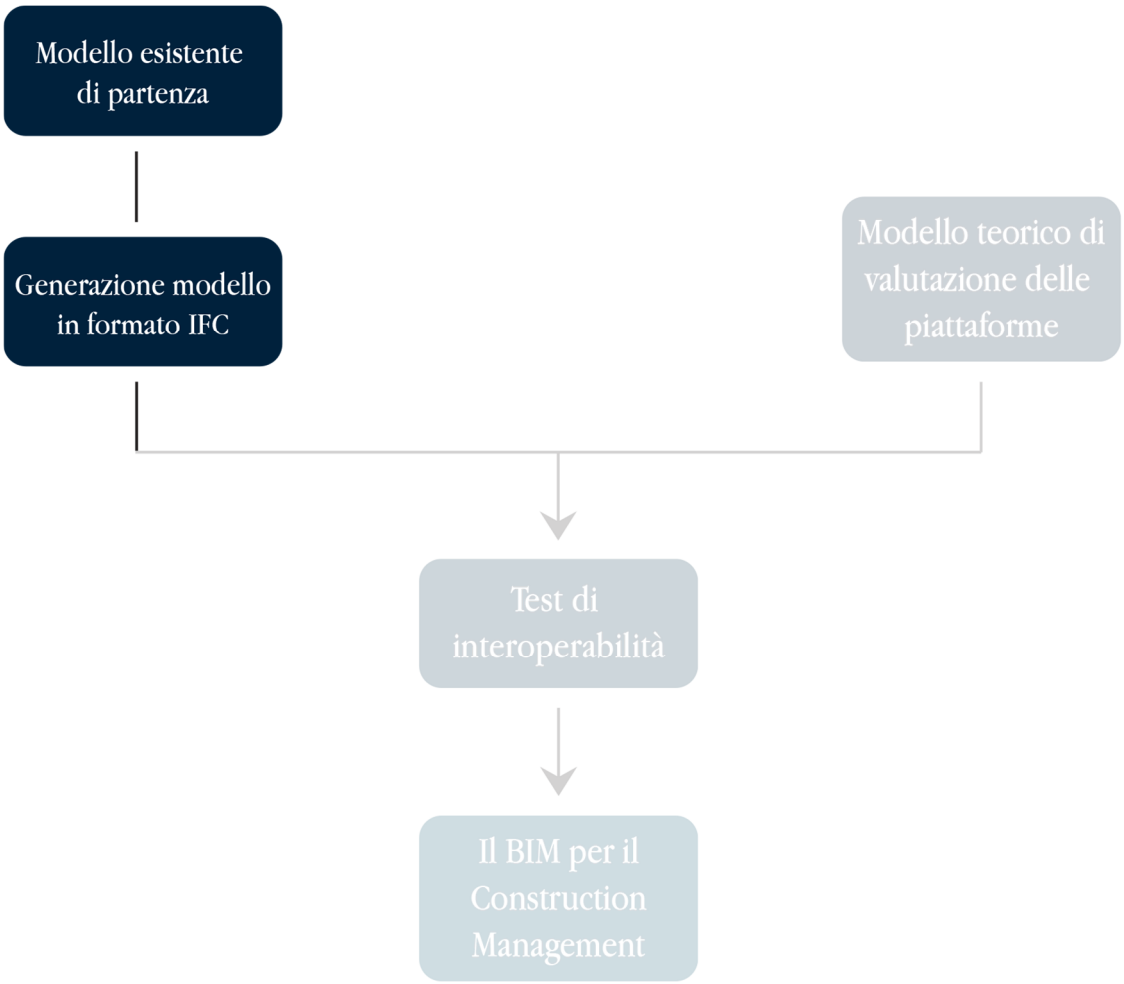
La versione più diffusa è la 2x3 poiché la versione 4 è stata rilasciata solo nel 2017 e le case produttrici di software hanno integrato l'importazione e l'esportazione di questo formato IFC nelle versioni 2018 e 2019. È inoltre presente la versione 4x1 la quale permette il trasferimento delle coordinate [16S]. La versione 4 non è semplicemente un aggiornamento

della versione precedente ma, come dichiarato da buildingSMART, presenta modifiche in alcune entità mentre altre che risultavano obsolete sono state eliminate.

La buildingSMART si occupa anche di rilasciare la certificazione, sia per quanto riguarda l'importazione che per l'esportazione, ai diversi software che ne fanno richiesta. Il conseguimento della certificazione avviene dopo l'esecuzione di numerosi test i quali sono volti alla valutazione del livello di importazione o esportazione della piattaforma e sono standardizzati da buildingSMART.

Capitolo II

IL CASO STUDIO: LA STAZIONE METROPOLITANA ITALIA 61



2.1 La metropolitana di Torino e la stazione

Il 4 febbraio 2006, in occasione dei XX Giochi Olimpici Invernali nella città di Torino, veniva inaugurata la prima linea metropolitana della città e contemporaneamente la prima linea in Italia a guida autonoma. I convogli sono costituiti da mezzi gommati VAL 208 (Veicolo Automatico Leggero) con una lunghezza complessiva di 52 metri ottenuti tramite l'accoppiamento di due veicoli; tale configurazione è riscontrabile solo nella linea Torinese.

La linea inizialmente era composta da 11 fermate e collegava il capolinea Fermi, situato nella limitrofa città di Collegno, con quello nel centro della città di Torino situato in piazza XVIII Dicembre, nei pressi della vecchia stazione ferroviaria di Porta Susa. Successivamente la linea originaria è stata prolungata in diverse fasi verso il centro della città di Torino, il primo prolungamento è stato inaugurato il 5 ottobre 2007 e portava il tracciato fino alla stazione ferroviaria di Porta Nuova aggiungendo 3 nuove fermate; in questo prolungamento è presente anche la stazione metropolitana di interscambio in corrispondenza della nuova stazione interrata dei treni di Porta Susa la quale è stata inaugurata solo una volta ultimati i lavori di realizzazione del passante ferroviario. Infine, nel 2011 viene realizzato l'ultimo prolungamento della linea 1, il quale collega la fermata di Porta Nuova con il nuovo capolinea in corrispondenza del Lingotto; questo prolungamento è costituito da 6 nuove fermate. Nello stesso anno è anche stata aperta la fermata di Porta Susa in corrispondenza della stazione ferroviaria.

Quanto detto finora rappresenta la parte conclusa della linea 1 della metropolitana di Torino ma questo non può considerarsi ancora il tracciato definitivo poiché sono in corso altri due prolungamenti; il primo interessa sempre il comune di Torino ed in particolare prosegue il tracciato esistente in corrispondenza di via Nizza e andrà ad aggiungere due fermate, portando il nuovo capolinea in piazza Bengasi. Per questo lotto i lavori sono avviati dal 2012 e hanno subito ritardi a causa del fallimento dell'impresa esecutrice dei lavori, che ha portato la fine prevista dell'opera al 2020/2021. Il secondo prolungamento, di cui è stato dichiarato l'inizio dei lavori soltanto tra la fine del 2018 e l'inizio del 2019, invece è nella direzione opposta è interesserà principalmente il territorio del comune di Collegno e per l'ultimo tratto quello del comune di Rivoli, infatti verranno realizzate 4 nuove stazioni il cui capolinea sarà nel quartiere Cascine Vica in corrispondenza dell'uscita della Tangenziale Sud di Torino.

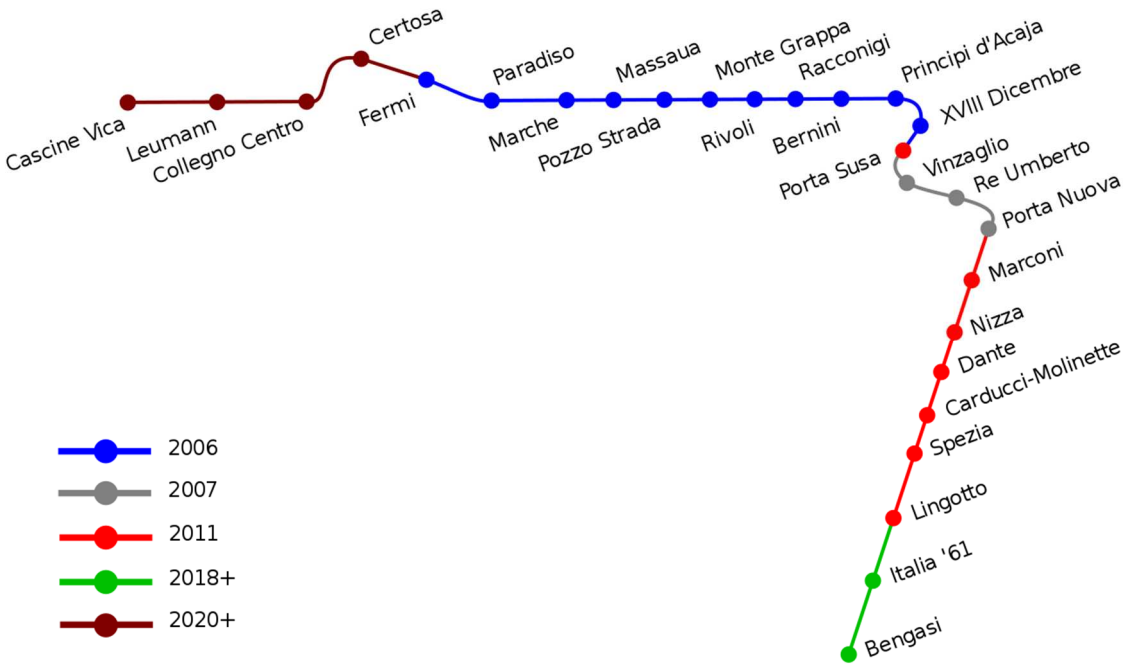


Figura 2: tracciato metropolitana di Torino
fonte:https://it.wikipedia.org/wiki/Metropolitana_di_Torino#/media/File:Metropolitana_di_Torino_linea_1.svg

Per il futuro è in corso di realizzazione il progetto preliminare per la realizzazione di una seconda linea di metropolitana, la linea 2, che dovrebbe partire dal comune di Orbassano per attraversare la città di Torino dalla zona sud-ovest a quella nord-est; questa seconda linea vedrebbe come unico punto di scambio con la linea 1 la fermata di Porta Nuova e andrebbe ad interessare poli di grande interesse per quanto riguarda la mobilità cittadina come l'Università degli Studi, la Mole Antonelliana, il Politecnico di Torino e lo stadio Olimpico.

Per lo sviluppo della parte operativa di questo elaborato verrà utilizzato come caso studio il progetto esecutivo, fornito dalla società Lombardi vincitrice dell'appalto dell'opera, della futura stazione Italia 61. Questa stazione è una delle due in fase di realizzazione nel contesto del prolungamento del tracciato dopo la stazione Lingotto e in particolare sarà collocata nei pressi del nuovo palazzo della Regione Piemonte, anch'esso ancora in fase realizzativa, rimanendo in asse con via Nizza e compresa tra via Valenza e via Caramagna, come riportato nella figura seguente.

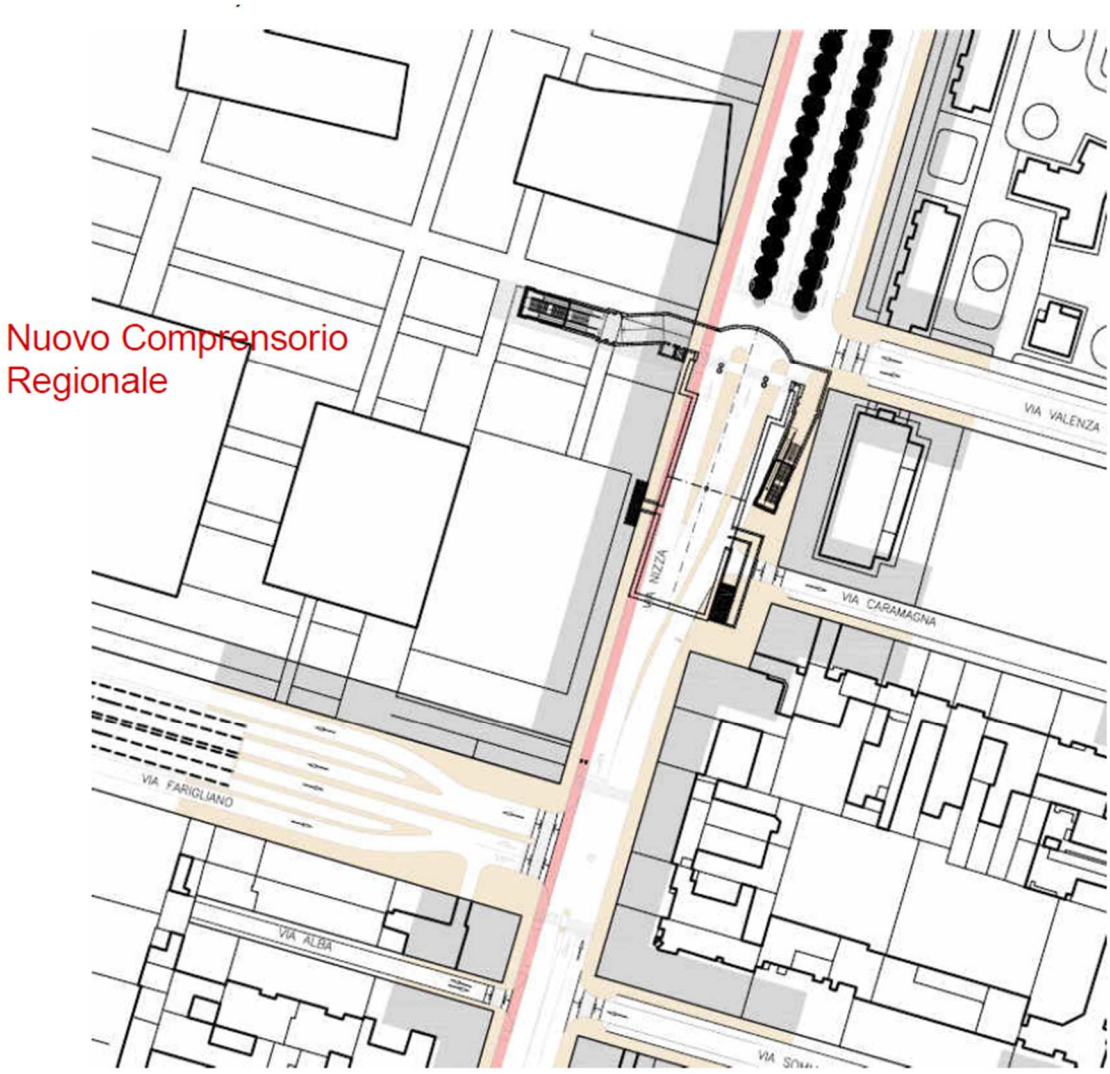


Figura 3: collocazione stazione Italia '61
fonte: infra.TO regione Piemonte – Italia '61

La stazione d'interesse ricade nella tipologia di stazione superficiale, interrata ed eseguita con la tecnica *top-down* e presenta un minimo di due accessi in superficie. La pianta della stazione è sostanzialmente rettangolare con un allargamento in corrispondenza dell'atrio di accesso la cui forma è semicircolare; le dimensioni esterne indicative della stazione sono 19,80 m di larghezza, che diventano 26,40 m in corrispondenza dell'atrio, e 70,80 m di lunghezza comprensiva dell'atrio. La struttura perimetrale è costituita da diaframmi in c.a. i quali presenteranno nella parte interferente con il passaggio della TBM un'armatura eseguita con barre in VTR; le dimensioni dei pannelli sono 120 cm di spessore e 280 cm di larghezza, scavati con idrofresa, con sovrapposizioni comprese tra i 10 e 25 cm, l'altezza del pannello è pari a 30 m. Lato atrio è presente una palificata a pianta semicircolare costituita da pali in c.a., tipo Trelicon, di diametro ∅600 mm posti ad interasse di 70 cm. All'interno del perimetro costituito dai diaframmi viene consolidato il fondo scavo tramite trattamento di jet grouting

bifluido con diametro reso di 1600 mm. La tecnica costruttiva scelta per realizzare questa stazione prevede la costruzione delle opere interne dall'alto verso il basso, quindi, dopo la realizzazione delle opere perimetrali, la prima struttura orizzontale che viene realizzata è la soletta di copertura e, man mano che le fasi di scavo portano verso le quote più basse si realizzano le altre solette fino al raggiungimento della soletta di fondo la quale rappresenta il piano di scorrimento della TBM. Una volta realizzata la struttura principale si prosegue con la realizzazione di tutte le opere accessorie presenti all'interno della stazione. [6S] [7S]

2.2 Operabilità di un modello esistente

Il presente lavoro di tesi si configura come il proseguimento di un lavoro precedentemente svolto, sempre presso il Politecnico di Torino, dalla collega Chiara Dettori la quale ha svolto la Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile intitolata: "BIM per le opere in sotterraneo; approccio metodologico alla modellazione strutturale: la stazione Italia 61"; nella tesi della collega viene trattata dapprima la tematica della creazione di un modello BIM partendo da disegni esecutivi redatti con approccio tradizionale in 2D, successivamente il modello creato è stato usato per condurre analisi di interoperabilità con software di calcolo strutturale tramite analisi f.e.m. e infine è stato creato il modello federato, unendo il modello strutturale a quello del terreno.

Anche la collega C. Dettori, per lo svolgimento della parte operativa del suo elaborato, ha usato il caso studio della stazione Italia 61 della metropolitana di Torino; si è scelto quindi di iniziare dal modello esistente per lo sviluppo del lavoro che verrà descritto nel seguito.

La decisione di iniziare da un modello esistente, nonostante per la tesi in questione non fosse necessario tutto il modello creato dalla collega, è stata perseguita con l'idea di affrontare il lavoro di ricerca mettendosi in una situazione quanto più rispecchiante la realtà lavorativa proposta dalla metodologia BIM. In altre parole, come si è spiegato nel capitolo precedente, la metodologia BIM ha come obiettivo quello di far collaborare tutte le figure che prendono parte alla progettazione, realizzazione e gestione di un'opera attraverso un unico modello centrale e questo metodo di lavoro porta i diversi progettisti a lavorare su modelli precedentemente creati da altri prima di loro.

Questa scelta iniziale, unitamente alla volontà di testare come software per la modellazione parametrica degli elementi in cemento armato Allplan 2019 di Nemetschek Group, ha condotto alla necessità di esportare il modello tramite il formato IFC, poiché il modello esistente era stato realizzato in Revit 2018 di Autodesk. Il trasferimento del modello esistente, che si pensava fosse una semplice operazione ininfluente per lo svolgimento della tesi, ha fatto emergere diverse criticità e problematiche successivamente affrontate in modo

approfondito con lo scopo di dare da un lato una valutazione oggettiva della bontà del trasferimento dei dati tramite il formato di interscambio libero e dall'altro definire una metodologia quanto più replicabile per valutare altre piattaforme.

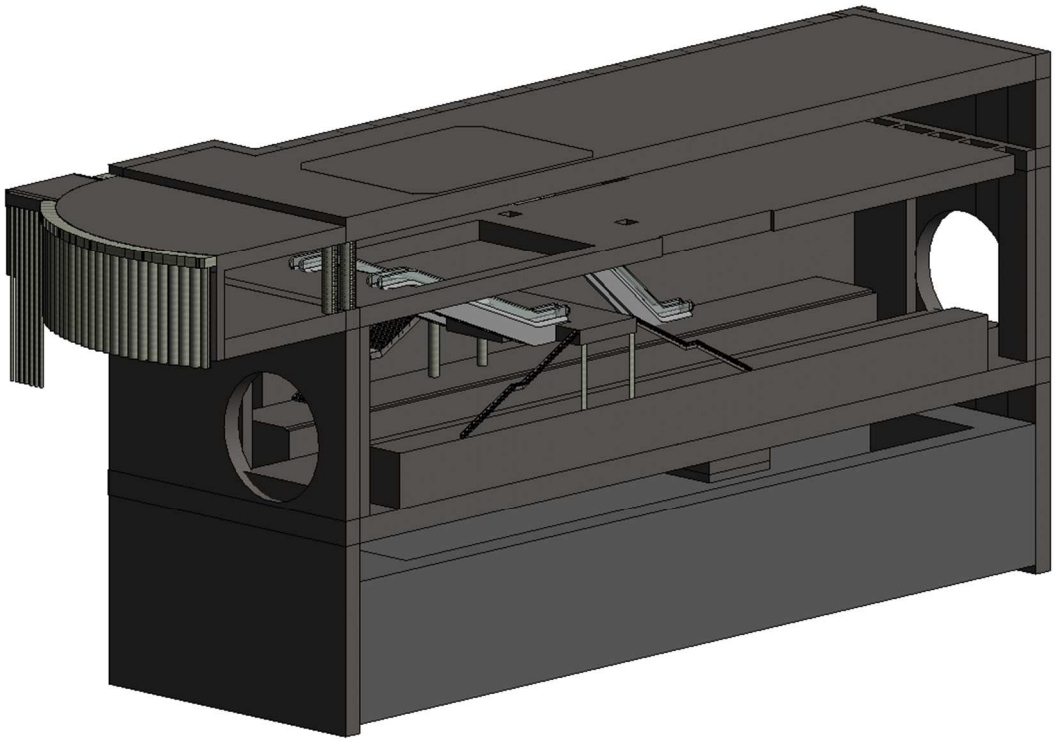


Figura 4: modello originale da Revit 2018

2.3 Metodi e strumenti per il flusso di lavoro

Si vuole a questo punto fornire un'idea generale di qual è stato il flusso di lavoro e come questo sia stato strutturato.

La prima parte della tesi è nata, come detto in precedenza, dall'esigenza di trasferire e successivamente manipolare un modello esistente e questo ha portato a rilevare delle criticità di interoperabilità orizzontale, ossia tra piattaforme di modellazione analoghe semplicemente di software house differenti. È stata quindi svolta una ricerca sullo stato dell'arte dei KPI (*Key Performance Indicators*), sia a carattere generale che più nello specifico applicati alla metodologia BIM; successivamente si è voluto definire un approccio metodologico rivolto alla valutazione di una piattaforma BIM che coprisse quanto più possibile tutti gli aspetti rilevanti di questa metodologia.

La seconda parte dell'elaborato di tesi consiste nell'applicazione al caso studio di quanto definito nella prima parte; in questo frangente la valutazione è stata mirata all'aspetto dell'interoperabilità tra le piattaforme attraverso il formato OPEN BIM, formato attorno a cui è stato poi sviluppato anche il resto della tesi. Per valutare le prestazioni, sono stati eseguiti

specifici test standardizzati definiti nella parte metodologica precedente e ha portato all'attribuzione di punteggi ai due software valutati, ossia Allplan 2019 e Revit 2018.

Infine, nell'ultima parte della tesi, sempre per mezzo del caso studio della stazione Italia 61, si è applicata la metodologia BIM al CM (*Construction Management*); in particolare sono stati stimati i tempi e i costi di parte dell'opera ed è stata svolta una simulazione dell'avanzamento del cantiere. Questa parte ha portato anche a poter attribuire altri punteggi alle voci di valutazione definite inizialmente.

Di seguito viene riportato il *flow chart* dell'elaborato di tesi e nei capitoli successivi questo verrà analizzato a fondo per fornire una panoramica esaustiva di quanto svolto.

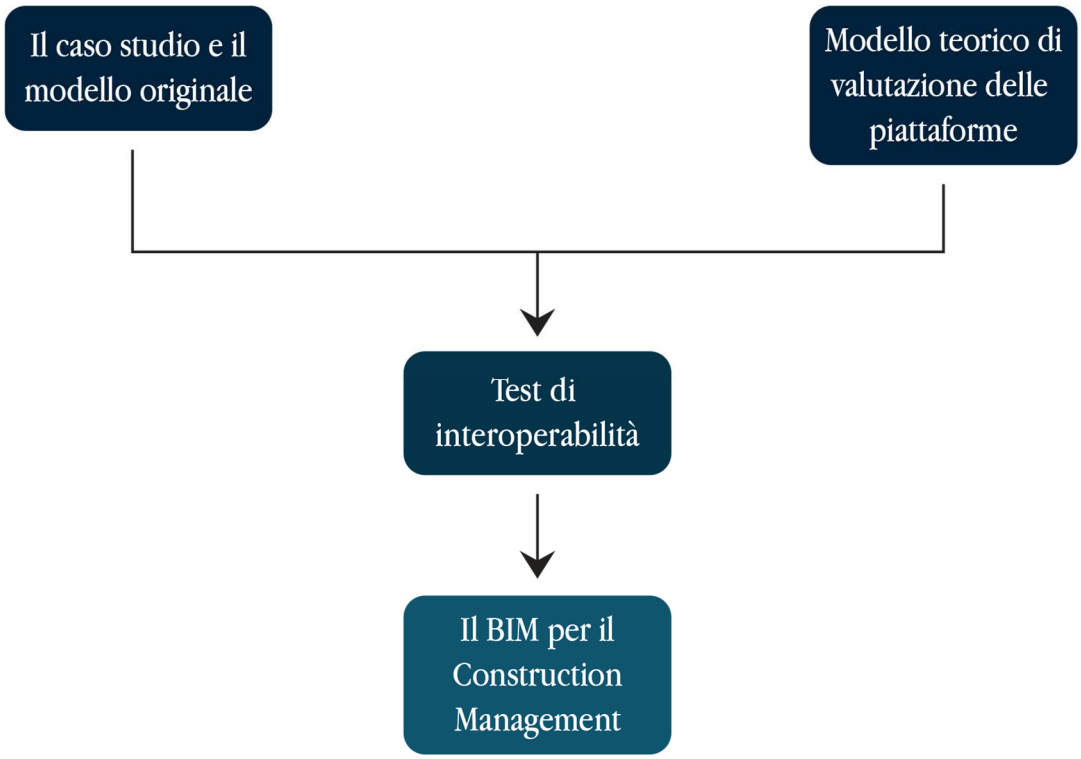
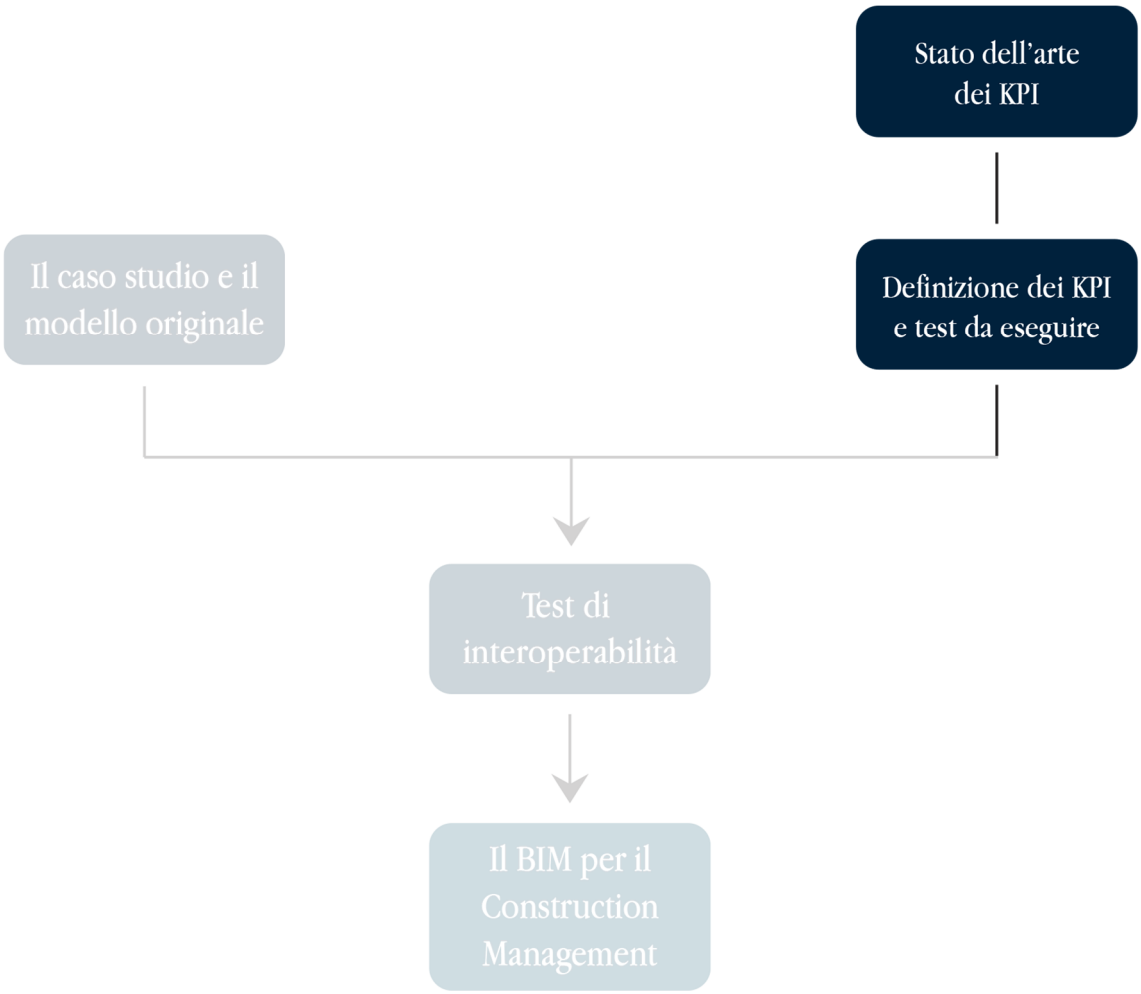


Figura 5: flow chart dell'elaborato

Capitolo III

MODELLO TEORICO DI VALUTAZIONE



L'obiettivo di questo capitolo è definire uno schema metodologico, per cui replicabile e affetto quanto meno possibile da giudizi soggettivi, volto alla valutazione di una generica piattaforma BIM oriented. Lo schema che si è voluto creare è strutturato su tre livelli di cui il primo è il più generale e definisce il domain, ossia la macroarea di valutazione; il secondo livello è rappresentato dai KPI ed infine, il terzo livello, quello responsabile di coprire nel dettaglio i diversi aspetti di valutazione, è definito dai test da eseguire per la determinazione dei diversi KPI.

L'attribuzione di un punteggio oggettivo nel campo della metodologia BIM è difficile da ritrovare in altri studi specifici, si è scelto quindi di fare riferimento a studi riguardanti i KPI dal punto di vista generale, per quanto riguarda il campo di applicazione, e descrittivo per quanto riguarda le nozioni in essi ricercate.

3.1 Domains e KPI: definizione e individuazione

3.1.1 Domains

In prima battuta si è voluto individuare i diversi domains di valutazione, si è quindi posta l'attenzione sui differenti ambiti principalmente interessati della metodologia BIM. Il requisito fondamentale che un ambito di valutazione deve rispettare è l'indipendenza dagli altri domains presi in considerazione, ossia si vuole far in modo che i diversi campi analizzati non siano interconnessi tra loro in modo da rendere la valutazione riferita strettamente ad un settore; questo principio ha portato a definire sei differenti domains.

Il primo è quello riferito alla modellazione digitale parametrica e alla restituzione del progetto; il tema della restituzione attualmente è legato all'idea di elaborati in formato cartaceo da produrre ma, se si pensa all'immediato futuro e allo sviluppo tecnologico che il settore AEC (*Architecture, Engineering and Construction*) sta vivendo, questo stesso concetto di restituzione potrebbe essere visto nell'ottica della realtà mista o aumentata.

Il secondo campo di valutazione individuato è quello riferito all'interoperabilità e in particolare viene analizzata l'interoperabilità OPEN BIM. Questo domain verrà trattato in modo molto approfondito nel seguito del presente capitolo per quanto riguarda la parte metodologica e nel successivo per le analisi operative.

Il terzo settore analizzato fa riferimento alla progettazione e gestione di tempi e costi dell'opera in progetto; questo aspetto riveste un ruolo importante nelle fasi di pianificazione e gestione dei lavori.

Successivamente, come quarto *domain*, si è considerato l'aspetto della condivisione dei dati, in questo caso, contrariamente a quanto fatto nel secondo domain individuato, viene

intesa come possibilità di trasferimento dei dati in formato alternativo a quello IFC o di condivisione tramite cloud.

Il quinto ambito di valutazione individuato vuole trattare il tema della fruibilità delle diverse piattaforme BIM; questa scelta è sicuramente riferita al periodo attuale che vede una transizione dal metodo classico alla nuova metodologia BIM e di conseguenza è necessario un cambio degli strumenti utilizzati dai diversi professionisti. Sempre guardando al futuro prossimo, come detto precedentemente riguardo la restituzione dei progetti, questo *domain* probabilmente sarà molto meno rilevante per via della larga diffusione degli strumenti necessari per la progettazione con metodo BIM.

Infine, l'ultimo settore preso in considerazione è quello relativo al *Facility Management*, ossia tutto ciò che riguarda la gestione e manutenzione dell'opera; questo è forse l'ambito più importante per il committente dell'opera poiché sarà lui, tramite il progetto che gli verrà consegnato, a dover gestire al meglio la manutenzione dell'opera fino alle fasi di demolizione di essa.

Si vuole precisare che per questo ultimo *domain*, nel seguito, non verranno definiti i KPI per arrivare a determinare una valutazione oggettiva, come fatto per tutti gli altri settori citati, poiché risulta un ambito molto specifico che non è stato trattato nel corso del presente elaborato e quindi si andrebbero a definire dei parametri senza però essere in grado di capirne la reale importanza.

3.1.2 Key Performance Indicators

Dopo aver definito i differenti campi di valutazione viene ora discussa la determinazione dei diversi indicatori scelti. Si vuole però prima fare chiarezza circa l'uso di questi indicatori e i requisiti che questi devono possedere affinché possano essere usati per effettuare una valutazione comparativa tra diverse piattaforme.

I KPI sono indicatori di comune applicazione nel campo economico aziendale e vengono usati per misurare i risultati conseguiti da un'organizzazione, un processo o una intera azienda. In ambito aziendale si possono individuare principalmente quattro tipologie di indicatori: generali, di qualità, di costo e infine di tempo; la caratteristica principale di questi indicatori è la misurabilità affinché si possa analizzare correttamente la progressione del processo analizzato.

Per gli obiettivi di questa tesi sono stati creati KPI specifici per la valutazione di singoli aspetti dei differenti campi di valutazione definiti in precedenza ma, prima di descrivere i vari indicatori, è importante far riferimento a uno studio di B. Succar [2] in cui vengono descritte le proprietà che un parametro di valutazione delle performance del metodo BIM deve

presentare. In particolare, per lo sviluppo della metodologia proposta nel presente elaborato di tesi, sono state considerate necessarie cinque delle undici proprietà elencate nella trattazione sopra citata. La proprietà più importante è la consistenza del parametro, ossia la restituzione del medesimo risultato indipendentemente da chi esegue la valutazione; le altre proprietà richieste sono la precisione, la flessibilità, ossia la possibilità di usare il medesimo parametro quando si valutano piattaforme differenti, la specificità, ossia sono parametri pensati per valutare un preciso settore, e infine la facilità di utilizzazione.

Viene ora riportato un elenco di tutti i KPI definiti all'interno dei vari domains anche se non per tutti, al termine della tesi, si sarà arrivati all'attribuzione di un punteggio. Il numero di parametri di valutazione non è uguale per tutti gli ambiti definiti ma varia a seconda delle esigenze del singolo domain.

3.1.2.a Modellazione e output

- Modellazione 3D e informativa delle opere: è sicuramente l'aspetto comune a tutti gli impieghi della metodologia BIM.
- Modellazione dell'ambiente: questo indicatore fa riferimento alla modellazione e all'importazione dei dati per la generazione dell'ambiente dove si colloca l'opera.
- Creazione e gestione dei collegamenti con dati geologici e geotecnici.
- Restituzione grafica e digitale del progetto: come detto in precedenza questo parametro vuole valutare sia la metodologia tradizionale di restituzione sia quelle che diventeranno ordinarie nel prossimo futuro.

3.1.2.b Interoperabilità OPEN BIM

- Esportazione IFC.
- Importazione IFC.

3.1.2.c Progetto e gestione 4D – 5D

- Impostazione del progetto in modo coerente con l'avanzamento costruttivo dell'opera: questo parametro vuole valutare la possibilità di gestire il modello in modo analogo a come l'opera poi viene costruita, sia essa per fasi, per lotti o per piani.
- Creazione e gestione di report riassuntivi delle varie quantità di interesse: si valuta la possibilità e versatilità di estrapolazione delle quantità derivabili dal modello.
- Collegamento degli elementi con voci di prezzario.
- Rilevamento delle interferenze: relativamente a piattaforme di modellazione generale si vuole valutare la possibilità quanto meno di un controllo di massima

delle interferenze senza dover usare fin dalle prime fasi di progettazione programmi specifici per questo scopo.

3.1.2.d Condivisione

- Piattaforme per la condivisione dei progetti online: questo è un aspetto molto importante nell'ottica del BIM dove il modello è unico e condiviso tra le varie figure che partecipano al progetto.
- Offerta della software house e trasferimento dei dati tramite plugin: questo aspetto semplifica il processo di lavoro perché solitamente lo scambio interno tra diversi programmi è più agevole.

3.1.2.e Fruibilità

- Incidenza del costo di acquisto.
- Risorse di tempo per raggiungimento dell'obiettivo: questo parametro vuole tenere conto sia della facilità di utilizzo della piattaforma che del tempo necessario e degli strumenti messi a disposizione per la formazione iniziale.
- Efficienza dell'assistenza fornita agli utenti: questo è un tema importante quando si affrontano problemi complessi dove i metodi d'uso della piattaforma possono inficiare il risultato finale.

3.2 Determinazione dei test

In questo paragrafo viene descritto l'ultimo livello del metodo di valutazione illustrato nei precedenti paragrafi. Questo livello è rappresentato dai test da eseguire per arrivare alla valutazione quantitativa dei KPI descritti in precedenza.

Si vuole, prima di iniziare la discussione riguardo la definizione dei vari test, spiegare il metodo di attribuzione dei valori esito del test. Ogni test presenta un valore finale che deve essere sempre compreso nell'intervallo tra 0 e 1 con la possibilità di comprendere gli estremi dell'intervallo. Il punteggio di un test può essere attribuito con due metodologie differenti; la prima, quella adottata per i test più semplici, prevede l'attribuzione del valore 0 quando il test ha esito negativo e 1 quando l'esito è positivo. Questi test sono definiti in modo da non poter essere ambigui e portare ad un esito ben definito. Il secondo metodo, prendendo come riferimento lo studio condotto da L. Manzione [3], prevede l'esecuzione di un rapporto tra oggetti positivi al test e oggetti testati, in modo da ricadere sempre nella situazione di valori al massimo unitari.

$$t_i = \frac{\sum EP}{ET}$$

dove:

t_i = punteggio del test i-esimo

EP = elementi positivi al test

ET = elementi totali testati

Nel seguito verranno descritti unicamente i test che nell'ambito dello sviluppo della tesi sono stati svolti e quindi hanno portato alla determinazione di un punteggio.

3.2.1 Modellazione e output

All'interno di questo campo di valutazione sono stati definiti KPI i quali coprono tematiche molto diverse tra loro seppur tutte accomunate da un unico *domain* di appartenenza; per questo motivo, non avendo affrontato tutti i temi nello sviluppo della tesi, non per tutti i KPI è stato possibile definire i test da eseguire per la definizione del punteggio finale e, in altri casi, i test sono stati definiti pur non essendo poi stati eseguiti per via di mancanza di informazioni a riguardo. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei KPI e dei test definiti per il *domain* in oggetto, in grigio sono riportate quelle voci che sono state definite ma non analizzate.

	KPI	TEST
1. MODELLAZIONE E OUTPUT	1.1. Modellazione 3D delle opere	1.1.1. Modellazione generale / architettonica
		1.1.2. Modellazione cemento armato
		1.1.3. Modellazione carpenteria metallica
		1.1.4. Modellazione MEP
	1.2. Modellazione dell'ambiente	1.2.1. Importazione nuvole di punti
		1.2.2. Importazione DTM
		1.2.3. Disegno manuale del territorio
	1.3. Creazione e gestione dei collegamenti con dati geologici/geotecnici	
	1.4. Restituzione grafica/digitale del progetto	1.4.1. Restituzione di tavole ed elaborati grafici
		1.4.2. Restituzione del progetto tramite realtà mista, aumentata o virtuale

Tabella 1: modellazione e output, indicatori e test

Per quanto riguarda i test prescritti per l'indicatore della modellazione delle opere si è scelto di determinare il valore del test attraverso una checklist dove ogni voce rappresenta una verifica da eseguire. È importante che le voci della checklist siano molto mirate affinché sia semplice assegnarvi un valore; è naturale però che questa specificità delle voci porta ad aver bisogno di un numero significativo di voci per poter descrivere in modo esauriente tutti gli aspetti che i test si presumono di indagare. Infine, la media di tutte le voci della checklist fornisce il valore del test. Questa tipologia di test è stata adottata anche per la valutazione della restituzione degli elaborati grafici, *Tabella 1* test 1.4.1.

Per gli altri due eseguiti all'interno del domain, in particolare quello relativo alla modellazione manuale del territorio e alla restituzione del progetto tramite strumenti tecnologici, si è scelto di attribuire il valore nullo o unitario per via della specificità del test stesso, il quale non lascia i presupposti di ambiguità che potrebbero portare a una errata valutazione del test.

3.2.2 Interoperabilità OPEN BIM

Per l'esecuzione dei test relativi a questo domain è stato necessario fare riferimento a un programma per la visualizzazione dei file IFC in modo da poterli confrontare con il modello esportato o importato nei software di modellazione, si è scelto di utilizzare Solibri Model Viewer Free per via del vasto utilizzo riscontrato in letteratura di questo software e per la sua disponibilità nella versione gratuita; inoltre, prima dell'utilizzo dei file IFC generati tramite i diversi software questi vengono processati tramite Solibri IFC Optimizer per la correzione di eventuali errori di scrittura in fase di generazione.

Per la determinazione dei test relativi a questo campo si è scelto di descrivere le fasi di esportazione e importazione quanto più possibile attraverso test analoghi. In altre parole, essendo le due operazioni, quella di esportazione e quella di importazione, per certi versi concettualmente analoghe, si è voluto svolgere parzialmente gli stessi test in modo da avere la possibilità di un confronto dei due aspetti riferiti alla stessa piattaforma.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva del domain in oggetto in cui vengono riportati i KPI individuati e i relativi test per la determinazione del risultato.

	KPI	Test
2. INTEROPERABILITÀ OPEN BIM	2.1. Esportazione IFC	2.1.1. Esportazione di un modello globale contenente tutti gli elementi, anche quelli temporanei
		2.1.2. Esportazione in base alla "strutturazione" del modello
		2.1.3. Esportazione attraverso filtri di visualizzazione
		2.1.4. Esportazione degli elementi propri della piattaforma testata
		2.1.5. Esportazione livelli altimetrici
		2.1.6. Esportazione attributi
	2.2. Importazione IFC	2.2.1. Importazione diretta di più file IFC
		2.2.2. Importazione di elementi appartenenti alle categorie corrispondenti ed editabili
		2.2.3. Importazione livelli altimetrici
		2.2.4. Importazione attributi

Tabella 2: interoperabilità OPEN BIM, indicatori e test

I primi tre test relativi alla fase di esportazione valutano le possibilità che le piattaforme mettono a disposizione; questi sono formulati in modo da prevedere come risultato ammesso solo i valori 0 o 1. In particolare, come riportato in *Tabella 2* si valuta la possibilità di esportare il modello nella sua totalità, successivamente si valuta la possibilità di estrapolazione di parti del modello in modo coerente con la struttura del modello stesso e infine si valuta se l'applicazione di filtri di visualizzazione, in genere disponibili in tutti le piattaforme di modellazione, sono applicabili anche per l'esportazione di parti specifiche del modello o meno.

Per i restanti test si è voluto valutare invece le reali prestazioni di esportazione degli elementi e di quelle proprietà ad essi collegate. In particolare, il quarto test valuta appunto l'esportazione degli elementi modellati all'interno della piattaforma; ciò che si vuole riscontrare tramite l'esecuzione di questo test è la congruenza della categoria di destinazione degli elementi dopo l'esportazione rispetto a quella di partenza. Successivamente, con gli ultimi due test si valuta prima l'esportazione dei livelli altimetrici impostati nel modello e successivamente il trasferimento dei parametri, sia quelli generati in automatico dal software sia quelli assegnati dall'utente ai vari elementi modellati. Per questo ultimo test è necessario investigare tutti i diversi tipi di parametri assegnabili messi a disposizione dalla piattaforma di modellazione.

Per questi ultimi tre test la valutazione è espressa dal rapporto degli elementi che superano il test e tutti gli elementi testati in accordo con la formulazione fornita all'inizio del presente paragrafo.

Riguardo i test di importazione invece, come anticipato, si è voluto utilizzare, quando possibile, i medesimi test utilizzati per valutare l'esportazione. Questo è stato possibile per i test relativi alla valutazione dell'importazione degli elementi modellati, dei livelli altimetrici e dei parametri. Per l'esecuzione del test 2.2.2 di *Tabella 2* relativo all'importazione degli elementi si vuole valutare sia la corrispondenza tra le categorie di partenza e di destinazione degli elementi ma, in modo più importante, si valuta la possibilità, una volta importati gli elementi, di modificare e manipolare quanto importato.

L'unico test che si differenzia da quelli eseguiti per la fase di esportazione è il primo relativo alla possibilità di importazione diretta di più file IFC all'interno dello stesso modello.

3.3 Coefficiente di importanza

Fino a questo momento, nell'illustrare la metodologia che è stata definita per la valutazione e la comparazione delle diverse piattaforme BIM, non è mai stato fatto riferimento all'importanza che i vari livelli definiti ricoprono per la determinazione finale del punteggio. In altre parole, quello finora esposto è un metodo che mette sullo stesso livello di importanza tutti i *domains* tra loro, come mette sullo stesso piano anche tutti i KPI e i relativi test. Questa uniformità è per certi versi positiva, perché solleva colui che esegue la valutazione dal prendere decisioni circa l'importanza di un aspetto rispetto ad un altro che potrebbe essere soggettiva, ma non permette di perseguire a pieno lo scopo di questa metodologia, ossia avere una valutazione oggettiva di tutti i parametri in gioco ma, allo stesso tempo, avere la possibilità di adattare la metodologia a un proprio caso particolare in cui non tutti gli aspetti potrebbero avere la stessa importanza.

Per questo motivo si è scelto di inserire nel metodo di valutazione un coefficiente di importanza che permetta, se necessario, di attribuire un peso differente alle varie voci di valutazione.

La definizione del coefficiente di importanza è stata fatta mantenendo la linea logica adottata per tutta la trattazione del metodo e cercando di limitare la soggettività di una decisione da parte dell'utente al minimo. Sono stati definiti cinque livelli di importanza del coefficiente a cui corrisponde una descrizione volta ad indicare la scelta adeguata all'utilizzatore. Vengono di seguito riportati i livelli di importanza definiti in ordine crescente:

- Non utile: a questo corrisponde sempre il valore nullo ed è stato definito sia per dare la possibilità in casi particolari di non coinvolgere alcuni parametri di valutazione e anche per definire il valore minimo del modello, quest'ultima ragione è strettamente legata alla definizione dei modelli matematici nei quali è sempre bene definire il punto di minimo.
- Accessorio: è riferito ad aspetti la cui presenza non è indispensabile per il conseguimento di un obiettivo o la cui rilevanza è molto soggettiva.
- Specifico: è riferito a funzionalità utili solo in un determinato tipo o fase di progetti.
- Funzionale: è una funzionalità oggettivamente utile e trasversale a tutti i campi d'impiego della metodologia BIM.
- Fondamentale: questo fa riferimento a quegli aspetti oggettivi che sono alla base della metodologia BIM, a prescindere dal tipo di progetto.

A questi livelli di importanza corrisponde un coefficiente adimensionale sempre compreso tra 0 e 1 che viene definito tramite una legge matematica. Nel seguito vengono proposte tre differenti leggi per descrivere l'andamento del coefficiente di importanza; prima è necessario dire che il valore minimo del coefficiente deve sempre essere il valore nullo e il massimo deve essere sempre il valore unitario. Per tutte le leggi che verranno definite nel seguito gli step di incremento di x valgono 0,25.

Il primo modello preso in considerazione è quello più semplice possibile, ossia quello che prevede una variazione lineare del coefficiente:

$$c_1(x) = x$$

questo modello dà implicitamente la stessa importanza a tutti gli step.

La seconda legge presa in considerazione è quella che considera la variazione quadratica del coefficiente di importanza:

$$c_2(x) = x^2$$

attraverso questo modello, differentemente rispetto al precedente, si dà un peso diverso ai vari livelli di importanza. In particolare, sono presenti due differenze sostanziali rispetto al modello lineare; la prima sta nel fatto che il peso del livello accessorio viene notevolmente deprezzato rendendo le voci ad esso abbinate presenti ma marginali rispetto al risultato finale. Il secondo aspetto differente si riscontra nel gap presente tra gli ultimi due step; la differenza tra gli ultimi due livelli di importanza è quasi raddoppiata passando da 0,25 a 0,438, questo conferisce un peso notevolmente maggiore alle voci catalogate come fondamentali le quali avranno notevole influenza sulla valutazione finale.

L'ultimo modello preso in considerazione prevede un andamento del coefficiente che varia secondo la legge:

$$c_3(x) = \sqrt{x}$$

questa ultima descrizione, come la precedente, conferisce un differente peso ai vari livelli di importanza definiti prima. Quello che si vuole mettere in evidenza di questo modello è come il primo step di valutazione diverso da quello nullo, il livello accessorio, acquisisca un peso doppio rispetto al medesimo peso del modello lineare; per i rimanenti livelli di valutazione ne consegue che i coefficienti hanno valori più vicini tra loro. In conclusione, questo modello è quello che più si avvicina al caso in cui non vengono usati coefficienti poiché rende la differenza di pesi molto ridotta.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle tre leggi sopra descritte e contenente l'andamento dei coefficienti di importanza per i vari step di valutazione.

Livello importanza	**x**	**Modelli di valutazione**		
		$c_1(x) = x$	**$c_2(x) = x^2$**	**$c_3(x) = \sqrt{x}$**
Non utile	0,00	0,000	0,000	0,000
Accessorio	0,25	0,250	0,063	0,500
Specifico	0,50	0,500	0,250	0,707
Funzionale	0,75	0,750	0,563	0,866
Fondamentale	1,00	1,000	1,000	1,000

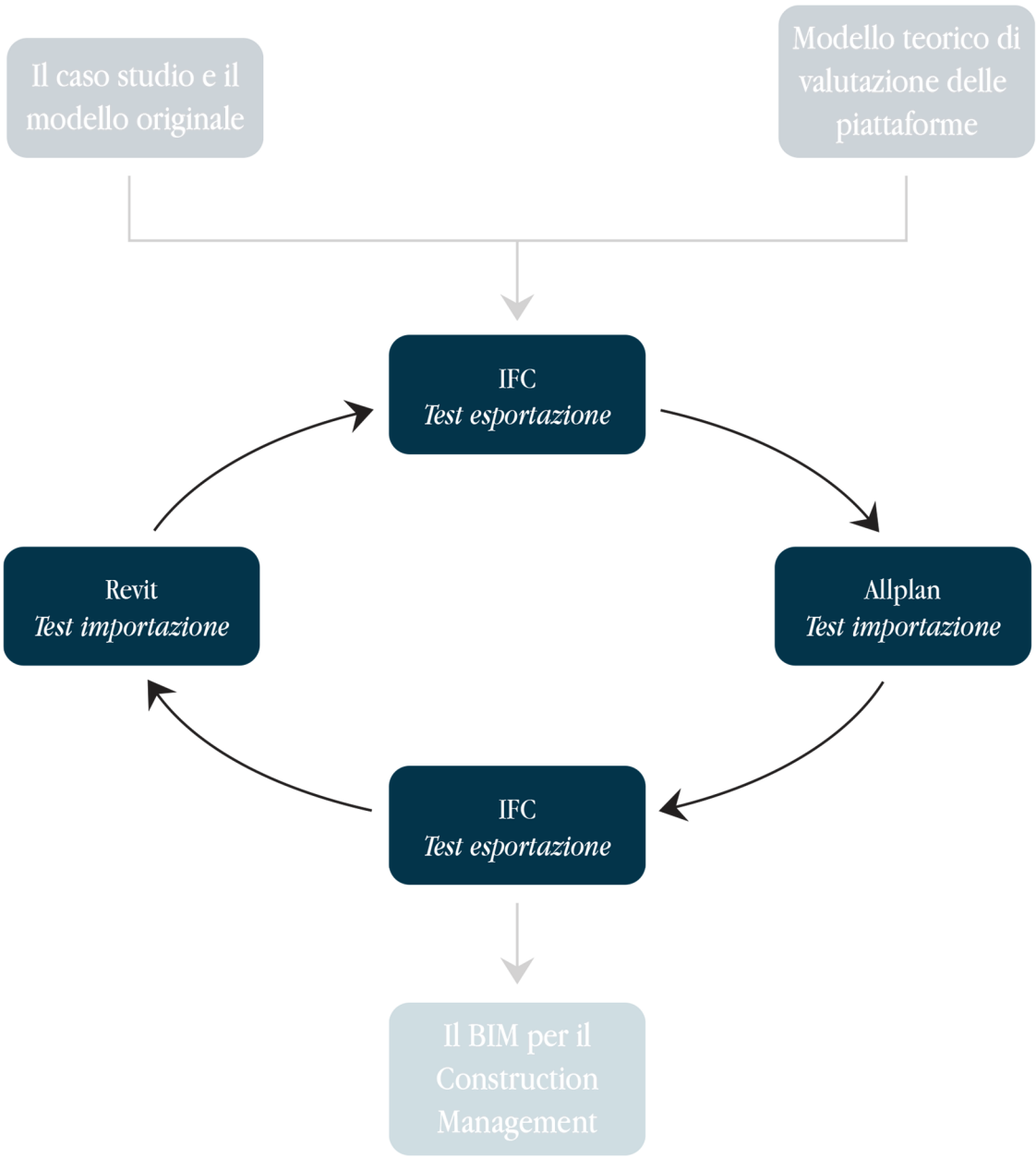
Tabella 3: livelli di importanza e modelli di valutazione

Si vuole infine precisare, all'interno della metodologia fin qui definita, a quale livello si è previsto l'uso dei coefficienti di importanza. È stata prevista la possibilità di applicare i coefficienti di importanza a tutti e tre i livelli della metodologia definiti; si può quindi dare un peso alle macroaree definite, ossia andando a pesare i diversi domains, ma allo stesso tempo si possono pesare in modo parallelo sia i diversi KPI che i singoli test. L'applicazione di un coefficiente a un determinato livello non obbliga ma non impedisce neanche l'uso dei coefficienti ai restanti livelli di valutazione.

Nella trattazione del presente elaborato di tesi è stato scelto di non utilizzare nessun coefficiente di importanza poiché la metodologia è stata affrontata nel modo quanto più esaustivo possibile e l'interesse rivolto ai diversi aspetti è stato il medesimo.

Capitolo IV

TEST DI INTEROPERABILITÀ ORIZZONTALE



In questo capitolo, dopo aver esposto nel precedente la metodologia dal punto di vista teorico e descrittivo, si vuole applicare tale metodologia e, in particolare, l'attenzione viene rivolta verso il secondo domain individuato, ossia quello relativo all'interoperabilità OPEN BIM.

Lo svolgimento dei test è mirato alla valutazione completa, riguardo lo scambio di dati tramite il formato IFC, delle due piattaforme di modellazione BIM con cui ci si è interfacciati nello svolgimento della tesi. I due software utilizzati sono stati Revit 2018 e Allplan 2019; l'utilizzo di queste due differenti piattaforme, come già anticipato precedentemente, è dovuto al fatto che si è acquisito un modello esistente prodotto attraverso l'uso di Revit ma, allo stesso tempo, si è voluto usare Allplan come piattaforma di modellazione e, in particolare, per la modellazione degli elementi in cemento armato.

Questo capitolo si articola sostanzialmente in due parti; la prima è composta dai primi due paragrafi i quali prendono spunto nella definizione della struttura da quanto fatto da M.Trzeciak e A.Borrmann [4]; qui si parlerà della metodologia utilizzata per eseguire i test.

Infine, nel terzo paragrafo, si potrà dare una valutazione generale riferita al *domain* dell'interoperabilità e, attraverso la valutazione dei diversi KPI, si potrà fare un confronto diretto tra le due piattaforme prese in considerazione.

4.1 Esportazione da Revit e importazione in Allplan

4.1.1 Opzioni di trasferimento dei dati

Il software Revit, per la gestione dell'esportazione dei dati nei file IFC, permette la personalizzazione attraverso due differenti schermate, queste consentono di operare su specifici aspetti dell'esportazione.

La prima parte delle opzioni di personalizzazione è contenuta nella finestra di dialogo che Revit apre quando si procede all'esportazione del modello; come riportato nella figura seguente si possono cambiare la configurazione di esportazioni attraverso la finestra di modifica del setup.

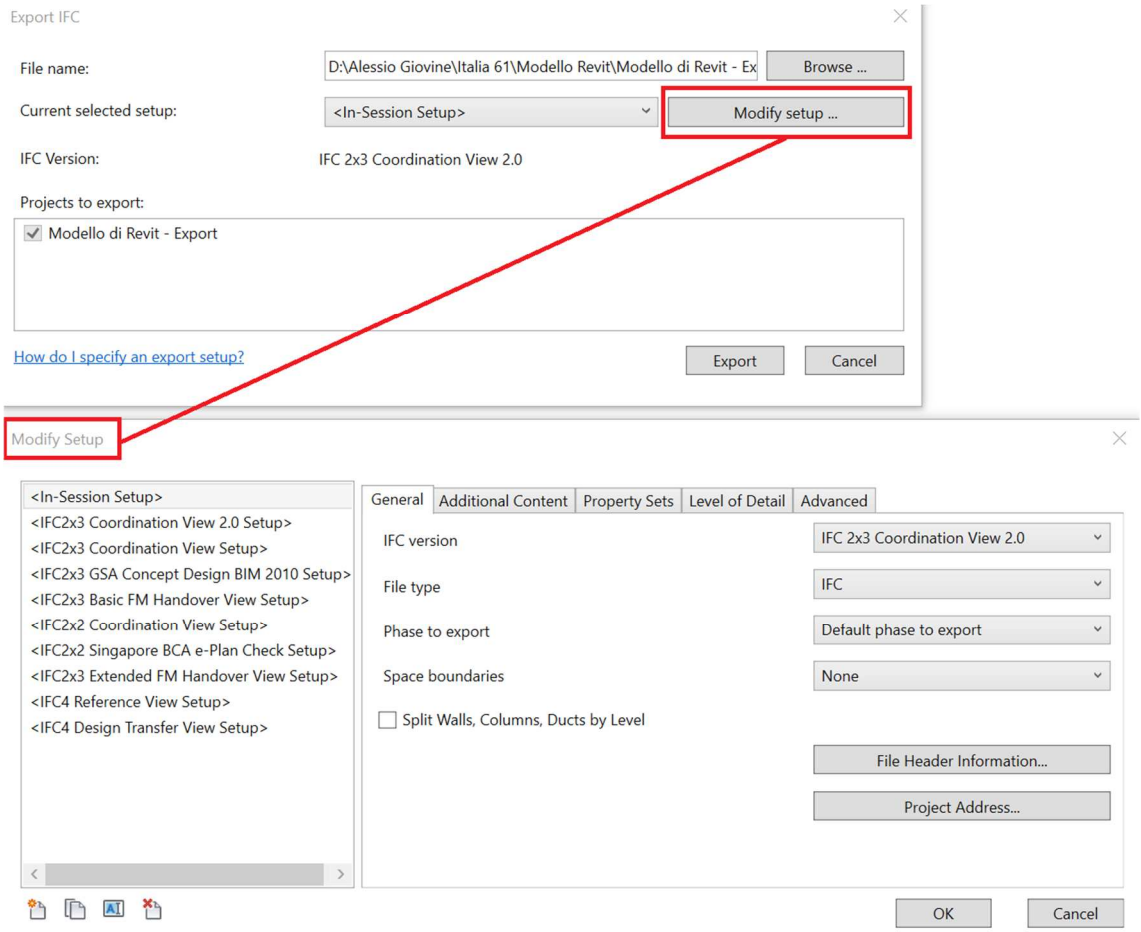


Figura 6: finestra di dialogo Revit per esportazione IFC

In particolare, in questa finestra di dialogo, è possibile impostare la versione di esportazione del file IFC, la fase da esportare nel caso in cui non si voglia esportare l'intero modello, nella tendina "Additional Content" la possibilità di esportare solo gli elementi visibili nella finestra di visualizzazione, il livello di dettaglio nella finestra corrispondente e infine si vuole evidenziare un aspetto importante per quanto riguarda l'esportazione dei parametri per cui è necessario nella finestra "Property Sets" selezionare la voce evidenziata nella figura seguente, altrimenti i parametri creati dall'utente non vengono esportati. Nello sviluppo dei test si è scelto di utilizzare sempre il livello di dettaglio di esportazione alto.

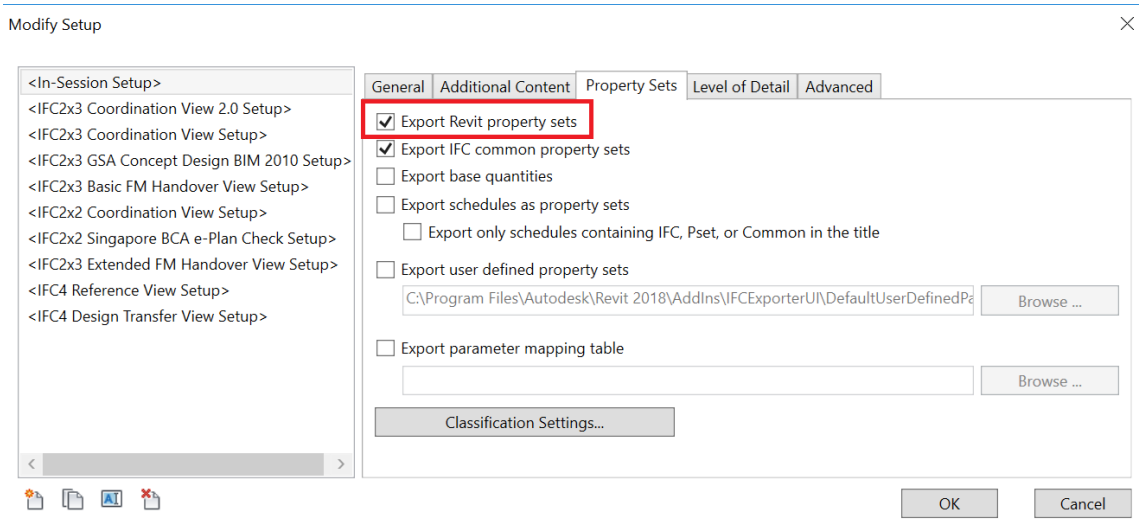
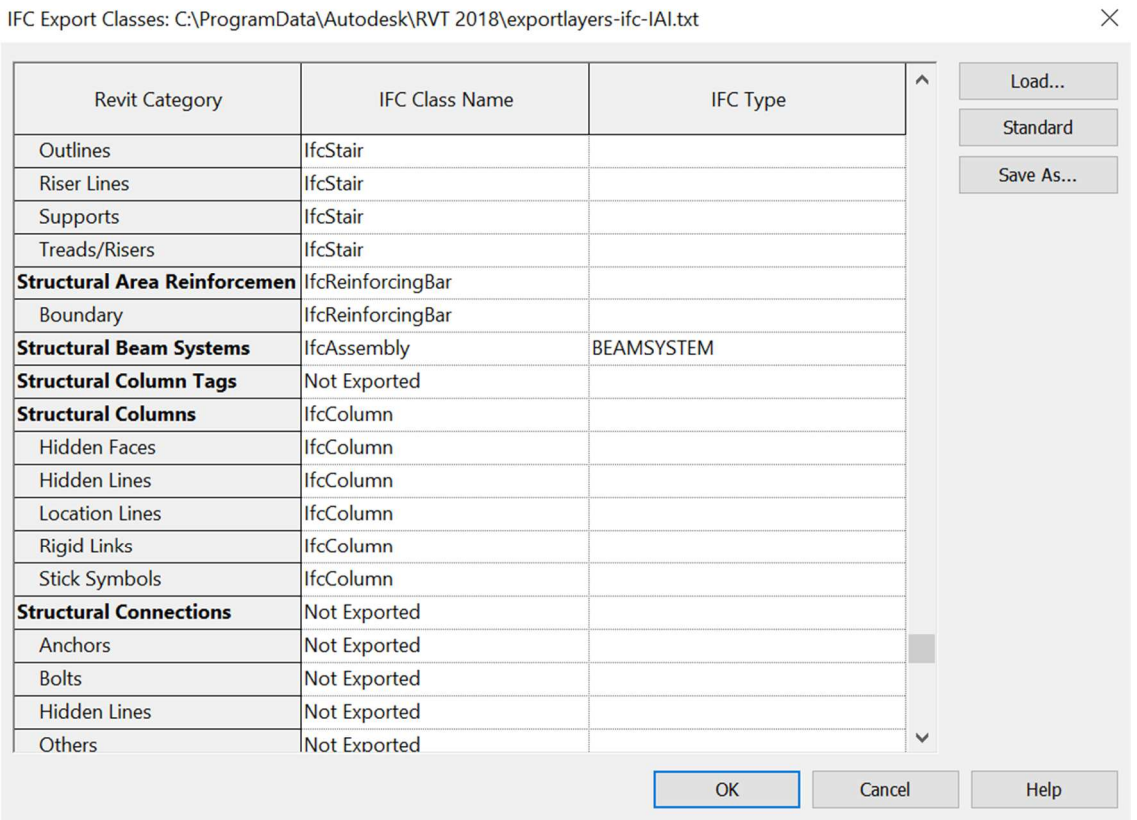


Figura 7: impostazione di Revit per l'esportazione dei parametri

È possibile modificare altre opzioni di esportazione attraverso la mappatura delle classi di IFC di destinazione delle varie categorie di elementi presenti in Revit. Per poter modificare queste impostazioni si accede tramite il percorso: File→ Export → Opzioni → Opzioni IFC; in questa finestra di dialogo è possibile vedere e modificare in quale classe di IFC verranno esportati gli elementi delle varie categorie di Revit. Nella figura seguente è riportata una parte della finestra di mappatura.



Revit Category	IFC Class Name	IFC Type
Outlines	IfcStair	
Riser Lines	IfcStair	
Supports	IfcStair	
Treads/Risers	IfcStair	
Structural Area Reinforcemen	IfcReinforcingBar	
Boundary	IfcReinforcingBar	
Structural Beam Systems	IfcAssembly	BEAMSYSTEM
Structural Column Tags	Not Exported	
Structural Columns	IfcColumn	
Hidden Faces	IfcColumn	
Hidden Lines	IfcColumn	
Location Lines	IfcColumn	
Rigid Links	IfcColumn	
Stick Symbols	IfcColumn	
Structural Connections	Not Exported	
Anchors	Not Exported	
Bolts	Not Exported	
Hidden Lines	Not Exported	
Others	Not Exported	

Figura 8: finestra Revit di mappatura classi IFC

L'importazione dei file avviene sulla piattaforma Allplan che permette attraverso due comandi separati l'importazione di file IFC sia nella versione 2x3 sia in quella più recente 4. Per tutte e due le finestre di importazione è possibile modificare alcune impostazioni principalmente legate alla possibilità di importare o meno i vari tipi di elementi e fornisce la possibilità di impostare un fattore di scala e gli offset del modello. Si riportano le due finestre di modifica nella figura successiva.

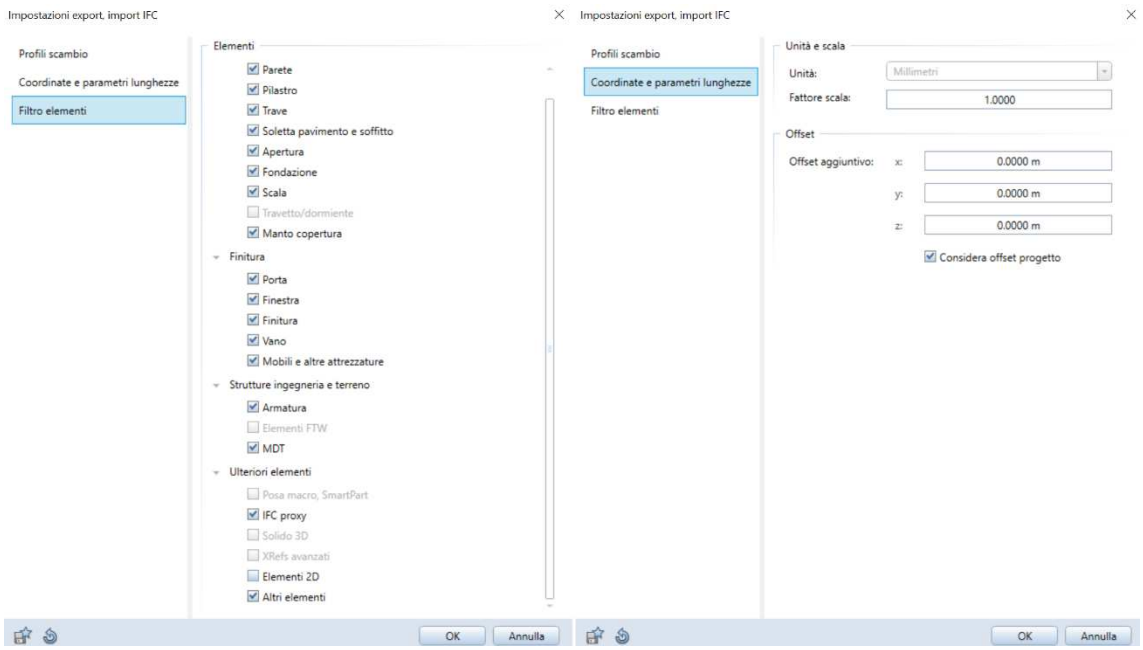


Figura 9: opzioni di importazione file IFC in Allplan

4.1.2 Test di esportazione

I primi test eseguiti, come già illustrato nel paragrafo precedente, fanno riferimento alle possibilità messe a disposizione dalla piattaforma per esportare il modello. Revit, attraverso le finestre di dialogo mostrate nel paragrafo precedente, permette l'esportazione di parti del modello riconoscendo le fasi create all'interno dello stesso e permette inoltre di esportare tramite filtri di visualizzazione personalizzati, questi vengono riconosciuti tramite l'esportazione di ciò che è presente solo nella finestra di visualizzazione. Il test riferito all'esportazione globale del modello ha invece presentato la prima criticità poiché esso perde le informazioni relative a tutti gli elementi temporanei esistenti nelle fasi di costruzione dell'opera. Con riferimento alla *Tabella 2* risulta quindi non soddisfatto solo il test 2.1.1 dei primi tre descritti ora.

Successivamente si sono volute testare le performance di esportazione degli elementi propri della piattaforma e delle proprietà ad essi connesse; in particolare si valuta se un elemento viene trasferito in una categoria congruente con quella di partenza, invece per quanto riguarda le proprietà ad esso collegate si valuta la corretta esportazione dei livelli

altimetrici di riferimento per l'elemento e i parametri ad esso assegnati. In questa fase non è stato usato l'intero modello di partenza ma sono stati usati i vari elementi che lo compongono andando però ad analizzare un singolo elemento quando questi erano presenti in un numero elevato ma tutti uguali. È stato questo il caso, per esempio, dei diaframmi perimetrali o dei pali di consolidamento lato atrio.

Tutti questi test sono stati svolti sui file IFC generati sia nella versione 2x3 Coordination View 2.0 che nella versione 4 Design Transfer View, per quanto riguarda le classi di IFC attribuite ai vari elementi si sono mantenute quelle impostate di default da Revit per via della difficoltà di manipolare questa proprietà rispetto al singolo elemento; è stata fatta un'unica eccezione per l'elemento di fondazione il quale è stato esportato con due diverse classi di IFC come verrà esposto nel seguito.

Su Revit sono stati creati diversi tipi di parametri per andare a coprire il maggior numero di casi possibili, nella scelta dei parametri si è voluto dare la precedenza a quelli di più frequente utilizzo. I parametri in Revit si distinguono in parametri di istanza e parametri di tipo; quelli di istanza sono legati ad un singolo elemento del modello, per esempio ogni diaframma è un'istanza, mentre quelli di tipo appartengono ad una intera tipologia di elementi, mantenendo l'esempio dei diaframmi tutti quelli di spessore 120 cm appartengono ad un tipo. Sono stati quindi definiti quattro parametri di istanza e quattro di tipo di cui, per ognuna delle due categorie, ne sono stati creati due a carattere generale e due specifici per l'ambito strutturale. Questi sono poi stati applicati ai vari elementi presi in considerazione, di seguito si riporta l'estratto delle due finestre di Revit in cui possono osservarsi i parametri definiti.

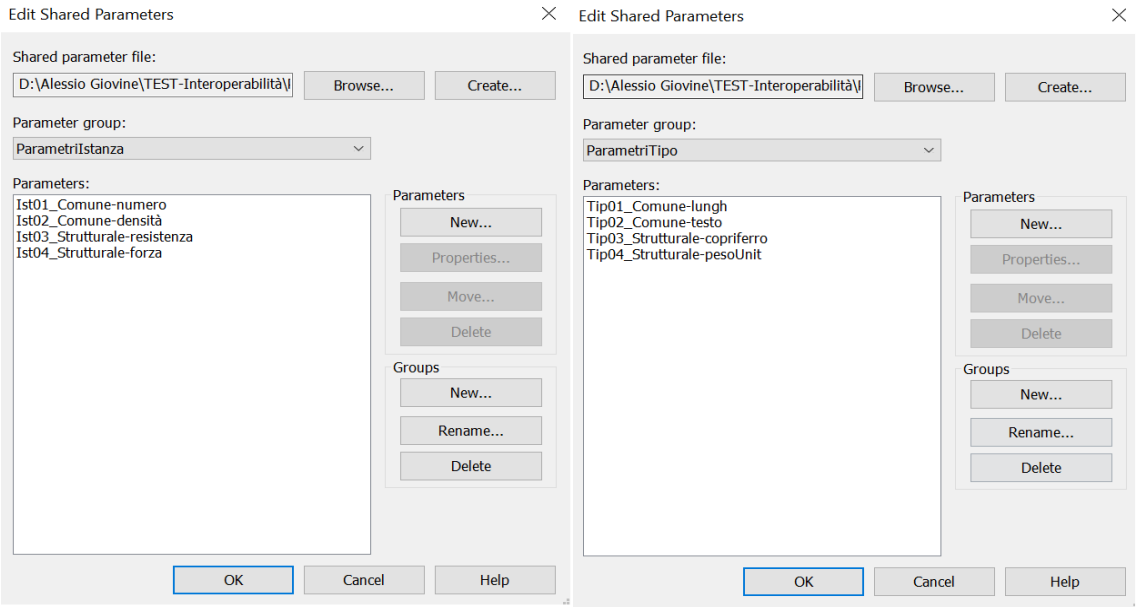


Figura 10: definizione parametri istanza e tipo in Revit

Di seguito viene riportato l'elenco degli elementi presi in considerazione per lo svolgimento dei test e la corrispondente categoria nativa di Revit:

- diaframmi – muro strutturale;
- pali di fondazione – fondazione strutturale: plinto;
- solettone di copertura – pavimento strutturale;
- tampone di fondo – fondazione strutturale: platea;
- pilastro con armatura – pilastro strutturale;
- puntoni provvisori – trave;
- scale;
- banchina – modello generico.

Per quanto riguarda i diaframmi sono stati testati due elementi poiché nel modello era presente la situazione in cui alcuni di questi venivano forati, per questo motivo ne è stato considerato uno intero e uno forato.

Per tutti gli elementi testati, nell'*Allegato A*, viene riportato il confronto grafico tra l'elemento visualizzato nel modello e visualizzato su Solibri Model Viewer Free, viene riportata la visualizzazione solo di uno dei due modelli IFC generati poiché questi risultano uguali, in particolare sempre quello della versione 2x3. Un solo elemento fa eccezione e si tratta della scala, di seguito viene riportata una figura di confronto tra la scala originale modellata in Revit e il file IFC 4 visualizzato su Solibri.

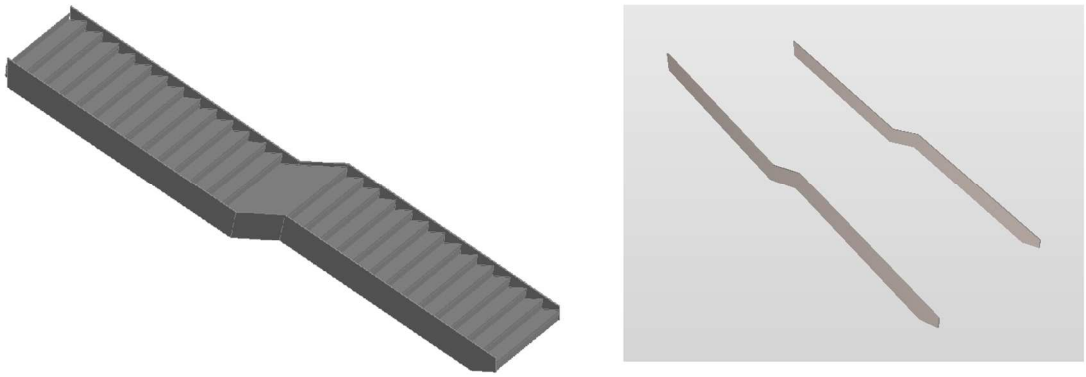


Figura 11: esportazione scala Revit 2018 – IFC 4

Si riportano ora due tabelle riassuntive dei test svolti sui differenti elementi nelle quali sono riportati i valori tramite cui si è arrivati a definire il punteggio finale del test; i risultati vengono analizzati nelle pagine successive alle tabelle.

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Numero elementi originali	Numero elementi riconosciuti		**Valore test**	
				Ifc 2x3	Ifc 4	**Ifc 2x3**	**Ifc 4**
Diaframmi	Muro strutturale	IfcWall	1	1	1	**1,00**	**1,00**
Diaframmi forati	Muro strutturale	IfcWall	1	1	1	**1,00**	**1,00**
Pali lato atrio	Fondazione strutturale: plinto	IfcSlab	1	0	0	**0,00**	**0,00**
Solettone di copertura	Pavimento strutturale	IfcSlab	1	1	1	**1,00**	**1,00**
Tampone di fondo	Fondazione strutturale: platea	IfcSlab	1	1	1	**1,00**	**1,00**
		IfcFooting	1	1	1		
Pilastri atrio	Pilastro strutturale	IfcColumn	1	1	1	**1,00**	**1,00**
Puntoni provvisori	Trave	IfcAssembly	1	1	1	**1,00**	**1,00**
Scale	Scala	IfcStair	1	1	0	**1,00**	**0,00**
Banchina	Modelli generici	IfcBuildingElementProxy	2	2	2	**1,00**	**1,00**
Pilastri atrio - armatura	Armatura	IfcReinforcingBar	45	45	45	**1,00**	**1,00**
Media						**0,90**	**0,80**

Tabella 4: test esportazione elementi propri Revit in IFC

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Individuazione livelli altimetrici	A	B	C	D	Parametri personalizzati	**Valore test**
			Ifc 2x3 / Ifc 4	Ifc 2x3 / Ifc 4					
Diaframmi	Muro strutturale	IfcWall	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,40	0,88	**0,66**
Diaframmi forati	Muro strutturale	IfcWall	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,40	0,88	**0,66**
Pali lato atrio	Fondazione strutturale: plinto	IfcSlab	**1,00**	1,00	1,00	--	--	0,44	**0,81**
Solettone di copertura	Pavimento strutturale	IfcSlab	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,40	0,88	**0,66**
Tampone di fondo	Fondazione strutturale: platea	IfcSlab / IfcFooting	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,40	0,88	**0,66**
Pilastri atrio	Pilastro strutturale	IfcColumn	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,40	0,88	**0,66**
Puntoni provvisori	Trave	IfcAssembly	**1,00**	1,00	1,00	--	--	0,88	**0,96**
Scale	Scala	IfcStair	**1,00**	1,00	--	--	--	0,88	**0,94**
Banchina	Modelli generici	IfcBuildingElementProxy	**1,00**	0,67	1,00	--	--	0,88	**0,85**
Pilastri atrio - armatura	Armatura	IfcReinforcingBar	**--**	1,00	0,00	0,00	--	0,88	**0,47**
Media			**1,00**						**0,73**

Legenda: A: Caratteristiche geometriche; B: Classe materiale; C: Proprietà fisico/meccaniche; D: caratteristiche energetiche

Tabella 5: test esportazione livelli altimetrici e attributi Revit in IFC

La *Tabella 4* è relativa al test riguardo l'esportazione degli elementi propri della piattaforma di modellazione; come anticipato precedentemente sono stati testati i singoli elementi i quali però non sono stati creati ad hoc ma sono quelli originali del modello di partenza. L'esito del

test è in generale positivo ma si segnalano due criticità riscontrate; la prima è riferita ai pali di fondazione i quali su Revit sono composti da palo e plinto di testa appartenenti ad una famiglia nidificata, questo blocco unico, una volta esportato l'elemento, viene perso e si ottengono due elementi singoli indipendenti. La seconda criticità, come anticipato in *Figura 11*, riguarda l'esportazione della scala tramite il formato IFC 4 con il quale si perdono praticamente tutti gli elementi che la compongono. Infine, per quanto riguarda il tampone di fondo, questo è l'unico elemento ad essere stato esportato in due differenti classi di IFC; di default Revit imposta le fondazioni nella classe *IfcSlab*, in modo manuale è stato esportato lo stesso elemento anche tramite la classe *IfcFooting* poiché dovrebbe essere quella dedicata alle opere di fondazione. Il risultato dell'esportazione risulta il medesimo con le due diverse classi.

La *Tabella 5* riporta invece i dati relativi al test di esportazione dei livelli altimetrici e a quello di esportazione degli attributi. Per questi due test i risultati che vengono riportati fanno tutti riferimento sial al formato 2x3 dei file IFC che al formato IFC 4 poiché sono i medesimi tranne che nel caso del palo di fondazione in cui, solo per quanto riguarda i parametri personalizzati impostati, a seguito della divisione dell'elemento originariamente unico in due elementi separati si riscontra l'attribuzione dei due parametri solo nel plinto di testa e non nel palo, cosa che non si verifica nel file IFC 2x3. Per quanto riguarda l'ultimo test, ossia quello relativo all'esportazione degli attributi dei vari elementi, il punteggio del test dei singoli elementi viene determinato come media di cinque aspetti valutati. In particolare, gli aspetti che vengono presi in considerazione sono:

- esportazione delle caratteristiche geometriche: è determinato come rapporto tra le grandezze fondamentali relative all'elemento preso in considerazione e quelle correttamente trasferite. Per esempio, per un elemento come il diaframma vengono considerate le tre dimensioni geometriche e il volume.
- Classe del materiale: in questo caso si valuta unicamente se la classe descrittiva del materiale viene trasferita. Per gli elementi in cui questo non è un aspetto significativo non si considera questa voce.
- Proprietà fisico/meccaniche: si valuta il trasferimento delle caratteristiche fondamentali dei materiali presenti nel software Revit.
- Caratteristiche energetiche: si valuta, come per la voce precedente, il trasferimento delle proprietà energetiche di un materiale.
- Parametri personalizzati: in questo caso si valuta la corretta esportazione dei parametri creati dall'utente e riportati in *Figura 6*.

Quello che si può osservare dai risultati riportati in *Tabella 5* è che il trasferimento delle caratteristiche geometriche e della classe del materiale avviene senza problemi; per il trasferimento dei parametri impostati su Revit è stato riscontrato un problema riguardo il trasferimento di un determinato parametro, in particolare quello relativo al peso unitario, questo viene trasferito ma riporta un valore non coerente con quello originale e non attribuibile a nessuna unità di misura differente da quella di partenza (P. unit. = 25 kN/m^3 → 2322,576). Nella figura seguente viene riportato il confronto tra i valori dei parametri impostati in Revit e quelli visualizzati in Solibri; questo problema viene riscontrato nello stesso modo su tutti i tipi di elementi.

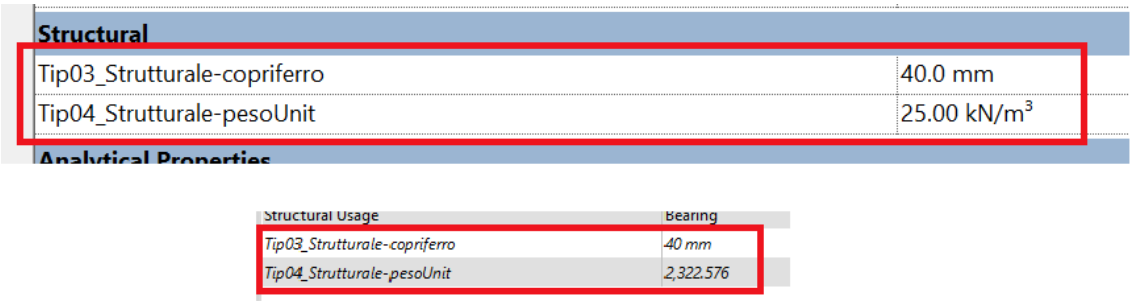


Figura 12: confronto dei valori dei parametri tra Revit e Solibri

In conclusione, si vuole analizzare la criticità maggiore che è emersa nel processo ossia il trasferimento delle proprietà meccaniche ed energetiche attribuite ai vari elementi, in questo caso le proprietà meccaniche non vengono esportate mentre quelle che vengono esportate correttamente sono solo due delle cinque proprietà termiche originariamente presenti.

4.1.3 Test di importazione

Per quanto riguarda l'importazione, come è stato fatto per l'esportazione, il primo test è di carattere generale e riguarda la possibilità di importare diversi file IFC all'interno dello stesso modello. Per il software Allplan questo è possibile e si può quindi scegliere poi all'interno del modello quali file IFC visualizzare contemporaneamente.

Successivamente si è passati alle valutazioni di carattere operativo e, nello specifico, sono stati replicati i test fatti per la fase di esportazione. Anche in questo caso, come riportato in *Tabella 2*, si è voluto valutare la performance dell'importazione in Allplan degli elementi modellati in Revit. Si è quindi analizzata la corrispondenza geometrica e l'appartenenza ad una classe di destinazione appropriata con quella nativa dell'elemento, la corrispondenza tra i livelli altimetrici e la presenza di tutti i parametri presenti in Revit.

Essendo stati esportati tutti gli elementi in due formati IFC (2x3 e 4) anche i test di importazione sono stati eseguiti nello stesso modo su tutti e due i tipi di file generati. Per coerenza con quanto fatto nel caso dell'esportazione per il test relativo al riconoscimento

degli elementi vengono riportati i risultati riferiti a tutte e due le classi IFC testate mentre per gli altri due test viene riportato un unico valore valido sia per il formato IFC 2x3 che per l'IFC 4 poiché questi risultano uguali, con l'unica eccezione del valore riferito ai parametri personalizzati per i quali sono state riscontrate delle sostanziali differenze.

Per tutti gli elementi in oggetto, nell'A*llegato B*, viene riportato il confronto grafico tra quanto visualizzato nel software Solibri Model Viewer Free e quanto visualizzato in Allplan. Per quanto riguarda il solo aspetto grafico è stata riscontrata una sola criticità, anche in questo caso come nel precedente relativo alla scala, tramite l'uso del formato IFC 4. In questo caso il problema emerso è relativo al diaframma forato il quale, come viene riportato nella figura seguente, subisce una sostanziale variazione della forma del foro. Si precisa che per rendere più chiara la comprensione del problema nella figura vengono riportati tutti e tre i diaframmi interessati dal foro.

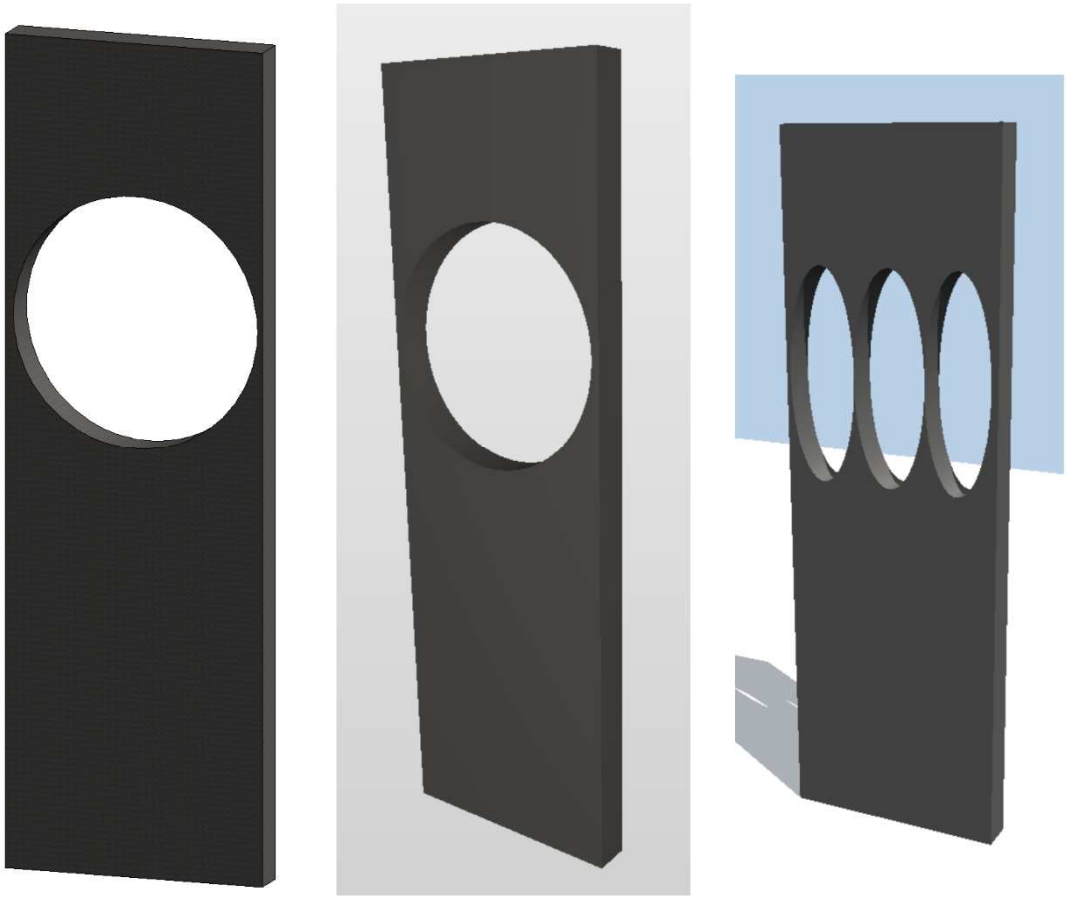


Figura 13: confronto diaframmi forati tramite formato IFC 4
Revit 2018 – Solibri Model Viewer Free – Allplan 2019

Si vogliono ora analizzare i risultati emersi dai test relativi all'importazione dei file IFC in Allplan; di seguito vengono riportate due tabelle contenenti i dati ricavati i quali verranno descritti e commentati successivamente; si vuole anticipare che dove viene riportata la

dicitura *Non richiesto* corrisponde a elementi la cui esportazione non ha dato un risultato positivo e quindi non si è potuto procedere con il test di importazione, proprio per via della corruzione dell'elemento da testare.

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Categoria destinazione	Numero elementi riconosciuti		**Valore test**	
				Ifc 2x3	Ifc 4	**Ifc 2x3**	**Ifc 4**
Diaframmi	Muro strutturale	IfcWall	Parete	1,00	1,00	**1,00**	**1,00**
Diaframmi forati	Muro strutturale	IfcWall	Corpo architettonico	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
Pali lato atrio	Fondazione strutturale: plinto	IfcSlab	Solaio	Non richiesto	Non richiesto	**--**	**--**
Solettone di copertura	Pavimento strutturale	IfcSlab	Solaio	1,00	1,00	**1,00**	**1,00**
Tampone di fondo	Fondazione strutturale: platea	IfcSlab	Solaio / Platea di fondazione	0,00	1,00	**0,00**	**1,00**
		IfcFooting	Corpo architettonico / Fondazione 3D generale	0,00	0,00		
Pilastri atrio	Pilastro strutturale	IfcColumn	Pilastro	1,00	1,00	**1,00**	**1,00**
Puntoni provvisori	Trave	IfcAssembly	Trave	1,00	1,00	**1,00**	**1,00**
Scale	Scala	IfcStair	Corpo architettonico	0,00	Non richiesto	**0,00**	**--**
Banchina	Modelli generici	IfcBuildingElementProxy	Posa macro	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
Pilastri atrio - armatura	Armatura	IfcReinforcingBar	Armatura tondini	45,00	45,00	**1,00**	**1,00**
Media						**0,56**	**0,75**

Tabella 6: test importazione elementi IFC in Allplan

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Categoria destinazione	Individuazione livelli altimetrici	A	B	C	D	Parametri personalizzati		**Valore test**	
				Ifc 2x3 / Ifc 4	Ifc 2x3 / Ifc 4				Ifc 2x3	Ifc 4	**Ifc 2x3**	**Ifc 4**
Diaframmi	Muro strutturale	IfcWall	Parete	1,00	1,00	1,00	Non richiesto	1,00	0,63	0,50	**0,91**	**0,88**
Diaframmi forati	Muro strutturale	IfcWall	Corpo architettonico / Parete	1,00	1,00	1,00	Non richiesto	1,00	0,63	0,50	**0,91**	**0,88**
Pali lato atrio	Fondazione strutturale: plinto	IfcSlab	Solaio	1,00	1,00	1,00	--	--	0,63	1,00	**0,88**	**1,00**
Solettone di copertura	Pavimento strutturale	IfcSlab	Solaio	1,00	1,00	1,00	Non richiesto	1,00	0,63	1,00	**0,91**	**1,00**
Tampone di fondo	Fondazione strutturale: platea	IfcSlab / IfcFooting	Solaio / Platea di fondazione	1,00	1,00	1,00	Non richiesto	1,00	0,63	1,00	**0,91**	**1,00**
Pilastri atrio	Pilastro strutturale	IfcColumn	Pilastro	1,00	1,00	1,00	Non richiesto	1,00	0,63	0,50	**0,91**	**0,88**
Puntoni provvisori	Trave	IfcAssembly	Trave	1,00	1,00	1,00	--	--	0,63	0,50	**0,88**	**0,83**
Scale	Scala	IfcStair	Corpo architettonico	1,00	1,00	--	--	--	0,63	1,00	**0,81**	**1,00**
Banchina	Modelli generici	IfcBuildingElementProxy	Posa macro	1,00	1,00	1,00	--	--	0,63	0,50	**0,88**	**0,83**
Pilastri atrio - armatura	Armatura	IfcReinforcingBar	Armatura tondini	--	1,00	Non richiesto	Non richiesto	--	0,63	0,63	**0,81**	**0,81**
Media				**1,00**							**0,88**	**0,91**

Legenda	A: Caratteristiche geometriche	C: Proprietà fisico/meccaniche
	B: Classe materiale	D: caratteristiche energetiche

Tabella 7: test importazione livelli altimetrici e attributi IFC in Allplan

La *Tabella 6* è relativa al test sull'importazione degli elementi modellati in Revit e importati in Allplan; l'esito di questo test è sicuramente peggiore rispetto al medesimo riferito alla fase di esportazione. Quello che si può dire a livello generale è sicuramente che il formato IFC 4 fornisce risultati migliori rispetto al formato IFC 2x3; analizzando invece i singoli dati si

riscontrano alcune criticità legate a particolari situazioni. La prima fa riferimento al caso del diaframma forato; come è già stato mostrato in *Figura 9*, l'importazione dell'elemento nel formato IFC 4 porta alla distorsione del foro che viene suddiviso sui tre singoli diaframmi pur conservando l'altezza del foro originale. Si vuole segnalare che in questo caso l'elemento importato viene attribuito alla giusta categoria di appartenenza, ossia quella delle pareti. Sempre riferendosi allo stesso elemento, anche l'importazione tramite il formato IFC 2x3 non fornisce un risultato positivo poiché, anche se graficamente, come riportato nell'allegato B, il risultato è congruente, l'elemento viene collocato nella classe dei *Corpi Architettonici* e, presumibilmente, la presenza del foro non rende modificabile l'elemento. Questi problemi possono essere legati al fatto che la piattaforma Allplan non consente di creare un'apertura che interessi diversi elementi, se non nel caso di solidi generici su cui si possono effettuare le operazioni booleane.

La seconda criticità riscontrata è relativa all'uso della classe *IfcFooting*, questo fatto risulta di difficile comprensione poiché Allplan, nelle fasi di esportazione, prevede l'uso di questa classe IFC per l'esportazione delle fondazioni ma gli elementi appartenenti a questa classe, nella fase di importazione, vengono assegnati ad altre categorie le quali non consentono poi la modifica dell'elemento stesso.

Per quanto riguarda le scale, che sono state testate solo tramite il formato IFC 2x3, non vengono importate nella categoria delle scale e questo comporta il fatto che non siano editabili tramite l'interfaccia dedicata da Allplan.

Infine, l'ultimo problema riscontrato, riguarda l'importazione delle banchine e più in generale di tutti quegli elementi appartenenti alla categoria *IfcBuildingElementProxy* i quali non sono modificabili una volta importati.

La *Tabella 7* invece riporta i risultati relativi all'importazione dei livelli altimetrici e di tutti gli attributi collegati ai vari elementi. Il test relativo ai livelli altimetrici ha fornito risultati positivi per tutti gli elementi considerati; la stessa cosa si può dire per l'esportazione degli attributi tranne che per quanto riguarda i parametri personalizzati attribuiti in Revit. Infatti, l'importazione dei parametri personalizzati ha presentato le uniche criticità emerse in questo test. Per quanto riguarda i file IFC nella versione 2x3 l'importazione dei parametri è avvenuta nello stesso modo per tutti gli elementi e l'esito è stato che degli otto parametri impostati in Revit ne risultavano presenti solamente cinque; in particolare quelli mancanti, con riferimento alla Figura 6, sono: Ist02_Comune-densità, Ist03_Strutturale-resistenza e Ist04_Strutturale-forza. L'esito del trasferimento dei parametri personalizzati tramite i file in formato IFC 4 è risultato invece differente a seconda dei vari elementi considerati volta per

volta. In linea generale sono emerse tre differenti situazioni: la prima è stata quella in cui tutti i parametri vengono riconosciuti correttamente anche in Allplan; la seconda situazione è quella in cui vengono trasferiti solamente metà dei parametri, in tutti questi casi i parametri riconosciuti sono stati quelli impostati in Revit come parametri di istanza. Si è poi verificato un ultimo caso in cui i parametri riconosciuti sono cinque a fronte degli otto originali, i parametri mancanti sono gli stessi non trasferiti tramite il formato 2x3; quest'ultima situazione, tramite il formato IFC 4, si è verificata solo nel caso dell'armatura del pilastro. In conclusione, per l'importazione degli attributi, valutando il risultato generale ottenuto dall'analisi dei diversi elementi si può dire che il punteggio ottenuto tramite i due formati IFC 4 è leggermente migliore rispetto a quello ottenuto tramite i file IFC 2x3.

4.2 Esportazione da Allplan e importazione in Revit

4.2.1 Opzioni di trasferimento dei dati

La piattaforma Allplan, per quanto riguarda l'esportazione in file IFC distingue il tipo di file da generare già dal menù di scelta dove il formato consigliato dalla software house è l'IFC 4, il quale nella figura seguente è indicato come semplice IFC.

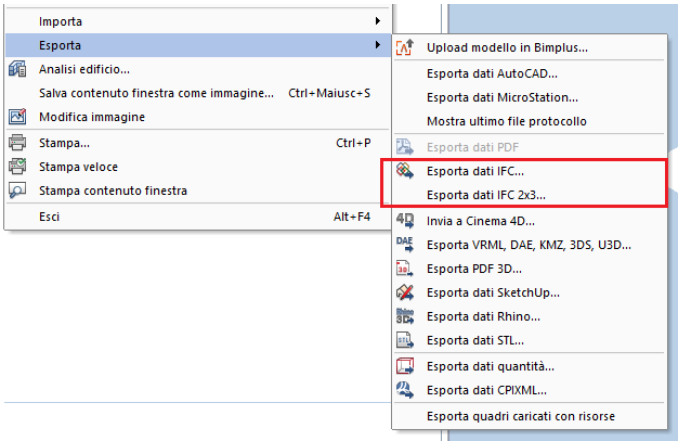


Figura 14: scelta del formato di esportazione in Allplan

Allplan, a differenza di Revit, mette a diposizione molte meno opzioni di personalizzazione per l'esportazione di file IFC. In particolare, come per la finestra di importazione, è possibile selezionare quali elementi esportare e assegnare un parametro di scala e un offset al modello; inoltre, è presente un'ulteriore finestra la quale si differenzia per i due diversi formati di file IFC. Per il formato IFC 4 l'interfaccia presenta un'importante voce di personalizzazione che serve per esportare i dati quantità. La selezione di questa voce è presente solo per il formato 4 ed è risultata fondamentale per quanto verrà trattato nel successivo capitolo riguardante il *Construction Management*. Per quanto riguarda il formato 2x3

è invece disponibile unicamente la voce relativa alla possibilità di esportare i file nella specifica versione Coordination View 2.0. Di seguito viene riportata la figura delle finestre di personalizzazione delle proprietà di esportazione, quella a sinistra è relativa al formato 4 mentre quella a destra al formato 2x3.

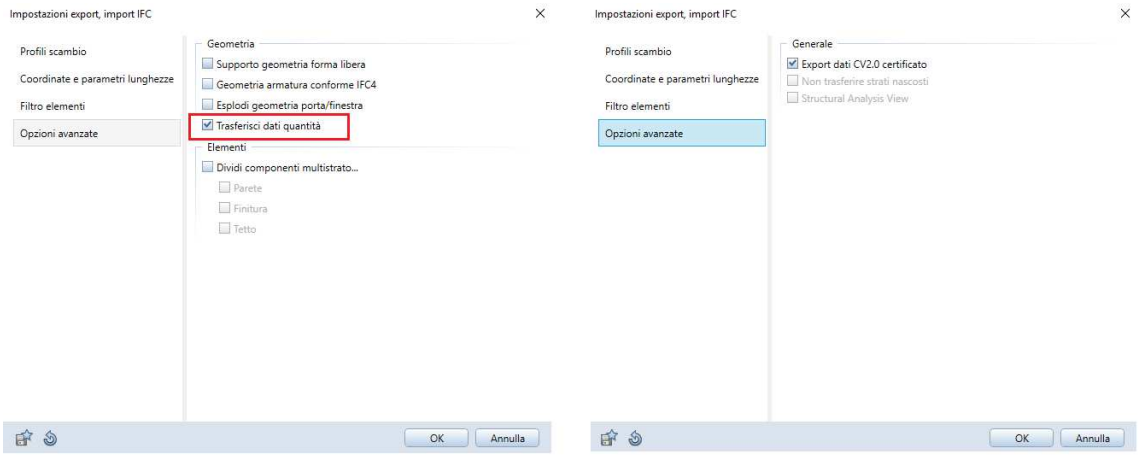
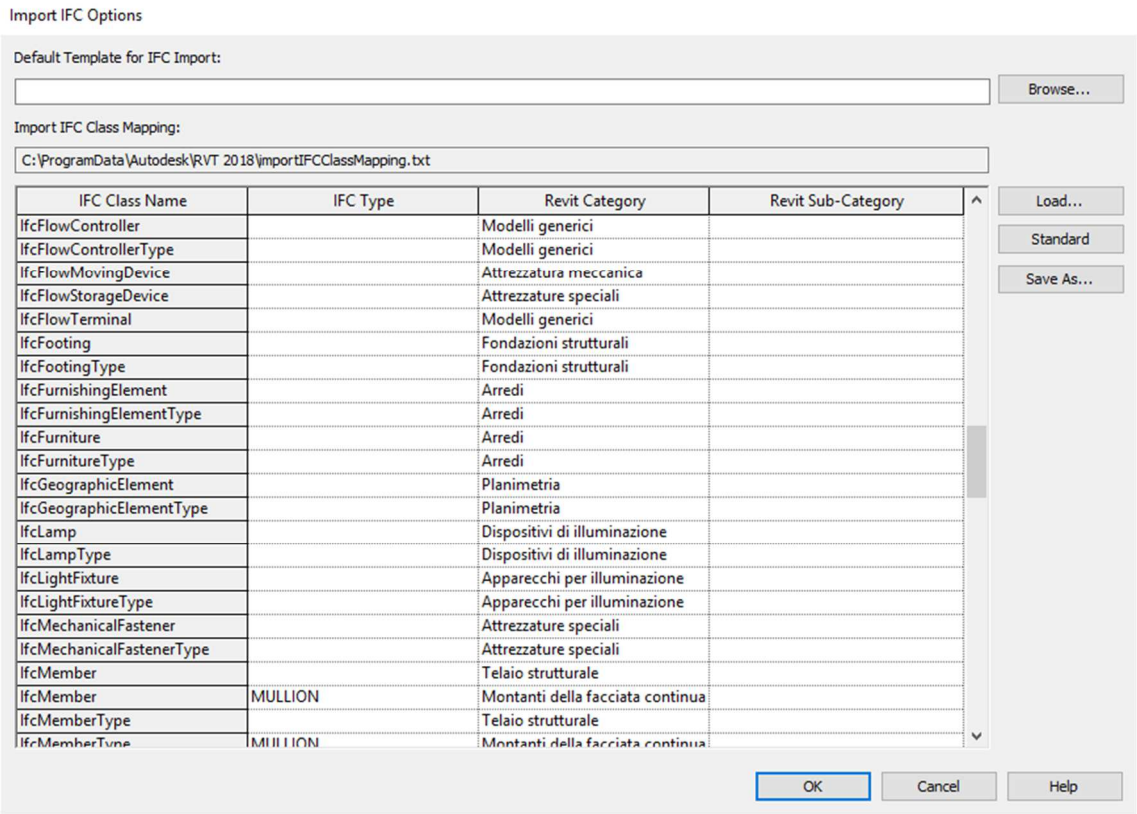


Figura 15: opzioni di esportazione file IFC in Allplan

Per quanto riguarda l'assegnazione degli elementi ad una determinata classe di IFC in Allplan è possibile farlo attraverso un parametro personalizzabile all'interno dell'ambiente di modellazione; questo tema verrà trattato nel paragrafo successivo nell'ambito dei test di esportazione da Allplan nel formato IFC.

L'importazione dei file IFC nel software Revit avviene, contrariamente a quanto succede in Allplan in cui i file vengono effettivamente importati, attraverso l'apertura di un file IFC o tramite il comando di link di un file IFC, in questo caso per rendere il modello contenuto nel file IFC modificabile questo deve essere "esploso" all'interno di Revit. È possibile, all'interno di Revit, impostare in quale categoria destinare le diverse classi di IFC questo però, come visto per l'esportazione, è impostabile solo per le intere categorie e non per i singoli elementi. Di seguito si riporta parte della finestra di personalizzazione della classe di destinazione.



IFC Class Name	IFC Type	Revit Category	Revit Sub-Category
IfcFlowController		Modelli generici	
IfcFlowControllerType		Modelli generici	
IfcFlowMovingDevice		Attrezzatura meccanica	
IfcFlowStorageDevice		Attrezzature speciali	
IfcFlowTerminal		Modelli generici	
IfcFooting		Fondazioni strutturali	
IfcFootingType		Fondazioni strutturali	
IfcFurnishingElement		Arredi	
IfcFurnishingElementType		Arredi	
IfcFurniture		Arredi	
IfcFurnitureType		Arredi	
IfcGeographicElement		Planimetria	
IfcGeographicElementType		Planimetria	
IfcLamp		Dispositivi di illuminazione	
IfcLampType		Dispositivi di illuminazione	
IfcLightFixture		Apparecchi per illuminazione	
IfcLightFixtureType		Apparecchi per illuminazione	
IfcMechanicalFastener		Attrezzature speciali	
IfcMechanicalFastenerType		Attrezzature speciali	
IfcMember		Telaio strutturale	
IfcMember	MULLION	Montanti della facciata continua	
IfcMemberType		Telaio strutturale	
IfcMemberType	MULLION	Montanti della facciata continua	

Figura 16: finestra di personalizzazione importazione IFC in categorie di Revit

4.2.2 Test di esportazione

I primi test eseguiti, analogamente a quanto fatto per la valutazione del trasferimento dei dati da Revit verso Allplan, sono rivolti a valutare le opzioni di trasferimento dei dati tramite file IFC messi a disposizione dalla piattaforma Allplan. Per quanto riguarda il software Allplan è necessario, prima di trattare direttamente i risultati emersi dai test, spiegare per sommi capi come all'interno del software viene gestita la creazione del modello. Ogni spazio di modello è definito *quadro* e all'interno di esso si possono modellare liberamente tutti gli elementi; ogni quadro può essere impostato su diversi livelli di visualizzazione: spento, visibile ma non modificabile, quindi ciò che è contenuto in un quadro con questa impostazione risulta visibile in trasparenza ma non può essere selezionato nessun elemento, visibile e modificabile; infine deve sempre esserci un quadro attivo, ossia il quadro in cui si intende modellare. In generale, il modello di un'opera all'interno di Allplan viene appunto gestito tramite l'uso di differenti quadri i quali vengono abbinati ai diversi livelli della struttura creati. A titolo di esempio si riporta di seguito una possibile gestione dei quadri per il modello di una costruzione di civile abitazione; in particolare si segnala che i livelli di visualizzazione vengono gestiti tramite i quadrati dei colori grigio, giallo, rosso oppure bianco.

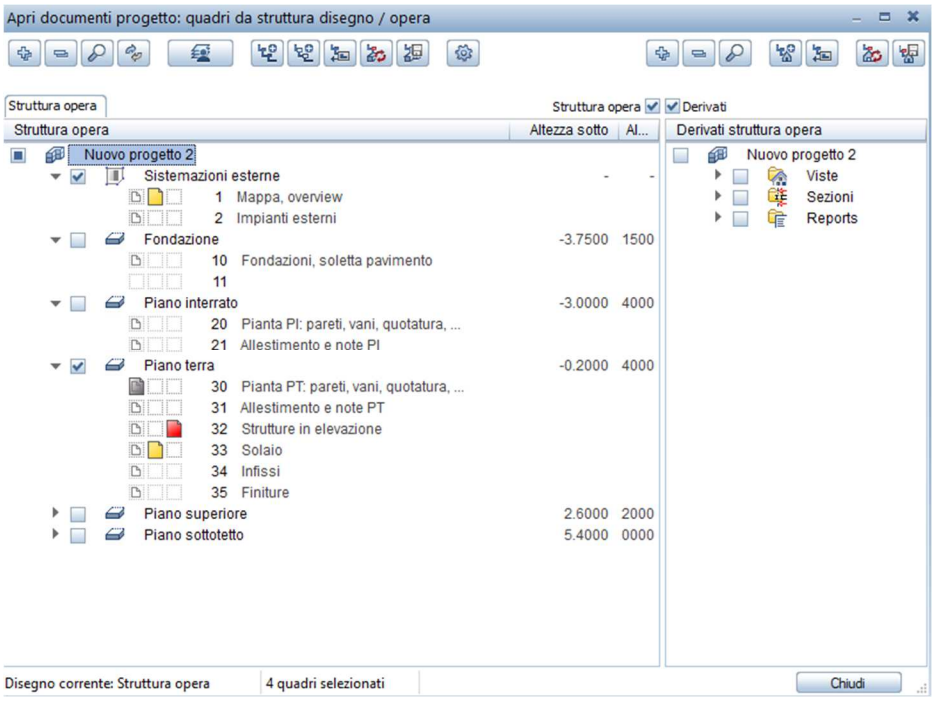


Figura 17: gestione dell'ambiente di modellazione tramite Allplan

Questa premessa circa la gestione dell'ambiente di modellazione nel software Allplan serve per comprendere le modalità di esportazione che il software mette a disposizione. Infatti, la piattaforma permette di selezionare quali quadri esportare nel file IFC di destinazione; è facilmente comprensibile come questa modalità permetta di esportare da un singolo quadro a tutti i quadri utilizzati all'interno del progetto. Facendo quindi riferimento alla *Tabella 2* e in particolare ai primi tre test relativi all'esportazione di file IFC si può dire che tramite la piattaforma Allplan solo l'esportazione attraverso i filtri di visualizzazione non è eseguibile.

Dopo i primi test relativi alla valutazione della piattaforma circa le modalità di esportazione dei dati, si passa ora a valutare nello specifico il trasferimento degli oggetti modellati e delle caratteristiche ad essi associate. Si richiama brevemente quanto già discusso nel paragrafo 4.1.2, ossia in questa fase si vuole valutare che un elemento venga trasferito in una categoria congruente con quella di partenza e che le proprietà ad esso associate vengano trasferite e i valori di esse siano coerenti con quelli di partenza.

I test che verranno discussi nel seguito sono stati condotti su file IFC generati sia nella versione 2x3 Coordination View 2.0 che nella versione 4, nel caso dei file IFC 4 Allplan non fa scegliere secondo quale versione di questo tipo di file eseguire l'esportazione però è comunque la soluzione suggerita dalla software house. Per quanto riguarda le classi IFC dei vari elementi, come si è anticipato in precedenza, Allplan permette di attribuire una specifica classe attraverso l'uso di un attributo assegnato singolarmente a tutti gli elementi presenti

all'interno del modello ed è possibile assegnare diversi valori dell'attributo a elementi appartenenti alla stessa categoria. Per questa facilità di gestione dell'attribuzione degli elementi a una particolare classe IFC, contrariamente a quanto fatto per l'esportazione da Revit, si è scelto di testare i vari elementi esportandoli nelle diverse classi di IFC congrue per i vari tipi di elementi.

Anche su Allplan sono stati creati parametri ad hoc per l'esecuzione dei test, in questo caso gli attributi da assegnare ai vari elementi vengono creati e poi possono essere assegnati a tutti gli elementi di nostro interesse. Come nel software Revit sono stati creati otto attributi in modo che coprissero varie tipologie, in particolare l'attributo *IFC ObjectType* è quello necessario per la classificazione dei diversi elementi nelle classi IFC; nella figura seguente si riportano gli attributi creati in Allplan.

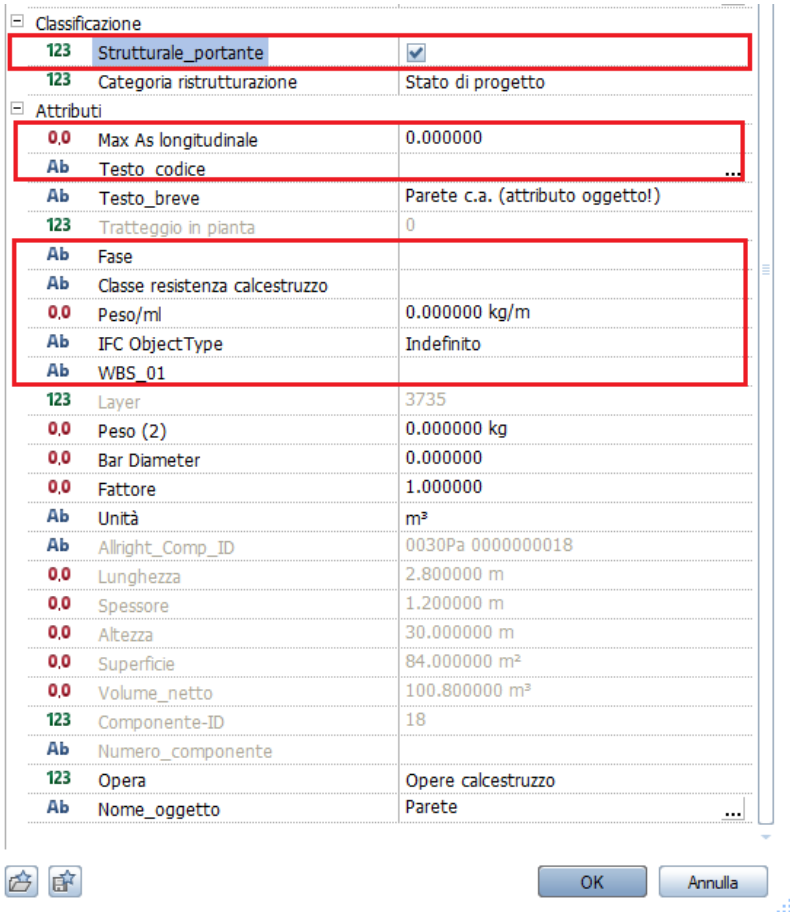


Figura 18: definizione degli attributi in Allplan

Si riporta ora l'elenco degli elementi presi in esame per l'esecuzione dei test e le relative classi di IFC attribuite agli elementi; tra le classi IFC utilizzate comparirà il termine *Indefinito*, questo è quello che Allplan imposta di default tramite il quale definisce il software la classe IFC. Per la scelta degli elementi si è cercato di mantenere quante più analogie possibili con quanto fatto per l'esportazione da Revit.

Tipo elemento	Categoria Allplan	Classe IFC
Diaframmi	Parete dritta	IfcWall – IfcSlab
Pali di fondazione	Pilastro Plinto di fondazione	IfcColumn – IfcPile Indefinito – IfcSlab – IfcFooting
Trave di coronamento	Fondazione continua	IfcFooting – IfcBeam
Solettone di copertura	Solaio	Indefinito – IfcSlab
Tampone di fondo	Platea di fondazione	IfcSlab – IfcFooting
Puntoni provvisori	Trave	IfcBeam
Scala	Scale	IfcStair
Armatura diaframmi	Armatura tondini	IfcReinforcingBar

Tabella 8: elementi modellati in Allplan e classi IFC utilizzate per l'esportazione

Per tutti gli elementi testati, nell'*Allegato C*, viene riportato il confronto grafico tra quanto visualizzato nella piattaforma Allplan e nel software Solibri Model Viewer Free; viene riportata la rappresentazione grafica di solo una versione dei modelli IFC poiché questi risultano uguali. Si fa notare che non sono state riscontrate criticità a livello di restituzione grafica.

Si riportano ora le tabelle relative ai test svolti circa l'esportazione tramite file IFC partendo dalla piattaforma Allplan. In particolare, la prima tabella riporta i risultati di esportazione degli elementi mentre la seconda contiene risultati dei test riferiti alla valutazione di trasferimento delle proprietà e degli attributi associati ai vari elementi.

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Numero elementi originali	Numero elementi riconosciuti		**Valore test**	
				Ifc 2x3	Ifc 4	**Ifc 2x3**	**Ifc 4**
Diaframmi	Parete	Indefinito	1	1	1	**1,00**	**1,00**
		IfcWall	1	1	1		
		IfcSlab	1	0	0		
Pali di fondazione	Pilastro	IfcColumn	1	1	1	**1,00**	**1,00**
		IfcPile	1	1	1		
	Plinto di fondazione	Indefinito	1	1	1	**1,00**	**1,00**
		IfcSlab	1	1	1		
		IfcFooting	1	1	1		
Trave di coronamento	Fondazione continua	IfcFooting	1	1	1	**1,00**	**1,00**
		IfcBeam	1	1	1		
Solettone di copertura	Solaio	Indefinito	1	1	1	**1,00**	**1,00**
		IfcSlab	1	1	1		
Tampone di fondo	Platea di fondazione	IfcSlab	1	1	1	**1,00**	**1,00**
		IfcFooting	1	1	1		
Puntoni provvisori	Travi	IfcBeam	1	1	1	**1,00**	**1,00**
Scale	Scala	IfcStair	1	1	1	**1,00**	**1,00**
Armatura diaframmi	Armatura tondini	IfcReinforcingBar	498	498	498	**1,00**	**1,00**
Media						**1,00**	**1,00**

Tabella 9: test esportazione elementi propri Allplan in IFC

La *Tabella 9* riporta i risultati del test di esportazione dei vari elementi testati. Dal punteggio si può subito dedurre come l'esportazione degli elementi avvenga in maniera ottima e anche l'uso in modo personalizzato delle diverse classi IFC fornisce risultati positivi poiché gli elementi vengono effettivamente esportati secondo le classi assegnate. Si è verificata un'unica eccezione riferita ai diaframmi con la classe *IfcSlab* i quali vengono poi riconosciuti sempre come muri, risulta quindi predominante l'informazione originale di appartenenza di quel dato elemento rispetto all'attributo assegnato.

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Individuazione livelli altimetrici	A	B	C	D	Parametri personalizzati		**Valore test**	
			Ifc 2x3 / Ifc 4	Ifc 2x3 / Ifc 4				Ifc 2x3	Ifc 4	**Ifc 2x3**	**Ifc 4**
Diaframmi	Parete	IfcWall	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,88	**0,60**	**0,58**
Pali lato atrio	Pilastro	IfcColumn / IfcPile	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,00	0,75	0,88	0,55	**0,58**
	Plinto di fondazione	IfcFooting	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,63	**0,60**	0,53
Trave di coronamento	Fondazione continua	IfcFooting	**1,00**	0,67	1,00	0,00	0,00	1,00	0,63	**0,53**	**0,46**
Solettone di copertura	Solaio	IfcSlab	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,00	0,75	0,63	**0,55**	**0,53**
Tampone di fondo	Platea di fondazione	IfcFooting	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,63	**0,60**	**0,53**
Puntoni provvisori	Trave	IfcBeam	**1,00**	1,00	1,00	0,00	0,00	0,75	0,63	**0,55**	**0,53**
Scale	Scale	IfcStair	**1,00**	1,00	--	--	--	0,75	0,63	**0,88**	**0,81**
Armatura diaframmi	Tondini armatura	Indefinito	**--**	0,33	1,00	0,00	--	1,00	0,88	**0,58**	**0,55**
Media			**1,00**							**0,61**	**0,57**
Legenda	A: Caratteristiche geometriche		C: Proprietà fisico/meccaniche								
	B: Classe materiale		D: caratteristiche energetiche								

Tabella 10: test esportazione livelli altimetri e proprietà Allplan in IFC

All'interno della *Tabella 10* si possono trovare i risultati derivanti dall'esecuzione degli ultimi test di esportazione. Tutti e due i test sono stati eseguiti sia sui file IFC nel formato 2x3 sia nel formato 4; le differenze di risultati sono però osservabili solo per quanto riguarda l'esportazione degli attributi personalizzati perché per tutte le altre voci dei test i risultati sono stati gli stessi con entrambi i formati IFC utilizzati. Si vuole anche precisare che per rendere meno dispersivo il test si è voluto far riferimento ad un'unica classe IFC per ogni elemento e si è usata quella di pertinenza con la categoria nativa dell'elemento. L'unica eccezione è stata fatta per i pali di fondazione i quali per il test precedente erano stati modellati tramite due categorie differenti e quindi anche per l'esportazione delle proprietà si è voluto mantenere questo parallelismo; anche perché il palo di fondazione è un elemento che in quanto tale non è presente all'interno della piattaforma Allplan quindi tutte e due le soluzioni utilizzate potrebbero essere plausibili nell'ambito dell'uso della piattaforma per un progetto reale. Per la determinazione del risultato finale si è considerato solo il valore più alto dei due test fatti sul palo e nella tabella precedente si riporta in colore grigio il valore non considerato. Per quanto riguarda l'esportazione dei livelli questa non ha presentato nessun tipo di criticità e ha avuto esito positivo per tutti gli elementi testati. Parlando invece dell'esportazione delle proprietà collegate ai vari elementi non si può sicuramente dire la stessa cosa; sono infatti emerse due differenti criticità che hanno portato ad un valore tendenzialmente basso del test. La prima problematica emersa è relativa all'esportazione delle proprietà fisico/meccaniche ed energetiche relative ad un elemento e più in particolare ad un materiale. Questo caso, purtroppo, si colloca un po' a cavallo tra una problematica di esportazione e una

problematica da imputare al *domain* della modellazione poiché queste proprietà non possono essere esportate in quanto Allplan non prevede una libreria di materiali ai quali sono associate le corrispondenti proprietà. La scelta di trattare questo problema in questo domain è stata unicamente legata alla volontà di mantenere una linea quanto più possibile comune tra i test fatti da Revit verso Allplan e quelli fatti nel senso opposto. La seconda problematica è invece relativa all'esportazione degli attributi creati dall'utente e assegnati ai diversi elementi; questa è stata riscontrata in modo diverso in funzione del formato dei file IFC. Per quanto concerne il formato 2x3 nella maggior parte dei casi gli attributi sono stati tutti correttamente trasferiti, in altri casi invece sono stati trasferiti sei attributi a fronte degli otto impostati e in questi casi quelli non trasferiti sono stati: *Testo codice* e *Struttura_portante*. Nel caso invece del formato IFC 4 in tutti i casi l'attributo relativo alla classe di IFC non è mai visualizzabile. Per alcuni degli elementi testati questo risulta essere l'unico parametro mancante; per la maggioranza degli elementi testati invece gli attributi visualizzati sono stati cinque rispetto agli otto impostati. Gli attributi non riscontrati dopo l'esportazione sono: *IFC ObjectType*, *Struttura_portante* e *Testo codice*.

Si vuole sottolineare che l'esito del test di esportazione dei parametri sicuramente non può essere considerato soddisfacente bisogna però tenere ben presente che questo è influenzato in modo significativo dalla mancanza di una libreria di materiali predefinita. Questo problema è da una parte ovviabile tramite la creazione di attributi riferiti alle grandezze d'interesse però implicherebbe la possibile perdita di dati per problemi legati all'esportazione dei parametri che si è visto essere presenti.

4.2.3 Test di importazione

Si vuole trattare ora l'ultima categoria di test di interoperabilità OPEN BIM effettuati, ossia l'importazione dei file IFC, generati nei due formati usati anche nei test precedenti, nella piattaforma Revit. Il primo test è relativo alla possibilità di importare più file IFC all'interno di uno stesso modello. Questa operazione in Revit non è possibile poiché, come anticipato in precedenza, non è disponibile un comando di importazione dei file IFC ma per inserirlo in un modello Revit è necessario aprirlo e questa operazione porta alla creazione di un nuovo modello Revit ogni volta che si apre un file IFC. Il primo test eseguito porta ad un esito negativo; in questa fase non è stato analizzato il comando di link dei file IFC messo a disposizione da Revit.

Successivamente sono stati condotti i test operativi sul trasferimento dei dati, siano essi quelli grafici piuttosto che quelli descrittivi e informativi. Come è stato fatto in tutta la trattazione dei test di interoperabilità lo stesso elemento è sempre stato esportato sia nel

formato IFC 2x3 che nel formato IFC 4 e i risultati sono quindi stati determinati parallelamente per i due diversi formati utilizzati.

Per tutti gli elementi testati, analogamente a quanto fatto per il paragrafo precedente, nell'*Allegato D* si può trovare il confronto grafico tra quanto visualizzato nel software Solibri Model Viewer Free e il risultato dell'importazione in Revit. Anche in questo caso si riporta solo la restituzione di una delle due versioni dei modelli testate poiché il risultato è il medesimo per tutti gli elementi. La figura seguente rappresenta il confronto della visualizzazione dell'elemento di cui è stata modellata l'armatura in Allplan poiché è l'unico caso in cui si segnala una criticità evidente già a livello grafico. In particolare, l'armatura che viene esportata correttamente da Allplan, come si può apprezzare tramite la visualizzazione in Solibri, diventano in Revit elementi non più identificabili.

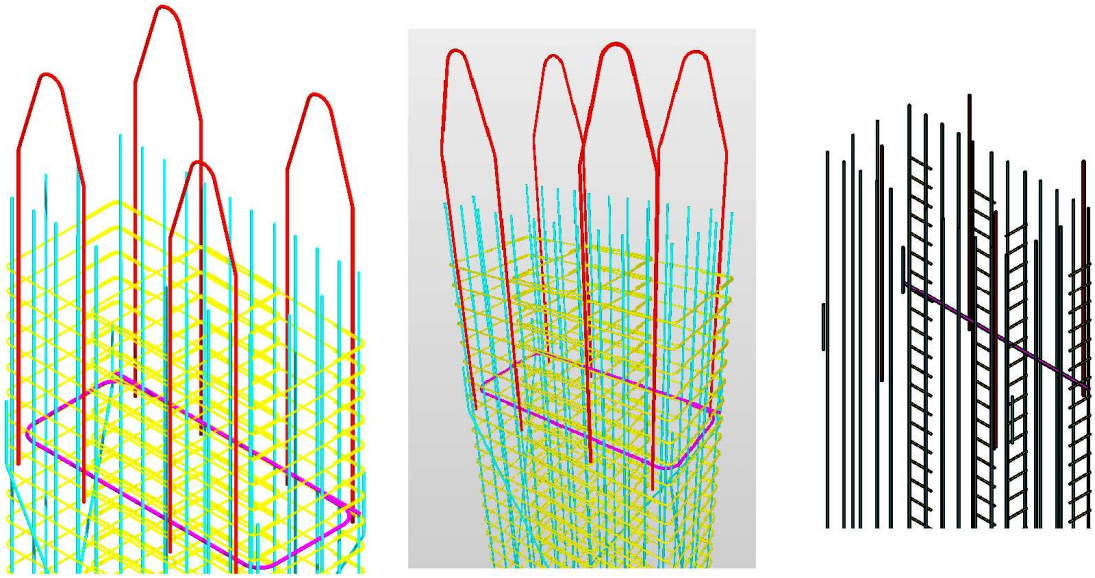


Figura 19: confronto trasferimento armatura tramite formato IFC
Allplan 2019 – Solibri Model Viewer Free – Revit 2018

Si vuole ora passare ad analizzare i risultati ottenuti tramite l'esecuzione dei test per la valutazione dell'importazione dei file IFC in Revit. Analogamente a quanto riportato per i risultati dei test di importazione in Allplan verrà riscontrata in alcune caselle di valutazione la dicitura *Non richiesto* la quale fa riferimento a voci dei test che nella fase di esportazione hanno conseguito un risultato negativo e quindi è risultato impossibile eseguire il test lato importazione. Nel seguito vengono riportate le due tabelle riassuntive dei test eseguiti.

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Categoria destinazione	Numero elementi riconosciuti		Valore test	
				Ifc 2x3	Ifc 4	**Ifc 2x3**	**Ifc 4**
Diaframmi	Parete	Indefinito	Muri	1,00	1,00	**1,00**	**1,00**
		IfcWall	Muri	1,00	1,00		
		IfcSlab	Muri	Non richiesto	Non richiesto		
Pali di fondazione	Pilastro	IfcColumn	Colonna strutturale	1,00	0,00	**1,00**	**0,00**
		IfcPile	Modello generico	0,00	0,00		
	Plinto di fondazione	Indefinito	Modello generico	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
		IfcSlab	Pavimento	0,00	0,00		
		IfcFooting	Modello generico	0,00	0,00		
Trave di coronamento	Fondazione continua	IfcFooting	Modello generico	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
		IfcBeam	Telaio strutturale	0,00	0,00		
Solettone di copertura	Solaio	Indefinito	Pavimento	1,00	1,00	**1,00**	**1,00**
		IfcSlab	Pavimento / Modello generico	1,00	0,00		
Tampone di fondo	Platea di fondazione	IfcSlab	Pavimento	1,00	0,00	**1,00**	**0,00**
		IfcFooting	Modello generico	0,00	0,00		
Puntoni provvisori	Travi	IfcBeam	Telaio strutturale	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
Scale	Scala	IfcStair	Scala	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
Armatura diaframmi	Armatura tondini	IfcReinforcingBar	Modello generico / Non presente	0,00	0,00	**0,00**	**0,00**
Media						**0,50**	**0,25**

Tabella 11: test importazione elementi IFC – Revit

Tipo di elemento	Categoria nativa	Classe di Ifc	Categoria destinazione	Individuazione livelli altimetrici	A	B	C	D	Parametri personalizzati		Valore test	
				Ifc 2x3 / Ifc 4	Ifc 2x3 / Ifc 4				Ifc 2x3	Ifc 4	**Ifc 2x3**	**Ifc 4**
Diaframmi	Parete	IfcWall	Muri	**1,00**	1,00	1,00	Non richiesto	Non richiesto	1,00	1,00	**1,00**	**1,00**
Pali lato atrio	Pilastro	IfcColumn / IfcPile	Colonna strutturale / Modello generico	**1,00**	0,33	0,00	Non richiesto	Non richiesto	0,00	1,00	**0,11**	**0,44**
	Plinto di fondazione	IfcFooting	Modello generico	**0,00**	0,33	0,00	Non richiesto	Non richiesto	1,00	1,00	**0,44**	**0,44**
Trave di coronamento	Fondazione continua	IfcFooting	Modello generico	**0,00**	0,33	0,00	Non richiesto	Non richiesto	1,00	1,00	**0,44**	**0,44**
Solettone di copertura	Solaio	IfcSlab	Pavimento / Modello generico	**1,00**	1,00	0,00	Non richiesto	Non richiesto	0,00	1,00	**0,33**	**0,67**
Tampone di fondo	Platea di fondazione	IfcFooting	Modello generico	**0,00**	0,50	1,00	Non richiesto	Non richiesto	1,00	1,00	**0,83**	**0,83**
Puntoni provvisori	Trave	IfcBeam	Telaio strutturale	**0,00**	0,33	0,00	Non richiesto	Non richiesto	0,00	0,00	**0,11**	**0,11**
Scale	Scale	IfcStair	Scala	**0,50**	1,00	--	--	--	0,00	0,00	**0,50**	**0,50**
Armatura diaframmi	Tondini armatura	Indefinito	Modello generico / Non presente	**--**	0,00	1,00	Non richiesto	--	1,00	0,00	**0,67**	**0,33**
Media				**0,44**							**0,54**	**0,54**

Legenda — A: Caratteristiche geometriche; B: Classe materiale; C: Proprietà fisico/meccaniche; D: caratteristiche energetiche

Tabella 12: test importazione livelli altimetrici e attributi IFC – Revit

All'interno della *Tabella 11* si possono osservare i risultati relativi al trasferimento degli oggetti 3D, in particolare si è valutata la corretta attribuzione alla categoria di destinazione

coerente e soprattutto si è voluto anche valutare l'editabilità degli elementi trasferiti. Questo test ha fatto emergere molte criticità e si può subito notare come il valore raggiunto complessivamente sia basso, soprattutto per quanto riguarda il formato IFC 4. La prima criticità che si vuole evidenziare è quella relativa alla classe *IfcFooting*, tutti gli elementi appartenenti a questa classe vengono attribuiti alla categoria di Revit *Modelli generici* pur essendo presente nella finestra di mappatura delle impostazioni di apertura dei file IFC l'associazione di questa classe alla categoria fondazioni strutturali. In generale per tutti gli elementi che hanno conseguito un risultato negativo nel test la problematica comune è l'impossibilità di modificare la geometria elementare degli elementi una volta importati, per esempio per i pali di fondazione è stato impossibile cambiare il raggio dell'elemento importato se non per il pilastro esportato nella classe *IfcColumn*. Per quanto riguarda invece le scale queste vengono visualizzate come blocco unico e si è voluto provare ad "esplodere" il blocco in modo da poter modificare la scala ma questo non è stato possibile poiché a seguito dell'esecuzione del comando "esplodi" l'elemento scala scompariva dal modello. L'ultima criticità riscontrata è relativa alla versione 4 del file IFC e in particolare è relativa al trasferimento delle armature. In questo caso si è potuto osservare che l'apertura del file IFC 4 in Revit portava a perdere le informazioni relative alla presenza di armatura; in altre parole l'armatura che era stata esportata correttamente all'interno di Revit non compare in nessun modo a differenza della versione IFC 2x3 che, a seguito dell'apertura in Revit, mostra gli elementi di rinforzo del calcestruzzo completamente deformati ma almeno presenti.

Successivamente, con la *Tabella 12*, si riportano i risultati conseguiti dai test relativi al trasferimento in importazione delle caratteristiche associate agli elementi modellati. Anche in questo caso i risultati ottenuti sono molto al di sotto dei valori ragionevolmente attendibili da questo test. La prima criticità evidente riscontrata è la perdita dei riferimenti di alcuni elementi con i livelli altimetrici originali. Questo non vuol dire che vengono collocati spazialmente in modo errato, però non vengono più riscontrate le informazioni relative ai livelli altimetrici di riferimento per i vari elementi presi in considerazione. La seconda criticità è riferita alla completa perdita di tutti gli attributi assegnati nel modello iniziale, questo non è riferito a tutti gli elementi ma comunque ad una quantità rilevante di essi. In ultimo, per ordine ma sicuramente non per rilevanza, si è riscontrata la perdita in alcuni casi di parte dei dati geometrici; relativamente a questo argomento si segnala un valore particolare, evidenziato in blu, relativo ai dati geometrici della scala. In questo caso il valore unitario, quindi positivo, è stato conseguito dal file nel formato IFC 4, mentre le stesse informazioni attraverso la versione 2x3 venivano completamente perse.

4.3 Interoperabilità OPEN BIM: criticità e vantaggi

Dopo avere eseguito tutti i test di interoperabilità previsti dal metodo e aver riportato i risultati conseguiti nei singoli test si vuole ora ricapitolare quanto emerso e confrontare in modo diretto le due piattaforme testate.

Prima però si ritiene importante segnalare una criticità emersa a livello generale nel trasferimento dei file IFC dalla piattaforma Allplan a Revit. La prima prova di trasferimento dati, in tutti e due i casi, è sempre stata eseguita sul modello completo per vedere fin da subito se almeno in linea generale il modello è congruente con quello originale o meno. Questa operazione nel caso di importazione in Revit è stata fondamentale perché ha messo in evidenza una criticità importante, ossia venivano importati tutti gli elementi presenti nel modello originale ma alcuni di questi subivano notevoli variazioni delle dimensioni e dei livelli altimetrici di riferimento. Questo problema è stato riscontrato solo tramite l'uso di Revit con impostata la lingua in italiano mentre, con la lingua inglese questo problema non si è presentato e l'importazione avveniva a livello generale in modo corretto. Questo test generale non è stato fatto provando le altre lingue messe a disposizione da Revit poiché non era un test rilevante all'interno della metodologia ma solo una verifica iniziale. Tutti i test riportati in precedenza e i relativi valori sono stati determinati tramite l'uso di Revit 2018 in lingua inglese. Per comprendere l'entità del problema sopra descritto si riportano le immagini di confronto tra il modello originale in Allplan, il modello IFC visualizzato tramite Solibri Model Viewer Free e quanto visualizzato in Revit sia in lingua italiana che in inglese.

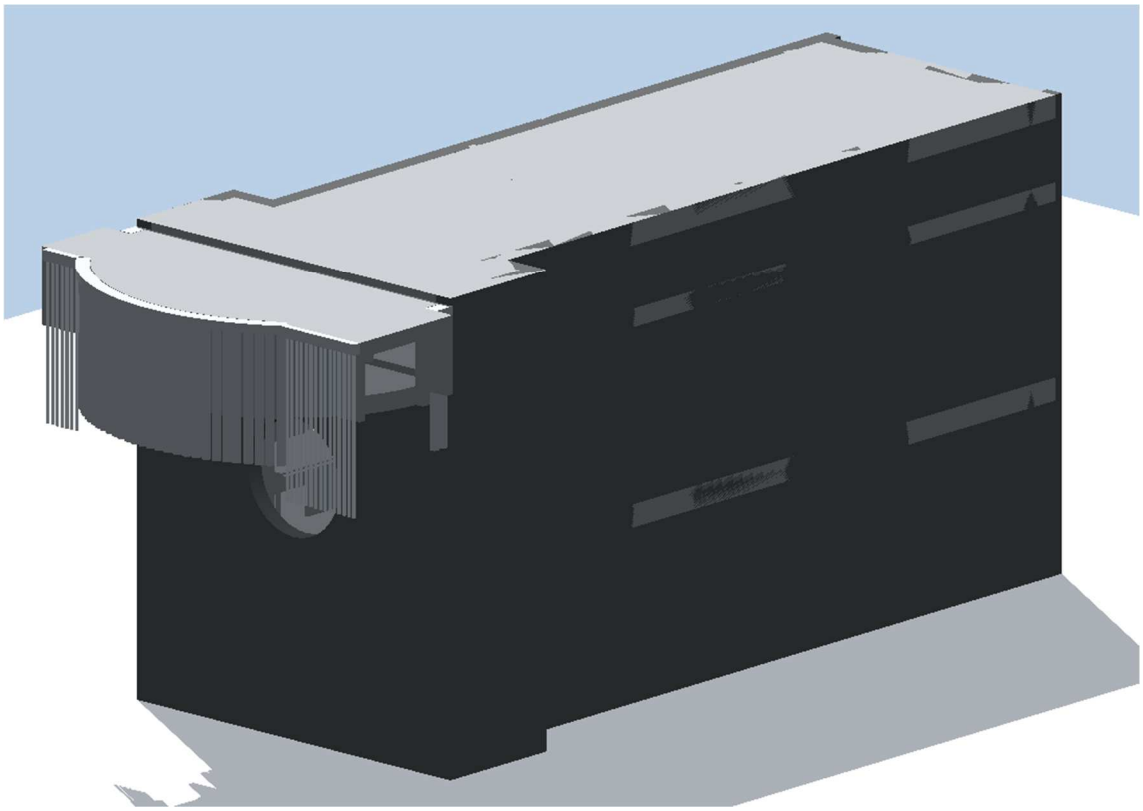


Figura 20: modello completo Allplan

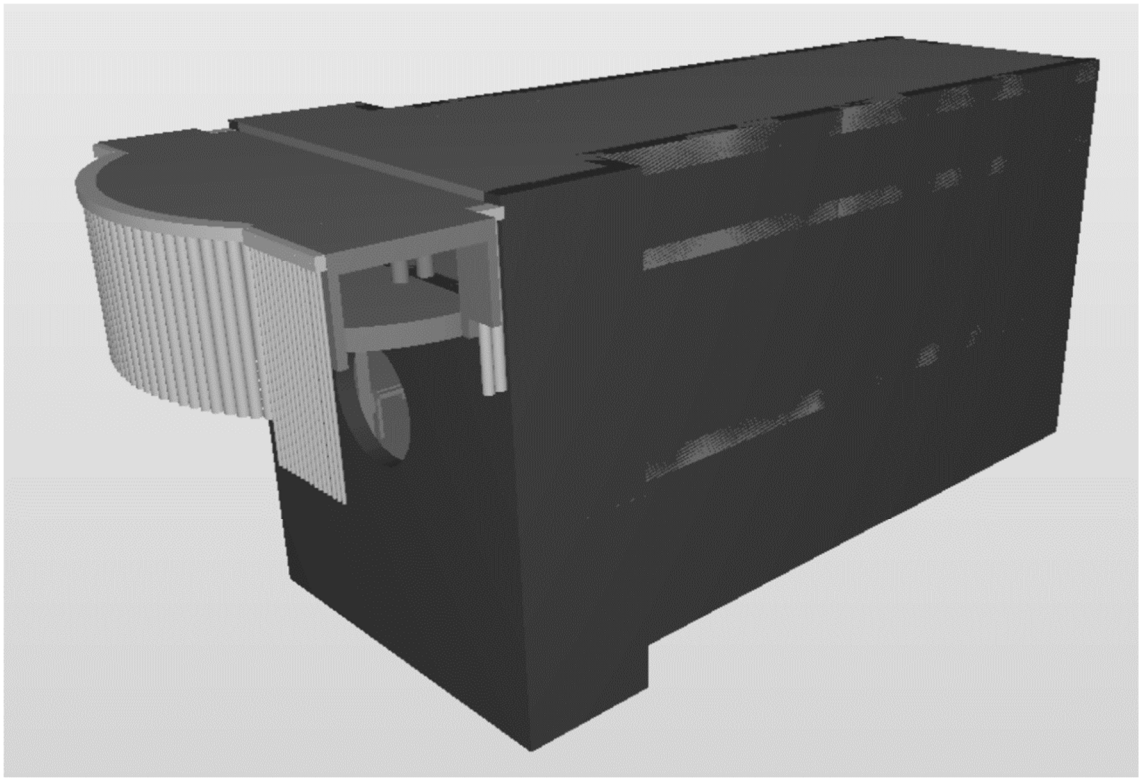


Figura 21: modello completo Solibri Model Viewer Free

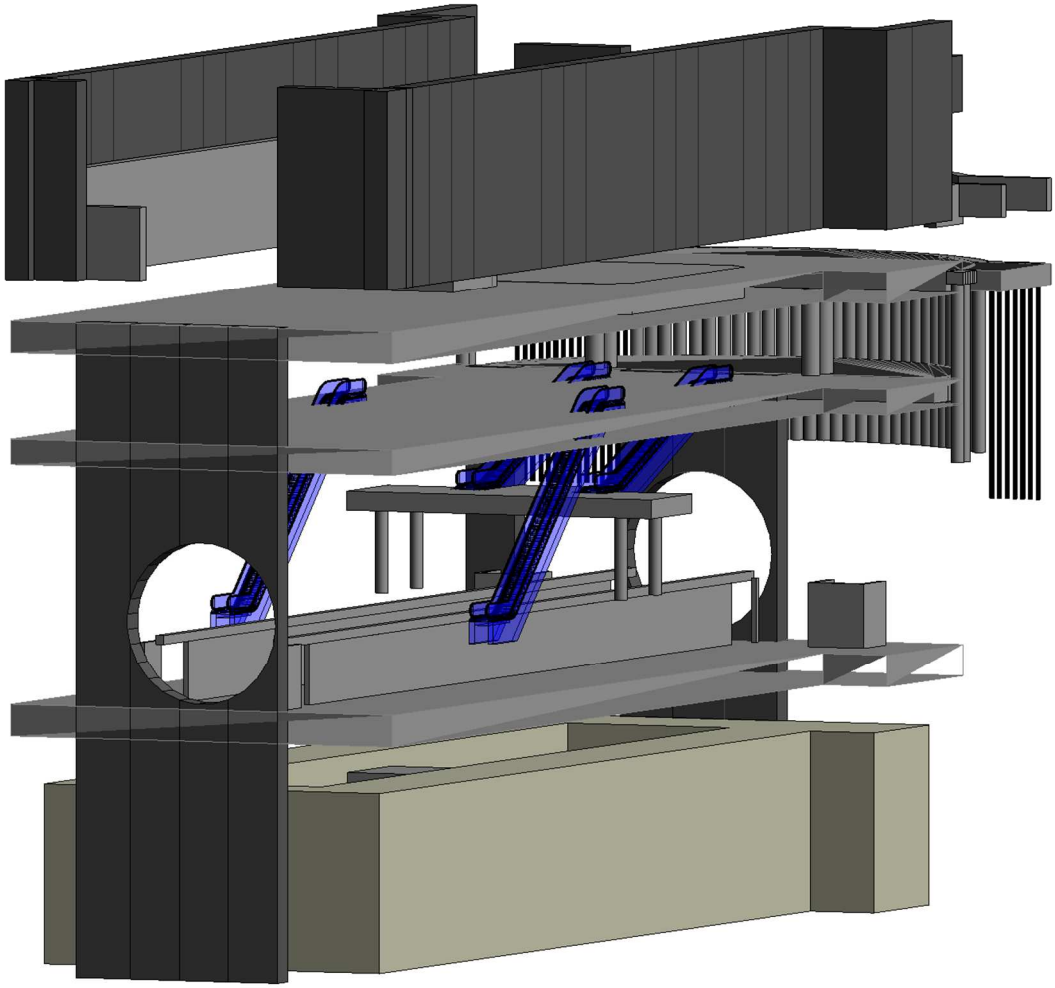


Figura 22: modello completo Revit lingua italiana

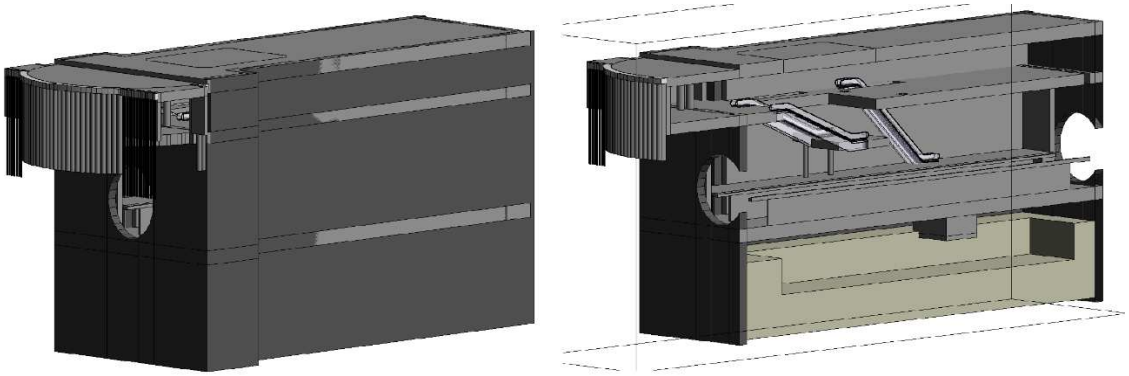


Figura 23: modello completo Revit lingua inglese, a destra una vista in sezione

Si vuole ora riassumere quanto determinato tramite i test di interoperabilità eseguiti; viene di seguito riportata una tabella riepilogativa del domain dell'interoperabilità OPEN BIM.

	KPI	Test	Coeff. Importanza	Valore test			
				Revit 2018		Allplan 2019	
				IFC 2x3	IFC 4	IFC 2x3	IFC 4
2. INTEROPERABILITÀ OPEN BIM	2.1. Esportazione IFC	2.1.1. Esportazione di un modello globale contenente tutti gli elementi, anche quelli temporanei		0		1	
		2.1.2. Esportazione in base alla "strutturazione" del modello		1		1	
		2.1.3. Esportazione attraverso filtri di visualizzazione		1		0	
		2.1.4. Esportazione degli elementi propri della piattaforma testata		0,900	0,800	1,00	1,00
		2.1.5. Esportazione livelli altimetrici		1,00		1,00	
		2.1.6. Esportazione attributi		0,73		0,61	0,57
		Media		**77,2%**	**75,5%**	**76,9%**	**76,1%**
	2.2. Importazione IFC	2.2.1. Importazione diretta di più file IFC		0		1	
		2.2.2. Importazione di elementi appartenenti alle categorie corrispondenti ed editabili		0,50	0,25	0,56	0,75
		2.2.3. Importazione livelli altimetrici		0,44		1,00	
		2.2.4. Importazione attributi		0,54	0,54	0,88	0,91
		Media		**37,0%**	**30,7%**	**85,8%**	**91,5%**
	Risultato complessivo			**57,1%**	**53,1%**	**81,3%**	**83,8%**

Tabella 13: tabella riepilogativa del domain dell'interoperabilità OPEN BIM

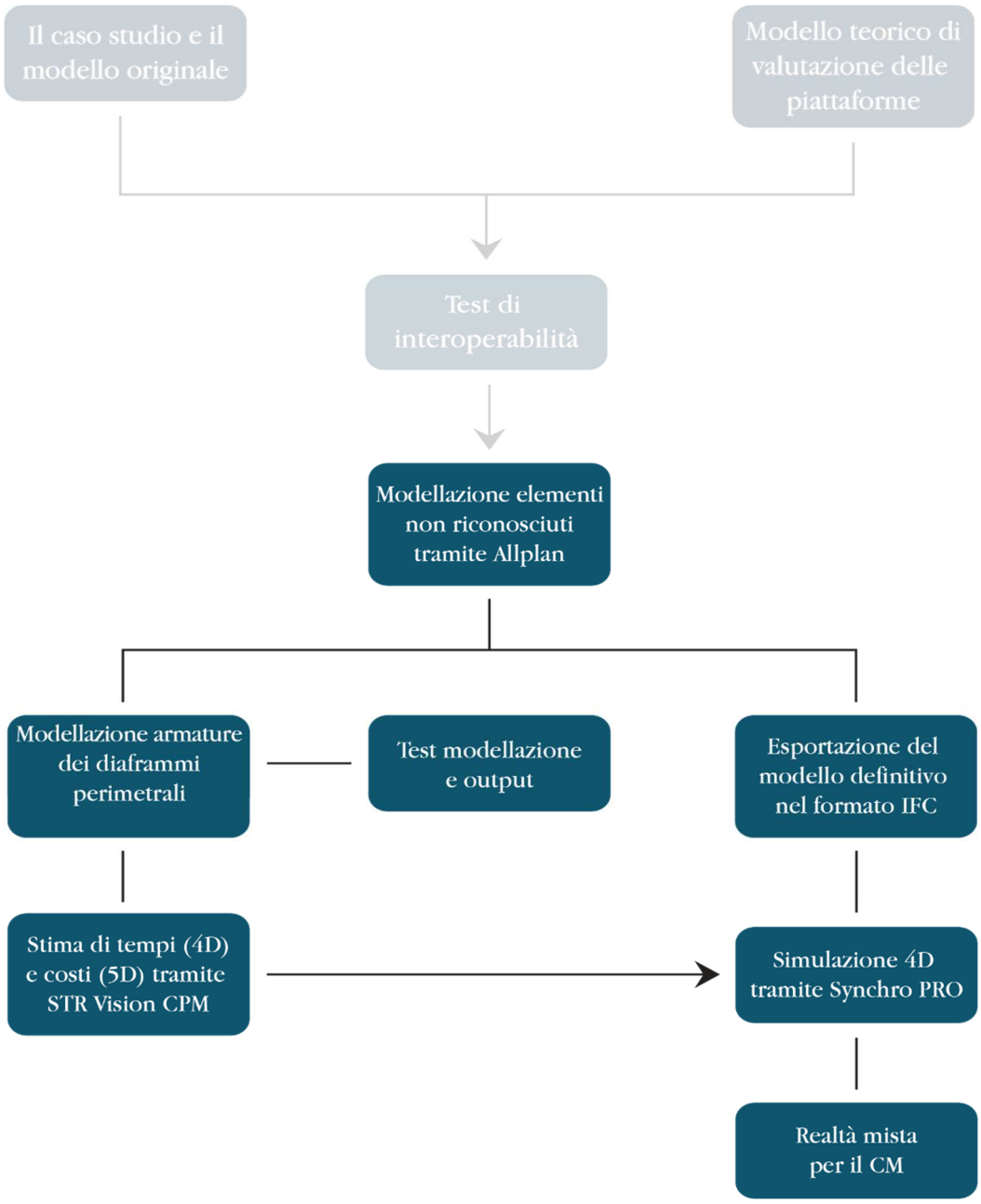
Alla luce dei risultati ottenuti dai test si possono sicuramente fare diverse considerazioni; la prima è relativa al KPI dell'esportazione, in questo caso i risultati ottenuti sono molto simili sia relativamente ai due software utilizzati sia alle due versioni di file IFC testate. Il risultato di questo KPI è da considerarsi buono ma sicuramente con l'auspicio che possa migliorare poiché, per tutti e due i software, l'aspetto critico è stato quello legato al trasferimento dei parametri e degli attributi associati ai vari elementi.

Il secondo KPI invece, contrariamente a quanto emerso per l'esportazione, ha fornito risultati sostanzialmente differenti per i due software utilizzati; in particolare l'uso di Revit ha portato a dei risultati molto bassi con tutti e due i formati IFC utilizzati. In questo caso la criticità più evidente è sicuramente stata relativa all'importazione degli elementi geometrici i quali spesso sono risultati non modificabili una volta importati. Anche il trasferimento dei dati descrittivi non ha comunque fornito risultati che possano considerarsi sufficienti. Per quanto riguarda la piattaforma Allplan il risultato conseguito è invece molto buono anche se il test con il punteggio più basso è anche in questo caso quello relativo all'importazione degli elementi modellati.

Infine, si vuole fare un confronto generale del domain analizzato del quale si può sicuramente dire che il software Allplan 2019 ha fornito risultati migliori e in assoluto molto buoni rispetto a Revit 2018 il quale globalmente è considerabile appena sufficiente.

Capitolo V

IL BIM PER IL CONSTRUCTION MANAGEMENT TRAMITE IL FORMATO IFC



5.1 Le dimensioni del BIM

La metodologia BIM vuole essere rivolta non solo alla progettazione, campo a cui è concettualmente facile associare la creazione di un modello parametrico 3D, ma anche ad ambiti tradizionalmente visti ed affrontati in modo indipendente rispetto alla progettazione dell'opera. Ognuno di questi campi nella metodologia BIM viene identificato da una dimensione e queste dimensioni possono anche essere viste come le fasi di vita che un'opera attraversa, partendo dalla terza dimensione, ossia quella del modello 3D, fino alla gestione dell'edificio che rappresenta la settima dimensione del BIM, ossia il *Facility Management*. Questo ambito inizia quando finisce la costruzione dell'opera e si basa sul modello *As Built*, ossia come l'opera è stata effettivamente realizzata e questo, in una visione ideale del processo di progettazione e gestione dei lavori, dovrebbe coincidere con il modello originale dell'opera al quale sono state apportate tutte le varianti realizzate in corso d'opera. [8S]

Figura 24: dimensioni del BIM
fonte: http://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-7d-bim-explained/

Le tre dimensioni intermedie del BIM interessano campi molto importanti nella vita di un'opera; in particolare la quarta e la quinta dimensione, relative rispettivamente ai tempi e ai costi di realizzazione, ricoprono un ruolo fondamentale durante la costruzione dell'opera poiché sono spesso causa di ritardi e inefficienze. Il BIM ha la potenzialità e l'obiettivo di

rendere la gestione di questi aspetti direttamente collegati al modello dell'opera rendendo così l'evoluzione del modello dinamica nel tempo e capace di assorbire le variazioni che esso subisce in fase di realizzazione. Questi due temi sono il cuore del CM e sono gli aspetti che verranno approfonditi nel seguito del capitolo. L'ultima dimensione mancante, la sesta, è relativa alla sostenibilità ambientale, economica e sociale dell'opera.

5.2 Modellazione per il Construction Management

5.2.1 Rielaborazione del modello originale

Come già detto in precedenza, il presente elaborato di tesi è stato sviluppato a partire da un modello precedentemente realizzato nello sviluppo di un'altra tesi. Nell'ottica di collaborazione tra le diverse figure coinvolte nella progettazione di un'opera che si trova alla base della metodologia BIM si è voluto, quando questo è stato possibile, utilizzare gli elementi originali importati in Allplan tramite il formato IFC. Questo non è però stato possibile per tutti gli elementi per due differenti motivi; il primo è legato ad alcuni problemi legati al trasferimento tramite il formato IFC come spiegato nel capitolo precedente, il secondo invece per motivi legati alle esigenze che il modello per il CM doveva avere, non prese in considerazione però nel modello originale.

In questa parte della tesi non ci si è occupati della realizzazione di tutta la stazione Italia 61 ma sono state considerate solo alcune delle fasi di costruzione della struttura; in particolare si è considerato dall'inizio dei lavori, quindi dopo l'avvenuto spostamento di tutti i sottoservizi interferenti con la costruzione dell'opera, fino alla fase di realizzazione della soletta più bassa della struttura. Di seguito viene riportato l'elenco delle fasi considerate e le lavorazioni corrispondenti.

- Fase 1.2: esecuzione di un prescavo fino a quota +230,80 m s.l.m.
- Fase 1.3: esecuzione dei pannelli armati perimetrali (diaframmi).
- Fase 1.5: esecuzione dei pali in c.a. ∅600 mm lato atrio.
- Fase 2: scavo di sbancamento approfondito 10 cm sotto la quota di imposta del solettone di copertura (quota +228,70 m s.l.m.).
- Fase 3: esecuzione del tampone di fondo di sezione ad U con jet-groutin bifluido.
- Fase 5: esecuzione dei solettoni di copertura del corpo centrale e dell'atrio.
- Fase 7.1: scavo di ribassamento all'interno del corpo centrale approfondito di 10 cm rispetto alla quota d'intradosso del solettone intermedio (quota +223,40 m s.l.m.).
- Fase 7.2: demolizione dei pannelli di paratia lato atrio.

- Fase 7.3 scavo di ribassamento lato atrio approfondito di 10 cm rispetto alla quota d'imposta della soletta di fondo dell'atrio (quota +223,60 m s.l.m.).
- Fase 8: esecuzione dei solettoni intermedi.
- Fase 9: scavo fino alla quota d'imposta del solettone di fondo approfondito di circa 10 cm (quota +210,50 m s.l.m.).
- Fase 12: esecuzione del solettone di fondo e relativa vasca di aggottamento.

Le fasi considerate sono state gestite all'interno della piattaforma Allplan tramite la creazione di un livello di struttura per ogni fase e un ulteriore livello nel caso delle sottofasi.

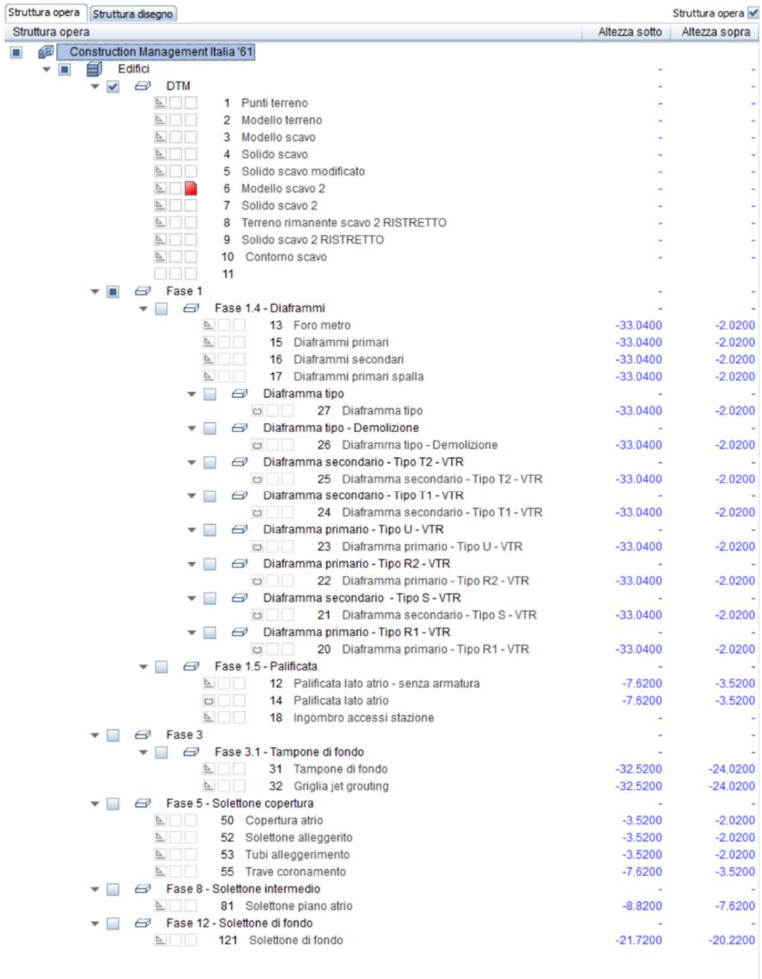


Figura 25:struttura di gestione del modello

La scelta di studiare queste fasi di lavorazione è dovuta a diversi aspetti; il primo è sicuramente la varietà di lavorazioni e macchine interessate in queste fasi. Il secondo aspetto è legato ad una sostanziale divisione delle operazioni di costruzione della stazione in una prima parte che si conclude alla fase 12 dove, fino a questa fase, la costruzione dell'opera procede dall'alto verso il basso. Alla fine della fase 12 lo scheletro della stazione è finito e la costruzione procede con le opere interne e per queste si procede dal basso verso l'alto fino

ad arrivare alla chiusura del foro presente nel solettone di copertura. Per questi motivi si è deciso di concentrare l'attenzione alle fasi sopra riportate.

Per poter gestire in modo corretto l'evoluzione costruttiva dei diaframmi perimetrali questi elementi sono stati rimodellati nel software Allplan e divisi, come da progetto, in elementi primari e secondari. Questi, all'interno della piattaforma, sono stati modellati su due quadri separati in modo da poter considerare in modo esatto le sovrapposizioni presenti tra i vari elementi, cosa che non è facile identificare se si modella tutto all'interno dello stesso modello poiché Allplan unisce i vari elementi singoli in un muro unico. La gestione su quadri differenti è stata scelta anche per comodità di esportazione in formato IFC per le fasi successive.

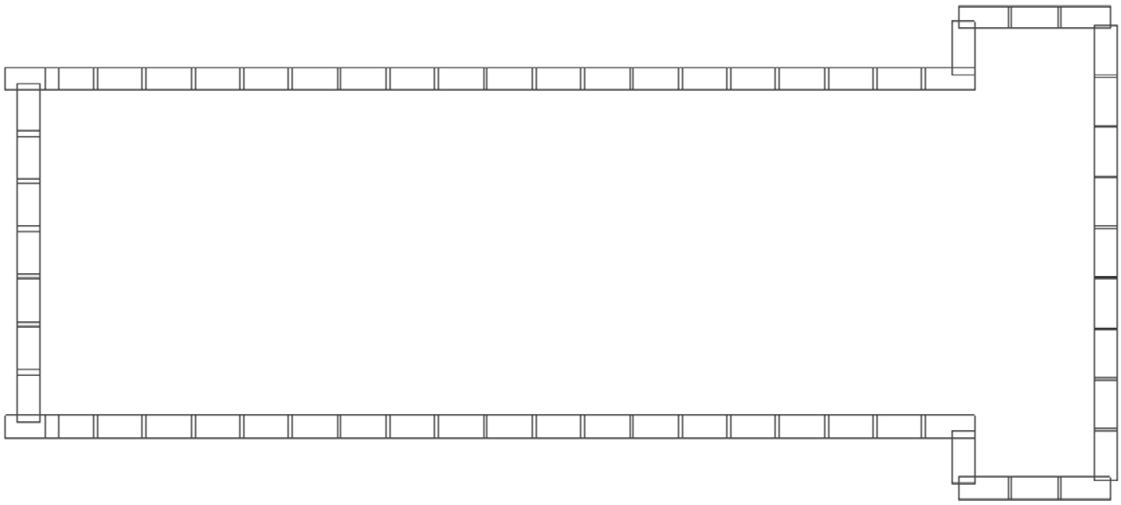


Figura 26: schema diaframmi perimetrali

Un altro elemento che è stato necessario rimodellare è stato il solettone di copertura, questo perché originariamente era stato modellato come un solaio pieno mentre il progetto prevede la realizzazione di un solaio alleggerito tramite l'inserimento all'interno del getto di tubi di acciaio ∅900 mm spessore 2 mm "a perdere" i quali hanno le estremità tappate e all'interno presentano irrigidimenti per non collassare sotto il peso del calcestruzzo nelle fasi di getto. La modellazione di questo elemento è stata necessaria per poter ricavare, nello sviluppo della tesi, le quantità giuste di calcestruzzo e acciaio, quest'ultimo non presente nel modello originale.

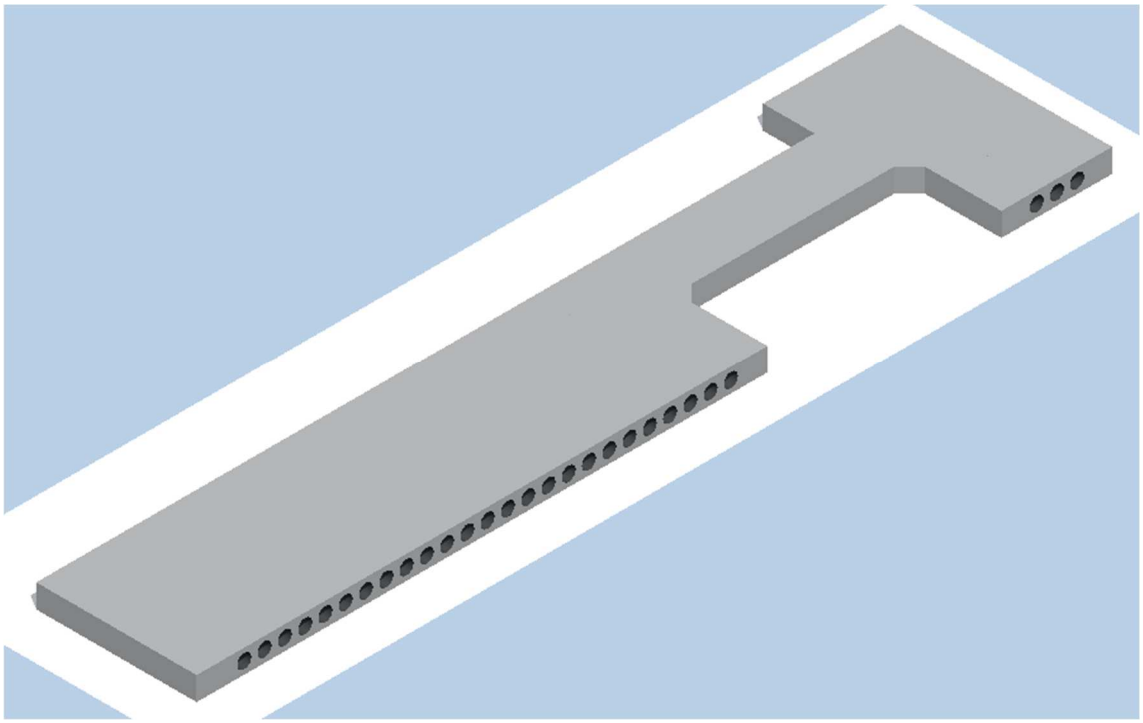


Figura 27: sezione assonometrica solettone di copertura

L'ultimo elemento rimodellato è stata la trave di coronamento dei pali di consolidamento presenti sul perimetro dell'atrio. Questa operazione è stata necessaria poiché a seguito dell'importazione del modello tramite il formato IFC i plinti di testa dei singoli pali risultavano tutti indipendenti e questo avrebbe reso sicuramente più complicato l'uso di tutti questi elementi singoli; inoltre, le quantità derivanti non sarebbero state corrette poiché i plinti presentavano notevoli sovrapposizioni tra loro. In ultimo volendo impostare il modello in modo analogo a come l'opera viene poi costruita la soluzione della trave di coronamento come elemento unico si addice sicuramente di più a rappresentare le fasi di costruzione.

5.2.2 Codifica degli elementi

Una volta terminata la riorganizzazione e la correzione del modello è stato definito un sistema di codifica di tutti gli elementi presenti nel modello. Questo aspetto è molto importante nella fase di modellazione poiché una buona organizzazione della codifica degli elementi permette di automatizzare e rendere molto rapide le operazioni da eseguire nelle fasi di stima dei tempi e costi.

Si è scelto di articolare il sistema di codifica secondo quattro differenti livelli di cui è riportata la struttura completa nell'*Allegato E*. Si vuole precisare che viene riportata la codifica solo di quanto utilizzato nello svolgimento della tesi; qualora la codifica dovesse venire implementata per il proseguimento del lavoro la formattazione dei codici deve rimanere la stessa. Il primo livello della struttura di codifica, definito Livello 0, è riferito all'opera generale

e per il caso studio utilizzato è stato definito il codice ITA61; il secondo livello definisce l'ambito di competenza di un determinato elemento. Nelle fasi di lavorazione considerate gli ambiti interessati sono quello strutturale, quello delle demolizioni e gli scavi. Successivamente è stato definito un livello relativo alla fase di avanzamento dell'opera. In questo caso, essendo frequente all'interno di una fase la presenza di diverse lavorazioni, anche molto diverse tra loro, sono stati definiti due codici: il primo relativo alla fase da compilare con la fase di appartenenza e il secondo relativo alla sottofase da compilare sempre e nel caso in cui la fase preveda un'unica lavorazione il codice relativo alla sottofase sarà compilato con *01*. Gli ultimi due livelli di codifica fanno riferimento al tipo di elemento e successivamente al codice di avanzamento. Riguardo questi ultimi due livelli serve fare due precisazioni; la prima è che il codice avanzamento è stato definito per ragioni di visualizzazione delle simulazioni 4D, questo argomento verrà discusso nel seguito. La seconda precisazione riguarda il livello di codifica relativo al tipo di elemento; in questo caso sono presenti alcuni elementi a cui non è associato nessun codice di *TipoElemento* ma solo il *CodiceAvanzamento*, questo si verifica solo per gli elementi che fanno parte di un altro elemento. A titolo di esempio si fa riferimento all'armatura ordinaria alla quale come codice *TipoElemento* verrà assegnato quello corrispondente all'elemento in cui sarà inserita (esempio di codifica armatura: ITA61 STR 08 SOL_I ARM_O).

In conclusione, si vuole illustrare il metodo per l'assegnazione degli attributi ai vari elementi. Il primo aspetto da mettere in evidenza è che Allplan gestisce gli attributi senza distinzione per i vari elementi; si intende che un attributo una volta che viene creato può essere assegnato a qualunque tipo di elemento. La creazione di un attributo avviene tramite la procedura riportata nelle figure seguenti.

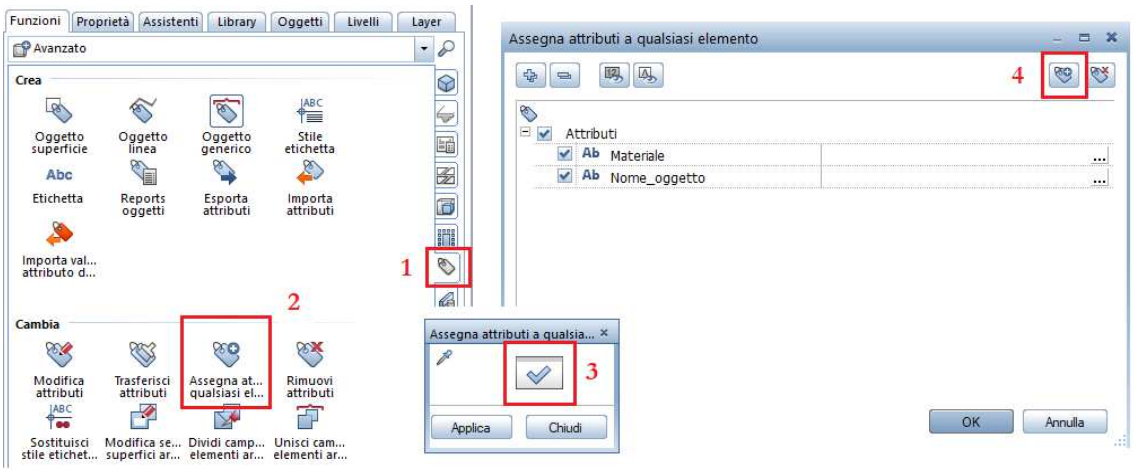


Figura 28: processo di creazione degli attributi

Successivamente si passa a definire il nome dell'attributo, il tipo e la quantità di caratteri disponibili.

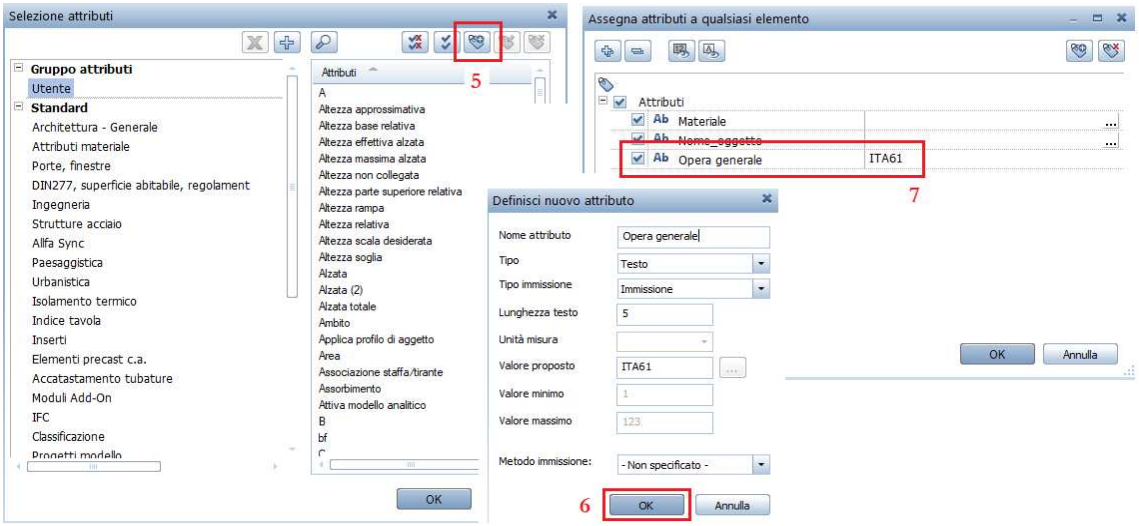


Figura 29: definizione dell'attributo personalizzato

Come ultimo passaggio è necessario selezionare gli elementi a cui si vuole assegnare l'attributo e successivamente dare il comando *Applica*.

5.2.3 Modellazione di elementi in cemento armato

Si è voluto, nello sviluppo dell'elaborato di tesi, utilizzare la piattaforma Allplan 2019 per eseguire la modellazione delle armature di alcuni degli elementi in cemento armato presenti nelle fasi prese in considerazione. In particolare, sono state modellate le armature di due categorie di elementi; la prima riguarda i diaframmi perimetrali e la seconda categoria sono i pali di consolidamento lato atrio e la relativa trave di coronamento. Per quanto riguarda i tre solettoni presenti nella stazione non è stato possibile modellare l'armatura poiché non sono state rese disponibili le tavole del progetto esecutivo di questi elementi.

Per quanto riguarda tutte e due le tipologie di elementi considerati è stato necessario, prima di iniziare la modellazione dell'armatura, definire i cataloghi delle barre di armatura necessarie per poi eseguire la modellazione. Questo è stato necessario poiché l'acciaio utilizzato non è stato il B450C, di cui nel software Allplan è disponibile il catalogo, ma l'FeB 44K per $\varnothing \leq 26$ mm e l'FeB 38K per $\varnothing > 26$ mm. Oltre questi due cataloghi è stata necessaria la creazione di un ulteriore elenco riferito alle barre di armatura in fibra di vetro, denominate VTR, le quali sono state necessarie per l'armatura degli elementi i quali interferiscono con il percorso della TBM. Si vuole precisare un aspetto che per le fasi successive di stima dei costi risulta fondamentale, ossia la possibilità di assegnare a tutti i diametri dei vari cataloghi il peso unitario per metro lineare corrispondente. Di seguito viene riportato il processo da eseguire per la creazione di un catalogo personalizzato.

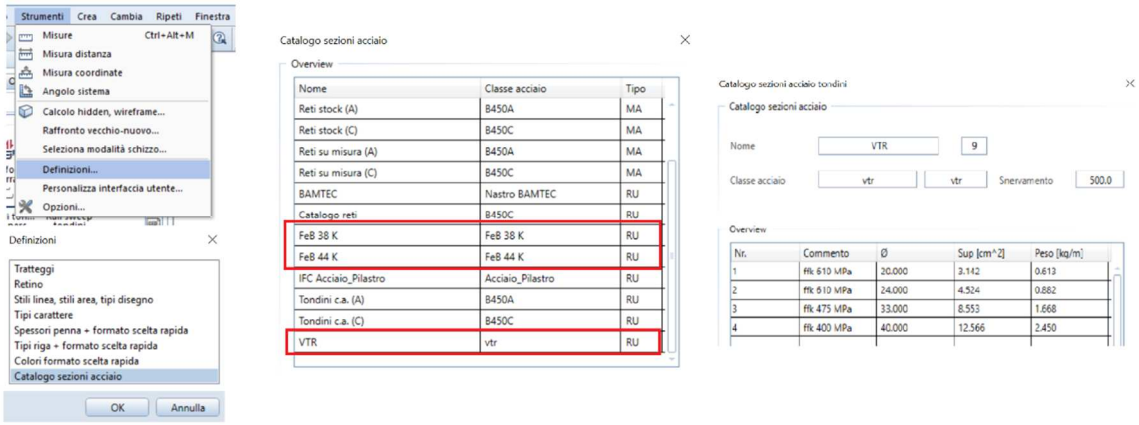


Figura 30: creazione di un nuovo *catalogo sezioni acciaio*

Dopo questa operazione preliminare si è proceduto alla modellazione delle armature. Relativamente ai diaframmi perimetrali ne sono stati modellati di otto differenti tipi; sei di questi sono quelli interessati dal passaggio della TBM e quindi presentano la parte centrale armata con barre in VTR; nell'*Allegato F – G – H* vengono riportate le tavole di armatura del diaframma secondario centrale lato atrio fatte dopo aver concluso la modellazione di tutte le barre previste dal progetto esecutivo. I rimanenti due tipi di diaframmi sono stati modellati con un'armatura ipotizzata poiché non erano disponibili le tavole del progetto esecutivo. Ne sono state modellate due tipologie differenti poiché per i diaframmi lato atrio la parte sommitale del diaframma presenta una debole armatura (4+4 ∅20 e staffe ∅16/50) per via della successiva demolizione che esso dovrà subire. La presenza di questa armatura è unicamente rivolta a rendere possibile il calaggio della gabbia di armatura complessiva.

Per la modellazione delle armature di questi elementi la piattaforma Allplan, nella sua sezione dedicata all'ingegneria, mette a disposizione il comando *Forma barra* tramite il quale è possibile modellare quasi tutti i tipi di barre di armatura, sia longitudinali sia staffe, di cui vengono fornite soluzioni standard; qualora fosse necessario modellare barre la cui forma non è presente c'è la possibilità di definire barre a forma libera tramite il comando apposito. Di seguito viene riportato il menù di scelta delle varie forme messe a disposizione dalla piattaforma.

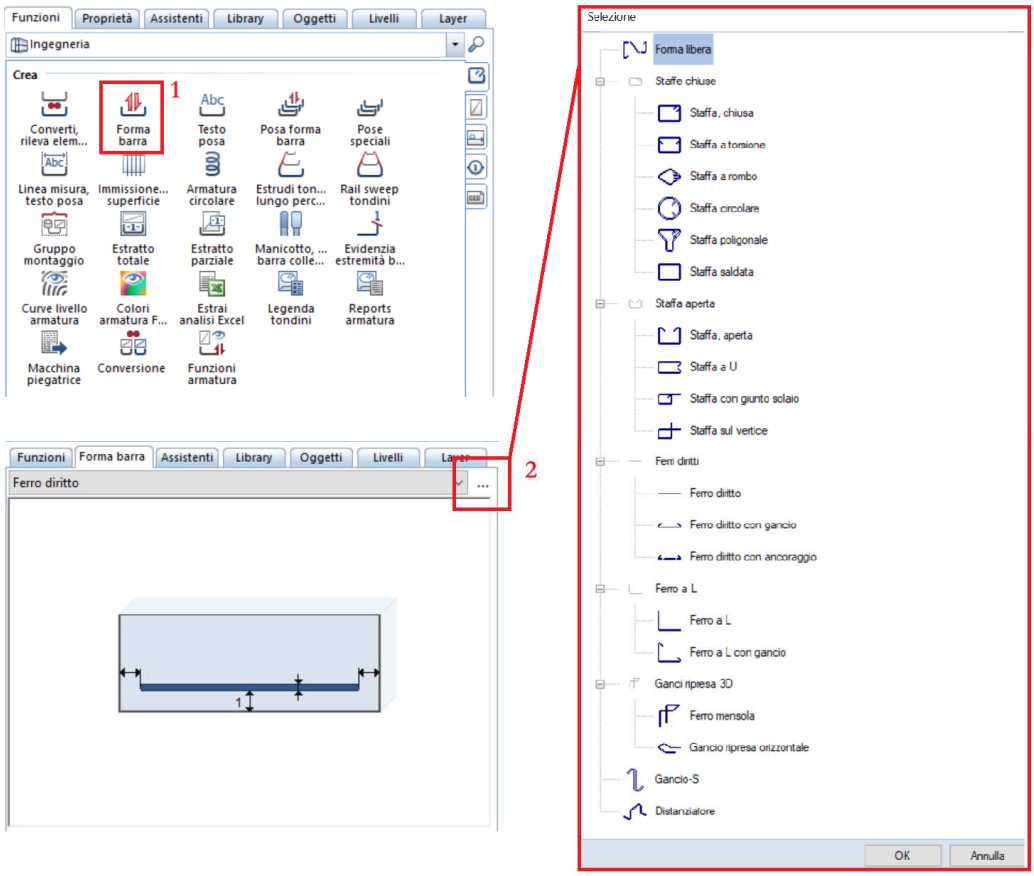


Figura 31: menù di scelta della forma delle barre di armatura

Si vuole ora spiegare il processo di modellazione delle armature e per questo si farà un esempio relativo alla modellazione di un blocco di staffe e successivamente di un gruppo di ferri longitudinali.

Una volta selezionata la forma del ferro desiderata, nel caso in esame si è scelta una staffa aperta, è possibile modificare attraverso la finestra di dialogo riportata sotto le caratteristiche relative alla forma scelta. Quelle generali sono sempre le medesime mentre quelle specifiche variano a seconda della forma scelta; in questo caso vengono impostati i copriferri e la lunghezza del gancio.

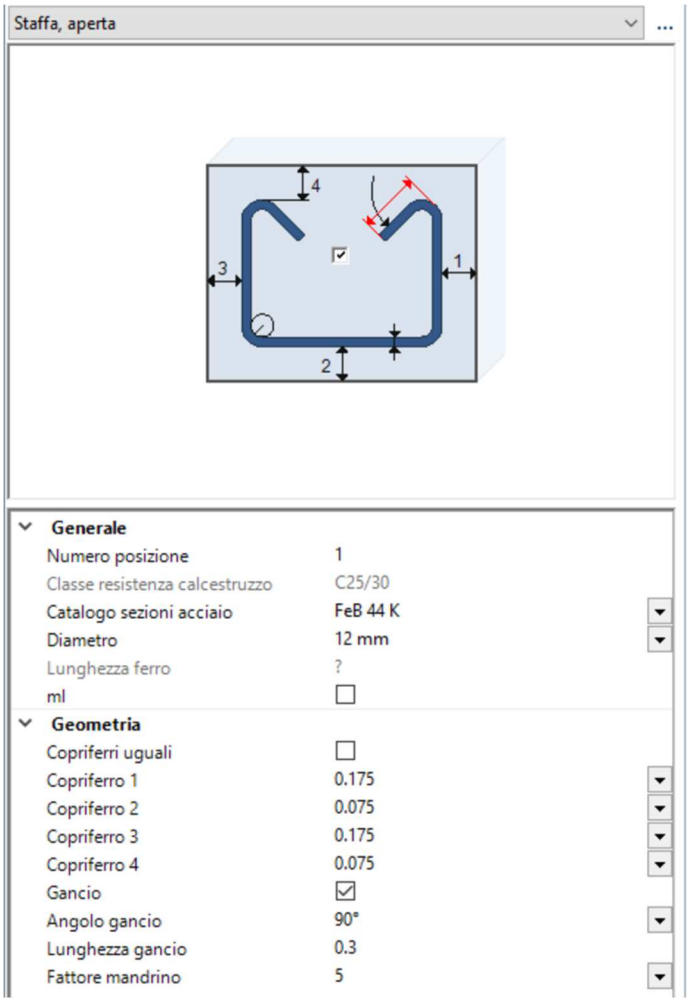


Figura 32: parametri per la modellazione di una staffa

Successivamente si può procedere al posizionamento della staffa la quale si adeguerà in automatico alle dimensioni dell'elemento solo nel caso in cui sia spuntata la voce Espandi agli spigoli del cassero.

Figura 33: opzioni di immissione di un ferro

Una volta posizionata la staffa nella posizione desiderata, premendo ESC, viene proposta una finestra per scegliere le opzioni di personalizzazione dell'indicatore della barra e le informazioni mostrate; nel caso in oggetto questa parte non viene modificata e si procede premendo nuovamente ESC. Si può quindi a questo punto definire il tipo di posa che può essere singola o lineare; si sceglie, dovendo posizionare un determinato numero di staffe con passo costante, la posa lineare la quale permette di definire la retta lungo la quale eseguire la posa e successivamente si possono modificare il passo delle staffe o il numero totale. Di

seguito si riporta il menù di dialogo per modificare le impostazioni della posa, il risultato della posa delle staffe in una vista in sezione e nella vista assonometrica.

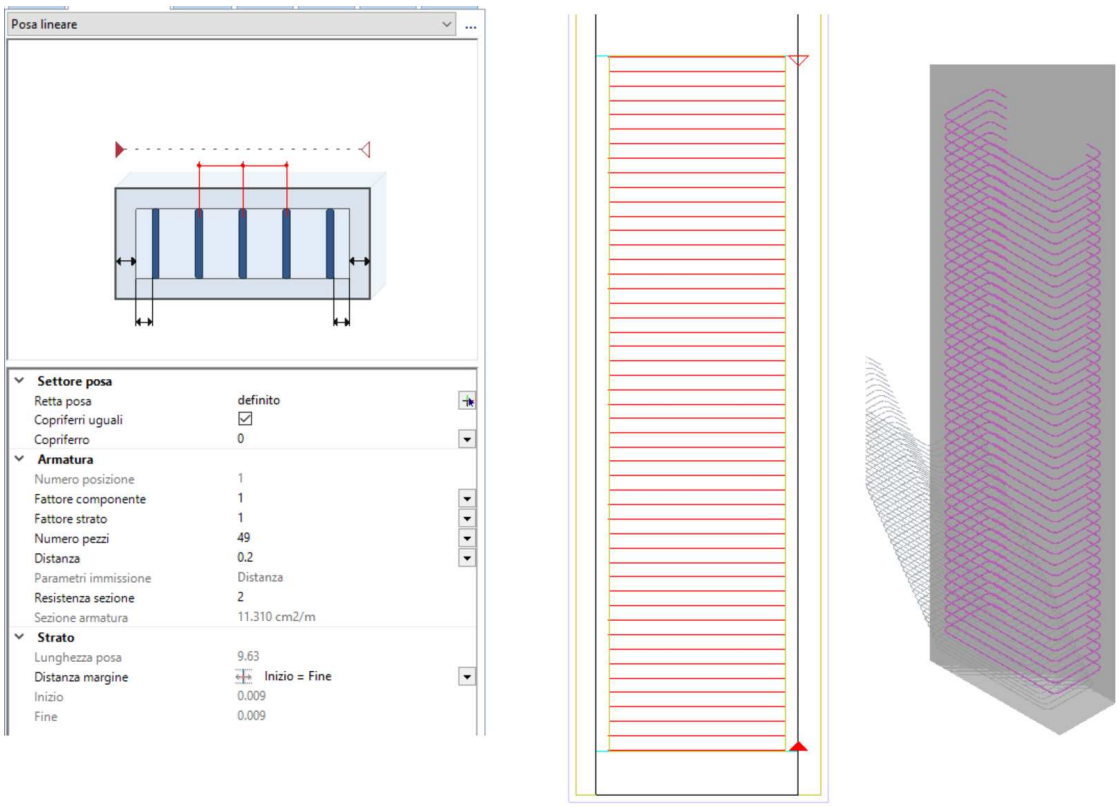


Figura 34: impostazioni di posa delle staffe e risultato grafico ottenuto

A questo punto si vuole mostrate la modellazione di un gruppo di ferri longitudinali; per fare questa operazione si sceglie il ferro dritto, nelle proprietà è possibile impostare la lunghezza del ferro desiderata e come opzione di immissione è stata scelta la posizione libera in modo da poterlo collocare in pianta dove si vuole.

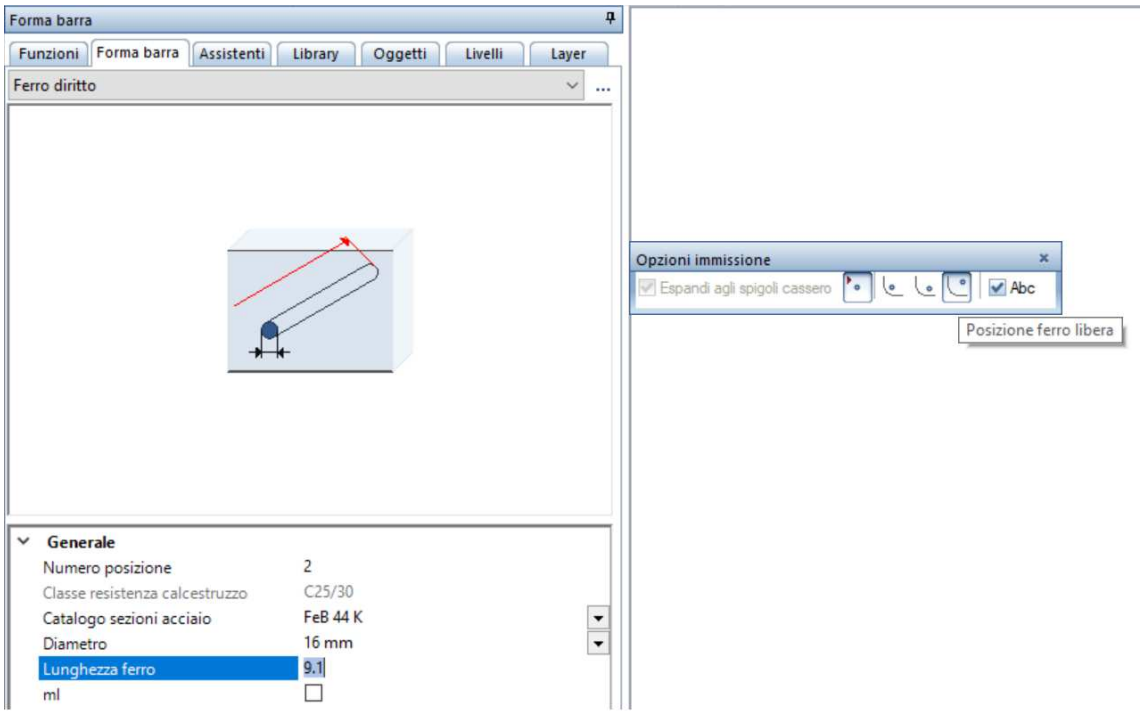


Figura 35: parametri e opzioni di immissione di un ferro dritto

Una volta che viene collocato il primo ferro, come per il caso precedente si può scegliere la posa singola o lineare; anche in questa occasione si è scelta la posa lineare e dopo aver definito la retta di posa vengono visualizzati tutti i ferri posizionati i quali si aggiornano quando si modificano le impostazioni di posa, le quali sono uguali a quelle mostrate per la posa delle staffe. Di seguito si riporta la pianta dell'elemento dopo aver posizionato la prima barra e successivamente dopo aver definito la retta di posa.

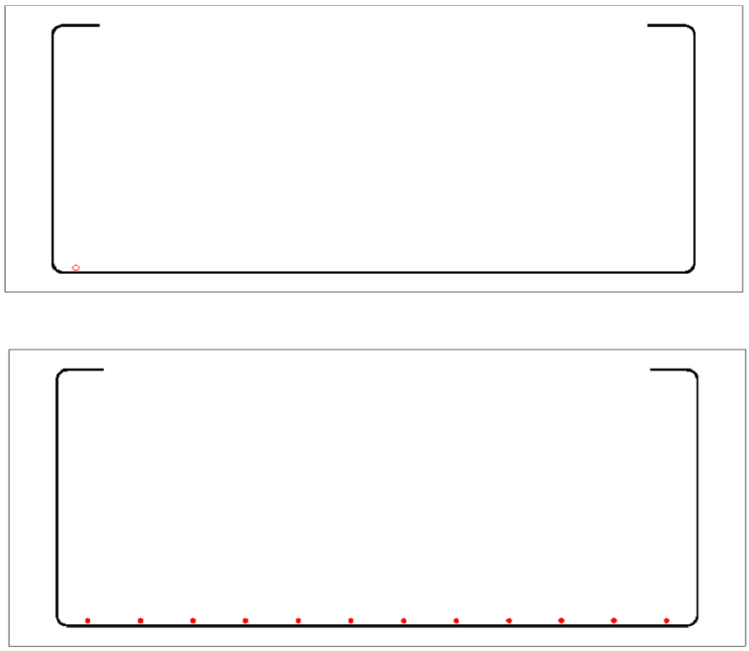


Figura 36: posizionamento ferri longitudinali

Si riporta la vista assonometrica dell'elemento con le armature posizionate.

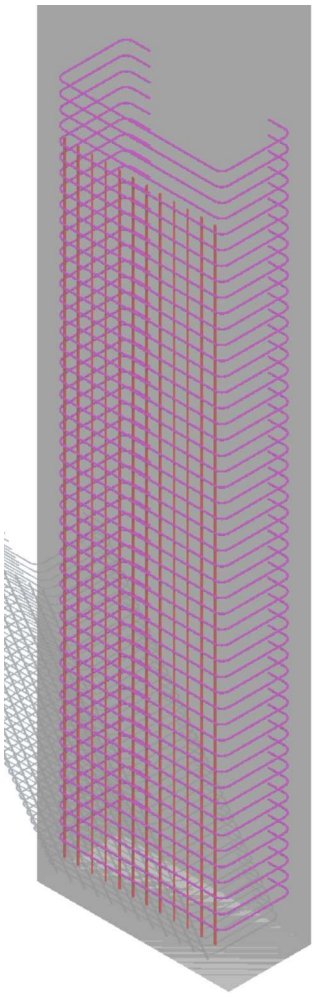


Figura 37: elemento con armatura

Per quanto riguarda invece i pali di consolidamento la modellazione delle armature è avvenuta per gran parte in modo del tutto analogo a quanto fatto per i diaframmi. In questo caso si è preferito utilizzare la posa singola e poi tramite il comando *Copia e gira* sono state disposte tutte le barre longitudinali. L'unico comando diverso che è stato utilizzato è quello per la modellazione delle staffe a spirale per le zone in cui l'armatura è costituita da barre in acciaio. In questo caso tramite il comando Armatura circolare → Armatura a spirale è possibile modellare molto semplicemente l'armatura. È necessario tracciare l'asse dell'elemento da armare attraverso la sua sezione, successivamente tracciare la retta lungo la quale deve svilupparsi la spirale e infine il centro dell'elemento. Viene riportata di seguito una figura rappresentativa del risultato ottenuto, l'elemento riportato presenta l'armatura in acciaio nella parte inferiore e in VTR nella parte superiore dove le staffe sono rotonde chiuse e non a spirale.

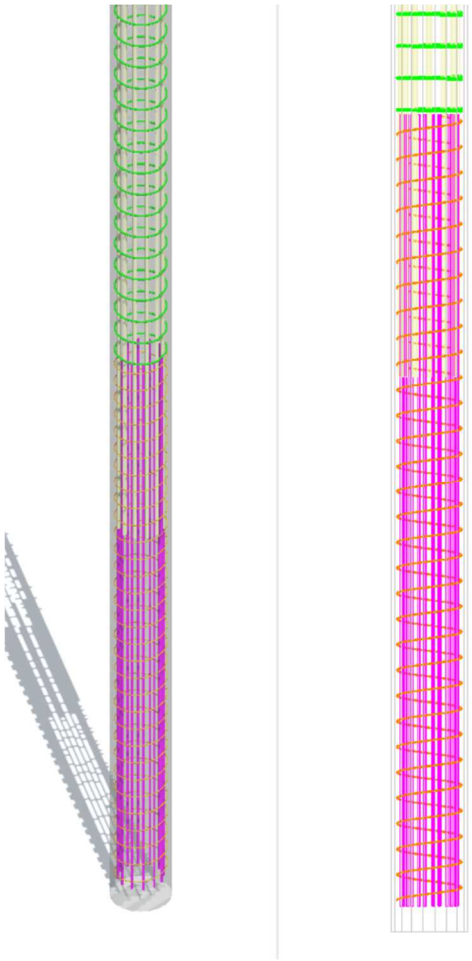


Figura 38: armatura a spirale in un palo di fondazione

L'ultimo aspetto che si vuole affrontare relativo alla modellazione degli elementi armati riguarda la possibilità di estrapolare i dati delle quantità di armatura. Allplan, in generale, mette a disposizione una gamma di report ognuno dei quali è programmato per restituire determinati dati riferiti agli oggetti che si selezionano dopo la scelta del report. Per esempio, si possono estrarre le quantità di calcestruzzo o la lista di tutti gli infissi presenti ad un determinato piano.

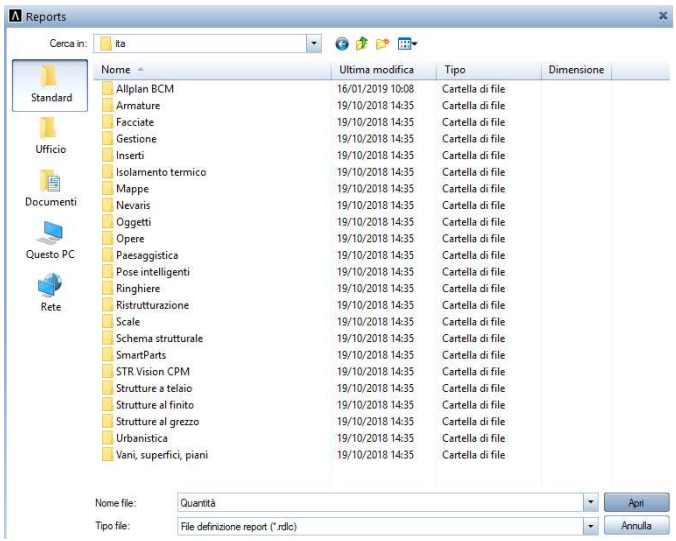


Figura 39: report disponibili in Allplan

Per quanto riguarda l'armatura è stato scelto il report riportante sia il riepilogo dei diversi materiali utilizzati che la distinta di tutte le barre. In *Allegato I* viene riportato il report relativo a uno dei diaframmi di cui è stata modellata l'armatura.

5.2.4 Modellazione del solido di scavo

L'ultima parte affrontata relativa al tema della modellazione rivolta alla creazione del modello per il CM è il tema della modellazione della movimentazione terra. In particolare, nello sviluppo della tesi era un aspetto d'interesse la determinazione dei volumi di terra da rimuovere nelle varie fasi di costruzione poiché, date le notevoli quantità e la condizione di lavoro non agevole queste operazioni ricoprono un tempo significativo rispetto al tempo di realizzazione dell'opera. Per affrontare questo tipo di modellazione è stato usato un modulo aggiuntivo del software Allplan, di cui è stata utilizzata una versione gratuita messa a disposizione dalla software house, che permette di creare un solido di scavo e modellare le varie fasi di scavo.

Si è partiti dal posizionamento dei punti altimetrici noti nelle circostanze della stazione e attraverso il comando di triangolazione è stata creata la superficie del terreno. Successivamente viene generato il modello del terreno e a questo punto è possibile iniziare a modellare gli scavi. Una volta disegnato in pianta il fondo scavo si possono impostare diversi parametri tra cui: l'altezza del fondo scavo, gli angoli delle rape per scarpate in sterro e in riporto e questi possono anche essere gestiti in modo indipendente per ogni lato dello scavo, l'offset rispetto al fondo scavo disegnato in pianta e fino a quale strato eseguire lo scavo.

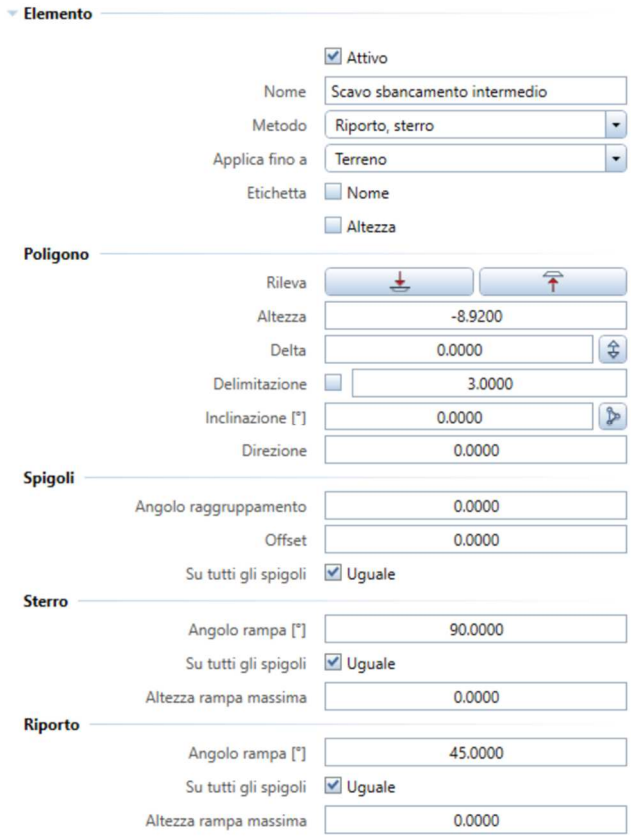


Figura 40: parametri del modello di scavo

Figura 41: modello 3D generato dello scavo

Dopo aver creato il modello dello scavo quello che interessa è avere i solidi corrispondenti alla parte scavata. Per fare questo, come riportato nella figura seguente, viene messo a disposizione un comando di esportazione del solido dello scavo.

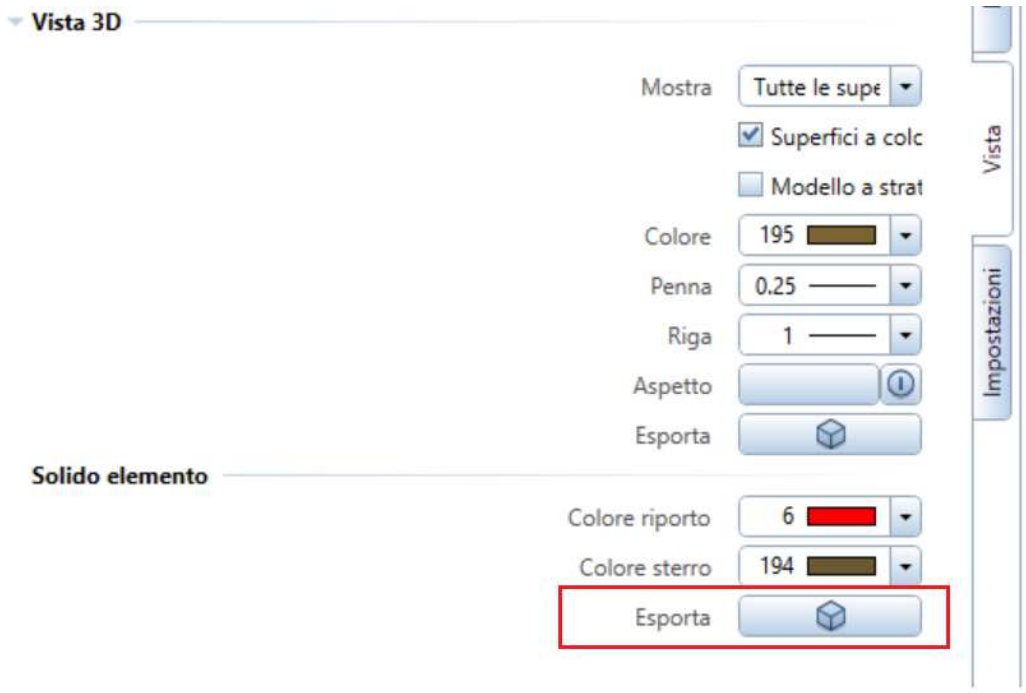


Figura 42: comando di esportazione del solido di scavo

L'esecuzione dell'esportazione del solido di scavo fornisce sia i solidi corrispondenti ai volumi di sterro sia le superfici rimanenti del terreno. Nel caso in esame sono stati mantenuti solo i volumi di sterro mentre le superfici perimetrali dello scavo sono state utilizzate successivamente per l'animazione 4D del cantiere. Di seguito viene riportata la rappresentazione dei volumi di sterro ai quali, esclusivamente per ragioni di visualizzazione, sono stati associati colori differenti a seconda della fase in cui vengono scavati.

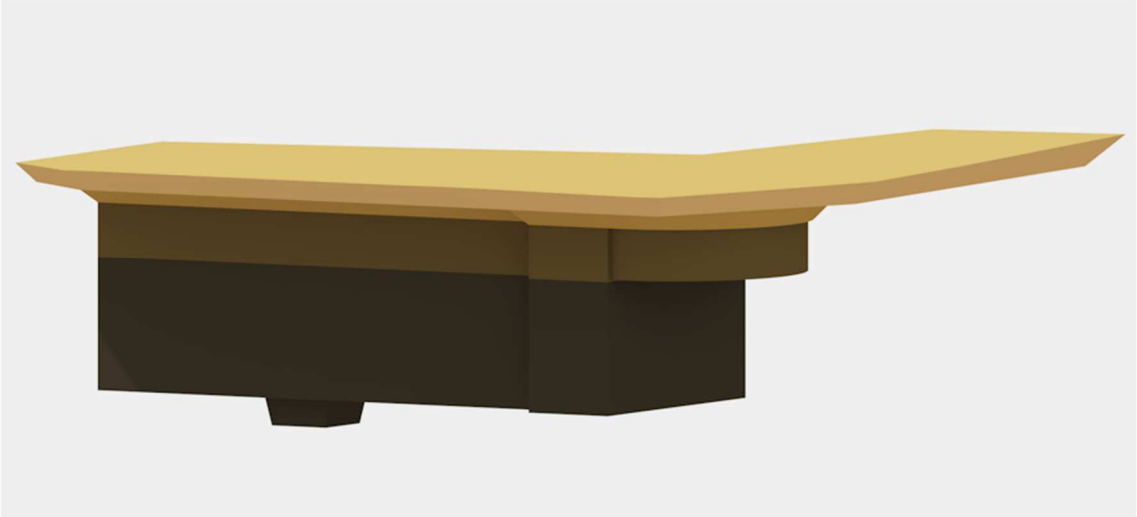


Figura 43: rappresentazione dei volumi di scavo

5.2.5 Test di valutazione

Tramite la piattaforma Allplan è stato quindi possibile affrontare la modellazione relativa a differenti ambiti; si è iniziato modellando gli elementi architettonici non riconosciuti dopo il trasferimento dal modello originale o non adeguati allo scopo della tesi. Successivamente si è passati alla modellazione delle armature di alcuni elementi strutturali in calcestruzzo armato e infine si è affrontata la modellazione dei volumi di terreno interessati dalle fasi di scavo tramite un plugin offerto da Allplan appunto per la modellazione delle fasi di movimento terra.

Alla luce di quanto affrontato e di quanto è stato definito a livello metodologico nel Capitolo III, si è voluto eseguire tutti i test possibili anche relativamente al domain della modellazione e output e sono stati analizzati tre differenti KPI: il primo è relativo alla modellazione 3D delle opere, il secondo riguardante il disegno manuale del terreno e l'ultimo riferito alla restituzione degli elaborati grafici.

Per quanto riguarda la modellazione 3D i test eseguiti sono due a fronte di quattro necessari per la descrizione completa del KPI. È stato possibile eseguire i test riguardanti la modellazione generale e la modellazione degli elementi in cemento armato, mentre i temi che non sono stati trattati nello sviluppo della tesi sono quelli relativi alla parte impiantistica e alla modellazione degli elementi in acciaio. Per tutti e due i test eseguiti è stato stilato un elenco di voci di controllo le quali si ritiene che siano in grado di descrivere in modo completo il test che si vuole eseguire. Di seguito si riportano le tabelle riportanti le voci di controllo per i test relativi alla modellazione 3D delle opere.

Modellazione generale/architettonica	
Tipo di test	**Valore test**
Modellazione architettonica generale	**1,00**
Creazione livelli altimetrici personalizzabili anche non orizzontali	**1,00**
Elementi di fondazione	**1,00**
Aperture forma personalizzata e su più elementi	**0,50**
Restituzione report	**0,50**
Modellazione libera delle scale	**1,00**
Media	**0,83**

Modellazione cemento armato	
Tipo di test	**Valore test**
Personalizzazione cataloghi barre	**1,00**
Disponibilità delle forme comuni dei ferri	**1,00**
Ferri a forma libera	**1,00**
Ferri fuori dalla geometria del solido di cls	**1,00**
Adattamento dei ferri alla variazione di forma geometrica	**0,00**
Personalizzazione "posizione" dei ferri	**0,00**
Report specifici	**1,00**
Estrapolazione tavole specifiche	**1,00**
Media	**0,75**

Tabella 14: test relativi alla modellazione 3D delle opere

Successivamente si è analizzato il tema della modellazione del territorio e nello sviluppo della tesi è stato necessario inserire pochi punti e questa operazione si è scelto di farla manualmente poiché la piattaforma permette questo tipo di gestione dei punti del terreno. In questo caso il risultato del test è binario e può quindi valere 0 o 1 e nel caso della piattaforma Allplan il risultato è positivo. La piattaforma mette a disposizione anche la possibilità di importazione di nuvole di punti e dati territoriali ma questo aspetto non è stato approfondito e risulta quindi impossibile eseguire un test a riguardo.

In ultima battuta si vuole brevemente analizzare il KPI della restituzione del progetto la quale ad oggi è ancora intesa come restituzione grafica su carta ma che sicuramente si sta indirizzando verso soluzioni innovative di restituzione digitale tramite l'uso della realtà virtuale e mista. Ad oggi Allplan non permette la restituzione di quanto modellato direttamente tramite questi strumenti. Per quanto riguarda invece la restituzione standard si sono voluti considerare solamente due aspetti per la determinazione del valore del test e questi sono stati la possibilità di gestione degli spessori delle penne e la generazione di tavole in formato AutoCAD. Quest'ultimo parametro di valutazione è stato considerato poiché ad oggi AutoCAD è ancora lo strumento per la progettazione forse più diffuso e la restituzione di un progetto risulta ancora legata alla restituzione di tavole in versione cartacea e in formato *.dwg*.

A questo punto si riporta una tabella riassuntiva dei KPI e dei test eseguiti per la valutazione del domain della modellazione e output.

	KPI	Test	Coeff. Importanza	Valore test	
				Revit 2018	Allplan 2019
1. MODELLAZIONE E OUTPUT	1.1. Modellazione 3D delle opere	1.1.1. Modellazione generale / architettonica			0,83
		1.1.2. Modellazione cemento armato			0,75
		1.1.3. Modellazione carpenteria metallica			
		1.1.4. Modellazione MEP			
		Media			**79,2%**
	1.2. Modellazione dell'ambiente	1.2.1. Importazione nuvole di punti			
		1.2.2. Importazione DTM			
		1.2.3. Disegno manuale del territorio			1
		Media			**100,0%**
	1.3. Creazione e gestione dei collegamenti con dati geologici/geotecnici				
	1.4. Restituzione grafica/digitale del progetto	1.4.1. Restituzione di tavole ed elaborati grafici			1,00
		1.4.2. Restituzione del progetto tramite realtà mista, aumentata o virtuale			0
		Media			**50,0%**
	Risultato complessivo				**76,4%**

Tabella 15: tabella riepilogativa del domain della modellazione e output

Valutando quanto emerso dai test si può sicuramente che il risultato conseguito dalla piattaforma Allplan è buono ma comunque migliorabile soprattutto sotto alcuni punti chiave di cui quello più critico risulta essere, nell'ambito della modellazione degli elementi in cemento armato, il fatto che le armature non si adattino alle eventuali modifiche che vengono apportate all'elemento in calcestruzzo. Questo aspetto risulta molto critico e difficile da giustificare poiché in fase di modellazione, per esempio le staffe, riconoscono l'elemento a cui fare riferimento e ad esso si "agganciano" quindi quello del copriferro deve essere il parametro fisso per le armature. In questo modo ad una modifica dell'elemento da armare conseguirebbe un adattamento automatico delle armature.

5.3 Stima di tempi e costi

5.3.1 Stima dei costi

Il Construction Management ha come scopo il controllo dei tempi/consegna, dei costi e della qualità dell'opera [9S]. Questo aspetto nello sviluppo della tesi è stato affrontato tramite l'uso del software specifico STR Vision CPM, tutto il processo è stato sempre sviluppato secondo la metodologia BIM e in particolare si è voluto mantenere l'approccio OPEN BIM.

La metodologia di lavoro utilizzata ha come punto di partenza il modello generato in Allplan, questo è stato esportato globalmente sempre tramite il formato IFC e importato nel software STR Vision. A proposito dell'esportazione da Allplan si vuole precisare che questa è avvenuta tramite il formato IFC 4 e, con riferimento alla *Figura 15*, selezionando l'opzione di trasferimento dei dati quantità. L'esportazione senza la selezione di questa opzione oppure nel formato IFC 2x3, nel quale questa opzione non è disponibile, comportava la corretta esportazione del modello a livello geometrico ma andavano persi tutti i dati relativi alle quantità dei vari elementi. Di seguito si riporta il modello esportato da Allplan per il trasferimento in STR Vision.

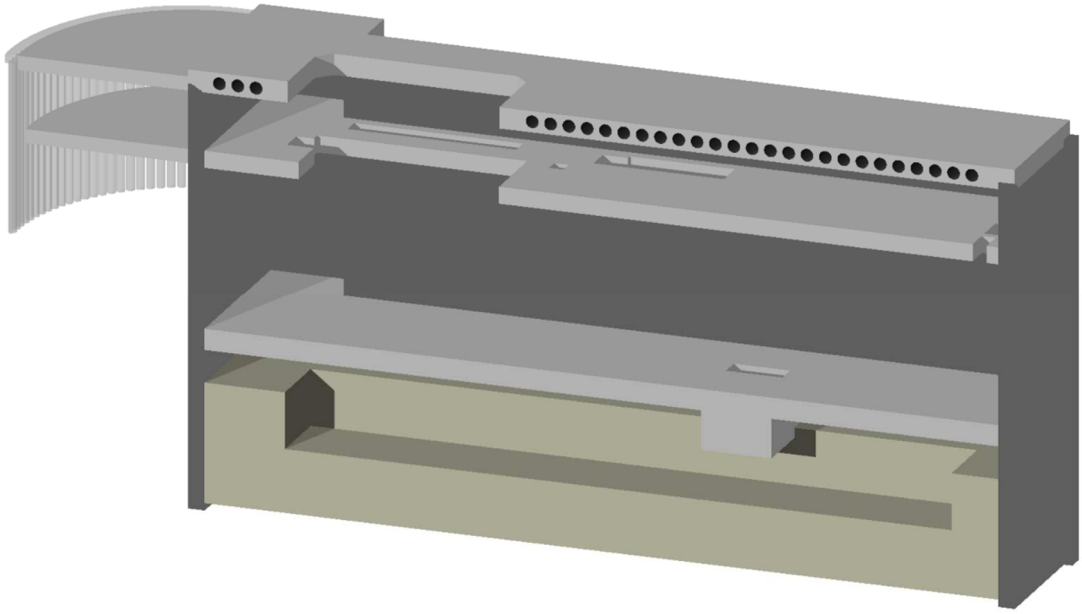


Figura 44: modello per il Construction Management

Quello delle strutture non è stato l'unico modello IFC importato in STR Vision ma ne è stato importato un secondo relativo alla modellazione del terreno scavato; questo è stato necessario per poter computare e definire il tempo necessario per le fasi di scavo che in un'opera come quella in oggetto ricoprono un ruolo determinante, soprattutto per la gestione dei tempi di realizzazione dell'opera.

Il primo passo all'interno del software di computazione, dopo l'importazione dei due modelli IFC, è stato definire il prezzario di riferimento ed essendo l'opera sita in Torino si è adottato quello della Regione Piemonte del 2018. Successivamente, è stato necessario creare ed associare al progetto dei raggruppatori personalizzati che andassero a ricreare la codifica definita precedentemente. Dopo aver creato i raggruppatori questi sono stati organizzati in modo gerarchico all'interno di un modello di struttura ad albero che viene poi visualizzata e tramite la quale è più facile gestire le varie voci di computo all'interno del progetto. Di seguito si riportano i raggruppatori creati e l'organizzazione della struttura ad albero.

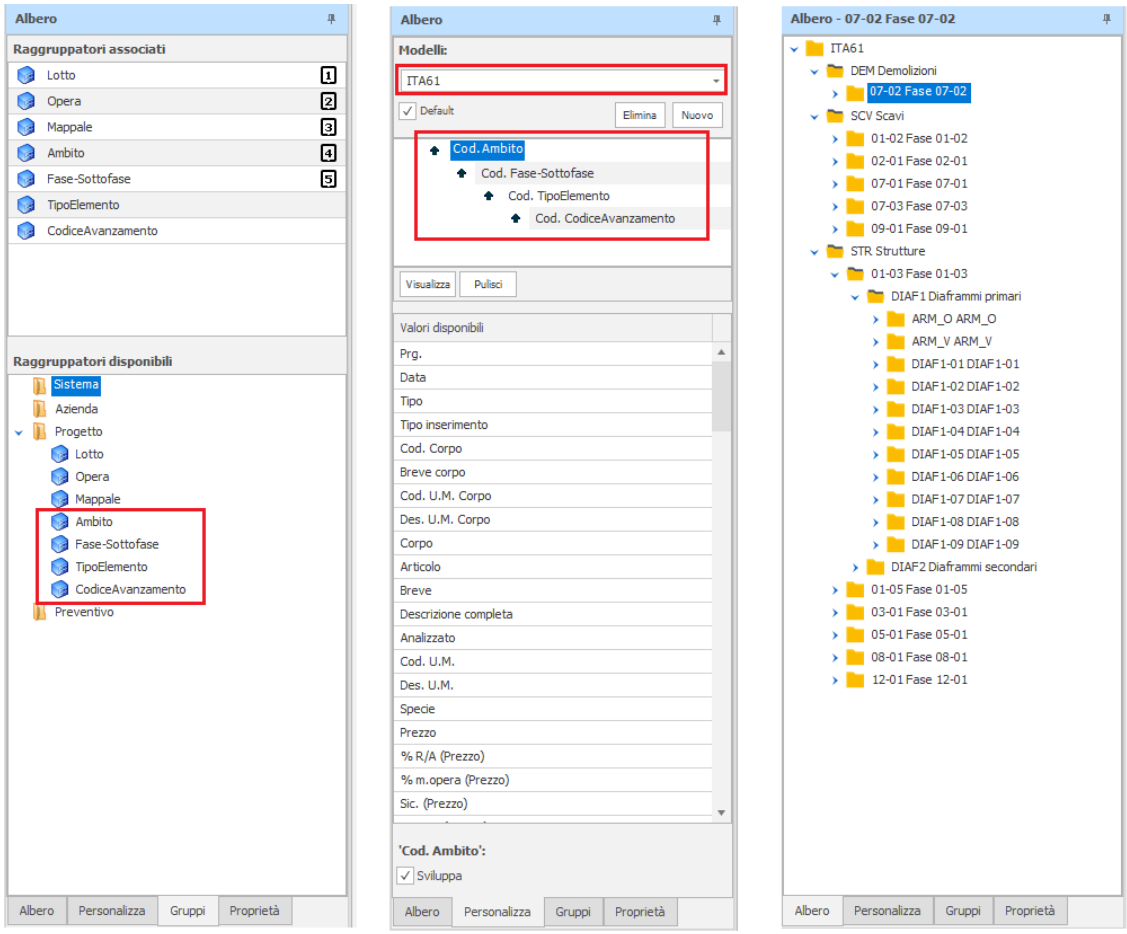


Figura 45: raggruppatori creati in STR Vision e struttura ad albero

Si vuole precisare che non è stato creato il raggruppatore relativo all'opera generale poiché nel caso in oggetto tutto il lavoro svolto era riferito alla stessa opera e il codice è stato assegnato al progetto generale, come viene riportato nella figura sottostante.

Codice	Descrizione	Data	Cod...	Des. Valuta ...	Sim...
Diaf_R1	Diaframma primario Tipo R1-VTR	08/01/2019	EUR	Euro	€
ITA61	**Construction_Management**	**06/02/2019**	**EUR**	**Euro**	**€**
PROVA	Prova plugin Allplan	25/01/2019	EUR	Euro	€

Figura 46: codice progetto nel software STR Vision

Dopo aver spiegato cosa è stato necessario fare per impostare l'ambiente di STR Vision, si passa ora ad illustrare come è stato sviluppato il processo che ha portato alla stima del tempo e del costo di realizzazione della parte di opera considerata.

La prima operazione da eseguita, dopo aver caricato i modelli IFC esportati da Allplan, è stata quella di caricare all'interno del preventivo dell'opera le voci del prezzario necessarie per la computazione delle opere da realizzare e successivamente assegnare alle varie voci i relativi codici di codifica i quali devono fare riferimento all'elemento a cui fa riferimento la voce di computo.

Figura 47: codifica delle voci di capitolato

L'aspetto importante che si vuole mettere in evidenza è la gestione con metodologia BIM di questo processo; infatti le quantità associate alle varie voci di computo non sono inserite manualmente ma sono collegate alle proprietà geometriche degli elementi importati dai modelli IFC.

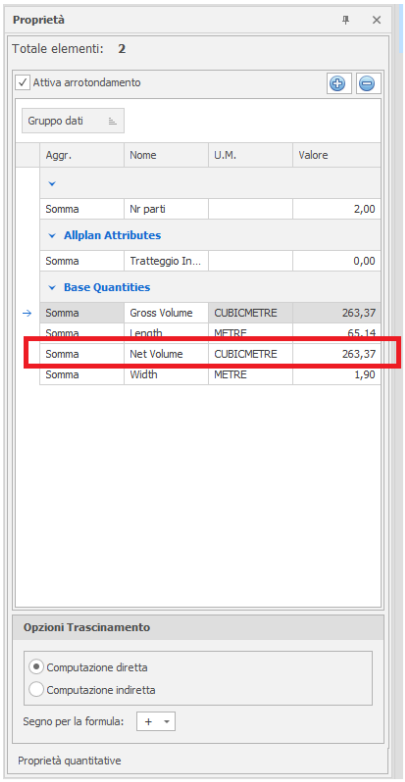


Figura 48: proprietà geometriche associate agli elementi del modello IFC

Si vuole precisare che il metodo utilizzato per la computazione richiede una parte di lavoro manuale e nello sviluppo del lavoro è risultato efficace per via del ridotto numero di elementi presenti nel modello ed è comunque tale da garantire la gestione dei dati con metodologia BIM. All'interno del software STR Vision è possibile creare i collegamenti tra gli oggetti 3D importati e le voci di computo in modo automatico tramite la definizione di regole di computazione riferite alle diverse classi IFC. La definizione di queste regole permette il collegamento automatico tramite i medesimi filtri di visualizzazione utilizzati per l'assegnazione manuale delle differenti voci di computo agli elementi importati.

La gestione della computazione delle opere utilizzata nello sviluppo del lavoro presenta molti aspetti positivi rivolti alla collaborazione tra le diverse figure coinvolte in queste fasi della progettazione. Il primo aspetto positivo è il legame tra le voci di computo e gli elementi del modello IFC ad esse collegate; infatti selezionando una voce di computo è possibile vedere quanti elementi sono collegati ad essa e le relative quantità.

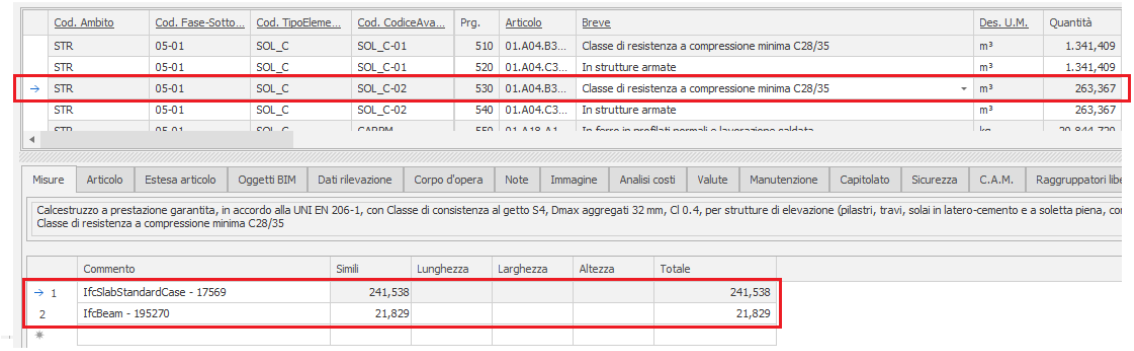


Figura 49: collegamento tra elementi del modello IFC e voci di computo

Il legame tra le voci di computo e i differenti elementi del modello permette inoltre di verificare graficamente quali elementi sono stati computati e quali ancora no. In particolare, bisogna selezionare le voci di computo che si vogliono verificare e attraverso il *BIMViewer* di STR, tramite la finestra *BIM* → *vedi computati*, è possibile evidenziare tutti gli elementi associati alle voci di computo selezionate.

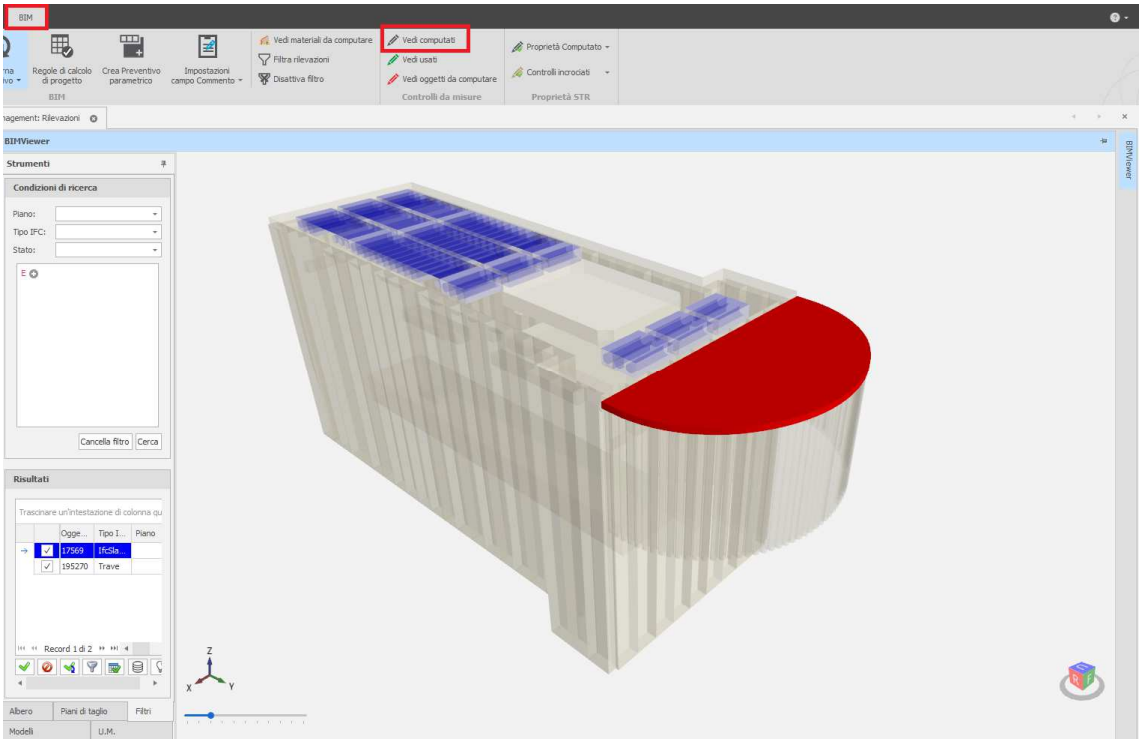


Figura 50: controllo grafico degli elementi computati

Il legame tra le voci del prezzario e i diversi elementi diventa fondamentale nell'ottica di aggiornamento del progetto, quello che si vuole dire è che nel caso di modifica del modello 3D non è necessario rivedere manualmente il computo ma, attraverso il comando di STR Vision *Aggiorna preventivo*, è possibile selezionare il modello in uso da aggiornare e successivamente il nuovo modello da utilizzare.

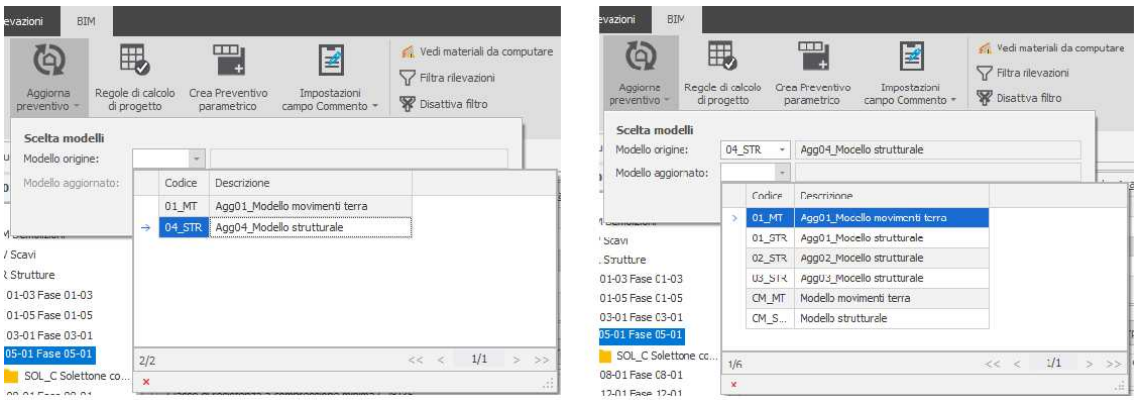


Figura 51: finestra di aggiornamento dei modelli IFC

Dopo aver selezionato i due modelli viene aperta una schermata nella quale, tramite il comando *Confronta modelli* e successivamente *Vedi modello aggiornato*, è possibile vedere evidenziati gli elementi che sono stati aggiornati e confermare o meno le modifiche del nuovo modello. Di seguito viene riportata un'immagine con il confronto di due modelli IFC; si vuole precisare che il modello aggiornato è stato fatto con scopo illustrativo ed è stata modificata la dimensione di tre diaframmi perimetrali in modo da rendere evidenti le differenze tra i due modelli.

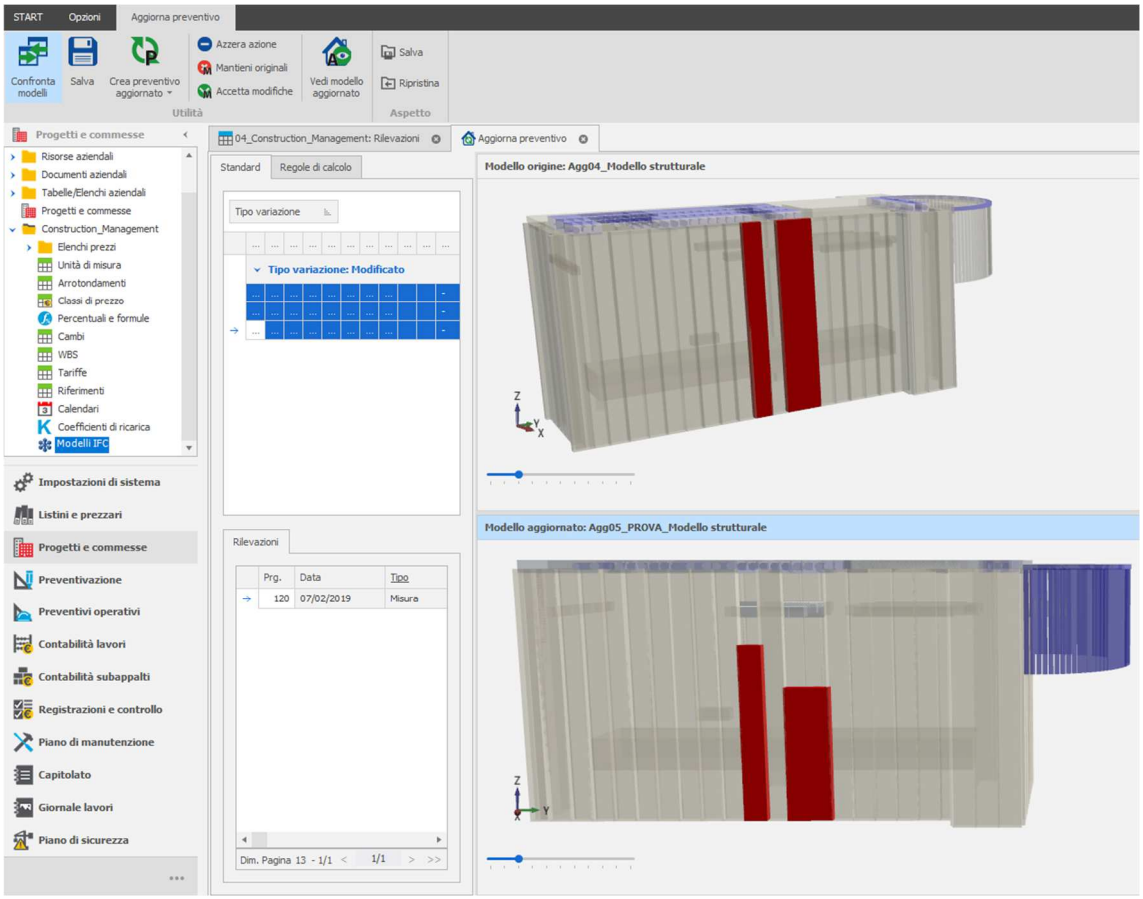


Figura 52: confronto tra modelli aggiornati

Nell'ambito di questa metodologia utilizzata è stata riscontrata un'unica criticità legata alla gestione delle armature modellate nella piattaforma Allplan ed esportate in IFC. Questo problema nasce per via del fatto che il peso delle varie barre di armatura o in alternativa il volume di esse non viene esportato, quindi in STR non sono presenti le proprietà quantitative necessarie per la computazione dell'armatura. Si è ovviato a questo problema attraverso l'uso dei report relativi alle quantità di armatura generati da Allplan (*Allegato I*) linkandoli alle voci di computo relative all'armatura dei diversi elementi tramite la finestra *Note* della voce di computo.

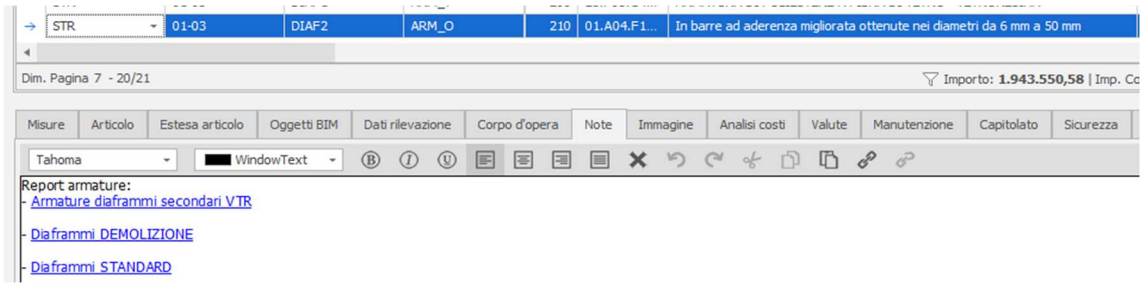


Figura 53: link dei report delle quantità alle voci di computo

Si vuole infine precisare che per quanto riguarda i tre solettoni presenti nella stazione non è stato possibile modellare l'armatura presente e quindi questa è stata computata per

incidenza sul volume del getto di cls. L'incidenza dell'armatura è stata stimata a partire da una tavola del progetto esecutivo di un solaio di una struttura ausiliaria con dimensioni simili a quelle dei solai della stazione. L'incidenza è stata stimata in 80 kg/m^3.

Si riporta nell'*Allegato L* il computo metrico estimativo della parte di opera considerata, il valore economico determinato fa riferimento ai prezzi unitari forniti dal prezzario della Regione Piemonte dell'anno 2018.

5.3.2 Stima dei tempi

Per la determinazione dei tempi di esecuzione delle differenti lavorazioni si sono usati approcci diversi in funzione dei dati reperiti in letteratura o tramite imprese operanti nel settore. Il parametro che si è voluto determinare per tutte le lavorazioni è la produzione oraria (P_O) che verrà poi convertita nel tempo di esecuzione unitario (T_U), ossia il parametro presente nel software STR Vision tramite il quale si arriva alla determinazione del tempo necessario al completamento di una lavorazione.

La prima P_O determinata è stata quella dell'escavatore per cui si fa riferimento ai dati rilevati dall'Handbook Caterpillar [5], il mezzo scelto per l'esecuzione delle fasi di scavo è l'escavatore 329D Caterpillar. Il parametro di scelta è stato l'altezza del mezzo poiché le fasi di scavo non sono sempre condotte a cielo aperto ma l'interno della stazione viene scavato dopo la realizzazione dei solai precedenti, risulta quindi determinante come parametro l'altezza del mezzo che deve essere inferiore a 5,40 m, ossia la distanza tra l'intradosso del solettone di copertura e il fondo scavo per la realizzazione del solaio intermedio.

$$P_{O,Escavatore} = \frac{1}{t_c} \cdot Q \cdot \eta \cong 120 \ \frac{m^3}{h}$$

dove:

t_C = tempo ciclo = 30 s = 0,0083 h

Q = portata della benna = 1,3 m^3

η = rendimento = 0,75 [-]

Per le fasi di scavo è stato ipotizzato l'uso di due escavatori durante le fasi di scavo a cielo aperto e invece un mezzo nelle fasi di scavo all'interno della stazione.

Per lo scavo dei diaframmi si fa riferimento ai dati riportati nella brochure messa a disposizione dalla casa produttrice di macchine per fondazioni Casagrande; la benna idraulica identificata per lo scavo dei diaframmi è la KHD25 di larghezza 2800 mm. La produzione oraria è stata stimata pari a:

$$P_{O,Diaframmi} = 25 \ \frac{m^3}{h}$$

Per la realizzazione dei diaframmi si è ipotizzato l'impiego di due macchine che lavorano in parallelo realizzando prima tutti i diaframmi primari e successivamente i secondari.

Per quanto riguarda invece la realizzazione dei pali sono state reperite informazioni da imprese specializzate nella realizzazione dello stesso tipo di elementi e per pali di caratteristiche simili e realizzati con la stessa tecnologia costruttiva sono stati forniti tempi di realizzazione di circa 45 minuti per ogni palo. Cautelativamente si è scelto di assumere come tempo di realizzazione un'ora per ogni palo ed essendo questi computati al metro lineare si è determinata la produzione oraria pari a:

$$P_{O,Pali} = 12\ \frac{m}{h}$$

Anche per la realizzazione dei pali di consolidamento si è ipotizzato l'impiego di due macchine in parallelo.

La successiva lavorazione considerata è la realizzazione del tampone di fondo tramite jet grouting; in questo caso l'unico dato delle macchine per la realizzazione di trattamenti colonnari reperito è la velocità di risalita dell'asta di perforazione. Per questo motivo la stima della produzione oraria è molto indicativa e ha il solo scopo di attribuire una durata verosimile alla lavorazione. La voce del prezzario computa le colonne di jet grouting a metro lineare e il numero di colonne necessarie per la realizzazione del tampone è stato determinato tramite una griglia di interasse 1150 mm come riportato nella relazione generale dell'opera. È stata assunta la seguente produzione oraria indicativa:

$$P_{O,Jet\ grouting} = 20\ \frac{m}{h}$$

Le colonne necessarie determinate sono 500 per la parte perimetrale alta 8,50 m e 294 per la parte centrale di altezza 4,50 m. In questo caso si è ipotizzato l'uso di 3 macchine in parallelo per via della notevole entità della lavorazione.

Per la posa delle armature si fa riferimento al tempario delle opere edili il quale fornisce come tempo per la posa di un chilo di armatura 0,01 h. Nel caso in oggetto gli elementi per cui risulta necessaria la realizzazione in opera di gabbie di armatura sono solo i solettoni in cui i ferri da posare sono principalmente dritti e necessitano di poche legature. Queste condizioni particolari portano ad assumere che il tempo per la posa di un chilogrammo di armatura sia minore e pari a 0,0075 h/kg. Segue che la produzione oraria di ogni singolo carpentiere sia assunta pari a:

$$P_{O,Armatura} = 133\ \frac{kg}{h}$$

Essendo presenti quantità considerevoli di armatura per la realizzazione dei solai si è assunta la presenza di dodici carpentieri.

Gli stessi lavoratori sono stati considerati per la posa dei tubi di alleggerimento presenti nel solettone di copertura. In questo caso sono state assunte quattro squadre da tre lavoratori ed è stata stimata, sempre partendo da quanto riportato nel tempario delle opere edili per la posa della carpenteria metallica, una produzione oraria di ogni squadra pari alla posa di sei tubi all'ora. Questa produzione deve essere ricondotta ad una quantità di chilogrammi all'ora per ogni lavoratore. Considerando il peso del tubo maggiorato del 20% dovuto agli irrigidimenti si determina la produzione oraria pari a:

$$P_{O,Tubi\ alleggerimento} = 217\ \frac{kg}{h}$$

Per questa lavorazione, come per la posa dell'armatura, si considera che la produzione di un singolo lavoratore è maggiore di quella indicata dal tempario poiché non sono presenti giunzioni e gli elementi vanno solo posizionati in opera e sono tutti uguali, quindi si tratta di un lavoro ripetitivo che porta a essere svolto sempre più velocemente.

Per la stima del tempo necessario per effettuare il getto del cls per la realizzazione dei solai ci si riferisce ai dati forniti dalla società Buzzi Unicem [10S] relativi alla realizzazione di grandi getti, in particolare quello della Torre della Regione Piemonte ubicata in prossimità della stazione Italia 61.

$$P_{O,Getto\ cls} = 100\ \frac{m^3}{h}$$

Per la realizzazione dei tre solettoni presenti si è ipotizzato l'impiego di quattro pompe contemporaneamente.

L'ultima lavorazione presa in considerazione è la demolizione dei pannelli di paratia lato atrio. In questo caso si è ipotizza la demolizione di un pannello ogni giorno lavorativo. Questa stima cautelativa è dovuta alla dimensione importante degli elementi da demolire e soprattutto alla posizione difficilmente accessibile in cui i pannelli si trovano. La demolizione è computata per unità di volume e la produzione oraria determinata è quindi la seguente:

$$P_{O,Demolizione\ diaframmi} = 1{,}89\ \frac{m^3}{h}$$

Si vuole, dopo aver illustrato come è stata condotta la determinazione delle diverse produzioni orarie, riportare una tabella riassuntiva di quanto determinato precedentemente e riportare i corrispondenti tempi unitari, i quali sono i dati da inserire nel software STR Vision per la determinazione del tempo di esecuzione delle diverse lavorazioni.

Lavorazione	P_O	T_U
Scavo sbancamento / ribassamento	120 [m^3/h]	0,0083 [h/m^3]
Scavo diaframmi	25 [m^3/h]	0,0400 [h/m^3]
Esecuzione pali	12 [m/h]	0,0833 [h/m]
Esecuzione jet grouting	20 [m/h]	0,0500 [h/m]
Posizionamento armatura	133 [kg/h]	0,0075 [h/kg]
Posizionamento tubi di alleggerimento	217 [kg/h]	0,0046 [h/kg]
Getto calcestruzzo	100 [m^3/h]	0,0100 [h/m^3]
Demolizione diaframmi	1,89 [m^3/h]	0,5291 [h/m^3]

Tabella 16: riepilogo produzioni orarie e tempi unitari

L'ultimo passaggio nel processo di pianificazione e gestione dei tempi di realizzazione dell'opera è stato la creazione del cronoprogramma dei lavori tramite il diagramma di Gantt. Con l'utilizzo del software STR Vision la redazione del cronoprogramma è un'operazione che non richiede molto tempo poiché, avendo assegnato i tempi unitari di esecuzione a tutte le voci, il software genera in automatico un cronoprogramma nel quale è necessario impostare solo la sequenza delle lavorazioni.

La prima operazione di questo procedimento, attraverso la finestra di programmazione dei lavori, è l'aggiunta di un *Nuovo programma lavori da preventivo* tramite il quale si apre una finestra di dialogo nella quale vengono richieste le informazioni generali del cronoprogramma (codice, descrizione, data di inizio e fine e tipo di programmazione che può essere a lavoro, risorse o durata fissa). Successivamente è necessario scegliere i raggruppatori secondo i quali ordinare il cronoprogramma. In questo modo si potrà ritrovare la stessa codifica utilizzata in fase di modellazione e computazione delle varie attività anche nel cronoprogramma.

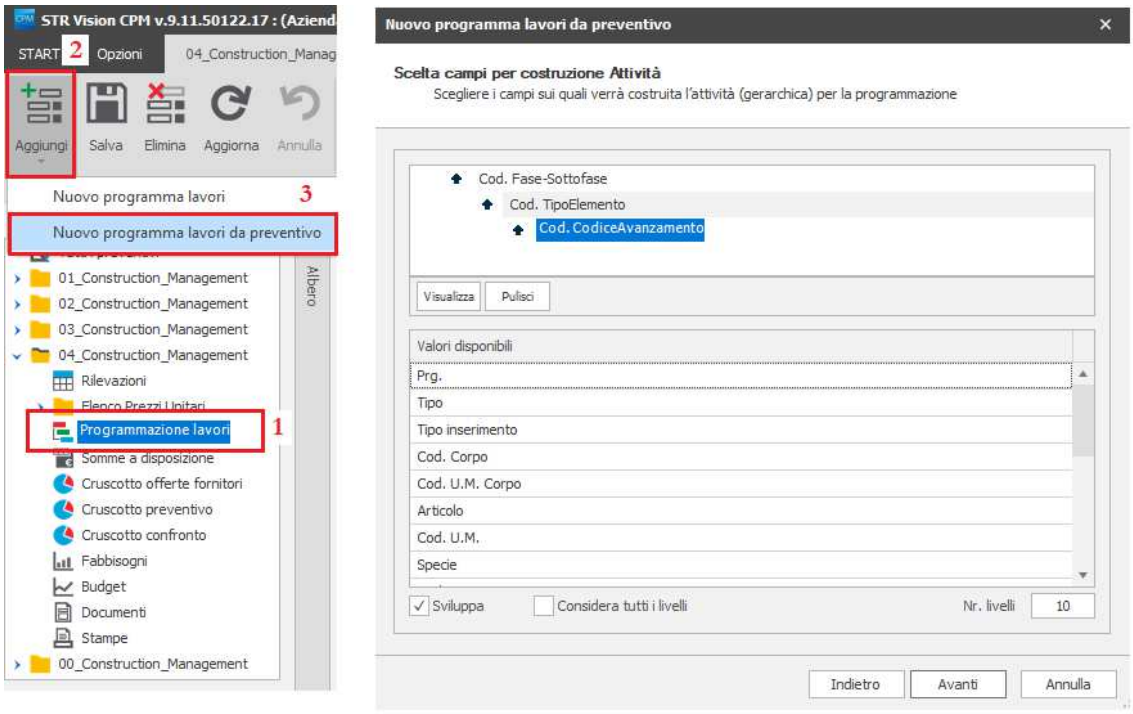
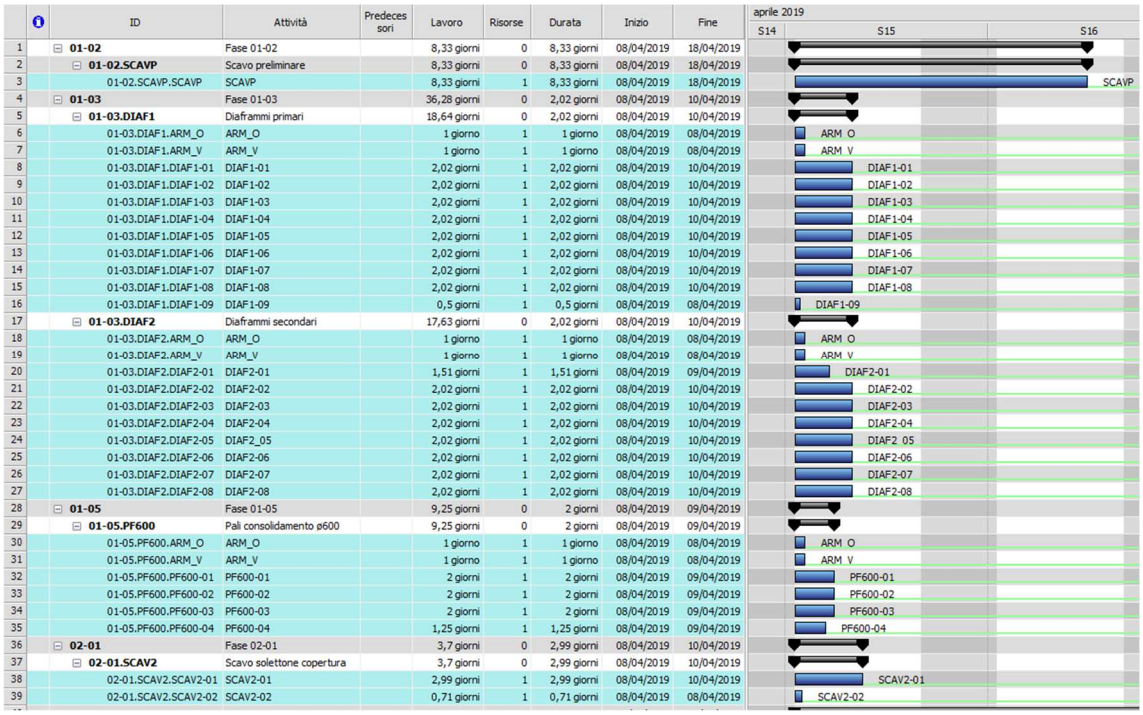


Figura 54: creazione nuovo programma lavori e impostazione dei raggruppatori

Si vuole precisare che nella selezione dei raggruppatori non è stato selezionato quello relativo all'ambito della lavorazione poiché, in questa fase, risulta comodo e porta ad un risultato più chiaro avere come primo raggruppatore quello relativo alle fasi di realizzazione le quali rappresentano già di per sé un ordine cronologico delle attività.

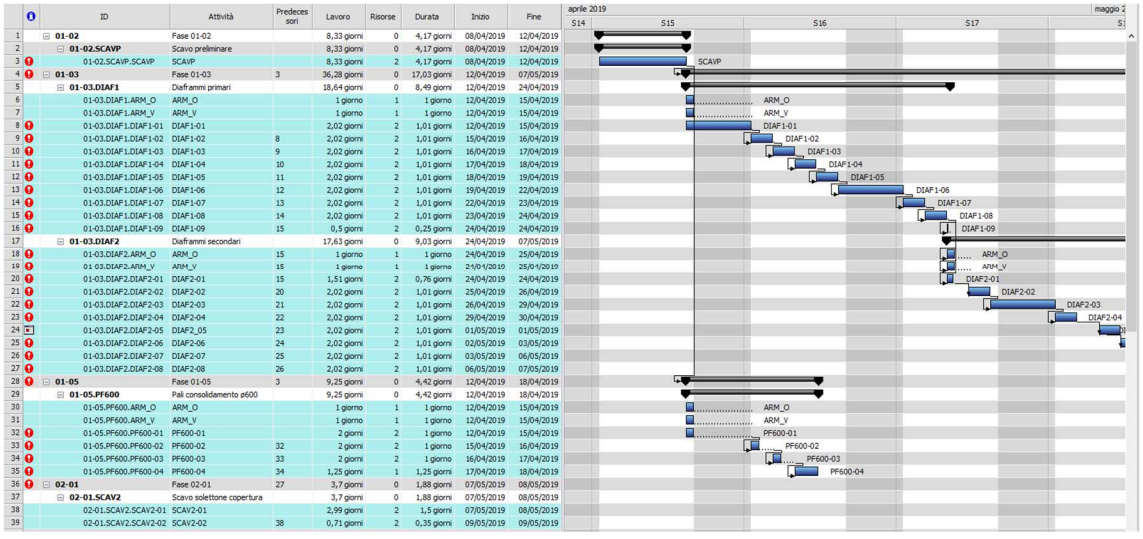
Dopo la creazione del nuovo programma lavori è possibile far generare il Gantt in automatico dal software tramite il comando dedicato. Il risultato che si ottiene, di cui se ne riporta uno stralcio nella figura seguente, è che tutte le lavorazioni partono dalla data di inizio del progetto e ad ogni attività viene assegnata una risorsa.



	ID	Attività	Predecessori	Lavoro	Risorse	Durata	Inizio	Fine
1	**01-02**	Fase 01-02		8,33 giorni	0	8,33 giorni	08/04/2019	18/04/2019
2	**01-02.SCAVP**	Scavo preliminare		8,33 giorni	0	8,33 giorni	08/04/2019	18/04/2019
3	01-02.SCAVP.SCAVP	SCAVP		8,33 giorni	1	8,33 giorni	08/04/2019	18/04/2019
4	**01-03**	Fase 01-03		36,28 giorni	0	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
5	**01-03.DIAF1**	Diaframmi primari		18,64 giorni	0	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
6	01-03.DIAF1.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	08/04/2019	08/04/2019
7	01-03.DIAF1.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	08/04/2019	08/04/2019
8	01-03.DIAF1.DIAF1-01	DIAF1-01		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
9	01-03.DIAF1.DIAF1-02	DIAF1-02		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
10	01-03.DIAF1.DIAF1-03	DIAF1-03		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
11	01-03.DIAF1.DIAF1-04	DIAF1-04		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
12	01-03.DIAF1.DIAF1-05	DIAF1-05		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
13	01-03.DIAF1.DIAF1-06	DIAF1-06		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
14	01-03.DIAF1.DIAF1-07	DIAF1-07		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
15	01-03.DIAF1.DIAF1-08	DIAF1-08		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
16	01-03.DIAF1.DIAF1-09	DIAF1-09		0,5 giorni	1	0,5 giorni	08/04/2019	08/04/2019
17	**01-03.DIAF2**	Diaframmi secondari		17,63 giorni	0	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
18	01-03.DIAF2.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	08/04/2019	08/04/2019
19	01-03.DIAF2.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	08/04/2019	08/04/2019
20	01-03.DIAF2.DIAF2-01	DIAF2-01		1,51 giorni	1	1,51 giorni	08/04/2019	09/04/2019
21	01-03.DIAF2.DIAF2-02	DIAF2-02		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
22	01-03.DIAF2.DIAF2-03	DIAF2-03		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
23	01-03.DIAF2.DIAF2-04	DIAF2-04		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
24	01-03.DIAF2.DIAF2-05	DIAF2_05		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
25	01-03.DIAF2.DIAF2-06	DIAF2-06		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
26	01-03.DIAF2.DIAF2-07	DIAF2-07		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
27	01-03.DIAF2.DIAF2-08	DIAF2-08		2,02 giorni	1	2,02 giorni	08/04/2019	10/04/2019
28	**01-05**	Fase 01-05		9,25 giorni	0	2 giorni	08/04/2019	09/04/2019
29	**01-05.PF600**	Pali consolidamento ø600		9,25 giorni	0	2 giorni	08/04/2019	09/04/2019
30	01-05.PF600.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	08/04/2019	08/04/2019
31	01-05.PF600.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	08/04/2019	08/04/2019
32	01-05.PF600.PF600-01	PF600-01		2 giorni	1	2 giorni	08/04/2019	09/04/2019
33	01-05.PF600.PF600-02	PF600-02		2 giorni	1	2 giorni	08/04/2019	09/04/2019
34	01-05.PF600.PF600-03	PF600-03		2 giorni	1	2 giorni	08/04/2019	09/04/2019
35	01-05.PF600.PF600-04	PF600-04		1,25 giorni	1	1,25 giorni	08/04/2019	09/04/2019
36	**02-01**	Fase 02-01		3,7 giorni	0	2,99 giorni	08/04/2019	10/04/2019
37	**02-01.SCAV2**	Scavo solettone copertura		3,7 giorni	0	2,99 giorni	08/04/2019	10/04/2019
38	02-01.SCAV2.SCAV2-01	SCAV2-01		2,99 giorni	1	2,99 giorni	08/04/2019	10/04/2019
39	02-01.SCAV2.SCAV2-02	SCAV2-02		0,71 giorni	1	0,71 giorni	08/04/2019	08/04/2019

Figura 55: diagramma di Gantt generato automaticamente dal software STR Vision

L'operazione finale per arrivare alla definizione del cronoprogramma è quella di assegnare il numero di risorse alle differenti attività e, successivamente, tramite la colonna *Predecessori* si definisce l'ordine temporale in cui le attività devono succedersi. In *Allegato M* viene riportato l'intero diagramma di Gantt mentre nel seguito si riporta uno stralcio di quanto visualizzato nel software dopo aver impostato il numero di risorse e l'ordine temporale di successione.



	ID	Attività	Predecessori	Lavoro	Risorse	Durata	Inizio	Fine
1	**01-02**	Fase 01-02		8,33 giorni	0	4,17 giorni	08/04/2019	12/04/2019
2	**01-02.SCAVP**	Scavo preliminare		8,33 giorni	0	4,17 giorni	08/04/2019	12/04/2019
3	01-02.SCAVP.SCAVP	SCAVP		8,33 giorni	2	4,17 giorni	08/04/2019	12/04/2019
4	**01-03**	Fase 01-03	3	36,28 giorni	0	17,03 giorni	12/04/2019	07/05/2019
5	**01-03.DIAF1**	Diaframmi primari		18,64 giorni	0	8,49 giorni	12/04/2019	24/04/2019
6	01-03.DIAF1.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	12/04/2019	15/04/2019
7	01-03.DIAF1.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	12/04/2019	15/04/2019
8	01-03.DIAF1.DIAF1-01	DIAF1-01		2,02 giorni	2	1,01 giorni	12/04/2019	15/04/2019
9	01-03.DIAF1.DIAF1-02	DIAF1-02	8	2,02 giorni	2	1,01 giorni	15/04/2019	16/04/2019
10	01-03.DIAF1.DIAF1-03	DIAF1-03	9	2,02 giorni	2	1,01 giorni	16/04/2019	17/04/2019
11	01-03.DIAF1.DIAF1-04	DIAF1-04	10	2,02 giorni	2	1,01 giorni	17/04/2019	18/04/2019
12	01-03.DIAF1.DIAF1-05	DIAF1-05	11	2,02 giorni	2	1,01 giorni	18/04/2019	19/04/2019
13	01-03.DIAF1.DIAF1-06	DIAF1-06	12	2,02 giorni	2	1,01 giorni	19/04/2019	22/04/2019
14	01-03.DIAF1.DIAF1-07	DIAF1-07	13	2,02 giorni	2	1,01 giorni	22/04/2019	23/04/2019
15	01-03.DIAF1.DIAF1-08	DIAF1-08	14	2,02 giorni	2	1,01 giorni	23/04/2019	24/04/2019
16	01-03.DIAF1.DIAF1-09	DIAF1-09	15	0,5 giorni	2	0,25 giorni	24/04/2019	24/04/2019
17	**01-03.DIAF2**	Diaframmi secondari		17,63 giorni	0	9,03 giorni	24/04/2019	07/05/2019
18	01-03.DIAF2.ARM_O	ARM_O	15	1 giorno	1	1 giorno	24/04/2019	25/04/2019
19	01-03.DIAF2.ARM_V	ARM_V	15	1 giorno	1	1 giorno	24/04/2019	25/04/2019
20	01-03.DIAF2.DIAF2-01	DIAF2-01	15	1,51 giorni	2	0,76 giorni	24/04/2019	24/04/2019
21	01-03.DIAF2.DIAF2-02	DIAF2-02	20	2,02 giorni	2	1,01 giorni	25/04/2019	26/04/2019
22	01-03.DIAF2.DIAF2-03	DIAF2-03	21	2,02 giorni	2	1,01 giorni	26/04/2019	29/04/2019
23	01-03.DIAF2.DIAF2-04	DIAF2-04	22	2,02 giorni	2	1,01 giorni	29/04/2019	30/04/2019
24	01-03.DIAF2.DIAF2-05	DIAF2_05	23	2,02 giorni	2	1,01 giorni	01/05/2019	01/05/2019
25	01-03.DIAF2.DIAF2-06	DIAF2-06	24	2,02 giorni	2	1,01 giorni	02/05/2019	03/05/2019
26	01-03.DIAF2.DIAF2-07	DIAF2-07	25	2,02 giorni	2	1,01 giorni	03/05/2019	06/05/2019
27	01-03.DIAF2.DIAF2-08	DIAF2-08	26	2,02 giorni	2	1,01 giorni	06/05/2019	07/05/2019
28	**01-05**	Fase 01-05	3	9,25 giorni	0	4,42 giorni	12/04/2019	18/04/2019
29	**01-05.PF600**	Pali consolidamento ø600		9,25 giorni	0	4,42 giorni	12/04/2019	18/04/2019
30	01-05.PF600.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	12/04/2019	15/04/2019
31	01-05.PF600.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	12/04/2019	15/04/2019
32	01-05.PF600.PF600-01	PF600-01		2 giorni	2	1 giorno	12/04/2019	15/04/2019
33	01-05.PF600.PF600-02	PF600-02	32	2 giorni	2	1 giorno	15/04/2019	16/04/2019
34	01-05.PF600.PF600-03	PF600-03	33	2 giorni	2	1 giorno	16/04/2019	17/04/2019
35	01-05.PF600.PF600-04	PF600-04	34	1,25 giorni	1	1,25 giorni	17/04/2019	18/04/2019
36	**02-01**	Fase 02-01	27	3,7 giorni	0	1,88 giorni	07/05/2019	08/05/2019
37	**02-01.SCAV2**	Scavo solettone copertura		3,7 giorni	0	1,88 giorni	07/05/2019	08/05/2019
38	02-01.SCAV2.SCAV2-01	SCAV2-01		2,99 giorni	2	1,5 giorni	07/05/2019	08/05/2019
39	02-01.SCAV2.SCAV2-02	SCAV2-02	38	0,71 giorni	2	0,35 giorni	09/05/2019	09/05/2019

Figura 56: diagramma di Gantt modificato dall'utente

Dal software STR Vision è possibile esportare il cronoprogramma e il diagramma di Gantt associato in diversi formati, nella figura seguente vengono riportati i diversi formati disponibili.

Figura 57: formati di esportazione del cronoprogramma

Si vuole, a questo punto, riassumere brevemente il processo utilizzato partendo dal modello 3D fino alla definizione del cronoprogramma. Dopo l'importazione dei modelli IFC nel software STR Vision sono state collegate le quantità geometriche dei diversi elementi alle relative voci di capitolato e ad esse successivamente è stato attribuito un tempo unitario di esecuzione. Il passo successivo è stato quello di generare il Gantt collegato al preventivo e infine il diagramma è stato modificato per quanto riguarda le risorse da destinare alle diverse lavorazioni e la successione temporale delle lavorazioni.

L'aspetto importante che si vuole mettere in evidenza è come tutto il processo di stima dei tempi e dei costi sia collegato alle quantità derivanti dal modello 3D e questo è facilmente aggiornabile all'interno di STR Vision. Questo significa che una volta che viene caricato il modello aggiornato in automatico si aggiornano anche i tempi di completamento delle attività, e quindi il Gantt ad esse associato, e i costi dell'opera.

5.4 Simulazione 4D del cantiere

L'ultima tematica che si vuole affrontare relativa al CM è quella delle simulazioni temporali dell'avanzamento del cantiere. Per lo sviluppo di questo aspetto si è deciso di utilizzare il programma Synchro PRO della software house Bentley e si è mantenuto sempre un approccio OPEN BIM.

5.4.1 Animazione 4D

Il primo passo per la creazione della simulazione delle fasi di avanzamento del cantiere è stato importare tutti i dati necessari. I dati grafici sono stati importati sempre tramite formato IFC e sono stati importati gli stessi due modelli utilizzati per la creazione del computo, uno riguardante le strutture e il secondo relativo ai movimenti terra. Per quanto riguarda invece l'importazione dei dati relativi al cronoprogramma si è scelto di utilizzare come formato di interscambio MS Project. A tal riguardo si vogliono fare due precisazioni, la prima è relativa al fatto che questo formato, a differenza di quanto fatto in tutto lo sviluppo della tesi, è proprietario e non libero come per il formato IFC. La scelta di utilizzare questo formato di scambio è stata fatta sia perché è uno dei formati di importazione messi a disposizione da Synchro e anche perché MS Project è un programma di uso molto comune nell'ambito della redazione dei cronoprogrammi. La seconda precisazione necessaria è che il cronoprogramma esportato da STR Vision, prima di essere importato in Synchro, deve essere aperto tramite MS Project utilizzato come software ponte ed essere salvato. Questa operazione è necessaria perché altrimenti i dati non vengono importati in Synchro. Questa si segnala come una criticità di tutto il processo poiché obbliga l'utente a possedere il programma MS Project anche se questo non viene direttamente coinvolto nel processo utilizzato. Va segnalato che questa criticità è in fase di superamento da parte della software house produttrice di STR Vision (TeamSystem) la quale sta sviluppando un plugin per il trasferimento diretto da STR Vision verso Synchro PRO.

Dopo l'importazione di tutti i dati è stato necessario abbinare tutte le voci del cronoprogramma con i corrispondenti elementi 3D poiché questo legame, che era già stato impostato in STR per la creazione del computo, viene perso nel momento in cui il cronoprogramma viene esportato in MS Project. Per poter eseguire questa operazione in modo automatico e molto veloce risulta fondamentale la codifica degli elementi e delle relative voci di capitolato. Synchro presenta un comando di Auto Matching per l'accoppiamento delle risorse (*Resources*), ossia gli elementi 3D, con le attività del cronoprogramma (*Task*); l'allineamento tra le attività e gli oggetti avviene tramite gli attributi ad essi associati. Il livello di codifica utilizzato per eseguire l'auto matching è l'ultimo rappresentato dal *CodiceAvanzamento* e di seguito viene riportata un'immagine che rappresenta il procedimento utilizzato per la definizione della regola di allineamento.

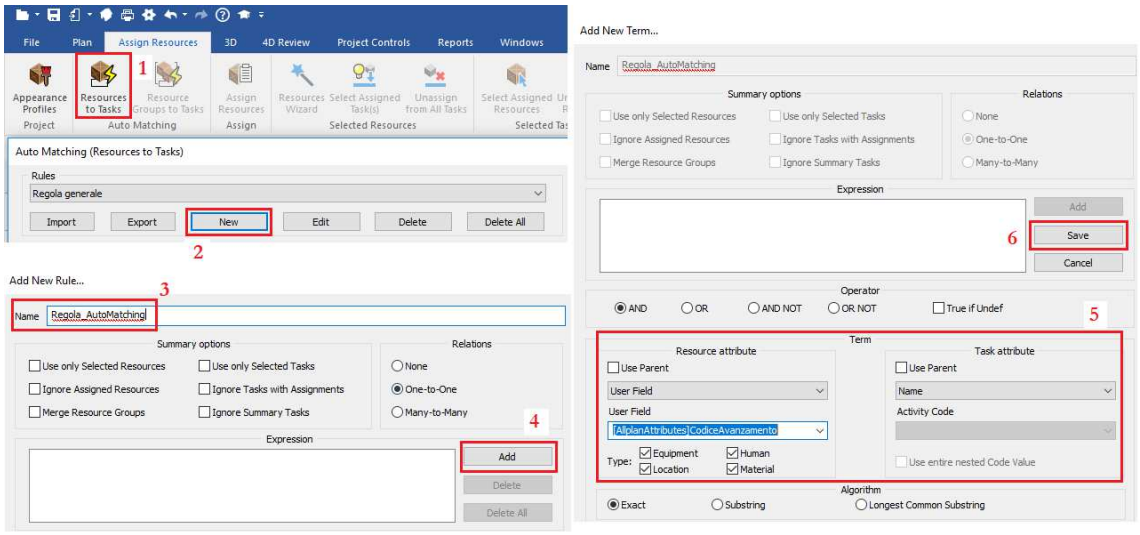


Figura 58: definizione regola di Auto Matching in Synchro PRO

Dopo aver definito la regola questa può essere applicata al progetto tramite il comando *Search* proposto dalla finestra di dialogo e successivamente vengono riportate in un elenco tutte le voci trovate dalla regola definita precedentemente. Tramite il comando *Assign All* tutte le risorse trovate vengono assegnate alle corrispondenti attività.

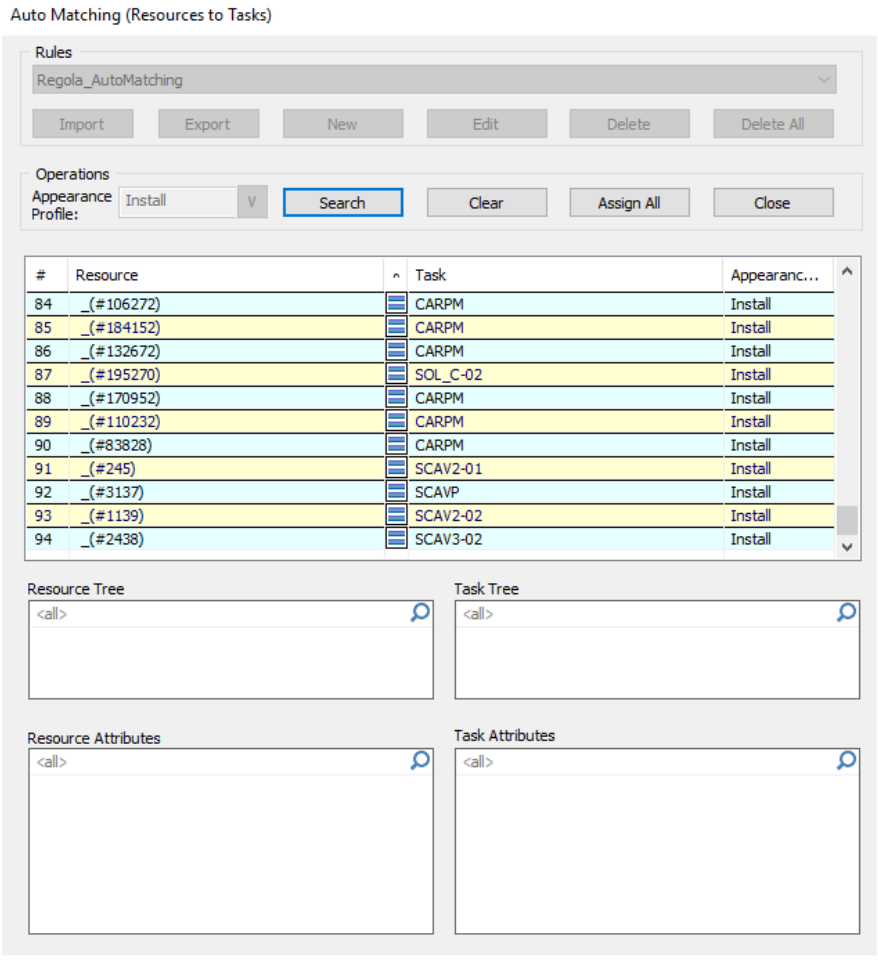


Figura 59: risultato dell'operazione di Auto Matching

Nel progetto è stato necessario definire due differenti regole: una generale che è stata illustrata attraverso le immagini e la seconda è relativa ai diaframmi poiché Allplan per questi elementi indica una dicitura diversa al nome proprio del codice e quindi diventa necessario definire una regola ad hoc.

Successivamente è stato necessario eseguire due rapide operazioni per rendere la restituzione grafica coerente con il piano dei lavori: la prima è stata quella di assegnare alle attività di scavo la proprietà di rimozione così che nell'animazione i volumi di terra risultassero presenti dall'inizio e via via rimossi. La seconda operazione è stata quella di assegnare alle attività di demolizione dei diaframmi lato atrio i corrispondenti oggetti 3D poiché tramite la regola è stato possibile associarli solo ad una lavorazione, ossia quella di costruzione (sarebbe stato necessario definire un ulteriore livello di codifica e definire una differente regola per poter automatizzare il procedimento e si è ritenuto più veloce procedere con l'assegnazione manuale). Anche alle attività di demolizione è stato poi assegnato lo stile di visualizzazione corrispondente alle attività di rimozione. Di seguito si riportano due *frame* estratti dall'animazione ottenuta con il procedimento fino ad ora descritto.

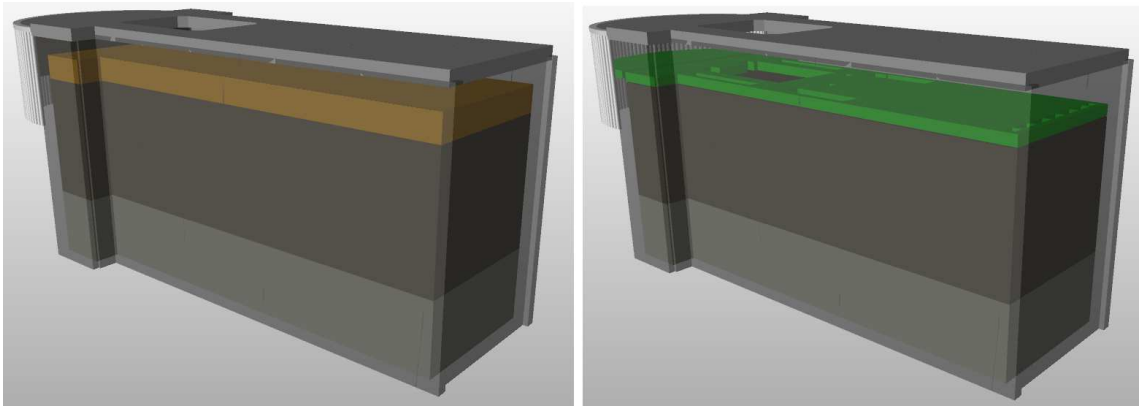


Figura 60: immagini estratte dall'animazione 4D originale fatta in Synchro

A questo punto si è voluto migliorare il modello dal punto di vista della restituzione grafica; per fare questo la prima operazione fatta è stata quella di esportare il contesto in cui si colloca l'opera. È stato usato il software InfraWorks di Autodesk che permette di selezionare l'area desiderata dalla mappa e quindi estrapolare il modello dell'area selezionata. Il modello così generato è modificabile nei suoi aspetti base come la creazione e rimozione degli edifici e delle strade, inoltre è possibile generare dei fori nella superficie del modello. Nel caso in oggetto è stato definito il perimetro interessato dall'area di scavo del cantiere.

Figura 61: contesto dell'area tramite InfraWorks

Il modello viene esportato tramite il formato *.fbx* e può essere direttamente importato in Synchro PRO.

Dopo l'importazione del contesto sono state inserite tutte le macchine utilizzate per lo svolgimento delle attività previste e alcune attrezzature da cantiere, questi sono oggetti 3D sono messi a disposizione in una libreria dedicata di Synchro PRO. Di seguito vengono riportati nuovamente due frame estratti dall'animazione 4D finale.

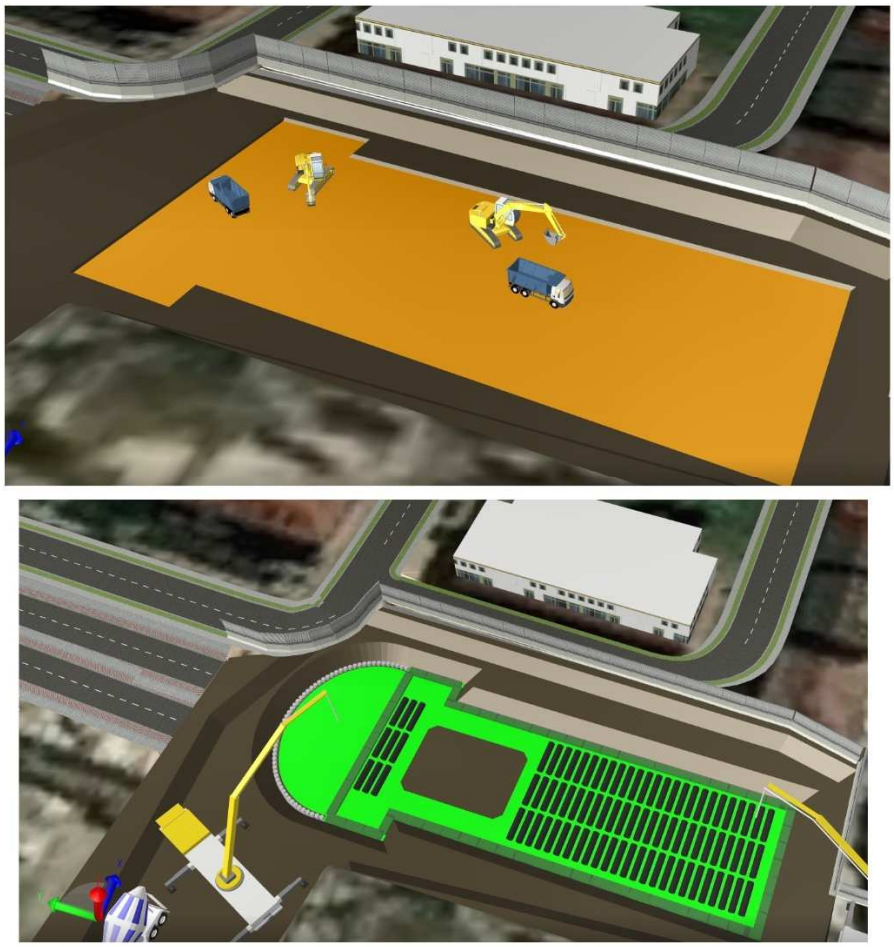


Figura 62: immagini estratte dell'animazione 4D finale fatta in Synchro

5.4.2 Realtà mista

La *mixed reality* (MR) unisce la realtà fisica con quella virtuale, si può quindi osservare il mondo reale e allo stesso tempo vedere e interagire con gli oggetti virtuali come se questi fossero reali. La visualizzazione della parte digitale avviene tramite speciali visori, come per esempio Hololens di Microsoft, i quali presentano un complesso sistema di sensori, un display ottico 3D e un sistema di scansione spaziale. Di seguito si riporta un'immagine che mostra quello che si vede in prima persona tramite l'uso degli Hololens durante la visualizzazione di un progetto demo di Synchro PRO. [11S] [12S]

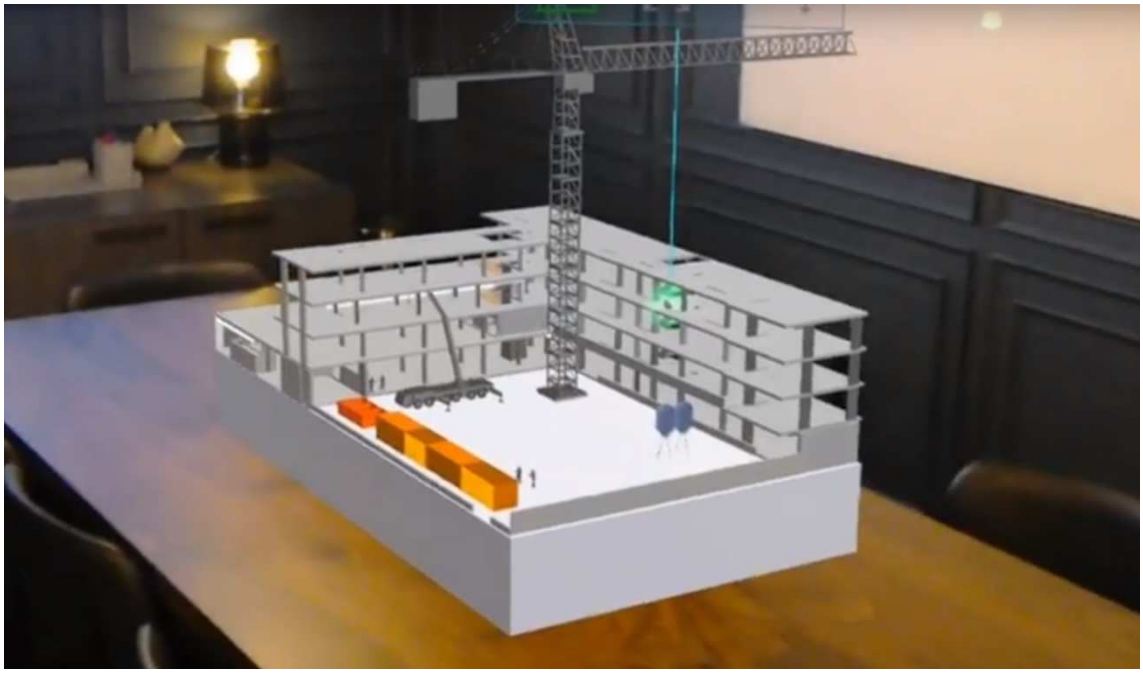


Figura 63: realtà mista tramite Hololens
immagine acquisita da: https://www.youtube.com/watch?v=Pdl0mLKTmy4&t=17s

Il software Synchro PRO permette tramite l'uso degli Hololens e attraverso l'applicazione Synchro XR rilasciata appositamente per il dispositivo di visualizzare e interagire con il progetto creato in Synchro PRO. Le funzionalità principali messe a disposizione sono la visualizzazione dell'animazione 4D creata in accordo con il cronoprogramma e visualizzata sia sul modello in scala (come riportato in *Figura 63*) sia sul modello in scala reale il quale si può "agganciare" alla struttura reale e quindi vedere sovrapposti il modello alla struttura reale. La seconda funzionalità messa a disposizione dall'applicativo è l'interazione con gli elementi del modello i quali possono essere impostati su determinati stati di progetto in funzione del reale stato di avanzamento dei lavori rispetto a quello preventivato. In altre parole, durante un sopralluogo in cantiere, tramite l'uso degli Hololens, si può impostare lo stato di fatto di un elemento come "costruito" mentre alla data corrente sarebbe previsto come "da

costruire" e viceversa. Così da poter aggiornare in tempo reale l'avanzamento dei lavori rispetto alla pianificazione ed apportare le eventuali modifiche.

Questa procedura presenta un'unica criticità che sta nel dover usare l'ambiente condiviso di Synchro (*Synchro Workgroup Project*), ossia il progetto deve essere caricato nell'ambiente condiviso e una volta fatta questa operazione il progetto dovrebbe essere visualizzabile tramite gli Hololens. La prima osservazione che è doveroso fare è che l'ambiente condiviso di Synchro è disponibile solo a pagamento e quindi l'uso della realtà mista è condizionata all'acquisto della licenza di questo ambiente. La seconda osservazione è che nello sviluppo della tesi, nonostante la disponibilità dell'ambiente condiviso, non si è riusciti a visualizzare il modello tramite gli Hololens e tutte le varie prove che sono state fatte non hanno mai portato a risultati positivi né hanno consentito di capire la natura del problema. Per completezza si descrivono brevemente le diverse prove fatte per la visualizzazione in realtà mista. Il primo tentativo è stato fatto con il progetto originale e completo, successivamente si è provato a scremare il progetto lasciando solo pochissimi elementi molto semplici e le attività corrispondenti per poter escludere i problemi legati alla pesantezza del file originale. Poiché anche questo secondo tentativo non ha dato risultati positivi sono stati modellati due solidi generici direttamente nell'ambiente di modellazione offerto da Synchro, in modo da avere elementi nativi del software e tutti gli altri elementi sono stati rimossi in modo da avere anche il minor peso possibile ma anche questo tentativo non ha fornito risultati positivi.

Sicuramente sarebbe stato interessante poter usare questa implementazione che è forse ad oggi quella con il potenziale maggiore poiché è assolutamente trasportabile come tecnologia e permette il confronto in tempo reale tra quanto pianificato e quanto realmente realizzato proponendosi come strumento di ausilio per il Construction Manager.

Capitolo VI

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

In conclusione, si vuole ricapitolare quanto trattato nell'elaborato di tesi il quale ha affrontato diverse tematiche tutte accomunate dall'uso della metodologia BIM applicata al campo infrastrutturale, l'analisi è stata quindi condotta servendosi del caso studio della stazione Italia 61 della metropolitana di Torino.

La prima parte della tesi ha portato a definire un metodo generale per la valutazione delle piattaforme BIM oriented e nello sviluppo di questa parte sono stati definiti i principali domains che la metodologia BIM interessa e per questi sono stati identificati i KPI di valutazione e, per quelli analizzati, sono stati definiti i test da eseguire per l'attribuzione del punteggio. Questa prima parte è stata pensata in modo da lasciare un metodo ben definito con l'idea che possa venir implementato ulteriormente andando a definire i test necessari per la valutazione di tutti gli aspetti importanti che la metodologia BIM affronta. L'obiettivo con cui è stato definito il metodo di valutazione è quindi quello di ottenere un elenco di parametri in grado di descrivere tutti i domains rilevanti e dare quindi una valutazione globale delle diverse piattaforme BIM oriented.

All'interno della seconda parte si è voluto applicare quanto definito a livello metodologico nella parte precedente focalizzandosi sull'ambito dell'interoperabilità orizzontale OPEN BIM; sono stati quindi condotti i test di importazione ed esportazione di file in formato IFC, di cui sono state usate le due versioni attualmente più diffuse (2x3 e 4), sia esportando da Revit e importando in Allplan che viceversa. Questi test hanno portato alla valutazione delle due piattaforme e si può dire che per la parte di importazione i risultati sono simili e abbastanza buoni per entrambe mentre per quanto riguarda l'esportazione i risultati ottenuti sono notevolmente diversi e in particolare il risultato ottenuto dal software Revit è meno efficiente al contrario da quanto emerso per la piattaforma Allplan. Al di là dei risultati numerici emersi, i test eseguiti hanno messo in luce diverse criticità per le quali è importante che le software house e lo sviluppo del formato IFC vadano a colmare per avere la garanzia

che la completezza di un progetto non sia vincolata all'uso del software nativo ma si conservi anche tramite il formato di scambio libero.

In ultimo è stato trattato il tema del CM attraverso la metodologia BIM e, come fatto per la parte precedente, si è voluto sempre mantenere lo sviluppo della tesi in ottica OPEN BIM usando quindi il formato IFC per il passaggio dei dati geometrici e descrittivi degli elementi tra la piattaforma di modellazione Allplan e i software specifici per il CM quali STR Vision e Synchro PRO. Questa parte ha sicuramente messo in luce le potenzialità che la metodologia può offrire e in particolare si è potuto eseguire la stima dei tempi e dei costi dell'opera mantenendo tutti i valori legati al modello, quindi facilmente aggiornabili in automatico a fronte di eventuali modifiche del progetto e dell'opera nelle fasi di costruzione. Per questo ultimo tema trattato, se si guarda al futuro, le tecnologie che verranno utilizzate sono sicuramente quelle legate alla realtà virtuale, aumentata e mista e l'auspicio è che le piattaforme rendano quanto più agevole e diretto il passaggio del progetto dall'ambiente di modellazione a quello di visualizzazione digitale.

L'uso e lo sviluppo di queste tecnologie innovative probabilmente metterà di fronte ad un ulteriore cambiamento nello sviluppo di determinate problematiche ma sicuramente sarà in grado di agevolare la risoluzione dei problemi imprevisti e delle fasi critiche che la costruzione di un'opera presenta.

FONTI

Bibliografia

[1] A. Osello; Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti; Dario Flaccovio Editore; 2012

[2] B. Succar, W. Sher & A. Williams; Measuring BIM performance: Five metrics; 2012

[3] L. Manzione, M. Wyse, R. Sacks, L. van Berlo & S.B. Melhado; KPI to analyze and improve management of information flow in the BIM design process; 2011

[4] A. Borrmann & M. Trzeciak; Technical report - Model exchange between Revit and Allplan using IFC: a case study for a bridge model; 2018

[5] Caterpillar Performance Handbook Ed. 42; 2012

[6] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks & K. Liston; BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors; John Wiley & Sons; 2008

[7] A. Osello & F.M. Ugliotti; BIM: verso il catasto del futuro. Conoscere, digitalizzare, condividere; Gangemi Editore; 2017

[8] G. Dell'Acqua; BIM per infrastrutture: il Building Information Modeling per le grandi opere lineari; EPC Editore; 2018

Sitografia

[1S] http://biblus.acca.it/focus/bim-building-information-modeling/
Consultato il 02/04/2019

[2S] https://www.lavoripubblici.it/news/2018/01/LAVORI-PUBBLICI/19712/Codice-dei-contratti-adottato-il-Decreto-BIM
Consultato il 02/04/2019

[3S] https://www.ediltecnico.it/63404/uni-11337-standard-italiani-bim/
Consultato il 02/04/2019

[4S] https://www.ingenio-web.it/7243-norma-uni-11337-sul-bim-nuove-parti-9-e-10
Consultato il 02/04/2019

[5S] https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/
Consultato il 14/11/2018

[6S] https://it.wikipedia.org/wiki/Metropolitana_di_Torino
Consultato il 09/03/2019

[7S] https://www.infrato.it/it/
Consultato il 09/03/2019

[8S] http://biblus.acca.it/focus/le-7-dimensioni-del-bim/
Consultato il 02/04/2019

[9S] https://en.wikipedia.org/wiki/Construction_management
Consultato il 18/03/2019

[10S] https://www.unicalcestruzzi.it/grandi-lavori
Consultato il 28/01/2019

[11S] https://www.focus.it/tecnologia/digital-life/realta-virtuale-aumentata-o-mista
Consultato il 04/04/2019

[12S] https://it.wikipedia.org/wiki/Windows_Mixed_Reality
Consultato il 04/04/2019

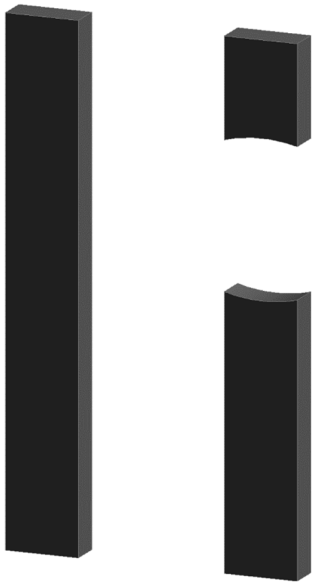
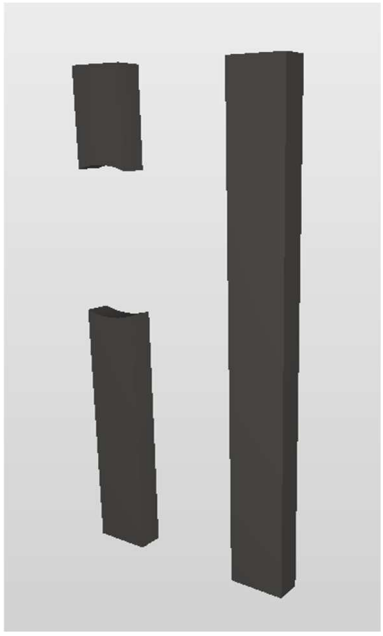
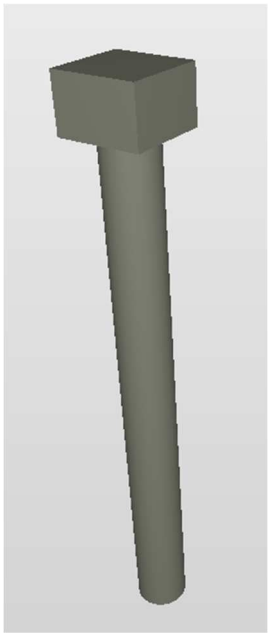
[13S] https://www.smartbusinesslab.com/kpi-aziendali-cosa-sono-come-sceglierli-e-perche-sono-importanti/
Consultato il 06/11/2018

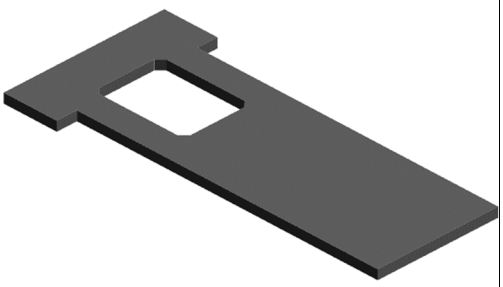
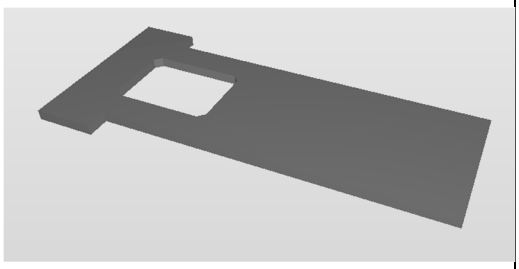
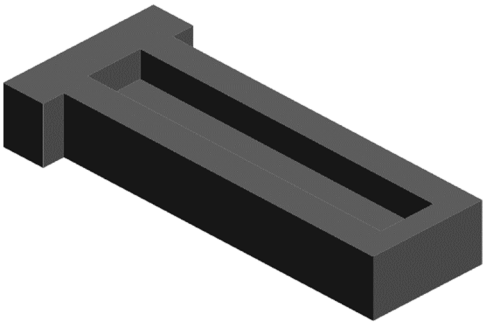
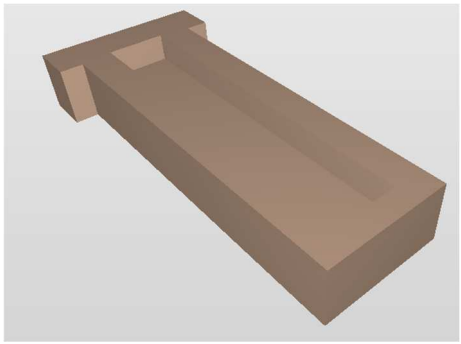
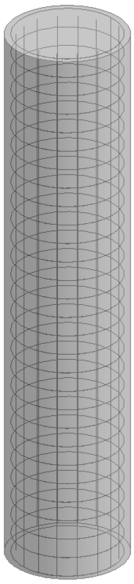
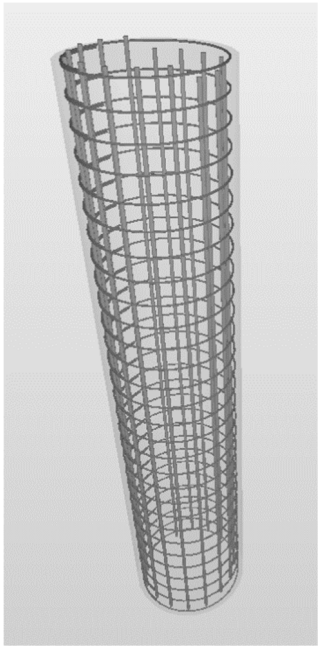
[15S] http://www.ibimi.it/ifc-cose-e-come-e-fatto/
Consultato il 02/04/2019

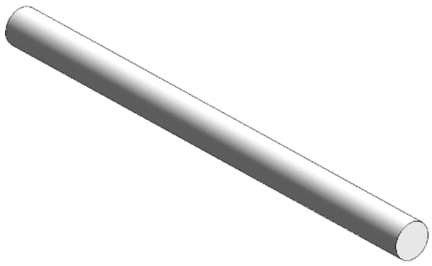
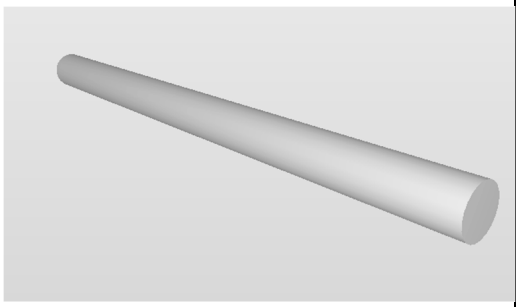
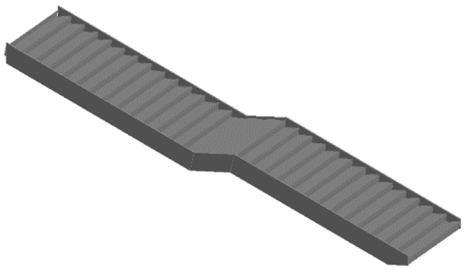
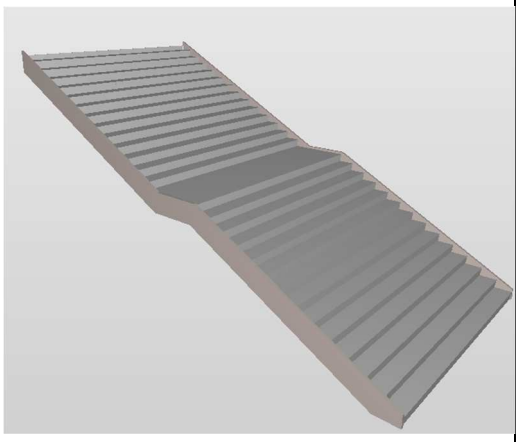
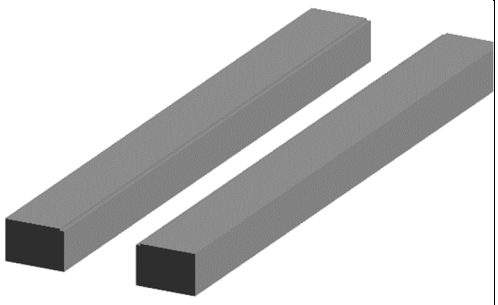
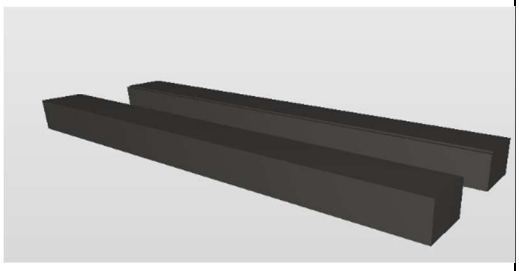
[16S] https://knowledge.autodesk.com/it/support/civil-3d/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ITA/Civil3D-UserGuide/files/GUID-CB33335C-7629-4067-AA69-6716832A2162-htm.html - Consultato il 09/04/2019

ALLEGATI

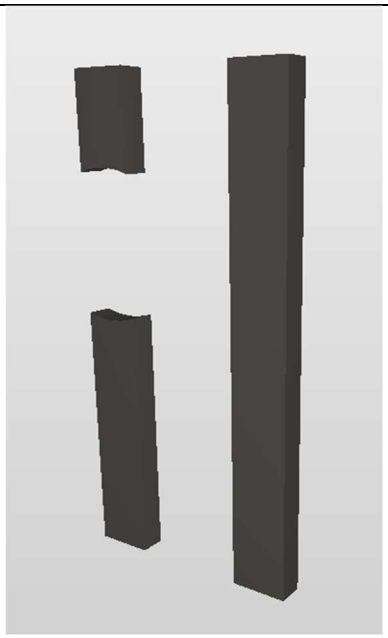
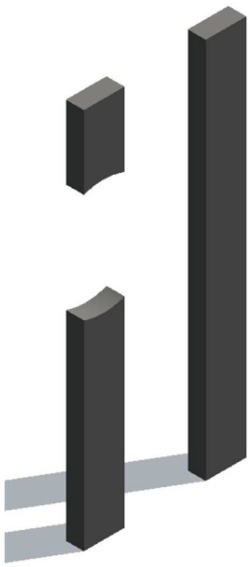
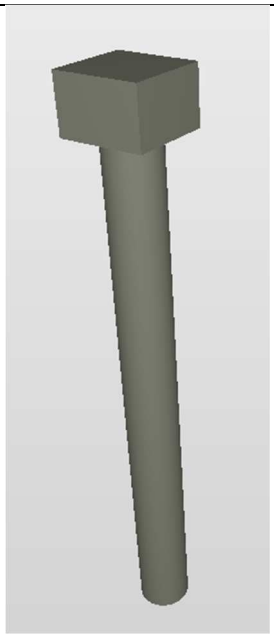
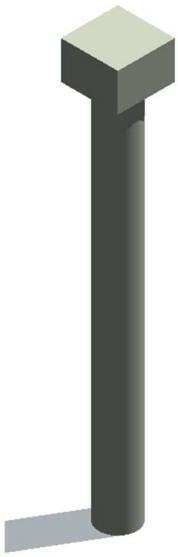
A – Esportazione tramite formato IFC da Revit 2018

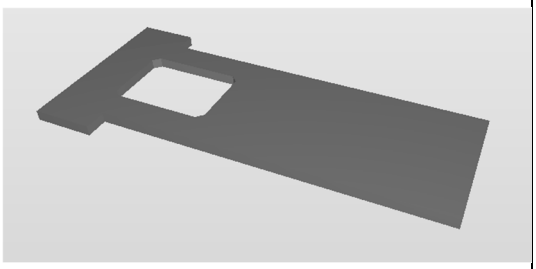
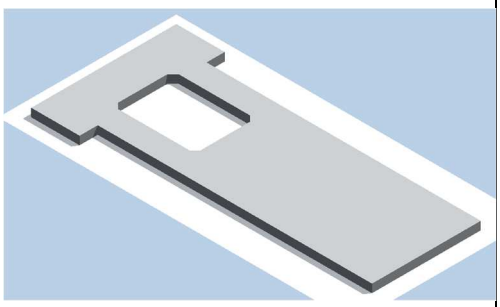
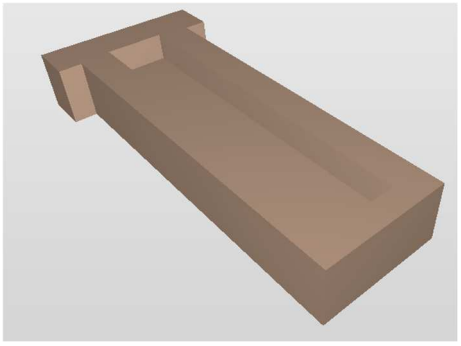
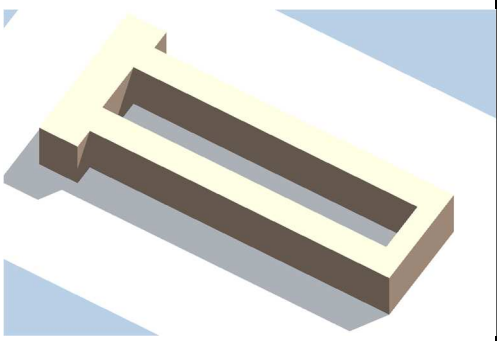
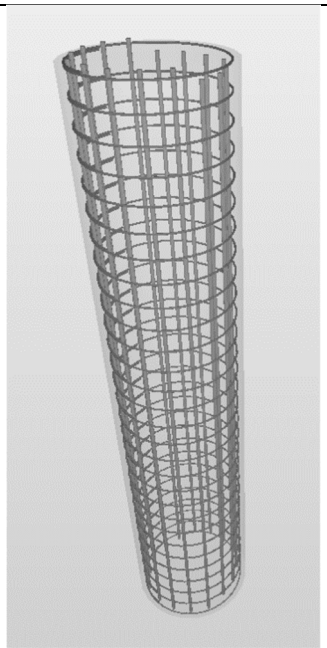
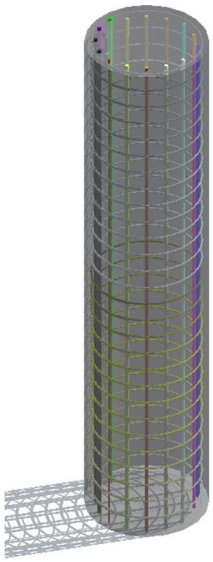
	Revit 2018	Solibri Model Viewer – IFC 2x3
Diaframmi		
Pali di fondazione		

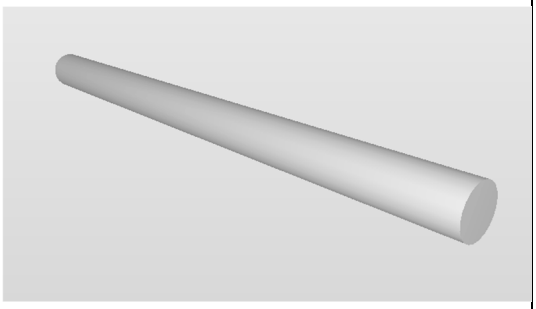
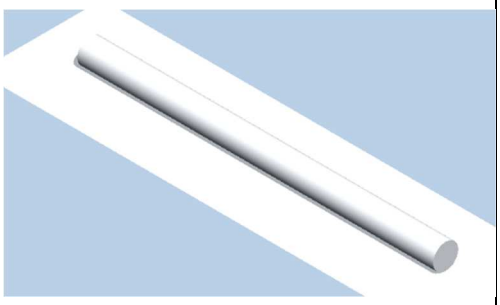
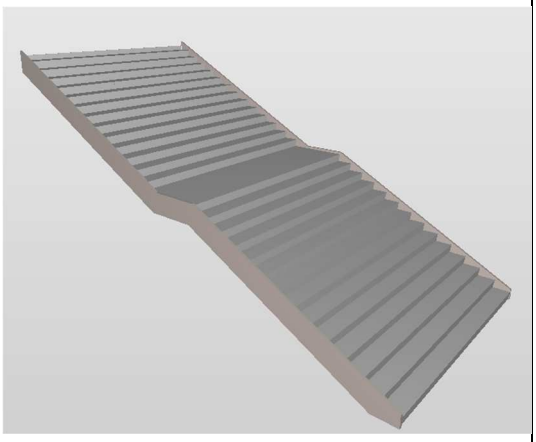
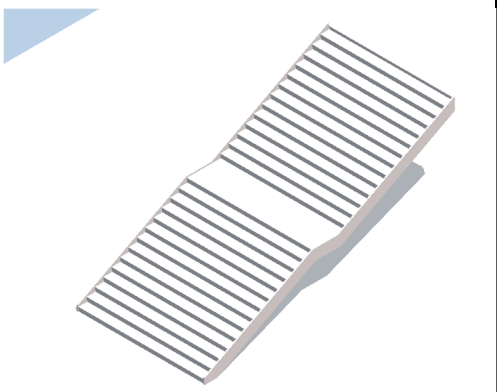
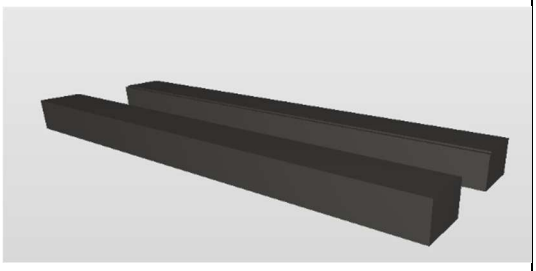
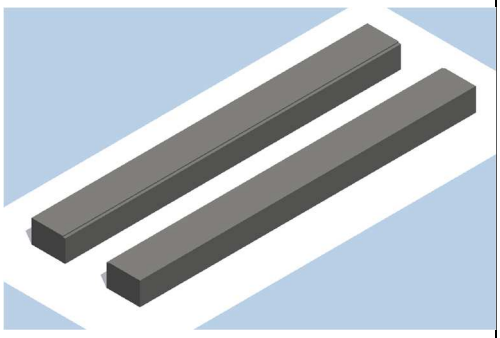
	Revit 2018	Solibri Model Viewer – IFC 2x3
Solettone di copertura		
Tampone di fondo		
Pilastro con armatura		

	Revit 2018	Solibri Model Viewer – IFC 2x3
Puntoni provvisori		
Scale		
Banchina		

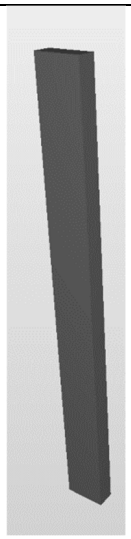
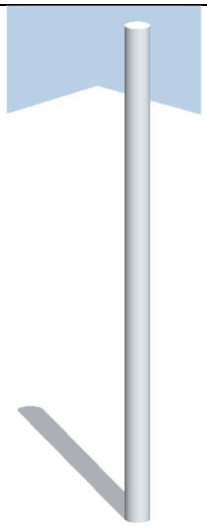
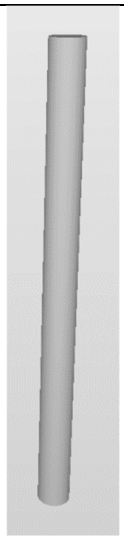
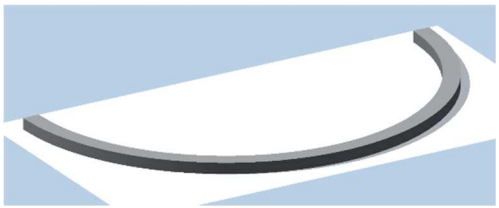
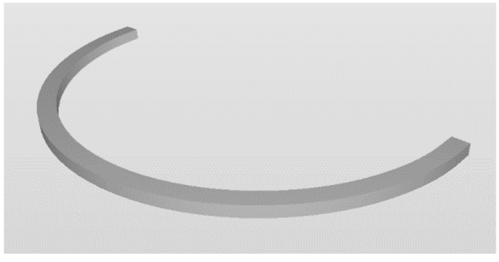
B – Importazione tramite formato IFC in Allplan 2019

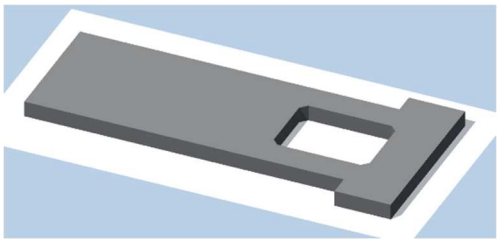
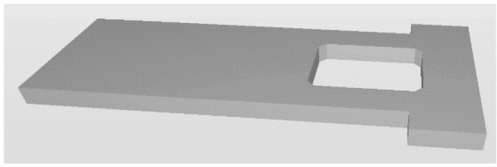
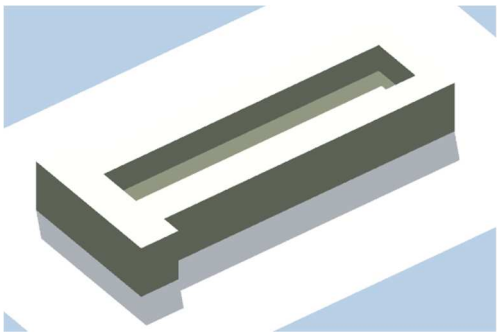
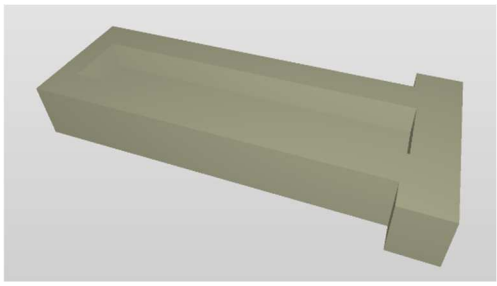
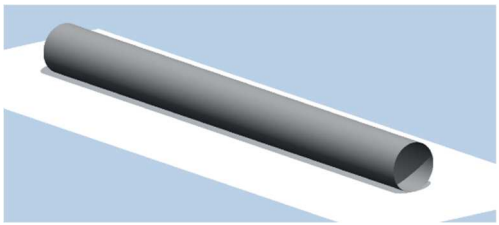
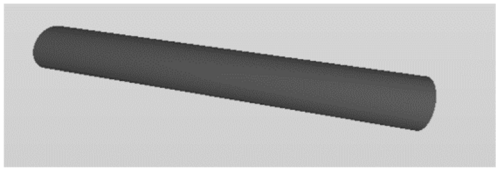
	Solibri Model Viewer – IFC 2x3	Allplan 2019
Diaframmi		
Pali di fondazione		

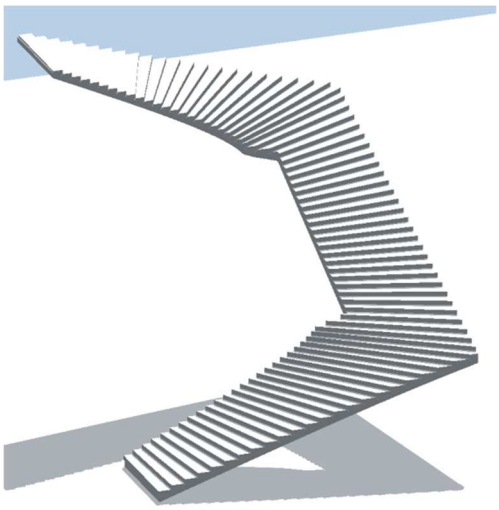
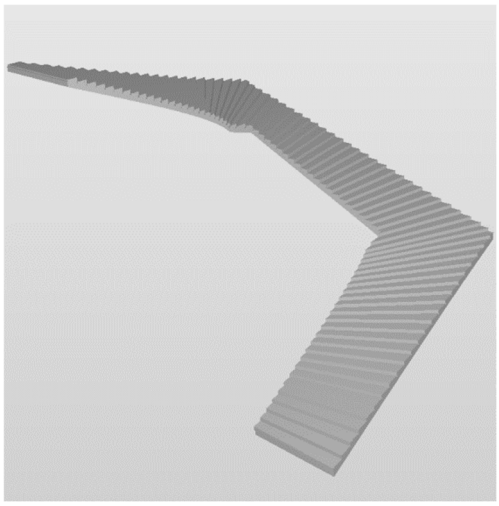
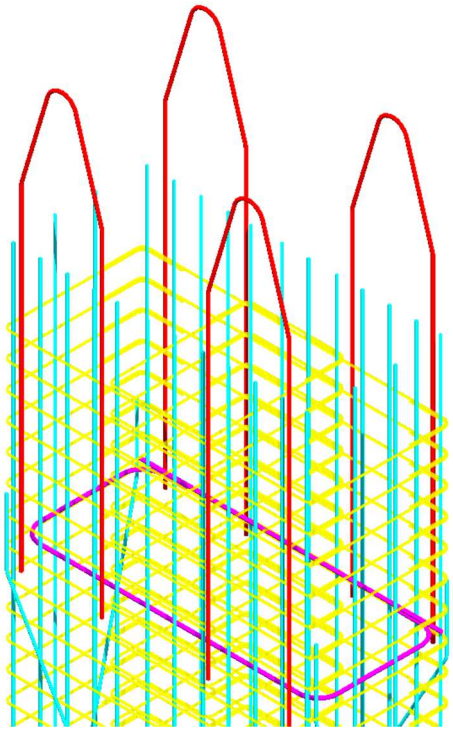
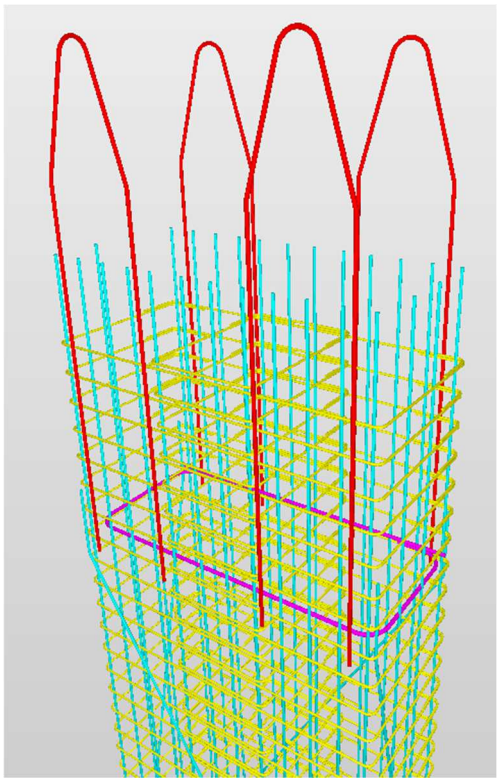
	Solibri Model Viewer – IFC 2x3	Allplan 2019
Solettone di copertura		
Tampone di fondo		
Pilastro con armatura		

	Solibri Model Viewer – IFC 2x3	Allplan 2019
Puntoni provvisori		
Scale		
Banchina		

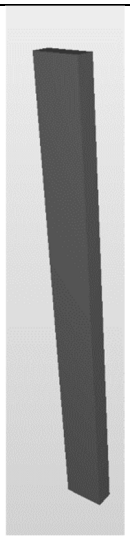
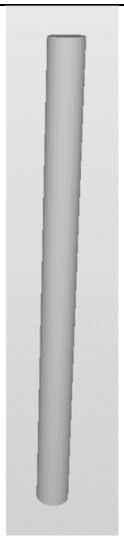
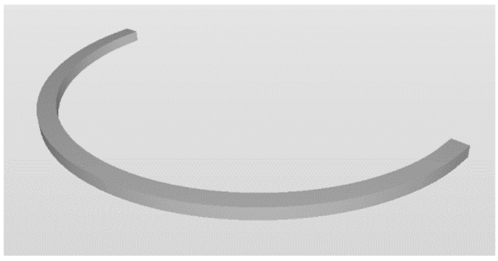
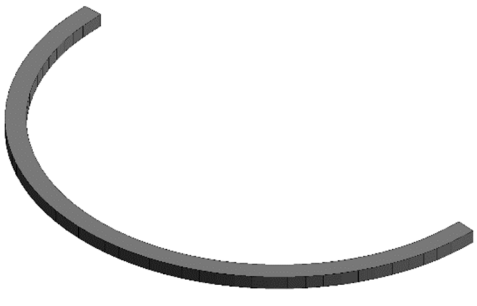
C – Esportazione tramite formato IFC da Allplan 2019

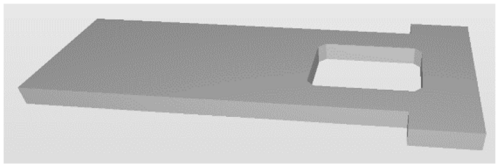
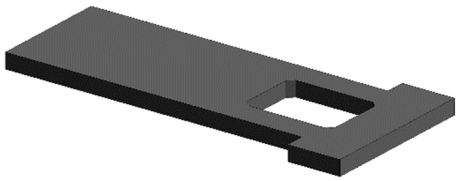
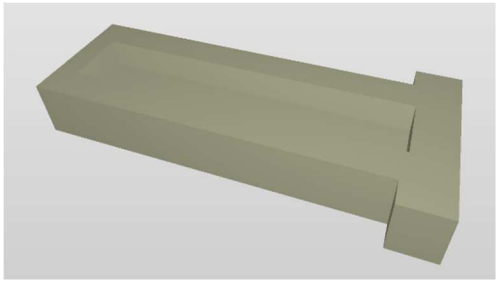
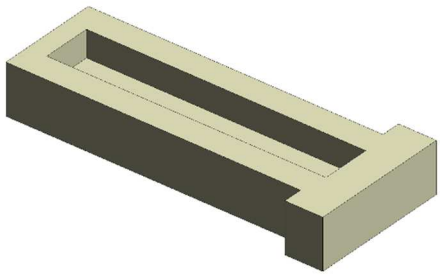
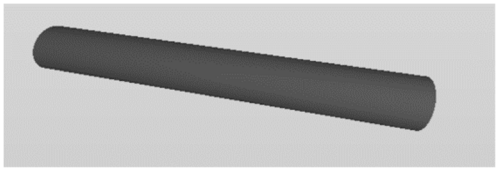
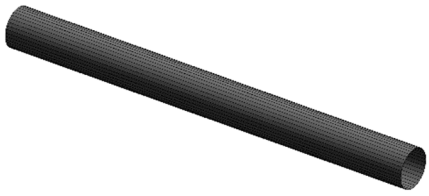
	Allplan 2019	Solibri Model Viewer – IFC 2x3
Diaframmi		
Pali di fondazione		
Trave di coronamento		

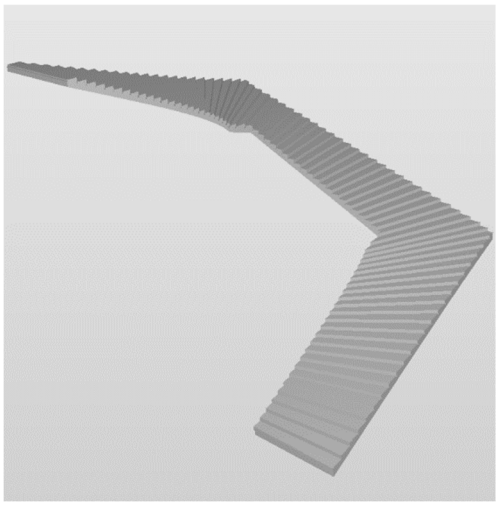
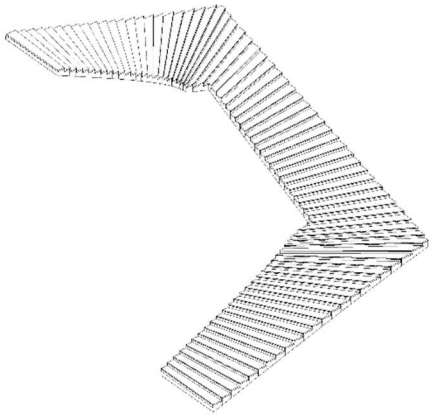
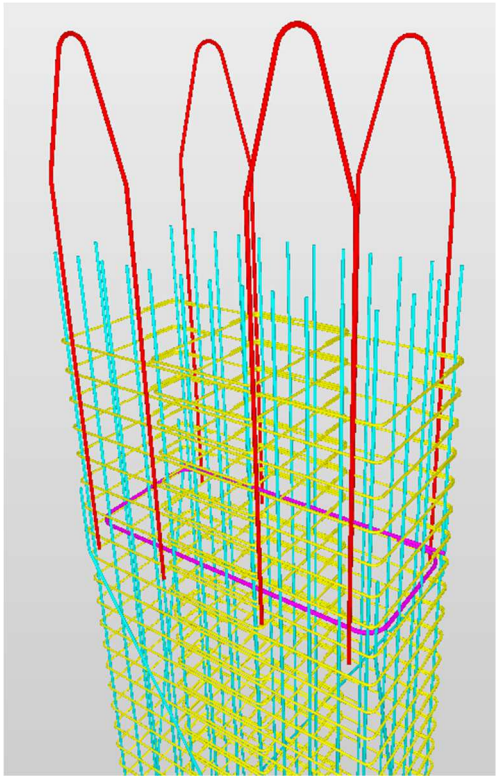
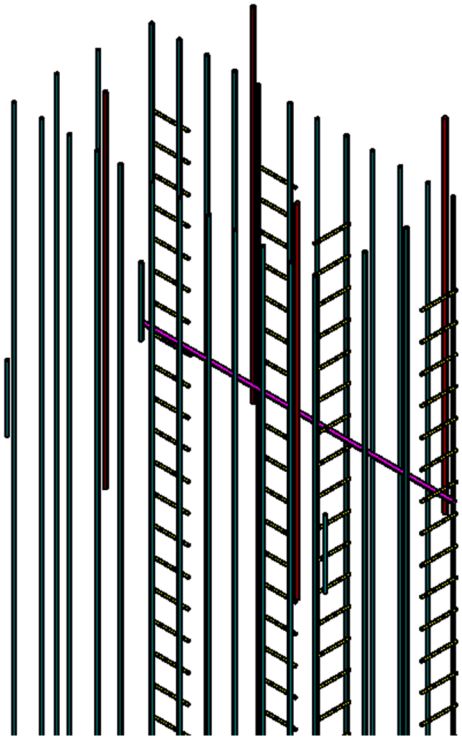
	Allplan 2019	Solibri Model Viewer – IFC 2x3
Solettone di copertura		
Tampone di fondo		
Puntoni provvisori		

	Allplan 2019	Solibri Model Viewer – IFC 2x3
Scale		
Armature diaframmi		

D – Importazione tramite formato IFC in Revit 2018

	Solibri Model Viewer – IFC 2x3	Revit 2018
Diaframmi		
Pali di fondazione		
Trave di coronamento		

	Solibri Model Viewer – IFC 2x3	Revit 2018
Solettone di copertura		
Tampone di fondo		
Puntoni provvisori		

	Solibri Model Viewer – IFC 2x3	Revit 2018
Scale		
Armature diaframmi		

E – Codifica elementi

Livello 0
Opera Generale
Codice
ITA61

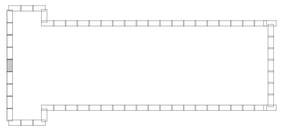
Livello 1	
Ambito	
Codice	Descrizione
STR	Strutture
SCV	Scavi
DEM	Demolizioni

Livello 2		
Fase-Sottofase		
Fase	Sottofase	Descrizione
01	02	Esecuzione prescavo fino a quota +230,80
	03	Esecuzione dei diaframmi
	05	Esecuzione dei pali lato atrio
02	01	Scavo sbancamento fino a quota +228,70
03	01	Esecuzione tampone di fondo tramite jet grouting
05	01	Esecuzione solettone di copertura e trave coronamento pali
07	01	Scavo di ribassamento fino a quota +223,40 nel corpo centrale
	02	Demolizione dei pannelli di paratia lato atrio
	03	Scavo di ribassamento fino a quota +223,60 nel corpo atrio
08	01	Esecuzione solettone intermedio
09	01	Scavo ribassamento fino a quota +210,50 solo nel corpo centrale
12	01	Esecuzione del solettone di fondo e della vasca di aggottamento

Livello 3		Livello 4
TipoElemento		*CodiceAvanzamento*
Codice	Descrizione generale	Codice
DIAF1	Diaframma primario	DIAF1-0X
DIAF2	Diaframma secondario	DIAF2-0X
SOL_C	Solettone copertura	SOL_C-0X
SOL_I	Solettone intermedio	SOL_I
SOL_F	Solettone di fondo (compresa vasca aggottamento)	SOL_F
JET_B	Jet grouting bifluido	JET_B
PF600	Pali fondazione Ø600	PF600-0X
TRV_C	Trave di coronamento pali	SOL_C-02
SCAVP	Prescavo	SCAVP
SCAV2	Scavo sbancamento solettone copertura	SCAV2-0X
SCAV3	Scavo ribassamento solettone intermedio	SCAV3-0X
SCAV4	Scavo ribassamento solettone di fondo (compr. vasca)	SCAV4
DEM_D	Demolizione diaframmi atrio	DEM_D-0X
	Armatura ordinaria	ARM_O
	Armatura VTR	ARM_V
	Carpenteria metallica	CARPM

KEY PLAN

Diaframma interessato



POLITECNICO DI TORINO

drawing TO THE future

Metropolitana automatica di Torino
Linea 1 - Stazione Italia 61

PROGETTO ESECUTIVO

Tipo elaborato

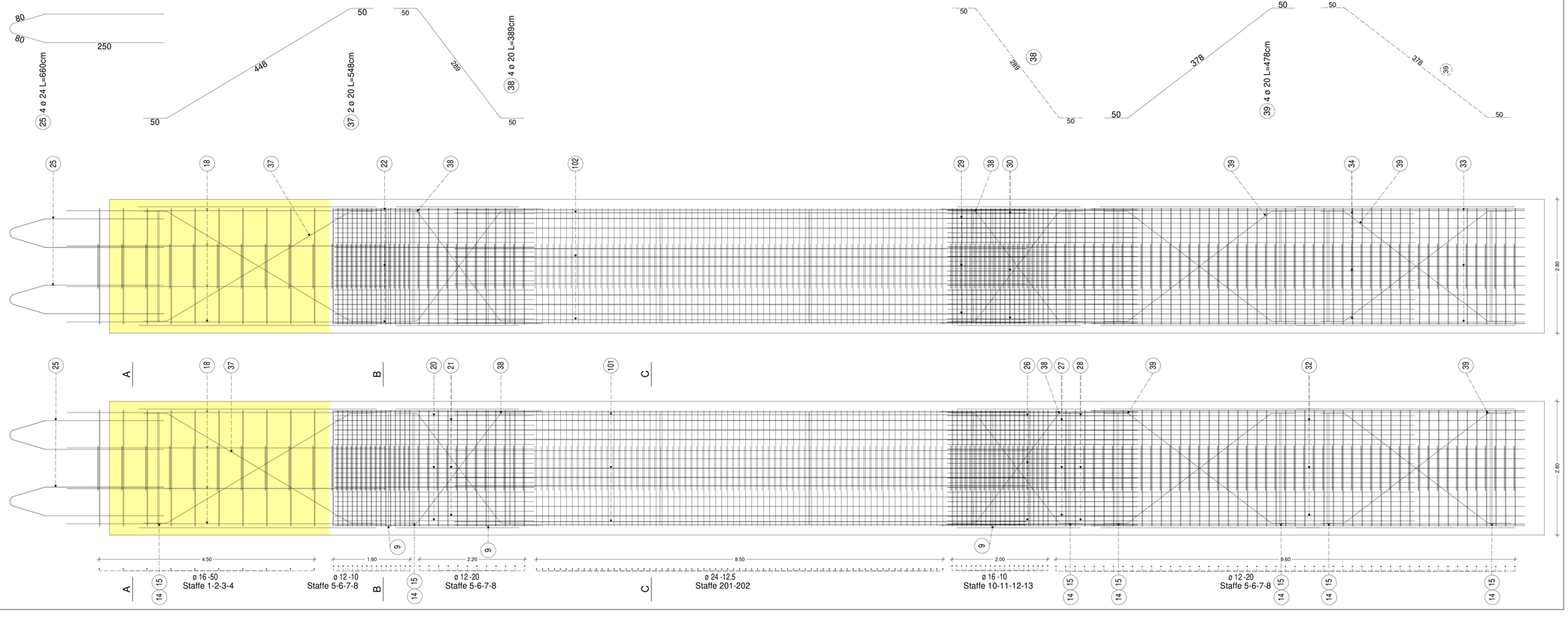
Progetto strutturale
Diaframma secondario in VTR tipo "S"
Tavola armatura - Viste laterali

Scala	Data
1 : 50	05/04/2019

Revisione

0	Emissione esecutiva	05/04/2019
1		
2		
3		
4		

Codifica	Opera	Ambito	Fase	Sottofase	Elemento	Prog.
	ITA61	STR	01	03	DIAF2	01



KEY PLAN

Diaframma interessato

POLITECNICO DI TORINO

drawing TO THE future

Metropolitana automatica di Torino
Linea 1 - Stazione Italia 61

PROGETTO ESECUTIVO

Tipo elaborato

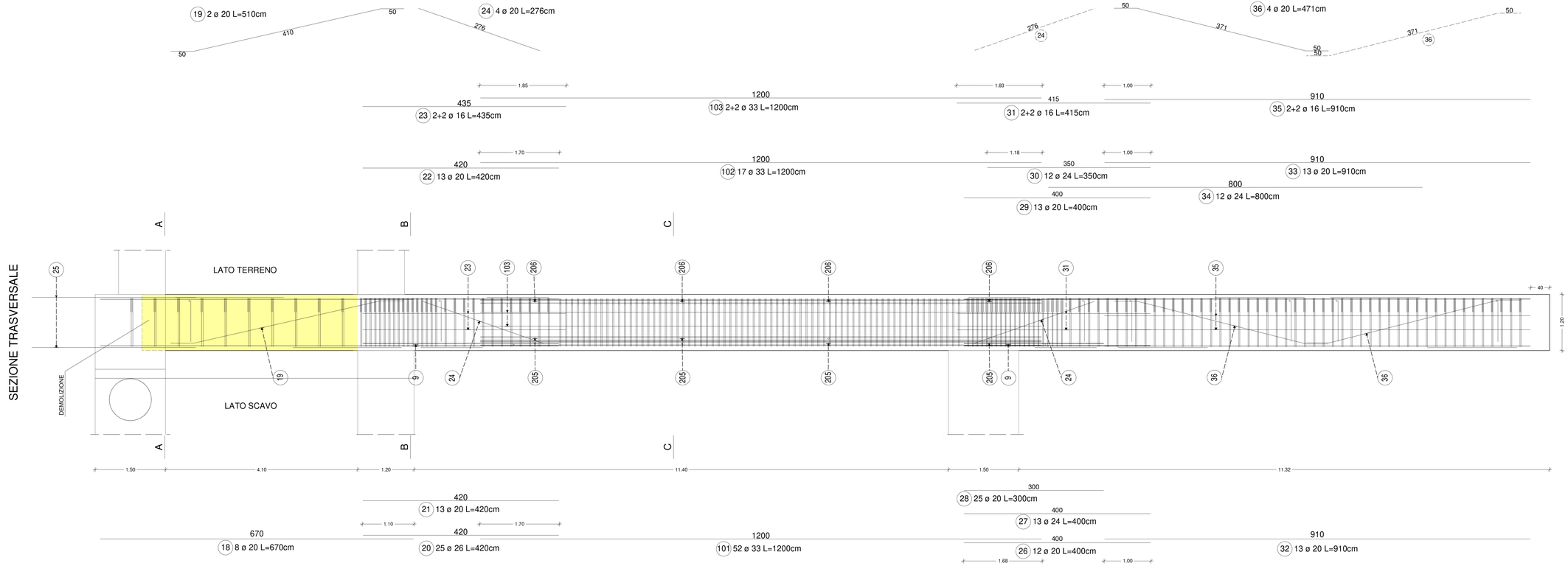
Progetto strutturale
Diaframma secondario in VTR tipo "S"
Tavola armatura - Sezione trasversale

Scala	Data
1 : 50	05/04/2019

Revisione

0	Emissione esecutiva	05/04/2019
1		
2		
3		
4		

Codifica	Opera	Ambito	Fase	Sottofase	Elemento	Prog.
	ITA61	STR	01	03	DIAF2	02



KEY PLAN

Diaframma interessato

POLITECNICO DI TORINO

drawing for the future

Metropolitana automatica di Torino
Linea 1 - Stazione Italia 61

PROGETTO ESECUTIVO

Tipo elaborato

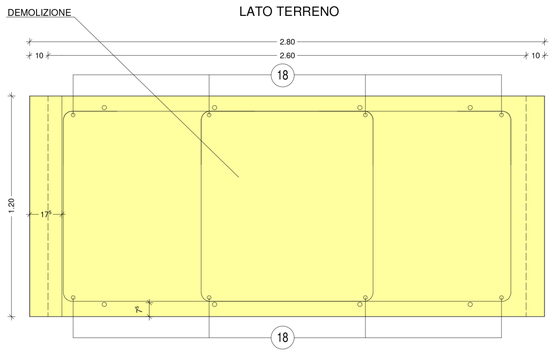
Progetto strutturale
Diaframma secondario in VTR tipo "S"
Tavola armatura - Sezioni tipo

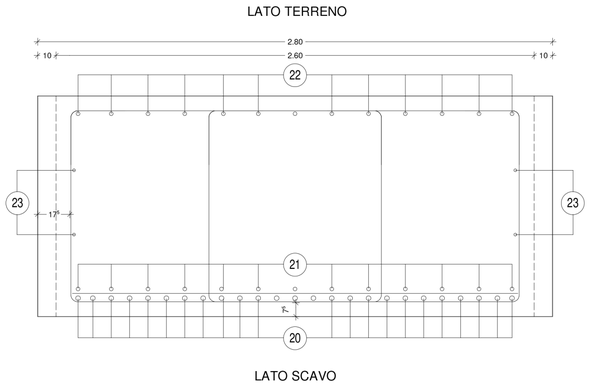
Scala	Data
1 : 20	05/04/2019

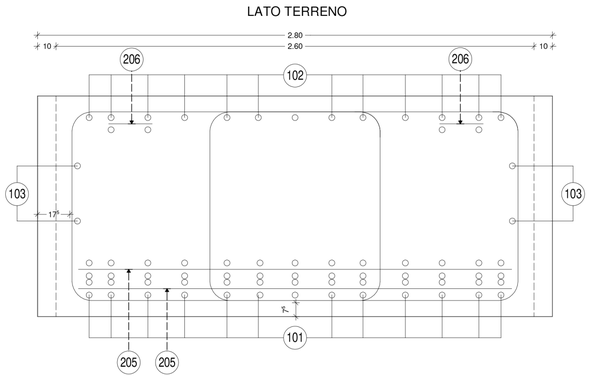
Revisione

0	Emissione esecutiva	05/04/2019
1		
2		
3		
4		

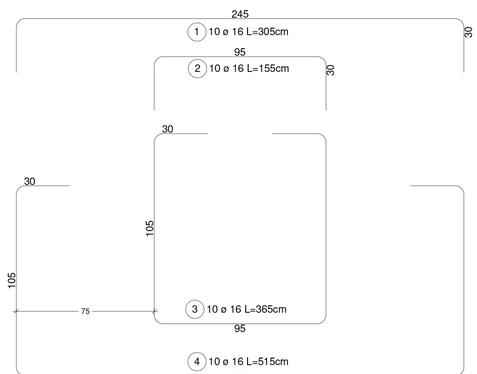
Codifica	Opera	Ambito	Fase	Sottofase	Elemento	Prog.
	ITA61	STR	01	03	DIAF2	03



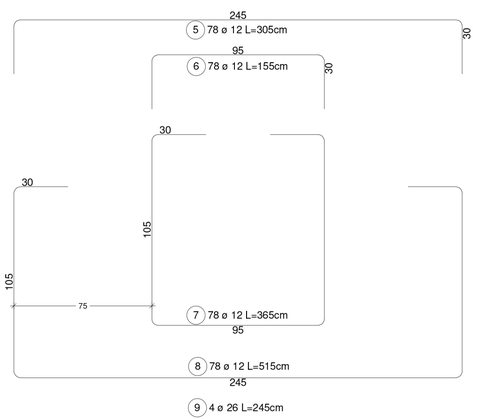




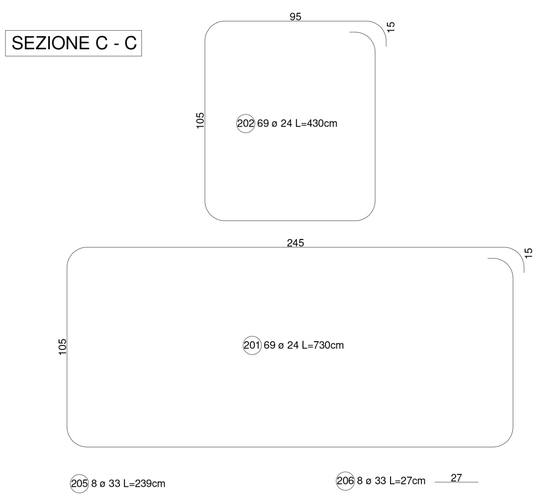
SEZIONE A - A



SEZIONE B - B



SEZIONE C - C



I – Report quantità armatura diaframma secondario

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Riepilogo analisi barre FeB 44 K

	Diametro [mm]	[kg / m]	Lunghezza totale [m]	Massa [kg]
Barre diritte				
	16	1,579	70,40	111,16
	20	2,466	585,44	1443,70
	24	3,551	190,00	674,69
	26	4,168	131,18	546,76
	Somma			**2776,30**
	Numero esecuzioni			1
Barre piegate				
	12	0,888	1045,20	928,14
	16	1,579	415,40	655,92
	20	2,466	74,68	184,16
	24	3,551	26,40	93,75
	26	4,168	33,25	138,59
	Somma			**2000,55**
	Numero esecuzioni			1
Massa totale (FeB 44 K)				**4776,85**
Numero posizioni				**37**

1/8

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Riepilogo analisi barre vtr

	Diametro [mm]	[kg / m]	Lunghezza totale [m]	Massa [kg]
Barre diritte				
	33	1,668	897,28	1496,66
	Somma			**1496,66**
	Numero esecuzioni			1
Barre piegate				
	24	0,882	800,40	705,95
	Somma			**705,95**
	Numero esecuzioni			1
Massa totale (vtr)				**2202,62**
Numero posizioni				**7**

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Tutte le forme barra

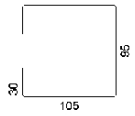
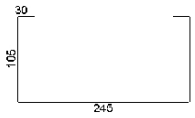
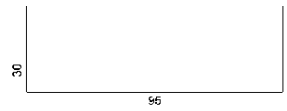
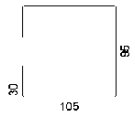
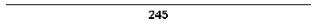
Pos.	Pezzi	Ø [mm]	Sagomatura quotata	Classe acciaio	Lungh sing [m]	Lungh totale [m]	Peso [kg]
Diaframma secondario - Tipo S - VTR							
101	52	33	1200	vtr	12.00	624,00	1.040,83
102	17	33	1200	vtr	12.00	204,00	340,27
103	4	33	1200	vtr	12.00	48,00	80,06
201	69	24	245, 15, 105	vtr	7.30	503,70	444,26
202	69	24	95, 15, 105	vtr	4.30	296,70	261,69
205	8	33	239	vtr	2.39	19,12	31,89
206	8	33	27	vtr	0.27	2,16	3,60
Somma Diaframma secondario - Tipo S - VTR							**2.202,62**
Somma vtr							**2.202,62**
Diaframma secondario - Tipo S - VTR							
1	10	16	30, 245	FeB 44 K	3.05	30,50	48,16

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Tutte le forme barra

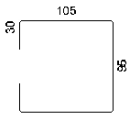
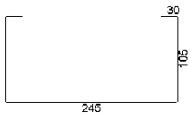
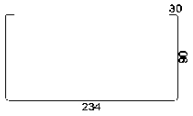
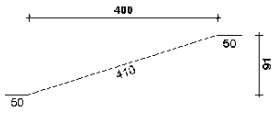
Pos.	Pezzi	Ø [mm]	Sagomatura quotata	Classe acciaio	Lungh sing [m]	Lungh totale [m]	Peso [kg]
2	10	16		FeB 44 K	1.55	15,50	24,47
3	10	16		FeB 44 K	3.65	36,50	57,63
4	10	16		FeB 44 K	5.15	51,50	81,32
5	78	12		FeB 44 K	3.05	237,90	211,26
6	78	12		FeB 44 K	1.55	120,90	107,36
7	78	12		FeB 44 K	3.65	284,70	252,81
8	78	12		FeB 44 K	5.15	401,70	356,71
9	4	26		FeB 44 K	2.45	9,80	40,85
10	21	16		FeB 44 K	3.05	64,05	101,13

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Tutte le forme barra

Pos.	Pezzi	Ø [mm]	Sagomatura quotata	Classe acciaio	Lungh sing [m]	Lungh totale [m]	Peso [kg]
11	21	16		FeB 44 K	1.55	32,55	51,40
12	21	16		FeB 44 K	3.65	76,65	121,03
13	21	16		FeB 44 K	5.15	108,15	170,77
14	7	26		FeB 44 K	2.34	16,38	68,27
15	7	26		FeB 44 K	4.75	33,25	138,59
18	8	20	670	FeB 44 K	6.70	53,60	132,18
19	2	20		FeB 44 K	5.10	10,20	25,15
20	25	26		FeB 44 K	4.20	105,00	437,64
21	13	20	420	FeB 44 K	4.20	54,60	134,64

5/8

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Tutte le forme barra

Pos.	Pezzi	Ø [mm]	Sagomatura quotata	Classe acciaio	Lungh sing [m]	Lungh totale [m]	Peso [kg]
22	13	20	420	FeB 44 K	4.20	54,60	134,64
23	4	16	435	FeB 44 K	4.35	17,40	27,47
24	4	20	276	FeB 44 K	2.76	11,04	27,22
25	4	24	42, 80, 80, 250, 73	FeB 44 K	6.60	26,40	93,75
26	12	20	400	FeB 44 K	4.00	48,00	118,37
27	13	24	400	FeB 44 K	4.00	52,00	184,65
28	25	20	300	FeB 44 K	3.00	75,00	184,95
29	13	20	400	FeB 44 K	4.00	52,00	128,23
30	12	24	350	FeB 44 K	3.50	42,00	149,14

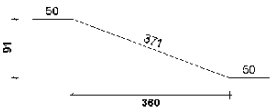
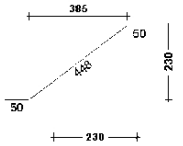
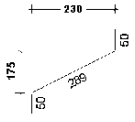
6/8

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Tutte le forme barra

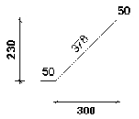
Pos.	Pezzi	Ø [mm]	Sagomatura quotata	Classe acciaio	Lungh sing [m]	Lungh totale [m]	Peso [kg]
31	4	16	415	FeB 44 K	4.15	16,60	26,21
32	13	20	910	FeB 44 K	9.10	118,30	291,73
33	13	20	910	FeB 44 K	9.10	118,30	291,73
34	12	24	800	FeB 44 K	8.00	96,00	340,90
35	4	16	910	FeB 44 K	9.10	36,40	57,48
36	4	20		FeB 44 K	4.71	18,84	46,46
37	2	20		FeB 44 K	5.48	10,96	27,03
38	4	20		FeB 44 K	3.89	15,56	38,37

POLITECNICO DI TORINO

Analisi barre - Forme sagomate

Progetto: Construction Management Italia 61
da tavola:
Autore modifica: Alessio Giovine
Data / ora: 04/04/2019 / 16:16
Note:

Tutte le forme barra

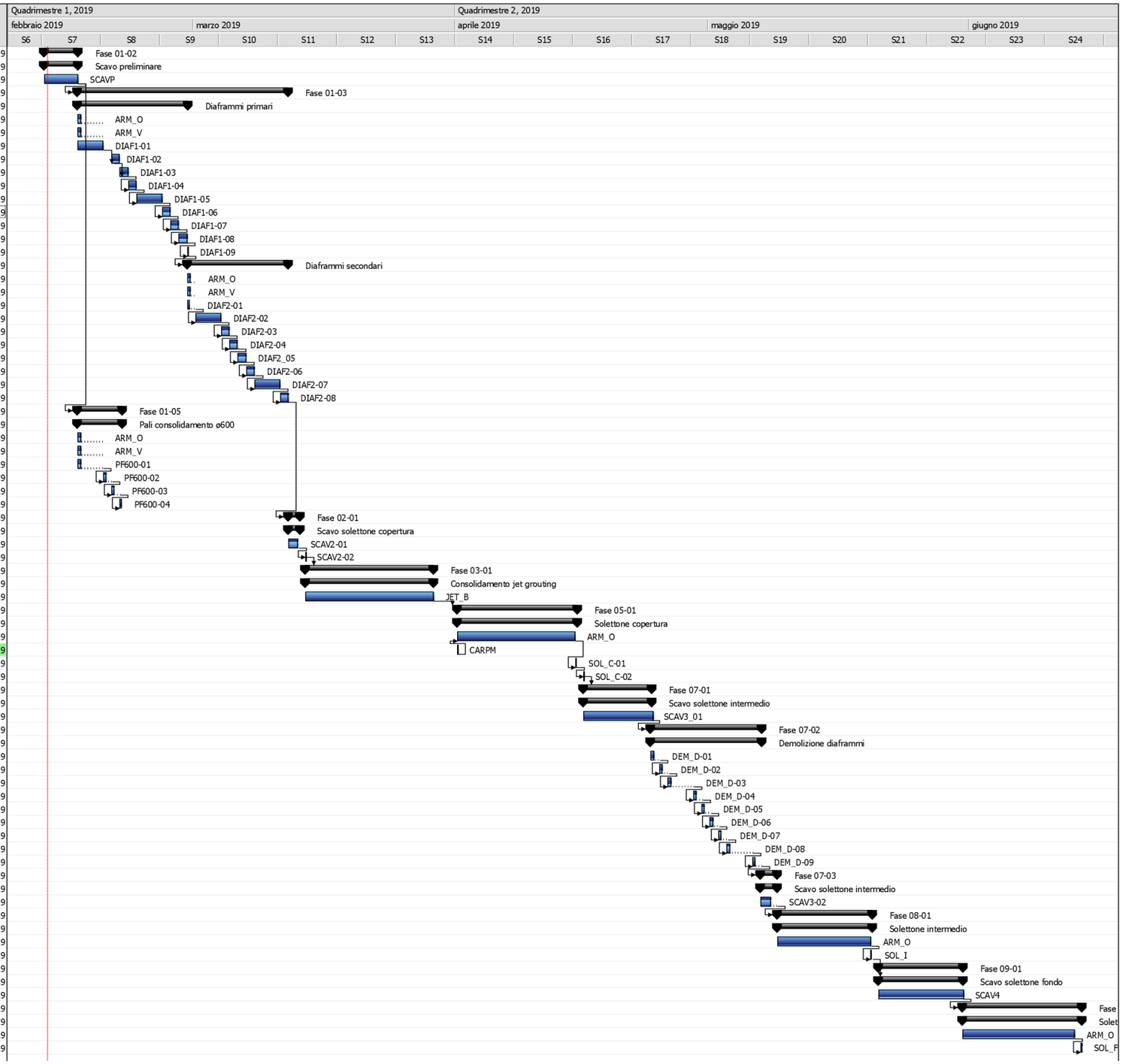
Pos.	Pezzi	Ø [mm]	Sagomatura quotata	Classe acciaio	Lungh sing [m]	Lungh totale [m]	Peso [kg]
39	4	20		FeB 44 K	4.78	19,12	47,15
Somma Diaframma secondario - Tipo S - VTR							**4.776,85**
Somma FeB 44 K							**4.776,85**
Somma di tutti i componenti							**6.979,47**
Numero esecuzioni							1
Peso totale							**6.979,47**

L – Computo metrico estimativo della stazione Italia 61

POLITECNICO DI TORINO

Computo metrico estimativo Stazione ITALIA 61

CODICE	DESCRIZIONE	IMP. LORDO	IMP. NETTO
DEM 07-02 DEM_D	Demolizioni Fase 07-02 Demolizione diaframmi	27.681,39	27.681,39
	Totale Demolizioni Euro	27.681,39	27.681,39
SCV 01-02 SCAVP	Scavi Fase 01-02 Scavo preliminare	30.520,22	30.520,22
02-01 SCAV2	Fase 02-01 Scavo solettone copertura	13.553,31	13.553,31
07-01 SCAV3	Fase 07-01 Scavo solettone intermedio	27.079,29	27.079,29
07-03 SCAV3	Fase 07-03 Scavo solettone intermedio	6.468,02	6.468,02
09-01 SCAV4	Fase 09-01 Scavo solettone fondo	66.599,75	66.599,75
	Totale Scavi Euro	144.220,59	144.220,59
STR 01-03 DIAF1	Strutture Fase 01-03 Diaframmi primari	1.000.025,47	1.000.025,47
DIAF2	Diaframmi secondari	943.525,11	943.525,11
01-05 PF600	Fase 01-05 Pali consolidamento ø600	204.238,32	204.238,32
03-01 JET_B	Fase 03-01 Consolidamento jet grouting	476.212,85	476.212,85
05-01 SOL_C	Fase 05-01 Solettone copertura	422.489,88	422.489,88
08-01 SOL_I	Fase 08-01 Solettone intermedio	279.503,32	279.503,32
12-01 SOL_F	Fase 12-01 Solettone fondo	371.821,22	371.821,22
	Totale Strutture Euro	3.697.816,17	3.697.816,17
	Importo Lavori Euro	**3.869.718,15**	**3.869.718,15**

M – Cronoprogramma tramite diagramma di Gantt

	ID	Attività	Predecessori	Lavoro	Risorse	Durata	Inizio	Fine
1	**01-02**	Fase 01-02		8,33 giorni	0	4,17 giorni	11/02/2019	15/02/2019
2	**01-02.SCAVP**	Scavo preliminare		8,33 giorni	0	4,17 giorni	11/02/2019	15/02/2019
3	01-02.SCAVP.SCAVP	SCAVP		8,33 giorni	2,0000...	4,17 giorni	11/02/2019	15/02/2019
4	**01-03**	Fase 01-03	3	36,28 giorni	0	17,12 giorni	15/02/2019	12/03/2019
5	**01-03.DIAF1**	Diaframmi primari		18,64 giorni	0	9,3 giorni	15/02/2019	28/02/2019
6	01-03.DIAF1.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	15/02/2019	18/02/2019
7	01-03.DIAF1.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	15/02/2019	18/02/2019
8	01-03.DIAF1.DIAF1-01	DIAF1-01		2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	15/02/2019	18/02/2019
9	01-03.DIAF1.DIAF1-02	DIAF1-02	8	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	19/02/2019	19/02/2019
10	01-03.DIAF1.DIAF1-03	DIAF1-03	9	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	20/02/2019	21/02/2019
11	01-03.DIAF1.DIAF1-04	DIAF1-04	10	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	21/02/2019	22/02/2019
12	01-03.DIAF1.DIAF1-05	DIAF1-05	11	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	22/02/2019	25/02/2019
13	01-03.DIAF1.DIAF1-06	DIAF1-06	12	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	25/02/2019	26/02/2019
14	01-03.DIAF1.DIAF1-07	DIAF1-07	13	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	26/02/2019	27/02/2019
15	01-03.DIAF1.DIAF1-08	DIAF1-08	14	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	27/02/2019	28/02/2019
16	01-03.DIAF1.DIAF1-09	DIAF1-09	15	0,5 giorni	2,0006...	0,25 giorni	28/02/2019	28/02/2019
17	**01-03.DIAF2**	Diaframmi secondari	16	17,63 giorni	0	8,12 giorni	28/02/2019	12/03/2019
18	01-03.DIAF2.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	28/02/2019	01/03/2019
19	01-03.DIAF2.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	28/02/2019	01/03/2019
20	01-03.DIAF2.DIAF2-01	DIAF2-01		1,51 giorni	1,99975	0,76 giorni	28/02/2019	01/03/2019
21	01-03.DIAF2.DIAF2-02	DIAF2-02	20	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	01/03/2019	04/03/2019
22	01-03.DIAF2.DIAF2-03	DIAF2-03	21	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	04/03/2019	05/03/2019
23	01-03.DIAF2.DIAF2-04	DIAF2-04	22	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	05/03/2019	06/03/2019
24	01-03.DIAF2.DIAF2-05	DIAF2_05	23	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	06/03/2019	07/03/2019
25	01-03.DIAF2.DIAF2-06	DIAF2-06	24	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	07/03/2019	08/03/2019
26	01-03.DIAF2.DIAF2-07	DIAF2-07	25	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	08/03/2019	11/03/2019
27	01-03.DIAF2.DIAF2-08	DIAF2-08	26	2,02 giorni	1,9999...	1,01 giorni	11/03/2019	12/03/2019
28	**01-05**	Fase 01-05	3	9,25 giorni	0	3,79 giorni	15/02/2019	20/02/2019
29	**01-05.PF600**	Pali consolidamento ø600		9,25 giorni	0	3,79 giorni	15/02/2019	20/02/2019
30	01-05.PF600.ARM_O	ARM_O		1 giorno	1	1 giorno	15/02/2019	18/02/2019
31	01-05.PF600.ARM_V	ARM_V		1 giorno	1	1 giorno	15/02/2019	18/02/2019
32	01-05.PF600.PF600-01	PF600-01		2 giorni	1,99992	1 giorno	15/02/2019	18/02/2019
33	01-05.PF600.PF600-02	PF600-02	32	2 giorni	1,99992	1 giorno	18/02/2019	19/02/2019
34	01-05.PF600.PF600-03	PF600-03	33	2 giorni	1,99992	1 giorno	19/02/2019	20/02/2019
35	01-05.PF600.PF600-04	PF600-04	34	1,25 giorni	1,99992	0,63 giorni	20/02/2019	20/02/2019
36	**02-01**	Fase 02-01	27	3,7 giorni	0	1,97 giorni	12/03/2019	13/03/2019
37	**02-01.SCAV2**	Scavo solettone copertura		3,7 giorni	0	1,97 giorni	12/03/2019	13/03/2019
38	02-01.SCAV2.SCAV2-01	SCAV2-01		2,99 giorni	1,9998...	1,5 giorni	12/03/2019	13/03/2019
39	02-01.SCAV2.SCAV2-02	SCAV2-02	38	0,71 giorni	1,9999...	0,35 giorni	14/03/2019	14/03/2019
40	**03-01**	Fase 03-01	39	34,83 giorni	0	11,58 giorni	14/03/2019	29/03/2019
41	**03-01.JET_B**	Consolidamento jet grouti...		34,83 giorni	0	11,58 giorni	14/03/2019	29/03/2019
42	03-01.JET_B.JET_B	JET_B		34,83 giorni	3	11,61 giorni	14/03/2019	29/03/2019
43	**05-01**	Fase 05-01	42	128,25 giorni	0	10,65 giorni	01/04/2019	15/04/2019
44	**05-01.SOL_C**	Solettone copertura		128,25 giorni	0	10,65 giorni	01/04/2019	15/04/2019
45	05-01.SOL_C.ARM_O	ARM_O	46	120,31 giorni	11,999...	10,03 giorni	01/04/2019	15/04/2019
46	05-01.SOL_C.CARPM	CARPM		5,93 giorni	11,860...	0,5 giorni	01/04/2019	01/04/2019
47	05-01.SOL_C.SOL_C-01	SOL_C-01	45	1,68 giorni	4,0008...	0,42 giorni	15/04/2019	15/04/2019
48	05-01.SOL_C.SOL_C-02	SOL_C-02	47	0,33 giorni	2,63367	0,13 giorni	16/04/2019	16/04/2019
49	**07-01**	Fase 07-01	48	6,77 giorni	0	6,42 giorni	16/04/2019	24/04/2019
50	**07-01.SCAV3**	Scavo solettone intermedio		6,77 giorni	0	6,42 giorni	16/04/2019	24/04/2019
51	07-01.SCAV3.SCAV3-01	SCAV3_01		6,77 giorni	1,0000...	6,77 giorni	16/04/2019	24/04/2019
52	**07-02**	Fase 07-02	51	9 giorni	0	9,42 giorni	24/04/2019	07/05/2019
53	**07-02.DEM_D**	Demolizione diaframmi		9 giorni	0	9,42 giorni	24/04/2019	07/05/2019
54	07-02.DEM_D.DEM_D-01	DEM_D-01		1 giorni	0,9999...	1 giorno	24/04/2019	25/04/2019
55	07-02.DEM_D.DEM_D-02	DEM_D-02	54	1 giorni	0,9999...	1 giorno	25/04/2019	26/04/2019
56	07-02.DEM_D.DEM_D-03	DEM_D-03	55	1 giorni	0,9999...	1 giorno	26/04/2019	29/04/2019
57	07-02.DEM_D.DEM_D-04	DEM_D-04	56	1 giorni	0,9999...	1 giorno	29/04/2019	30/04/2019
58	07-02.DEM_D.DEM_D-05	DEM_D-05	57	1 giorni	0,9999...	1 giorno	30/04/2019	01/05/2019
59	07-02.DEM_D.DEM_D-06	DEM_D-06	58	1 giorni	0,9999...	1 giorno	01/05/2019	02/05/2019
60	07-02.DEM_D.DEM_D-07	DEM_D-07	59	1 giorni	0,9999...	1 giorno	02/05/2019	03/05/2019
61	07-02.DEM_D.DEM_D-08	DEM_D-08	60	1 giorni	0,9999...	1 giorno	03/05/2019	06/05/2019
62	07-02.DEM_D.DEM_D-09	DEM_D-09	61	1 giorni	0,9999...	1 giorno	06/05/2019	07/05/2019
63	**07-03**	Fase 07-03	62	1,62 giorni	0	2,04 giorni	07/05/2019	09/05/2019
64	**07-03.SCAV3**	Scavo solettone intermedio		1,62 giorni	0	2,04 giorni	07/05/2019	09/05/2019
65	07-03.SCAV3.SCAV3-02	SCAV3-02		1,62 giorni	0,9999...	1,62 giorni	07/05/2019	09/05/2019
66	**08-01**	Fase 08-01	65	89,49 giorni	0	7,74 giorni	09/05/2019	20/05/2019
67	**08-01.SOL_I**	Solettone intermedio		89,49 giorni	0	7,74 giorni	09/05/2019	20/05/2019
68	08-01.SOL_I.ARM_O	ARM_O		88,02 giorni	11,999...	7,34 giorni	09/05/2019	20/05/2019
69	08-01.SOL_I.SOL_I	SOL_I	68	1,47 giorni	4,0010...	0,37 giorni	20/05/2019	20/05/2019
70	**09-01**	Fase 09-01		16,65 giorni	0	8,07 giorni	21/05/2019	31/05/2019
71	**09-01.SCAV4**	Scavo solettone fondo	69	16,65 giorni	0	8,07 giorni	21/05/2019	31/05/2019
72	09-01.SCAV4.SCAV4	SCAV4		16,65 giorni	1,9999...	8,33 giorni	21/05/2019	31/05/2019
73	**12-01**	Fase 12-01	72	119,05 giorni	0	10,31 giorni	31/05/2019	14/06/2019
74	**12-01.SOL_F**	Solettone fondo		119,05 giorni	0	10,31 giorni	31/05/2019	14/06/2019
75	12-01.SOL_F.ARM_O	ARM_O		117,1 giorni	12,000...	9,76 giorni	31/05/2019	13/06/2019
76	12-01.SOL_F.SOL_F	SOL_F	75	1,95 giorni	4,0004...	0,49 giorni	14/06/2019	14/06/2019