

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale

in Architettura Costruzione Città

Tesi di Laurea Magistrale

InfraBIM: metodologia e applicazioni

nell'industria 4.0



Relatore:

Prof. Anna Osello

Correlatore:

Prof. Orazio Baglieri

Candidato:

Pasquale Lorusso

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

<<Deve essere ricordato che nulla è più difficile da pianificare, più dubbio a succedere o più pericoloso da gestire che la creazione di un nuovo sistema. Per colui che lo propone ciò produce l'inimicizia di coloro i quali hanno profitto a preservare l'antico e soltanto tiepidi sostenitori in coloro che sarebbero avvantaggiati dal nuovo>>

Nicolò machiavelli

INDICE

INDICE FIGURE.....	iv
INDICE TABELLE	viii
ABSTRACT.....	ix
1 Building Information Modelling	1
1.1 Cos'è il BIM.....	1
1.2 Il modello di gestione attuale nel settore AEC.....	2
1.3 La transizione dal CAD al BIM.....	4
1.4 Breve storia del BIM	5
1.5 Approccio al BIM.....	7
1.5.1 I modelli informativi del BIM.....	7
1.5.2 Livello di maturità del BIM: panorama normativo	10
1.5.3 I livelli di adozione del BIM nell'Era BIM.....	11
1.5.4 La Metodologia BIM.....	15
1.6 Livello di dettaglio: LOD, LOd, LOI e LOG	18
1.7 InfraBIM.....	20
2 Metodologia.....	25
2.1 Il caso studio.....	25
2.1.1 Sottopasso ciclopedonale.....	25
2.2 Introduzione alla ricerca metodologica	28
2.3 Ricerca metodologica: prove di interoperabilità	29
2.3.1 Modellazione di partenza.....	29
2.3.2 Esportazione del modello di Civil3D verso AutoCAD per ottenere interoperabilità.....	31
2.3.3 Da Rhino 6 a Revit 2020	33
2.3.4 Modellazione della nuvola di punti in Rhino ed esportazione verso Revit per mezzo di Dynamo.....	35

2.3.5	Semplificazione della nuvola di punti in Rhino ed esportazione verso Revit per mezzo di Dynamo.....	48
2.3.6	Rhinamo	49
2.4	Esito della ricerca metodologica	50
2.4.1	Synthesize.....	50
2.4.2	Creazione dello script Dynamo per la lettura dei file .SAT	52
2.4.3	Creazione dello script Dynamo per la generazione del Terreno	54
2.4.4	Modellazione del sottopasso in Rhino 6	54
2.4.5	Esportazione delle geometrie Rhino in formato ACIS.....	58
2.4.6	Creazione delle famiglie.....	59
2.4.7	Creazione della sequenza progettuale in Revit	63
2.4.8	Creazione dello scavo.....	64
2.4.9	Creazione dell'armatura	66
2.5	Conclusioni.....	67
3	Project Management.....	71
3.1	Introduzione al project management	71
3.2	Cosa è il progetto.....	71
3.3	Cosa è il project management	72
3.4	Gli strumenti del PM	73
3.4.1	WBS	73
3.4.2	OBS	75
3.4.3	RACI	76
3.4.4	Network diagram.....	78
3.4.5	Gantt	81
4	Simulazione 4D	83
4.1	La rappresentazione grafica del cantiere	83
4.2	L'Ambiente di simulazione: Navisworks Simulate2020	84

4.2.1	Inserimento dei dati	85
4.2.2	Preparazione della simulazione 4D	88
4.3	Risultati.....	89
5	Sviluppi futuri.....	91
5.1	Introduzione: verso il futuro della progettazione	91
5.2	Cosa è l'Industria 4.0.....	91
5.3	Industria 4.0 e InfraBIM.....	92
5.4	La realtà virtuale.....	94
5.4.1	Gli strumenti della realtà virtuale	94
5.5	la realtà aumentata	95
5.5.1	Gli strumenti della realtà aumentata	96
5.6	Usi della VR/AR al di fuori settore dell'AEC.....	96
5.7	VR/AR nel settore dell'AEC	98
5.8	VR/AR nel Project Management.....	100
5.9	VR/AR nei cantieri	102
6	Conclusioni.....	105
	Appendici	107
7	Bibliografia.....	119
	Ringraziamenti	125

INDICE FIGURE

Figura 1 La differenza tra le due metodologie.....	2
Figura 2 Diagramma che mostra un ipotetico team di progetto nell'AEC.....	3
Figura 3-Evoluzione del processo costruttivo	6
Figura 4 processo informativo delle costruzioni (UNI 11337-1:2017)	9
Figura 5 PAS1192 - livello di maturità del BIM	10
Figura 6-Adozione dei sistemi BIM nel mondo	11
Figura 7-Mappa di adozione BIM nel 2019.....	13
Figura 8-Grado di adozione CAD/2D vs BIM.....	14
Figura 9-Iniziative governative per il BIM.....	14
Figura 10-Un esempio di modello informativo secondo la norma UNI 11337-1.....	18
Figura 11-LOD, LOG e LOI per gli oggetti digitali BIM	19
Figura 12-UNI 1137-4: prospetto C.22, esempio di LOD di pareti prefabbricate.....	20
Figura 13-Classificazione delle infrastrutture.....	21
Figura 14-Geometria del sottopasso ciclopedonale	25
Figura 15-Sezione trasversale del Blocco 1	26
Figura 16-Sezione trasversale del blocco 2	26
Figura 17-Sezione trasversale del Blocco 3.....	27
Figura 18-Sezione trasversale del blocco 4	27
Figura 19-Sezione trasversale del blocco Sottopasso	28
Figura 20-Modellizzazione di partenza in Civil3D 2016	30
Figura 21-Dettaglio delle opere infrastrutturali	31
Figura 22-Conversione in DWG (AutoCAD) del file Civil3D.....	31
Figura 23-Informazioni di sostituzione degli elementi grafici	32
Figura 24-Compilazione e virtualizzazione del file .DWG (AutoCAD) in Rhino 6 .	34
Figura 25-Dettaglio della geometria strutturale del sottopasso ciclopedonale	34
Figura 26-Dettaglio della geometria strutturale in proiezione ortogonale del sottopasso ciclopedonale.....	35
Figura 27-Organizzazione dei livelli della nuvola di punti	36
Figura 28-Estratto che mostra la metodologia di codifica dei tracciati	36
Figura 29-Comando Estrazione Punti.....	37
Figura 30-Elenco dei tracciati dell'Asse Principale	38
Figura 31-Elenco dei tracciati dell'Asse Secondario.....	39

Figura 32-Elenco dei tracciati del tratto Sottopasso	40
Figura 33-Nuvola di Punti.....	41
Figura 34-Sezioni associate alla nuvola di punti.....	41
Figura 35-Opzione di esportazione CSV	42
Figura 36- Estratto del file .CSV aperto in Excel	42
Figura 37-Comando "Selezionare da testo/CSV" presente in Excel 2019.....	43
Figura 38-Estratto dei punti CSV in Excel	43
Figura 39-Comando estrai Dati in Autocad tramite tastiera	43
Figura 40-File Excel della nuvola di punti.....	44
Figura 41-Estratto dello script Dynamo per la generazione del terreno	45
Figura 42-Estratto dello script Dynamo per la generazione del tratto RA4.....	45
Figura 43-Estratto dello script Dynamo per la generazione del tratto T1	45
Figura 44-Estratto dello script Dynamo per la generazione del sottopasso.....	45
Figura 45-Frammento dello script per generare i punti: lettore file Excel.....	46
Figura 46-Frammento dello script per generare i punti: selezionatore delle coordinate	46
Figura 47-Frammento dello script per generare i punti: generatore dei punti	47
Figura 48-Generazione e virtualizzazione della nuvola di punti	47
Figura 49-Schermata di Download dei pacchetti in linea	50
Figura 50-Synthesize come appare nell'applicativo Dynamo	51
Figura 51-Sottocartella Fusion 360 in Synthesize	51
Figura 52-Script Dynamo per la lettura dei file in formato .SAT.....	52
Figura 53-Ripetizione degli script di Dynamo per l'importazione dei blocchi .SAT	53
Figura 54-Esito dello script per la generazione del terreno	54
Figura 55-Controllo e gestione degli assi del Tratto Secondario.....	55
Figura 56-Confronto tra la nuova geometria e gli elaborati tecnici del Blocco 1	55
Figura 57-Confronto tra la nuova geometria ricavata dagli elaborati 2D e la vecchia geometria ricavata dai dati Civil3D.....	56
Figura 58-Risultato delle operazioni Booleane sull'elemento dell'Asse Principale..	56
Figura 59-Risultato delle operazioni Booleane del rinforzo all'interno della geometria del Sottopasso.....	57
Figura 60-Modellazione dello scavo	58
Figura 61-Impostazioni di esportazione dei modelli Rhino 6 in formato ACIS (.SAT)	58

Figura 62-Lettura degli file .SAT in Dynamo tramite lo script di ricompilazione	59
Figura 63-Comando Collega CAD	59
Figura 64-Famiglia dello scavo	61
Figura 65-Famiglia dell'Asse Secondario e Asse Principale.....	61
Figura 66-Famiglia della pavimentazione stradale e del rinforzo sottostante	62
Figura 67-Famiglia dell'intero blocco sottopasso	62
Figura 68-Famiglia dell'intero Blocco 1-4 (Nord-Sud).....	63
Figura 69-Fasi del progetto nell'ambiente Revit 2020.....	63
Figura 70- Superficie dello scavo	64
Figura 71- Terreno esistente	65
Figura 72-Terreno di rinterro	65
Figura 73-Strumenti per la realizzazione delle strutture in Revit 2020	66
Figura 74-Vista che mostra l'armatura del Sottopasso Ciclopedonale	67
Figura 75-Grafico del rapporto tra errori-Magnitudine errori	68
Figura 76-Dettaglio della RACI	78
Figura 77-Tempi di costruzione di massima del sottopasso	79
Figura 78-Estratto delle attività (formato esteso presente nella sezione appendici)..	80
Figura 79-Estratto del Network Diagram (disponibile nelle appendici in formato maggiore)	81
Figura 80-Estratto del Gantt (disponibile nelle appendici in formato maggiore).....	81
Figura 81-Schermata di avvio di Navisworks 2020.....	84
Figura 82-Strumenti di Navisworks da selezionare nella fase di preparazione della simulazione.....	85
Figura 83-Procedura di esportazione automatizzata verso Navisworks 2020	85
Figura 84-Come appare il modello in Navisworks	85
Figura 85-La finestra Origini Dati che serve per importare i file Project all'interno di Navisworks 2020	86
Figura 86-Schermata del selettore campi.....	86
Figura 87-Finestra Origini dati dove è presente la sezione aggiorna	87
Figura 88-Finestra di aggiornamento dati.....	87
Figura 89-Schermata attività.....	87
Figura 90-Nella schermata attività è mostrata in Tipo attività le possibili alternative	88
Figura 91-Fase di creazione del magrone	90

Figura 92-Fase in cui sono state completate le strutture	90
Figura 93-Fase del rinterro del sottopasso	90
Figura 94-Fase in cui il progetto è totalmente completato.....	90
Figura 95-Schema riassuntivo dell'inquadramento storico dell'industria 4.0	91
Figura 96-Analisi SWOT dell'implementazione AR/VR nel PM.....	102

INDICE TABELLE

Tabella 1-Numerosità di casi applicativi e pubblicazioni scientifiche	22
Tabella 2-Sintesi dei risultati della ricerca del professore G. Dell'Acqua	23
Tabella 3-Estratto della WBS (disponibile nelle appendici in formato maggiore)....	74
Tabella 4-Estratto della OBS (disponibile nelle appendici in formato maggiore)	76

ABSTRACT

La metodologia BIM è stata integrata nel processo di progettazione e gestione nell'intero ciclo di vita dell'edificio per quanto concerne il settore dell'architettura e dell'ingegneria. Nel settore delle infrastrutture la metodologia BIM risulta essere ancora in via di definizione.

Il presente elaborato nasce con lo scopo di individuare per il settore delle infrastrutture, un processo metodologico d'ausilio nella conversione degli attuali modelli CAD in oggetti BIM. Nello specifico, il fine ultimo è quello di migliorare il controllo, la gestione e le scelte decisionali del Project Management nella fase di cantierizzazione attraverso l'ausilio di simulazioni 4D.

La ricerca metodologica è stata applicata ad un caso studio nel settore delle infrastrutture stradali. Le tematiche affrontate sono state principalmente quattro: comprendere la metodologia BIM e lo stato di sviluppo nel settore delle infrastrutture, sviluppare una metodologia per convertire le rappresentazioni grafiche CAD in BIM, attuare pratiche di project management per la gestione del progetto, programmare i tempi delle attività con l'ausilio della virtualizzazione 4D del cantiere.

Per effettuare la transizione dal CAD al BIM sono state adottate varie piattaforme software e strumenti che hanno indirizzato le scelte in un cammino predeterminato per via delle interrelazioni che concorrono tra i software e ne limitano l'interscambio di informazioni. La ricerca di una metodologia che fosse applicabile al caso studio e più in generale a tutte le infrastrutture è fortemente legata al tempo storico che viviamo e ai software che utilizziamo attualmente.

Il modello BIM creato è stato successivamente gestito con le pratiche e gli strumenti del settore del Project Management per la stesura del cronoprogramma e la definizione non solamente delle fasi operative ma anche delle figure ad esse legate. I dati sviluppati dal processo di Project Management attraverso l'interoperabilità BIM sono stati inseriti all'interno di strumenti volti alla virtualizzazione e generazione di nuovi modelli informativi del cantiere indirizzati ad assistere e comprendere i processi decisionali da parte del PM e delle figure che prendono parte al progetto. L'obiettivo perseguito è dunque la ricerca di un processo per la trasparenza informativa da utilizzarsi in chiave predittiva nel migliorare i processi di gestione nella fase di cantierizzazione e gestione dell'opera in tutto il suo ciclo

vitale fornendo elaborati multimediali e interattivi. Sono stati inoltre analizzati alcuni degli strumenti dell'industria 4.0 e la loro capacità di portare un beneficio al progetto in termini di gestione e comunicazione delle informazioni. L'auspicio è che la ricerca nel campo dell'InfraBIM aiuti il settore dell'AEC nella sua totale transizione e maturità digitale.

1 Building Information Modelling

1.1 Cos'è il BIM

Il BIM costituisce un nuovo approccio alla progettazione, una metodologia e non uno strumento come il tecnigrafo, il computer, né un prodotto, un formato di interscambio dati o un protocollo. Esistono molteplici fonti che descrivono il BIM e ognuna di esse fornisce una definizione diversa. In questo paragrafo si darà un'idea generale che rappresenti la metodologia BIM che comunque è da definirsi come un sistema molto più grande e vasto di come è trattato in questo testo. Secondo Acca Software [1] In italiano l'acronimo BIM potrebbe essere tradotto con Modello di Informazione di un Edificio. Acca Software cita anche la definizione fornita dal NIBS (National Institutes of Building Science):

<<raccomandazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di un oggetto>>

In questa prospettiva la metodologia racchiude al suo interno un articolato sistema di processi che governano la:

- programmazione
- progettazione
- realizzazione
- manutenzione

di un'opera dell'architettura, ingegneria e delle costruzioni (AEC) che utilizza un oggetto, definito "Modello informativo". Questo oggetto assume nell'ambiente di modellazione caratteristiche spesso tridimensionali ed esso fa da contenitore alle informazioni che riguardano non solo la struttura visibile (la geometria) ma anche alle caratteristiche intrinseche ed invisibili che caratterizzano l'oggetto rappresentato. Come mostrato nella figura seguente, si noti come la prima sia strutturata per settori complementari al contrario del BIM che fa riferimento ad un unico modello e informazione condivisa.

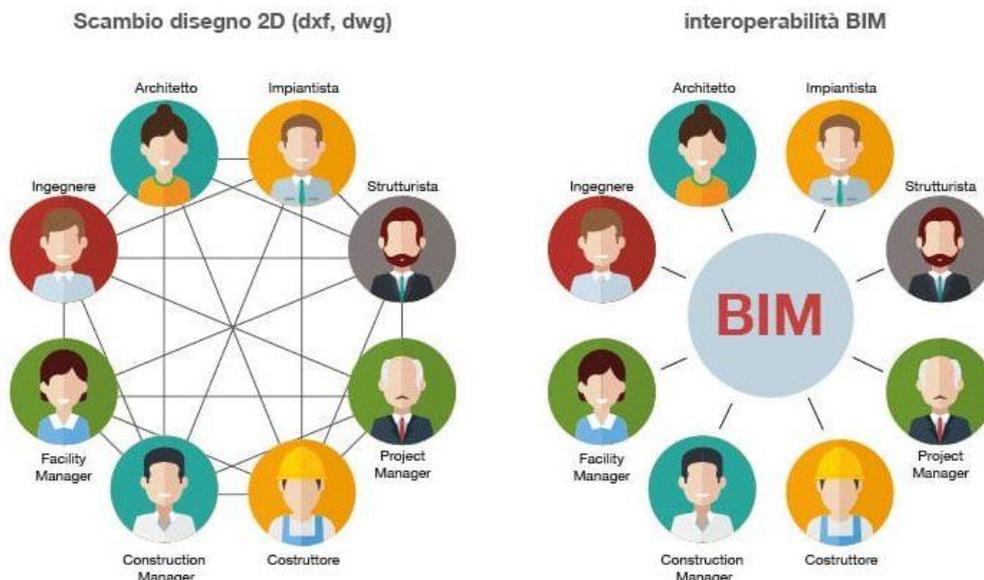


Figura 1 La differenza tra le due metodologie [1]

In [2, p. 1] G. M. Di Giuda e F. Re Cecconi descrivono il BIM come una delle tante metodologie di management che si stanno affermando nell’AEC. Nel libro viene proposta una definizione di BIM, quella di Eastman [2, p. 3]:

«il BIM non è né una cosa né un tipo di software, ma è un’attività umana che coinvolge, in ultima un’analisi, ampie modifiche dei processi nel settore delle costruzioni...»

Queste modifiche riguardano in particolar modo un aspetto fondamentale, la comunicazione. La gestione del progetto in questa metodologia non è posta su più livelli ma al contrario, ogni attore concorre alla progettazione e ne fa parte in pari modo condividendo l’esperienza e diminuendo gli errori (che si potrebbero generare senza il dialogo tra le parti), aumentando l’efficienza in termini di tempi e costi.

1.2 Il modello di gestione attuale nel settore AEC

La guida [3, pp. 2-3] cita che la trasmissione attuale dell’informazione si basa su procedure cartacee. Questo fa sì che l’informazione sia non solo frammentata ma anche discordante nella maggior parte dei casi (perché il tempo per recepire l’informazione ed attuare il processo decisionale è maggiore del tempo di consegna di un nuovo pacchetto dati) oltre ai possibili ritardi ed errori nella redazione di essi che ne allungano i tempi (ma soprattutto i costi). Per ridurre queste problematiche al minimo si è ovviato nell’uso di:

- strumenti CAD 3D
- sistemi collaborativi
- tecnologie informatiche come webinar o siti web ideati per scambiare tra loro dossier o elaborati

Purtroppo questi metodi non sono stati in grado di diminuire la frequenza e la gravità degli errori che nel processo di progettazione, esecuzione e gestione del progetto si andavano a presentare. Risultando di fatto, solo una alternativa integrata nello scambio di informazione tramite procedure cartacee. Uno dei punti che non si è stati in grado di risolvere con la comunicazione 2D è stata la gestione dei tempi e dei costi che spesso vengono realizzati nelle fasi avanzate della progettazione. Le fasi più avanzate portano a cambiamenti che sono spesso incongruenti con il progetto finale, perciò è necessario ricorrere all'ingegneria del valore (Value Engineering, VE) per risolvere tali contraddizioni che portano a definire compromessi rispetto al progetto originario. Con le procedure cartacee quindi è chiaro che la gestione dei metodi risulta difficoltosa quando si instaurano rapporti tra vari soggetti. In Figura 2 è mostrato un diagramma che mostra quanto descritto fin ora. Gli attori nel progetto risultano in bolle dove è difficile far prevenire informazioni. Le varie parti del team si comportano quindi come elementi a sé stanti.

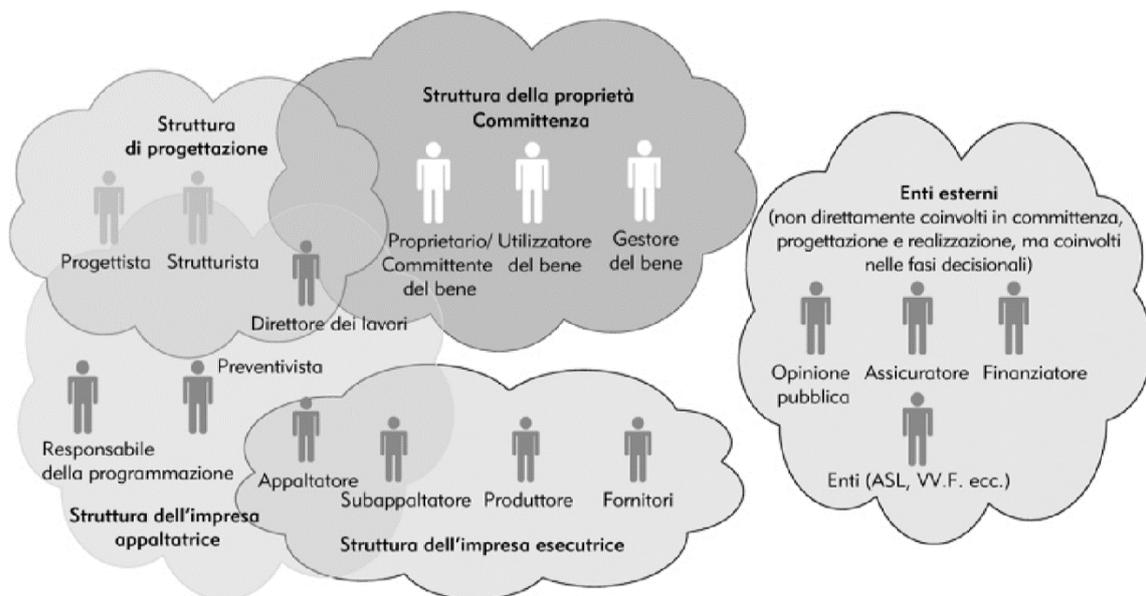


Figura 2 Diagramma che mostra un ipotetico team di progetto nell'AEC [3, p. 3]

1.3 La transizione dal CAD al BIM

Nel paragrafo precedente sono state analizzate le problematiche delle procedure cartacee e del CAD nel settore dell'AEC. La transizione tra le due metodologie è stata descritta da G. Cardinale, vice presidente del Consiglio Nazionale degli Ingegneri (CNI) che in [4] ha esposto come la trasformazione digitale abbia impattato sul settore dell'AEC:

<<Per chi ha attraversato la trasformazione dal tecnigrafo agli strumenti informatici della metà degli anni ottanta è più facile, forse che per altri affermare che questa è davvero una rivoluzione. Gli strumenti informatici di quell'epoca erano una automazione di quello che eravamo abituati a fare a mano. Qui si tratta di un cambio radicale di mentalità, di approccio in cui lo strumento è appunto solo uno strumento ma la vera rivoluzione è quella concettuale, è quella che attraverso la digitalizzazione dei processi offre nuovi scenari e nuovi orizzonti a vari settori.>>

Per capire appieno cosa significhi il passaggio tra le due metodologie bisogna partire dal concepire come prima del BIM sostanzialmente lo strumento e il metodo di lavoro coincidessero. I professionisti dell'AEC che utilizzavano il tecnigrafo si sono spostati su nuovi strumenti mantenendo invariato il metodo con cui gestire le informazioni e i progetti. L'azienda CADenas in un articolo presente sul suo sito ufficiale [5] descrive come il CAD affondi le radici in una storia lunga più di 60 anni, il suo inventore P. Hanratty creò il primo sistema a controllo numerico. Egli gettò le basi per un cambio di strumento che aveva numerosi vantaggi rispetto al tecnigrafo quali velocità di esecuzione e margine di precisione nettamente maggiore rispetto al disegno su carta, questo rappresentò una rivoluzione per il settore dell'AEC. Dal momento dell'invenzione del calcolatore elettronico (CE) l'industria dell'AEC va di pari passo con l'evoluzione digitale. Purtroppo la totale transizione dal tecnigrafo al CAD impiegò oltre 30 anni per arrivare a soppiantare il vecchio strumento di lavoro. Oggi il CAD all'alba del XXI secolo è nel pieno del suo potenziale e nel mezzo di una nuova transizione sia tecnologica che di metodo pari a quella dell'uso dei CE nel settore dell'AEC. Concludo inserendo un estratto del vice presidente del CNI G. Cardinale che, nel 2019 in un momento in cui si stavano compiendo grandi variazioni nella gestione dell'intera filiera dell'AEC si è portato alla luce come il settore dell'AEC sia frammentato e non omogeneo. Le grandi realtà e i paesi maggiormente industrializzati e proattivi nella ricerca effettuano la transizione più rapidamente. La filiera ha bisogno di riorganizzarsi in questa ottica di cambiamento. Nella seguente intervista [4] trascritta G. Cardinale risponde alla

domanda “I problemi da risolvere e i nodi da sciogliere per lo sviluppo della digitalizzazione nella filiera delle costruzioni”:

<<È chiaro che una rivoluzione e una metamorfosi del sistema implicano la necessità di tutti e tanti e diversi attori della filiera di rigenerarsi e quindi le criticità maggiori che al momento possiamo riscontrare e proprio nel fatto che c'è uno sfasamento di capacità di competenza di attrezzature tra i vari attori e quindi pur se oggi abbiamo molte autorità deputate al controllo che consentono un accesso digitale e quindi che gestiscono dati e non più carta non è così nel momento in cui si dovesse entrare nel merito del progetto discuterlo, guardarlo perché allora le differenze e le distanze tra competenze e sistemi informatici, attrezzature ecc. diventa più grande e questo è uno dei limiti che oggi abbiamo cioè il fatto che non tutta la filiera marcia compatta e con velocità non dico uguale ma paragonabili verso questo traguardo questa fase di transizione necessariamente comporta fatica perché molto spesso la consegna digitale è accompagnata dalla consegna cartacea per consentire l'esame lo sviluppo delle osservazioni sul progetto ma, l'orizzonte è tracciato e credo che la consapevolezza che è irreversibile debba essere una molla anche per lo stato per investire realmente nella formazione e nelle attrezzature delle proprie strutture al momento dal nostro angolo di visuale riteniamo di poter dire che la parte delle amministrazioni delle stazioni appaltanti e quella che fa più fatica ad andare dietro a questo sistema>>

In altre occasioni Cardinale ha commentato inserendo un punto fondamentale nel quadro generale. Questa rivoluzione non è partita dall'alto ma dal basso. Le nuove imprese e i grandi colossi hanno visto una opportunità nel mercato che era pregno e non offriva opportunità di crescita con le attuali tecnologie e metodi e solo dopo che l'industria spontaneamente ha effettuato la transizione che dall'alto ci si è promulgati nella prosecuzione di tali obiettivi e nella creazione di standard di controllo nazionali e internazionali che ne regolassero questo nuovo sistema.

1.4 Breve storia del BIM

Come affermato in [6, pp. 25-29] la storia dell'AEC è strettamente legata al disegno e alla rappresentazione dei dati. Nel corso di centinaia di anni il disegno e la rappresentazione si sono evoluti e adattati per creare uno standard che abbracciasse tutti i settori industriali. Oggi ci troviamo nell'utilizzare modelli strutturati che contengono al loro interno sia la rappresentazione (l'aspetto esteriore, la geometria ecc.) che l'informazione (ciò che rende l'oggetto rappresentato una entità completa dal punto di vista fisico). Tappa fondamentale dell'evoluzione del BIM fu nel 1973. L'università di Cambridge (presso Stanford) e

l'università di Rochesters svilupparono la semplice creazione e variazione di figure 3D solide. Un altro periodo fondamentale corre a cavallo tra il 1970 e il 1980, i sistemi CAD in questo decennio iniziano a diffondersi grazie alla possibilità dei CE di elaborare grandi modelli 3D. I grandi colossi dell'aeronautica decisero di sfruttarli insieme ad un approccio integrato al BIM. Al contrario l'AEC scelse un ramo parallelo che caratterizzò le successive decenni del nostro settore implementando nella progettazione l'uso di software per il disegno architettonico (come AutoCAD o Microstation). Il focalizzarsi con queste tecnologie portò all'uso massivo di disegni 2D e 3D senza però focalizzare l'attenzione sul processo che rimase immutato dall'tecnigrafo. La modellazione parametrica al contrario continuò ad evolvere e dal 1980 in avanti fu sfruttata negli impianti meccanici. La sostanziale differenza che divide la modellazione digitale parametrica e l'ormai tradizionale CAD 3D fu l'adattabilità della prima al contesto che mutava e si ricostruiva in base all'ambiente circostante al contrario del CAD 3D che aveva bisogno di ereditare le informazioni che erano esterne all'ambiente di sviluppo e dovevano essere generate dall'utente. In Figura 3 è riassunto in una infografica la differenza che corre tra i due sistemi e come essi siano distinguibili e separati da differenze sostanziali.

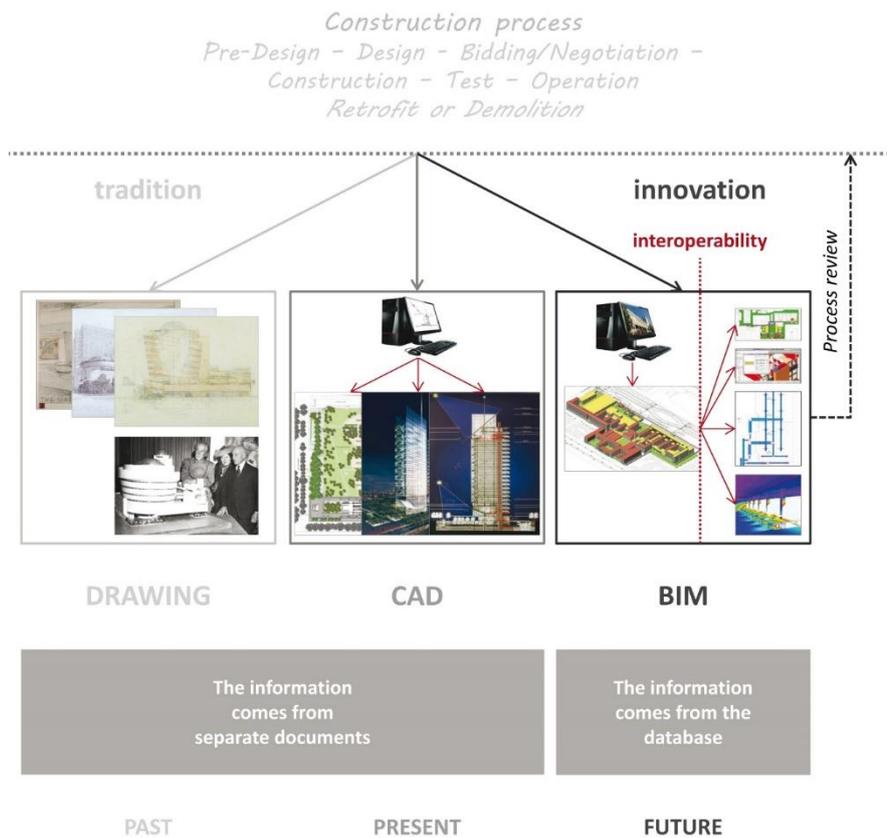


Figura 3-Evoluzione del processo costruttivo [7]

Il concetto di oggetto parametrico divenne fondamentale nel capire e concepire il BIM e come differisce dal disegno bidimensionale e tridimensionale. Il modello parametrico è costituito da informazione e relazioni reciproche che riorganizzano la struttura dell'oggetto in base a dati che ad esso sono associati. L'acronimo BIM originariamente non esisteva, fu coniato agli inizi del XXI secolo per unire in un unico concetto il Modello o progettazione (oggetto), informazione (le proprietà che rendono l'oggetto unico e fisico) e il facility management (abbreviato spesso in FM ed indica il controllo e gestione del ciclo di vita dell'oggetto). Prima di esso, nel 1986 l'azienda Graphisoft immesse nel mercato una soluzione software denominata ArchiCAD, esso fu il primo Virtual Building Solution. Nel 2003 Jerry Laiserin in un dibattito tra le principali sviluppatrici di software per l'AEC fece riferimento al termine BIM. Da quel momento le società di sviluppo software si riferirono con il termine BIM a tutto ciò che è stato trattato fino ad ora e svilupparono ognuna una sua applicazione software per rispondere alle esigenze della concorrenza, nacque Revit, AllPlan, Bentley Building e molti altri e l'epoca del BIM come lo intendiamo nel XXI secolo inizio.

1.5 Approccio al BIM

Arrivati a concepire le caratteristiche fondamentali nell'utilizzo di questo nuovo metodo di gestione del progetto e nell'aver appreso in modo sintetico la sua storia, si può introdurre in questo paragrafo e nei successivi che verranno un primo approccio a questo nuovo strumento (inteso come metodo, non come attrezzo di lavoro quali i software per l'architettura e ingegneria). Abbiamo visto come nel settore dell'AEC la comunicazione avvenga per mezzo della diffusione di elaborati cartacei (in gran parte). Il BIM ha strutturato un complesso sistema di regole che relazionate tra di loro forniscono un quadro totale dell'oggetto. Il sistema di informazione è passato dal cartaceo alla piena digitalizzazione imponendo anche una modifica del paradigma [8, p. 7].

1.5.1 I modelli informativi del BIM

Come accennato in [8, p. 7] e nel paragrafo precedente i CE hanno rappresentato una rivoluzione nel settore dell'AEC. I CE sono entrati nell'uso comune con i sistemi CAD (AutoCAD per citare il più impattante nell'industria della progettazione in generale). La gestione delle imprese tramite sistemi gestionali ERP e la committenza o pubblica amministrazione si è affidata all'on-line per strutturare i suoi bandi di gara. I CE sono arrivati alla fine del XX secolo e inizio del XXI secolo a elaborare, gestire e scambiare elaborati. Il cambio di paradigma è avvenuto non nella transizione di strumento ma nella gestione di

esso. I CE passano da rappresentazione a visualizzazione (UNI,2017a) della realtà (rilievo dello stato di fatto) al progetto (stato ideale). Il salto da sistemi di rappresentazione e visualizzazione è avvenuto con un sistema a Modelli informativi (UNI,2017a). Il modello è rappresentato nella sua totalità e contiene sia elementi fisici sia elementi astratti irraggiungibili. Si genera un oggetto che simula la realtà. I dati reperiti nei successivi elenchi sono stati estratti da [8, p. 7].

Di seguito sono riportati i dati (elaborati) contenuti nel modello informativo (UNI 2017a):

- Strutturati
- Tecnicamente coerenti
- Rielaborabili elettronicamente
- Relazionati elettronicamente (e parametrici)
- Fissati su un supporto digitale
- Interoperabili

I modelli come per gli elaborati si definiscono tramite la virtualizzazione (UNI 2017a):

- Grafico (virtualizzazione grafica)
- Documentale (virtualizzazione scritta)
- Multimediale (virtualizzazione multimediale)

Gli ambiti disciplinari che sono interessati (UNI 2017a):

- Sociale
- Ambientale
- Tecnico
- Economico
- Giuridico

E per ogni disciplina riportata nell'elenco precedente si specializzano in disciplina tecnica e architettonica (UNI 2017a):

- Modello architettonico edile
- Modello architettonico finiture
- Modello architettonico arredi, ecc.
- Modello impiantistico elettrico

- Modello impiantistico sanitario

Generalmente i modelli si suddividono in:

- modelli di indagine (stato di fatto)
- modelli di progetto (realtà in divenire)

I modelli inoltre in base alla suddivisione detta poc'anzi si possono ulteriormente suddividere in:

- singoli (trattano una sola disciplina)
- aggregati (trattano più discipline)

infine, l'unione di più modelli può avvenire per:

- fusione (ulteriormente divisibile in stabile e temporanea)
- coordinamento (stabile e temporanea) dei suoi dati (anche detto modello federato)

I modelli si trasformano e si adattano in questo modo ai vari obiettivi e usi. Perde di significato la perdita di informazione, essa si adatta in base allo scopo e alla fase. Un modello così ideato non è un insieme di forme 3D solide ma un insieme di informazioni che prendono forma nei software. Il processo costruttivo quindi è definito per fasi e stadi informativi che contengono soltanto l'informazione richiesta evitando il così detto "rumore". In Figura 4 è descritto graficamente quanto trattato. Il processo informativo delle costruzioni è stato anche adottato nella norma UNI 11337-1:2017 [9] che si occupa della gestione digitale dei progetti.

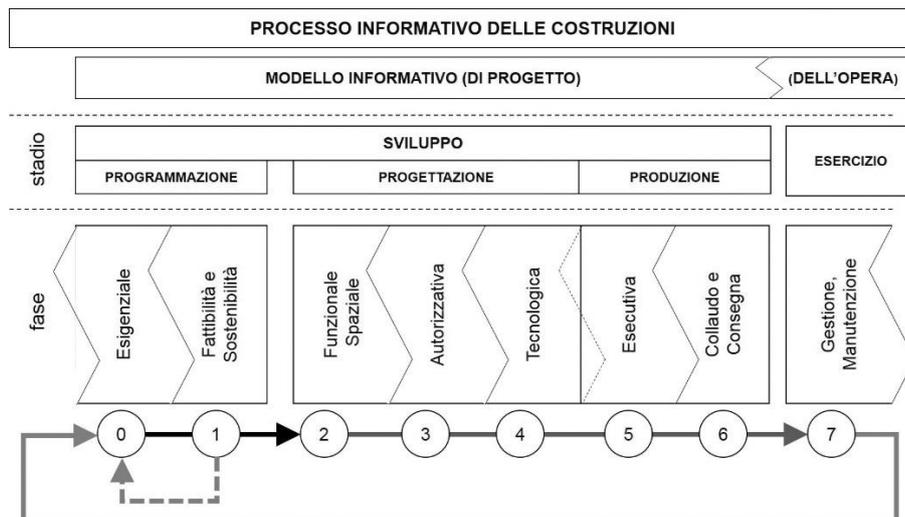


Figura 4 processo informativo delle costruzioni (UNI 11337-1:2017) [9]

In questo processo il committente ha il ruolo di decisore degli obiettivi di progetto e può entrare in esso in qualsiasi momento e in qualsiasi stadio o fase di avanzamento per tracciare o modificare gli obiettivi. I *model uses* assumono un ruolo fondamentale nel processo di costruzione e gestione dell'oggetto. Il cambio di strumento nella metodologia BIM ha portato a ripensare il concetto stesso di modello e del suo utilizzo con i vari stakeholders.

1.5.2 Livello di maturità del BIM: panorama normativo

Come affermato da A. Pavan in [9, p. 11] l'attuale livello di sviluppo del BIM interessa principalmente la modellazione delle informazioni nel processo di costruzione e gestione del manufatto. Questi modelli grafici conosciuti anche come modelli BIM 3D sono ancora strettamente legati all'uso del metodo cartaceo per lo scambio di dati. Il PAS (*Publicly Available Specification tradotto in italiano in Specifica Disponibile Pubblicamente*) ha elaborato nel suo PAS-1192 (vedere Figura 5) il livello di maturità del BIM. Il livello dei modelli grafici come si può osservare corrisponde al livello 2, i successivi livelli sono tutt'oggi in fase di sviluppo e sono disomogenei nel mondo.

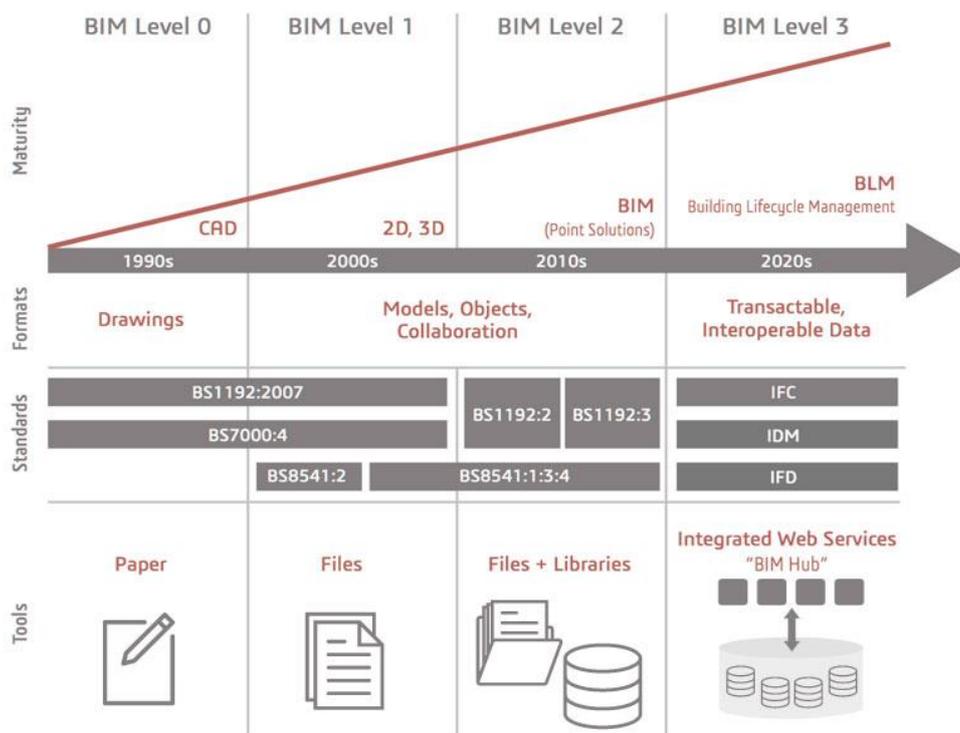


Figura 5 PAS1192 - livello di maturità del BIM [10]

Acca Software in questo articolo [10] ha argomentato come il Regno Unito sia il primo paese che ha adottato la metodologia BIM nel settore dell'AEC. Il processo di digitalizzazione però risale a molti anni prima, per la precisione dal secondo dopoguerra. Il Regno Unito promosse l'utilizzo del CAD 2D e 3D per poi passare alla metodologia BIM per affinare i processi di gestione. Nel 2011 furono definiti i BIM task al quale tutti gli altri paesi dell'area Europea e non solo fanno affidamento per misurare il livello di adozione del BIM. Questa scala è stata denominata livello di maturità ed è così composta:

- Livello 0 – disegno 2D CAD
- Livello 1 – disegno 2D/3D CAD
- Livello 2 – BIM nella fase di progettazione e costruzione, principalmente per lavori pubblici
- Livello 3 – BIM per la gestione di tutto il ciclo di vita di un edificio pubblico/privato.

1.5.3 I livelli di adozione del BIM nell'Era BIM

In [6, pp. 67-71] [11, pp. 6-7] si commenta come l'implementazione del BIM non sia unicamente questione di volontà e proattività. L'introduzione al processo richiede ingenti esborsi economici e altrettanti requisiti pregressi oltre che di tempo non trascurabile nella sua messa in opera. La svolta avvenne 15 anni fa. Il settore dell'AEC comprese che non era solo indispensabile l'evoluzione tecnologica ma si riteneva come “chiave del successo” una gestione radicale del progetto e delle persone che contribuivano ad esso e che si evolvesse in un rapporto simbiotico con l'evoluzione tecnologica per consentire uno scenario ipotetico e realizzabile (e lungimirante).

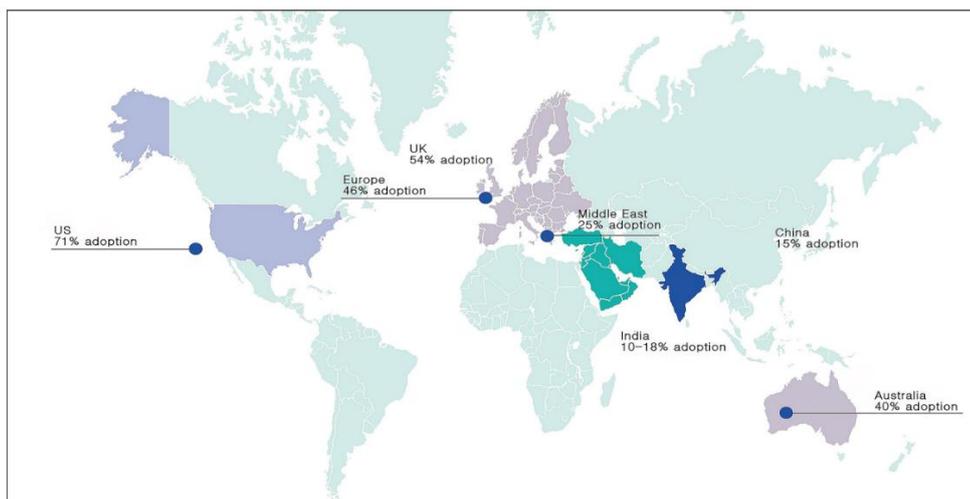


Figura 6-Adozione dei sistemi BIM nel mondo

In Figura 1 è mostrata una mappa del mondo nel quale si può notare i paesi che hanno adottato maggiormente il sistema BIM e in quale dimensione è utilizzato rispetto al sistema tradizionale inserendo nell'infografica (in modo incrociato nei dati) la percentuale di attuazione del suddetto sistema. Anche se il sistema era conosciuto da oltre 20 anni, la così detta "Era BIM" (che ha portato i paesi e le aziende del settore dell'AEC a investire anche grandi risorse economiche per ristrutturarsi) si concretizza solo recentemente. Essa si colloca tra il 2005 e il 2008 (Questa è l'epoca che noi oggi consideriamo effettivamente come "Era BIM"). I paesi che hanno maggiormente adottato il BIM e sono diventati leader del settore sono nel continente americano USA e Canada e nel Vecchio Continente annoveriamo l'esempio del Regno Unito, Finlandia e Norvegia. Punta di diamante nell'Asia è sicuramente Singapore che grazie alle fabbriche promosse nell'ultima espansione ha potuto sperimentare e attuare la metodologia diventando un punto di riferimento. Negli ultimi tre-cinque anni si è registrato un aumento di iniziative a livello nazionale e internazionale (come nel caso Australiano) volte alla redazione e rivisitazione di standard e linee guida sul BIM. I paesi in via di sviluppo non si sono ancora mossi nell'adozione del Bim per via dei grandi filtri che esso ha di partenza nella sua adozione che sono:

- Il possesso di una industria consolidata
- Il possesso di attrezzature di ultima generazione
- Il possedere esperienza tecnica
- Il possedere risorse economiche

Ritornando in Europa, come già accennato in precedenza, paesi appartenenti all'Unione Europea hanno dimostrato di essere i leader per quanto concerne l'adozione e sperimentazione. Nel 2001 In Finlandia annoveriamo il caso del Senate Properties (azienda governativa responsabile del patrimonio immobiliare) ha iniziato a testare e sviluppare modelli parametrici del suo catalogo e sulla base dei risultati ottenuti redigere linee guida per reiterare il processo. Ha adottato standard di condivisione dati IFC dal 1° ottobre 2007 e ha imposto il BIM nel lavoro ordinario e non solo in opere speciali.

1.5.3.1 I Livelli di adozione del BIM in Europa

Nelle successive mappe si cercherà di mostrare il grado di maturità del BIM in Europa nell'epoca attuale cioè a cavallo tra il 2019-2020. I dati sono stati raccolti con le tecnologie GIS e big data e assemblati da T. Hvidegaard nel suo studio [12] che aveva il compito di

rappresentare nel suo complesso e dal punto di vista grafico i risultati raggiunti nel processo di conversione. Hvidegaard afferma che l'approccio utilizzato è pregno di un indistinto grado di incertezza. I dati forniti se confrontati con quelli del paragrafo precedente mostrano come sia accresciuta l'adozione del BIM negli ultimi anni.

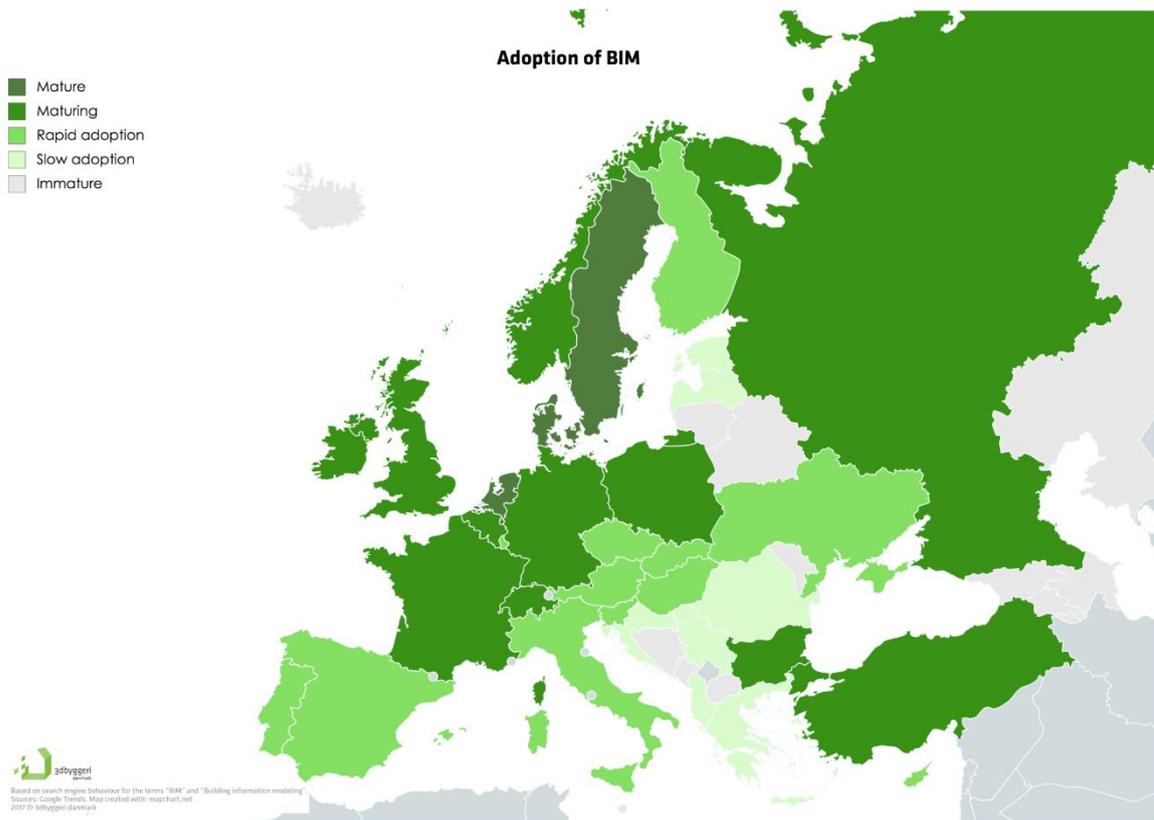


Figura 7-Mappa di adozione BIM nel 2019

In Figura 7 viene sostanzialmente confermato quanto detto nel paragrafo precedente. I paesi settentrionali dell'area europea sono ancora senza ombra di dubbio i leader del settore. Mentre ad eccezione dei paesi che hanno valori anomali quali Russia e Turchia la restante parte del continente sta adottando il BIM ad un ritmo più lento. Nella pagina seguente in Figura 8 si mostra il grado di adozione del BIM e del CAD secondo una scala cromatica che mette l'accento su come l'Italia e i paesi dell'Europa settentrionale insieme a quelli dell'Europa orientale siano orientati al CAD. Le iniziative governative che sono nate tra il 2008-2019 mostrano nella pagina seguente in Figura 9 un generale incremento. Segno che la transizione CAD oriented verso BIM oriented è incoraggiante e si prospetta per il successivo decennio un consolidamento di quanto sta accadendo confermando il trend esponenziale e positivo. Il blocco dei paesi orientali non ha ricevuto dati sufficienti per la

mappatura che insieme alle aree rosse potrebbe significare un ritardo con conseguenti problematiche per la creazione di uno standard normativo e database condiviso. La seconda infografica pone un interrogativo ulteriore nel chiedersi cosa causi le differenze nell'adozione del BIM. [12] Afferma che a un primo sguardo le iniziative del governo siano un fattore chiave ma l'analisi non mostra un rapporto causa-effetto, sebbene paesi con un livello di maturità alto che adottino il BIM abbiano iniziative proattive per esso. Hvidegaard dichiara che non può fornire una risposta chiara e che ciò andrebbe oltre la ricerca per ricadere nel campo delle ipotesi e teorie difficilmente dimostrabili.

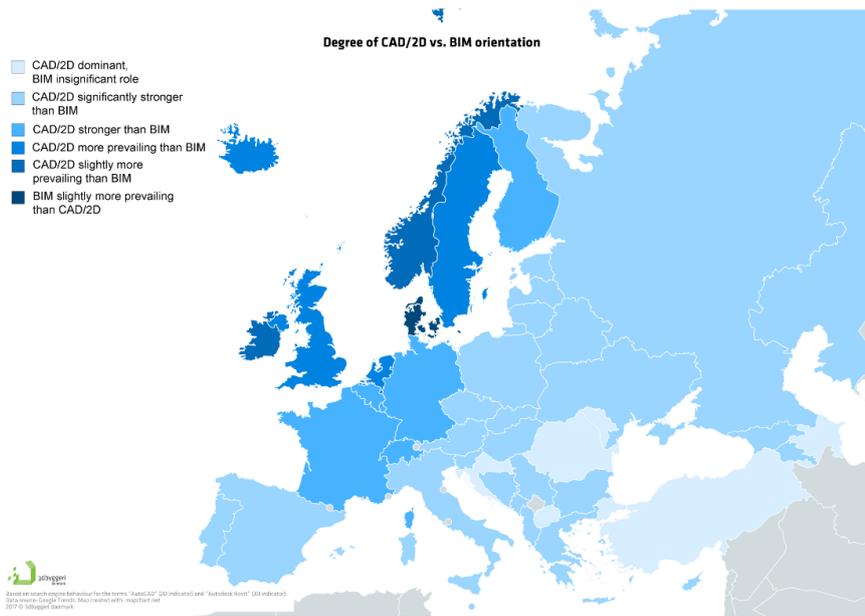


Figura 8-Grado di adozione CAD/2D vs BIM

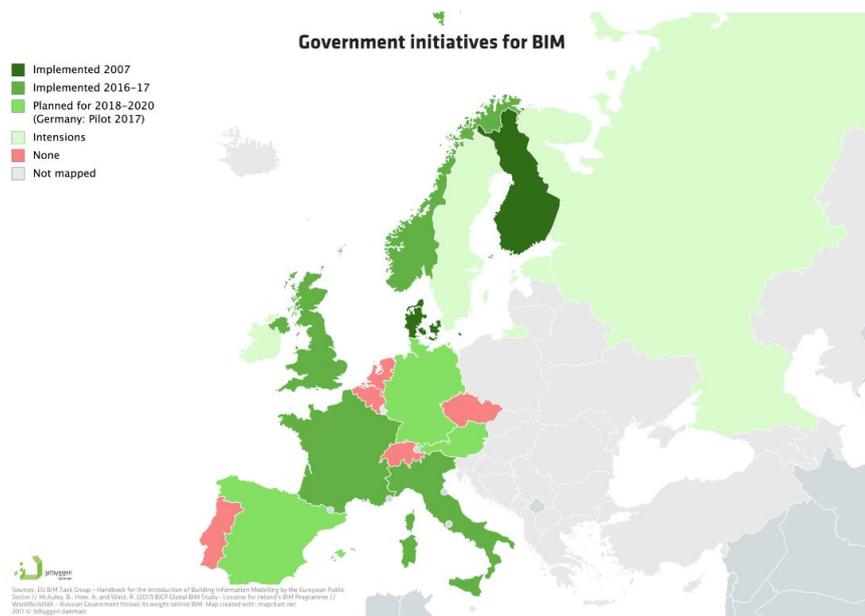


Figura 9-Iniziativa governative per il BIM

In ultima analisi dobbiamo considerare l'adozione del BIM dal punto di vista dei produttori di materiale nel settore dell'AEC. Per il produttore ha sicuramente un valore strategico essere all'interno di un paese che supporta questa metodologia e tecnologia ma, l'uso dei software ha una rilevanza ulteriore per via dello stretto legame che si dovrà formare tra le diverse parti in causa e avrà la massima attenzione quando si effettuano scelte strategiche per il posizionamento della propria azienda all'interno del mercato nazionale e internazionale.

1.5.4 La Metodologia BIM

Per introdurre il concetto di metodologia prima si deve chiarire il concetto cardine di questo metodo: l'interoperabilità. In questo capitolo non si farà riferimento a programmi utilizzati nell'elaborato di tesi che saranno approfonditi nel capitolo successivo ma bensì si forniranno le basi teoriche per comprendere le decisioni e le operazioni che sono state svolte nei capitoli successivi e che saranno specifici del tema dell'elaborato di tesi. Cosa intendiamo per interoperabilità? Treccani fornisce questa definizione [13]:

<<Capacità di due o più sistemi, reti, mezzi, applicazioni o componenti, di scambiare informazioni tra loro e di essere poi in grado di utilizzarle... Quella di tipo tecnico è la più nota: basti pensare al mondo delle telecomunicazioni, al software e alla continua evoluzione dei sistemi di calcolo. L'impiego domestico delle tecnologie informatiche ci mette ogni giorno di fronte all'esigenza di interoperabilità fra i diversi sistemi di cui disponiamo... Pertanto in tale ambito si tratta non solo di interoperabilità tecnica ma anche di standardizzazione delle dottrine e delle procedure.>>

Definito ciò risulta chiaro che per attuare l'interoperabilità come affermato in [6, pp. 105-107] serve una metodologia. Il mantenimento dell'informazione in termini di dati per tutto il ciclo di vita dell'edificio e in tutte le sue fasi ha un costo. Il BIM permette di riutilizzare e riadattare l'informazione in base al contesto in cui è inserita ed entra in contatto. Di conseguenza il valore dell'informazione va oltre il singolo progetto o attimo. Se una informazione non viene utilizzata nel workflow deve essere ricreata a causa della mancanza di interoperabilità. Questo ricreare l'informazione e reiterare il processo porterebbe al decadimento dell'informazione come accade con il CAD. Nel CAD l'utente è colui che gestisce e genera l'informazione per immetterla nei CE che restituiranno il dato però, l'informazione ad essa associata risulta con il tempo incongruente e danneggiata rispetto alle altre, non c'è nessun legame tra di esse nel CAD. Un errore dell'utente viene elaborato e si ripercuote su tutto il processo. Nel BIM la chiave è l'interoperabilità e la conservazione (ed

il legame ad esso associato con l'informazione). In questo senso la metodologia ha come punto debole non la macchina che genera i dati ma come essi sono governati dagli attori nel progetto. Un team efficiente darà risultati efficienti. Viceversa un team non collaborativo, che non ha ben chiaro i ruoli e gli obiettivi all'interno della struttura organizzativa causerà inefficienza. La determinazione dei metodi (e dei modi) che verranno utilizzati per acconsentire a un'adeguata condivisione delle informazioni del modello è un problema che potrebbe pregiudicare le sorti del progetto e la sua riuscita. Pertanto, una progettazione BIM richiede come primo valore, la trasparenza dell'informazione e una struttura chiara e strutturata del team. L'interoperabilità come ha affermato [3, pp. 100-105], apre la strada a nuovi metodi e fenomeni di automazione. I professionisti dell'AEC, abituati a scambiare dati di geometria tra software diversi servendosi di convertitori come DXF, IGES o SAT, con il BIM si trovano nel creare un modello fatto da elementi univoci che vengono raffigurati con geometrie, relazioni, attributi e proprietà per comportamenti differenti. Il modello quindi formato da un database risulta chiaramente più complesso di un CAD 3D che esprime solo informazioni geometrico-grafiche. Nel processo di interoperabilità quando si deve trasportare il database, oggetto o dati, da una piattaforma software ad un'altra, il software di partenza genera una conversione. La conversione (dei dati) si ottiene dal model data (i dati del modello) che sono necessari alla nuova piattaforma che è definita model view. I dati del nuovo modello trasposti nel nuovo formato di interscambio sono integrati con una serie di nuove informazioni (che non sono modellate dall'utente) che il programma compila insieme alle precedenti. Una volta generati o rielaborate le informazioni nella nuova piattaforma il programma BIM di partenza può ricevere in modo inverso le informazioni decidendo autonomamente come gestire le informazioni e integrarle con il modello esistente. Alternative software in alcuni casi possono generare autonomamente rielaborazioni aggiornando il modello originario. Lo scambio piattaforma-strumento è la struttura principale di interoperabilità, ed è supportata sia da uno scambio applicazione-applicazione (diretto) sia da formati di scambio neutrali (come l'IFC). Lo scambio di piattaforma-strumento dal punto di vista dell'interoperabilità è esterno al sistema software prescelto e risulta ancora oggi, un lavoro di ricerca e sviluppo in quanto le alternative software non rielaborano informazioni complesse autonomamente ed è ancora una abilità in divenire nelle alternative software. In questa ottica, ogni operatore nel settore dell'AEC dovrà adattare il modello o rielaborarlo per essere usufruito al di fuori dell'ambiente software della model view. A titolo di esempio cito un estratto da [3]. Il seguente testo spiega quanto appena argomentato con l'ausilio di esempi concreti.

<<Un esempio può essere la conversione di un computo metrico (quantity takeoff) in un'applicazione per la stima dei costi. In questo caso il quantity takeoff estrae i dati BIM, utilizzabili a vari scopi, per la stima dei costi, quindi per l'acquisto e il tracciamento di materiali o magari per l'associazione a pacchetti di lavoro e di programmazione operativa. Un'altra interfaccia strumento-strumento è rappresentata da un visualizzatore di geometrie leggere, come Autodesk Design Review (formato DWF) o il viewer 3D di Adobe (formato PDF), considerato in questa sede alla stregua di uno strumento BIM. Questi strumenti sono progettati per essere utilizzati a scopo di visualizzazione e revisione. Oltre a disporre di aggiornamenti, possono essere utilizzati per applicazioni limitate, per esempio come interfacce per altri strumenti (si pensi alla simulazione dell'illuminazione o al rilevamento delle interferenze). In questi casi, il confine tra uno strumento e una piattaforma di progettazione risulta assai labile. Il dato di fondo è che i visualizzatori di geometria leggera non consentono di implementare i cambiamenti nel progetto e di aggiornare il modello nella piattaforma: dunque i flussi di informazione procedono a senso unico. La grande sfida dell'interoperabilità è quindi rappresentata dallo scambio piattaforma-piattaforma.>>

In alcune particolari circostanze va anche detto che l'interoperabilità non può avvenire. I tecnici e i progettisti quindi sono costretti a trovare strategie e riordinare tutto il processo. Queste "falle" nel sistema solitamente sono sormontabili ma richiedono sforzi e coordinazione non indifferente.

1.5.4.1 Gli strumenti del BIM

Gli attuali strumenti del BIM come accennato in [6, pp. 105-107] sono caratterizzati dall'interpretazione di un oggetto (modello) tramite i dati che relazionati a seconda del caso forniscono coerenza. L'utente percepisce ciò tramite rappresentazioni 2D e 3D. Nella metodologia BIM un oggetto può condividere parte dell'informazione generando tutti gli elaborati che l'utente ha bisogno in tempo reale. Le informazioni presenti sono ricavate da tali operazioni che non sono isolate, sono in continua comunicazione con il modello (oggetto). Se vengono cambiati dei dati, le conseguenze di questa operazione si ripercuoteranno su tutti gli elaborati che il software ha creato. Esiste però la possibilità di filtrare questi dati in base all'elaborato richiesto e all'occorrenza diminuendo in modo sostanziale la fedeltà (che tuttavia perde di significato nel BIM in quanto come detto in altri paragrafi e in questo, l'informazione rimane salvata e perdura) che sarà restituita da una semplificazione puramente grafica ed in ogni caso permessa dall'oggetto stesso.

Comprendiamo quindi che il progetto assume il ruolo di database. Tutte queste caratteristiche sono la sostanziale differenza tra un software CAD e un software BIM.

1.6 Livello di dettaglio: LOD, LOd, LOI e LOG

Nella metodologia BIM si usa la modellazione a oggetti. Con gli oggetti noi passiamo all'impiego di modelli informativi (figura sottostante) per tradurre le informazioni. Un oggetto che compone un modello può a sua volta essere parte di un sistema più vasto che comprende più sistemi e sotto sistemi di modelli e sub-modelli. L'oggetto digitalizzato rappresenta la virtualizzazione in una qualsiasi entità fisica dell'opera in oggetto. [8, p. 14]

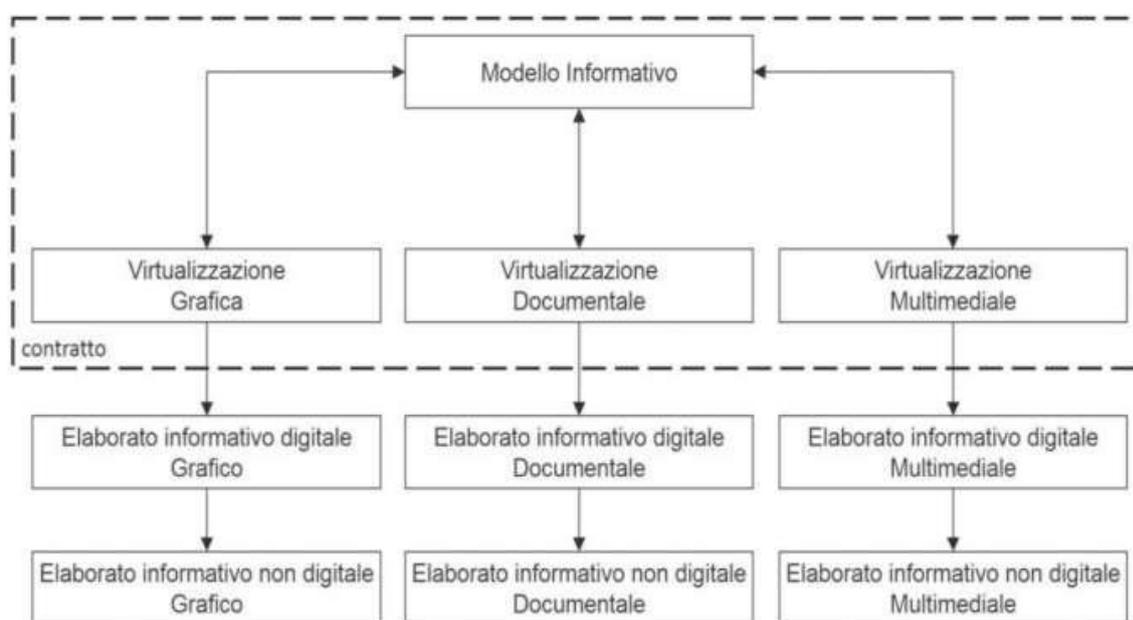


Figura 10-Un esempio di modello informativo secondo la norma UNI 11337-1 [14]

Nella modellazione grafica restituita dal software quindi ci possono essere più rielaborazioni in base alla vista al contesto di appartenenza. Il cambiamento nello schema dunque risiede nella simulazione di entità, questa simulazione richiede un filtro che a sua volta sarà virtualizzato graficamente, in modo documentale e multimediale. Queste virtualizzazioni avranno un livello di dettaglio anche discordante (si ricorda che l'informazione in questo modo non è cancellata ma solo richiamata, l'oggetto modello è rimasto immutato). Questo concetto porta inoltre alla luce un assunto fondamentale ovvero: i software BIM non gestiscono le geometrie (come avviene in AutoCAD, Rhino ecc.) ma gestiscono tramite elementi parametrici lo scambio, elaborazione, gestione e filtrazione del dato. Questa incomprensione porta spesso a trattare e usare i modellatori BIM come semplici modellatori in grado di generare architetture e strutture realistiche in tempi ragionevoli

insieme agli elaborati grafici. Molti oltre ciò fanno confusione con la modellazione informativa (Information Modelling) e con la gestione informativa (information management) che è il punto focale della metodologia. Gli strumenti BIM (BIM toolkit) quindi non servono a disegnare ma, a simulare la realtà di un'oggetto che è un insieme di relazioni, forme e attributi reciprocamente interconnessi che attraverso il setaccio dei dati generano virtualizzazioni delle informazioni che possono essere grafiche, ma anche documentali come ad esempio proprietà fisico-tecniche. A questo punto è possibile comprendere l'idea di come nel BIM i concetti di scala grafica sono insensati. Gli oggetti possono avere gradi di dettaglio altissimi a scale di virtualizzazione bassa che ne determina un cambio della geometria e viceversa. I modelli nell'AEC quindi non sono legati allo strumento e al tipo di scala ma si adattano in base alla fase e al grado che ci serve conoscere dell'oggetto. Nel BIM è quindi distinto il livello di accuratezza grafica presente in alterative della controparte CAD. Si definisce LOD (Level Of Development, livello di sviluppo, di natura statunitense) il grado di evoluzione informativa di un oggetto digitale. Invece l'acronimo LOd (scritto in questo modo per differenziarlo da LOD) significa Level of Detail, in italiano livello di dettaglio e deriva dal concetto primitivo del retaggio legato al dettaglio grafico. In una digressione britannica invece si identifica il LOI (Level of information) che identifica il livello (di dettaglio) dell'informazione. Gli oggetti così composti sono strutture che fungono da contenitore di attributi che possono essere riordinati per qualità e quantità in questo modo si identificano dei filtri o scale in cui collocare essi. LOG invece significa Level of Geometry (e intende indicare il livello di dettaglio della sola geometria), livello della geometria. Il livello identificativo a cui si farà riferimento in sostanza rimane il LOD inteso come Level of Development nel quale sono contenuti LOd, LOI e LOG (vedere Figura 11 che riassume i concetti appena esposti). [8, pp. 15-19]

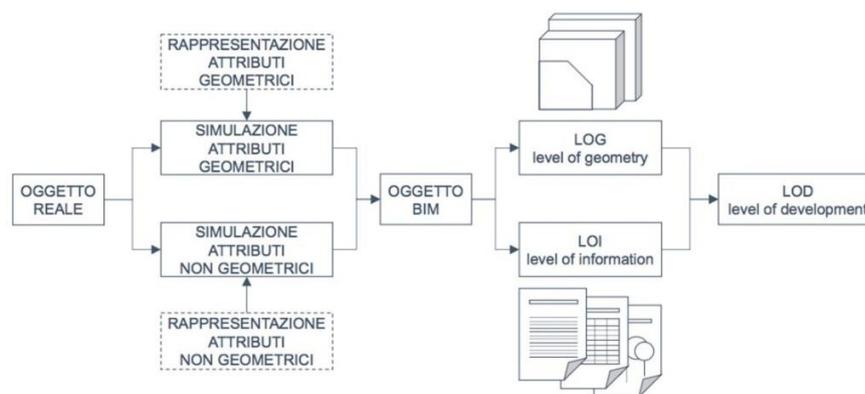


Figura 11-LOD, LOG e LOI per gli oggetti digitali BIM [15]

Si deve far notare che nel processo della definizione del LOD un oggetto può contenere dettagli 2D di elevata minuzia su LOD con grado di affidamento molto basso. Questo è realizzato soprattutto per venire incontro a esigenze di tempi e costi e quindi l'informazione rimane legata allo strumento di virtualizzazione ma di fatto non esiste in quanto è un oggetto CAD. Si noti anche che in un modello possono coesistere LOD differenti in relazione agli obiettivi prescelti e le fasi di sviluppo del progetto. In questo senso potremmo avere in base al nostro obiettivo nel caso di un edificio:

- LOD architettonico basso
- LOD strutturale elevato

Secondo la normativa UNI 11337:2017 sono definiti i seguenti livelli (2017b) [8, p. 20]:

- LOD A. Oggetto simbolico
- LOD B. Oggetto generico
- LOD C. Oggetto definito
- LOD D. Oggetto dettagliato
- LOD E. Oggetto specifico
- LOD F. Oggetto eseguito
- LOD G. Oggetto aggiornato

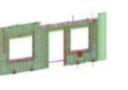
LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
<p>Geometria Elemento strutturale bidimensionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un simbolo 2D.</p> <p>Oggetto Simboli grafici 2D</p> <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posizionamento di massima 	<p>Geometria Elemento strutturale bidimensionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido di estrusione abbozzato con aperture.</p> <p>Oggetto Solido 3D</p> <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali ipotizzabili • Incidenza di armatura standard 	<p>Geometria Elemento strutturale bidimensionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni calcolate secondo la normativa tecnica.</p> <p>Oggetto Solido 3D complesso</p> <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiali da calcolo • Incidenza di armatura calcolata 	<p>Geometria Elemento strutturale bidimensionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le armature in posizione corretta e sono posizionati degli inserti 3D tipici.</p> <p>Oggetto Solidi 3D complessi</p> <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Armature 3D • Inserti 3D tipici 	<p>Geometria Elemento strutturale bidimensionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le armature in posizione corretta, gli inserti specifici del produttore, i dati specifici del fornitore dei materiali e delle armature.</p> <p>Oggetto Solidi 3D complessi</p> <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inserti 3D reali • Gestione dei getti 	<p>Geometria Come LOD E (rilievo di quanto eseguito).</p> <p>Oggetto Solidi 3D complessi</p> <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certificati di collaudo • Piano di manutenzione 	<p>Geometria Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su elementi esistenti: Come LOD C o D (a partire da).</p> <p>Oggetto Solidi 3D complessi</p> <p>Caratteristiche</p> <ul style="list-style-type: none"> • Data di manutenzione/sostituzione • Soggetto manutentore • Tipologia di intervento

Figura 12-UNI 1137-4: prospetto C.22, esempio di LOD di pareti prefabbricate [16]

1.7 InfraBIM

La metodologia BIM ha interessato tutto il settore dell'AEC e con i recenti sviluppi normativi ha espanso la sua influenza anche nel campo dell'ingegneria che coinvolge l'intera

filiera produttiva e gestionale delle infrastrutture viarie. Quando parliamo di BIM applicato alle infrastrutture ci riferiamo più comunemente ad esso con l'abbreviativo InfraBIM (che è l'unione di infrastrutture anche non lineari e la metodologia). Nel processo di progettazione, realizzazione e gestione dell'intero ciclo di vita del manufatto l'InfraBIM ha svolto un ruolo fondamentale nella coordinazione. Le grandi opere infrastrutturali hanno avviato così un cambio di paradigma volto all'efficienza, al massimo controllo (in special modo dei tempi e costi che possono cambiare le sorti del progetto) e alla qualità (intesa come piena soddisfazione dei requisiti di progetto). L'implementazione inoltre dell'InfraBIM ha permesso di intraprendere le migliori scelte nella fase esecutiva (modellizzazione e simulazione BIM 4D). Rispetto ad altri settori nell'AEC, il settore dell'ingegneria delle infrastrutture per quanto concerne l'InfraBIM è rimasto ancora in uno stato embrionale. Italferr a titolo di esempio [17] [18] ha solamente di recentemente avviando nel 2013 una conversione e gestione del suo patrimonio. Nella ricerca [19] svolta dal Professore G. Dell'Acqua è stata individuata una gerarchia e un modo di catalogare i vari tipi di infrastruttura (Figura 13).

Classificazione delle infrastrutture		Domini
I	1. Ponti	Infrastrutture di trasporto
II	2. Strade	
III	3. Ferrovie	
IV	4. Gallerie	
V	5. Aeroporti	
	6. Porti e approdi	
VI	7. Produzione di energia	Infrastrutture energetiche
	8. Petrolio e gas	
	9. Miniere	
VII	10. Utility	Infrastrutture di pubblica utilità
VIII	11. Recreational facilities	Impianti per lo svago
IX	12. Impianti per le acque bianche e reflue	Infrastrutture idrauliche
	13. Dighe, canali e argini	

Figura 13 Classificazione delle infrastrutture

Ad esse, nelle fasi successive della ricerca tramite complessi criteri di valutazione, si è arrivati a comprendere come nella ricerca e studio di 172 casi applicativi e 63 pubblicazioni scientifiche riassunte nella seguente Tabella 1, si sia compreso come le infrastrutture viarie ed energetiche rivestano un ruolo fondamentale nel campo della sperimentazione.

Classificazione delle infrastrutture		Casi applicativi					Publicazioni scientifiche	
		Europa	Americhe	Asia	Oceania e Africa	Totale	Totale	
I	Ponti	3	8	10		21	27	
II	Strade	10	17	7	2	36	9	
III	Ferrovie	5	4	8	1	18	4	
IV	Gallerie		2			2	12	
V	Aeroporti, porti	Aeroporti	1	1	3		5	1
		Porti	1				1	
		Subtotale	2	1	3		6	1
VI	Infrastrutture energetiche	Produzione di energia	2	7	20	3	32	3
		Petrolio e gas	1	1	4		6	2
		Miniere	1	2	1	2	6	
		Subtotale	4	10	25	5	44	5
VII	Infrastrutture di pubblica utilità		2	2	2	6	3	
VIII	Impianti per lo svago		3	4		7		
IX	Infrastrutture per la gestione delle acque	Impianti per le acque bianche e reflue	3	14	9	2	28	1
		Dighe, canali e argini		4			4	
		Subtotale	3	18	9	2	32	1
Totale			27	65	68		172	63

Tabella 1-Numerosità di casi applicativi e pubblicazioni scientifiche

Altra cosa che si può notare nella tabella è la quantità di casi rinvenuti in Asia e nel continente Americano. L'infraBIM da questa ricerca risulta in forte espansione nei paesi e nelle aree in via di sviluppo e nel contempo possiamo notare come in essi vi sia un uso pratico e non teorico dello sviluppo BIM. La ricerca che è stata svolta dal Professore G. Dell'Acqua mette in luce anche altri aspetti forse sottovalutati ovvero il trattare il campo di studio applicativo come modo di sperimentare e inventare standard e sistemi di gestione specifici. In ultima analisi il divario tra l'utilizzo dell'infraBIM nelle infrastrutture viarie ed energetiche rispetto alle altre classificate porta all'assunto che i vari ambiti potrebbero essere interessati all'adozione dell'infraBIM ma hanno il filtro degli strumenti e della metodologia di comunicazione dei dati che non permette questo salto di metodo. La coordinazione delle varie figure che concorrono nella realizzazione delle infrastrutture non è ancora matura ma l'analogia che possiamo cogliere con gli altri settori dell'AEC è la medesima che si verifico anni orsono nella sua implementazione ad esempio nel settore dell'architettura e ingegneria votato alla costruzione di edifici. Un settore che era rimasto bloccato al paradigma strumento-metodo e non aveva separato le due componenti. Investito dal BIM si è

reinventato ed adattato creando una separazione ed oggi quello che ci appare come un cammino tracciato all'inizio era incerto e tortuoso.

Risultati di valutazione		Numero di casi applicativi e pubblicazioni scientifiche		I-BIM uses		LoD-casi applicativi	Evoluzione della rappresentazione	Generazione e organizzazione dei dati	Software tools
Classificazione delle infrastrutture		Casi applicativi	Casi applicativi	Casi applicativi	Pubblicazioni scientifiche				
I	Ponti e viadotti	21	24	A11,C8,E10 G1,I7,J4,L1 M7,N1	A1,B2,C3 E1,J6,J5 K1,M3 N3,O1	300 (12) 400(9)			Revit, AutoCAD Civil 3D, Bentley Bridge Design Software and Road Design Software, Microstation, 3ds Max Design, Navisworks, STAAD.Pro, etc
				A27,B2,C17 G4,H1,I8,J8 K4,L4,M14 O1		200 (12) 300 (13) 400 (8) 500 (2)			AutoCADMap3D,Civi3D,BentleyRoadDesign software, MicroStation, Autodesk InfraWorks, Navisworks,BentleyNavigator,etc.
II	Strade	35	6		A1,B1 H1,M1	300 (13) 400 (8)	01(6), 02(1)		Microstation, Bentley Road Design software, Bentley Rail Design and Operations software, Bentley Architecture, projectWise,etc.
III	Ferrovie	18	4	A8,B1C7,E4 F1,I8,J4,L2 M11,O2	A1,C1,E2 K1,M2 O1	200 (1) 300 (6) 400 (9) 500(1)			
		2	11	A1,C1,E2,I1	J1,K1,O1	300 (2)	01(7), 02(3), 03(1)	File-based	
IV	Gallerie			A4,C3,D1,I1				No server-based	
V	Porti, aeroporti	6	1	J4,K1,L4 M1,O1		300 (3) 400 (3)	01(1), 02(1)		Revit, Bentley Architecture, Microstation, Bentley Road Design software, ProjectWise, etc.
				A25,C29,E6 I5,J4,L20 M13,O3		100 (1) 200 (1) 300 (14) 400 (28)			Bentley Plant Design and Engineering software, AECOSim Building Designer, Prosteel,AutoPIPE, STAAD.Pro,etc.
VI	Infrastrutture energetiche	44	3		A1,C1,E1,I1	400 (6)			AutoCAD Civil 3D, Microstation,Bentley Road Design software, ProjectWise, etc.
VII	Infrastrutture di pubblica utilità	6	3	L6,M3					
VIII	Impianti per lo svago	7		A6,C4,D1,F1 I2,J2,L6,M3 N1		200 (1) 300 (1) 400 (5)			Revit, Navisworks, etc.
				A12,B7,C16 E14,G1,I3,J9 K1,L20,M10 N1,O4		200 (1) 300 (12) 400 (13) 500 (6)			AutoCAD Map 3D, AutoCAD Civil 3D, AutoCAD, Microstation, Water and Wastewater Network Analysis and Design software, Bentley Navigator, ProjectWise, AutoPIPE and STAAD.Pro.

Tabella 2-Sintesi dei risultati della ricerca del professore G. Dell'Acqua [19, p. 24]

In Tabella 2 si è riassunta tutta la ricerca del Professore G. Dell'Acqua. Il sunto ha portato alla luce un dettaglio fondamentale utile nel caso applicativo di questa tesi. Nella categoria strade i software che sono stati utilizzati sono software progettati unicamente per le infrastrutture stradali. La conversione tra esse porta all'assunto che sia agevole e con limitati errori nella geometria. Lo scopo nel caso applicativo che sarà trattato è l'interoperabilità non solo tra piattaforma-piattaforma (orientate alle infrastrutture e verso esse) ma avrà l'obbligo di essere interoperabile con qualsiasi piattaforma software al di fuori dell'ambito progettuale. In questo modo sarà soddisfatto il primo criterio che concerne l'interoperabilità ossia lo scambio di dati con tutto il team del progetto e avere una trasparenza dell'informazione. Trasparenza che verrebbe meno se le applicazioni non riuscissero a comunicare tra di loro.

2 Metodologia

2.1 Il caso studio

L'oggetto di studio del seguente elaborato riguarda la progettazione di un sottopasso ciclopedonale nei pressi di un'ampia area pianeggiante nelle immediate vicinanze di un centro abitato. Il progetto ha come scopo il prolungamento e collegamento dei tratti della pista ciclabile preesistente mediante la costruzione di una infrastruttura viaria. Il progetto in questione fa parte di un più ampio piano che ha lo scopo di creare un corridoio stradale per deviare il traffico che altrimenti convergerebbe verso il centro abitato presente nei pressi di tale opera. L'intervento previsto in progetto è costituito dalla creazione di un nuovo collegamento viario, suddiviso in tre tratti principali collegati al sistema viario esistente tramite l'uso di tre rotatorie nelle quali confluiranno strade principali e secondarie delle aree industriali e dei comuni prossimi. Il sottopasso ciclopedonale si trova tra due di esse. [20, 21]

2.1.1 Sottopasso ciclopedonale



Figura 14-Geometria del sottopasso ciclopedonale

Nella Figura 14-Geometria del sottopasso ciclopedonale è mostrata la conformazione del sottopasso. L'opera sarà realizzata in c.a. (calcestruzzo armato) da realizzare in opera.

La sezione libera del sottopasso (il Blocco Scatolare) misura 4m x 3,70m tali da poter ospitare al suo interno il passaggio di sottoservizi al di sotto del piano viabile. Il dislivello al di sotto della pavimentazione stradale sarà riempito fino alla quota del livello di progetto con del materiale di rinforzo al conglomerato cementizio stradale e consisterà in terra prelevata dalle operazioni di scavo e rinterro. Lo scatolare, di lunghezza pari a 22.10 m sarà dotato in corrispondenza di entrambi gli imbocchi di muri ad “U” di lunghezza pari a 21.40m, anch’essi da realizzarsi in opera in c.a. Di seguito sono mostrate le sezioni trasversali che mostrano la struttura dei blocchi in c.a. che comprendono il sottopasso ciclopedonale. Un blocco generico è composto dalla sottofondazione (magrone non armato), fondazione e muro contro terra. Tra i blocchi è presente il rinforzo ricavato dalle operazioni di movimento terra.

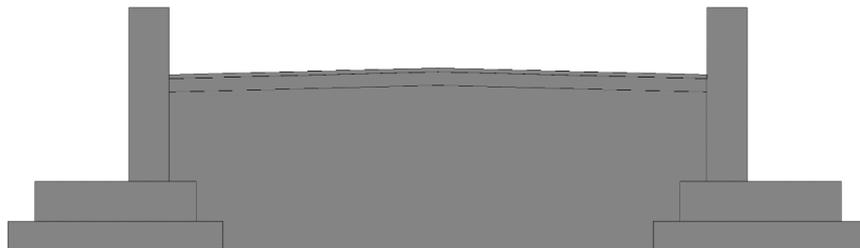


Figura 15-Sezione trasversale del Blocco 1

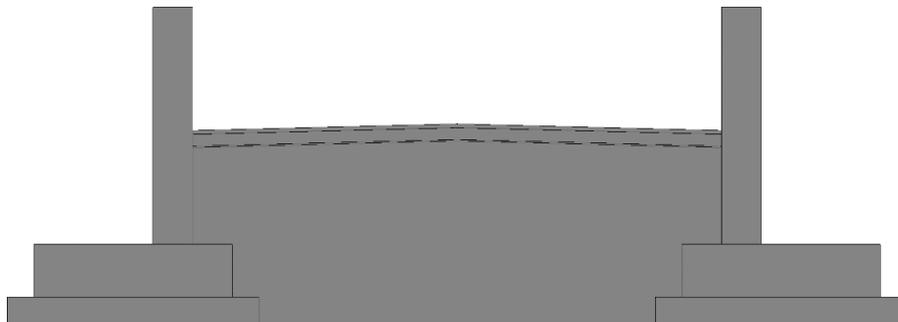


Figura 16-Sezione trasversale del blocco 2

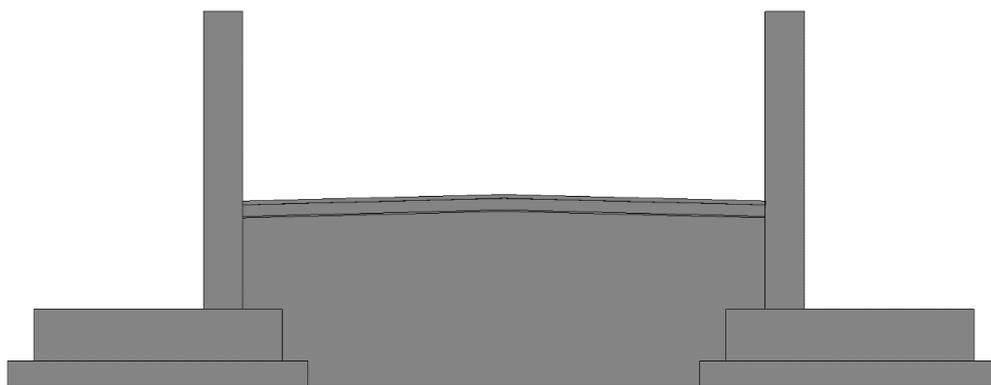


Figura 17-Sezione trasversale del Blocco 3

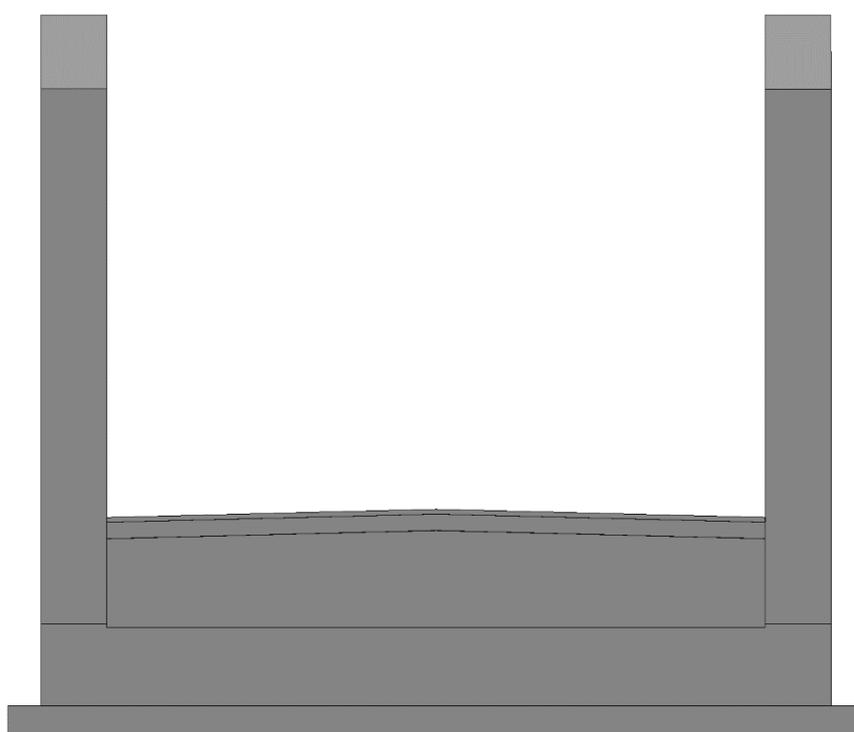


Figura 18-Sezione trasversale del blocco 4

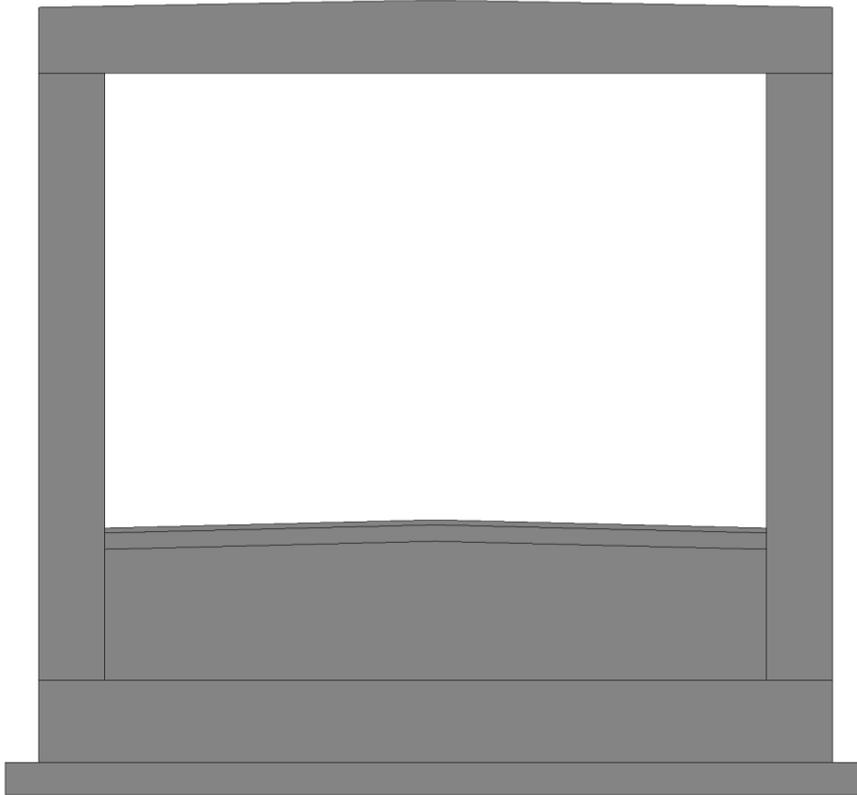


Figura 19-Sezione trasversale del blocco Sottopasso

2.2 Introduzione alla ricerca metodologica

Prima di procedere nell'elaborazione della metodologia si è avviata la fase di raccolta dati riguardante il sottopasso. I dati necessari sono stati ricavati dalle relazioni tecniche e dai file DWG. Scopo del lavoro è quello di fornire tramite una ricerca metodologica, il processo il più efficace, efficiente e qualitativo possibile per gestire al meglio i problemi legati all'interoperabilità (concetto affrontato nel capitolo 1). La totale modellazione e virtualizzazione del sottopasso è avvenuta tramite la metodologia CAD (e tramite l'ausilio di software CAD) con l'aggiunta dell'interscambio di dati cartaceo. Si è cercato di sviluppare un procedimento di interoperabilità che possa traslare un oggetto (modello) dal CAD al BIM senza perdita di informazioni e con aggiunta della possibilità di compiere interscambi di dati con nuove applicativi software e hardware (nell'utilizzo di diverse piattaforme OS). Per arrivare al risultato finale, ovvero allo sviluppo di un metodo efficace che ci porti dal CAD al BIM sono state richieste analisi di interoperabilità che hanno portato alla luce i limiti, le potenzialità e le peculiarità di questo nuovo sistema (e del vecchio). Il programma con cui è stato modellato originariamente il sottopasso è stato Civil3D 2016. La

piattaforma software finale nel quale sarà ricompilato il progetto, per sintetizzare una metodologia BIM, è stato selezionato con diversi criteri:

- Capacità di interscambio. Come accennato nel Capitolo 1, esistono due principali tipologie di interoperabilità ovvero quella tra applicazione-applicazione, ovvero lo scambio di dati tra software che leggono, gestiscono e creano nuova informazione e applicazione-strumento cioè dati che confluiscono in un software progettato per leggere informazioni e non crearne di nuove. Le “applicazioni strumento” a titolo esemplificativo possono essere visualizzatori o simulatori.
- Facilità nella gestione del modello e dei suoi componenti
- Notorietà del programma (per avere guide alla modellazione e il supporto di professionisti nel processo progettuale)
- Maturità del programma (il programma deve essere sufficientemente sviluppato e maturo dal punto di vista degli applicativi per essere integrato con le altre alternative software senza perdita di dati o errori grafici)
- Sistema operativo (OS, acronimo di Operation System) più diffuso nell'AEC

Il risultato di questo elenco di obiettivi ha portato alla scelta di Revit 2020 come punto di arrivo. Il programma ha soddisfatto tutti i requisiti e si è scelta la versione 2020 perché è la più evoluta e recente in ambito di modellazione e digitalizzazione. Revit ha come criticità il non essere progettato e strutturato per la gestione di elementi infrastrutturali ma ha il vantaggio di supportare la maggior parte (insieme al programma Rhino 6) dei formati di interscambio 2D/3D. Le seguenti analisi di interoperabilità non sono da intendersi a compartimenti stagni ma forniscono lezioni e spunti per la creazione della successiva analisi fino ad arrivare al risultato finale che mostrerà il metodo ideale per passare dal CAD al BIM per qualsiasi infrastruttura.

2.3 Ricerca metodologica: prove di interoperabilità

2.3.1 Modellazione di partenza

Il sottopasso ciclopedonale modellato con l'ausilio di Civil3D. Come si può osservare in Figura 20 e nel dettaglio delle infrastrutture in Figura 21 si mostra composto da TIN (Triangulated Irregular Network), una superficie generata a partire dai punti di un rilievo topografico (ed è necessario per la costruzione del DTM, Digital Terrain Model) e da un loft

(probabilmente su multi binari o Path) per tutte le infrastrutture componenti il progetto. Il modello è composto da più livelli e sottolivelli che si possono riassumere per il nostro scopo in:

- Superficie TIN per il terreno
- Mesh 3D delle infrastrutture
- Elementi 2D informativi sui tracciati
- Elementi 2D geometrici
- Elementi 2D informativi sulla geometria delle infrastrutture
- Elementi 2D informativi generali

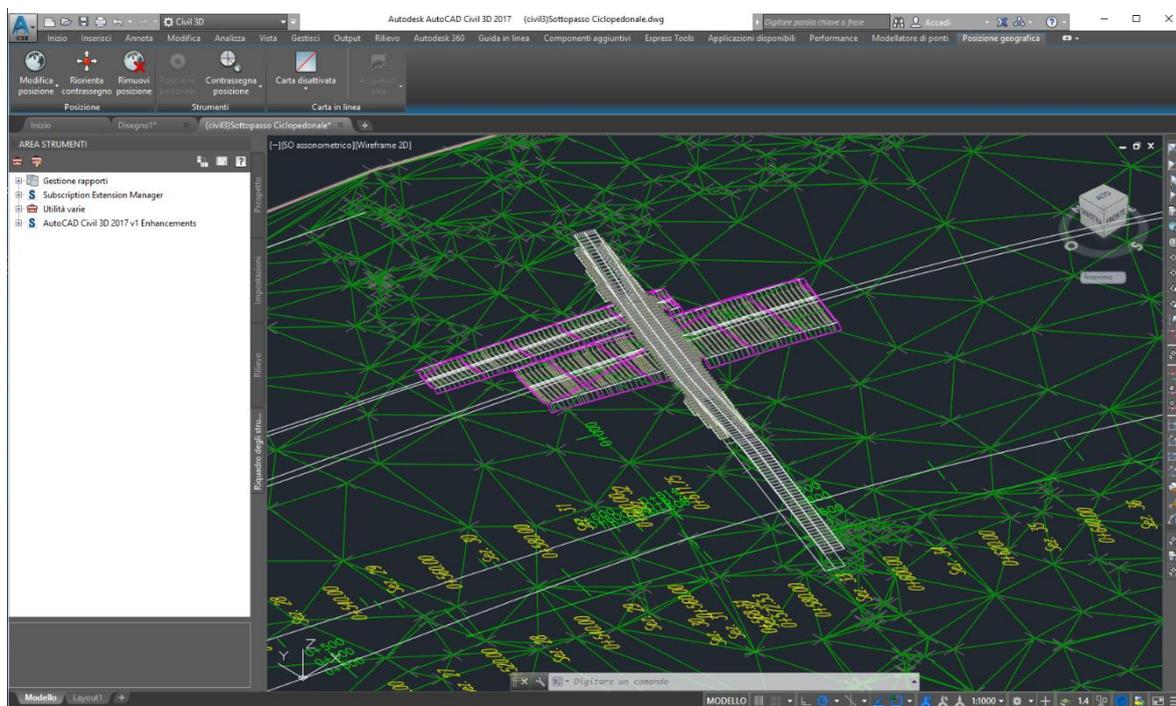


Figura 20-Modellazione di partenza in Civil3D 2016

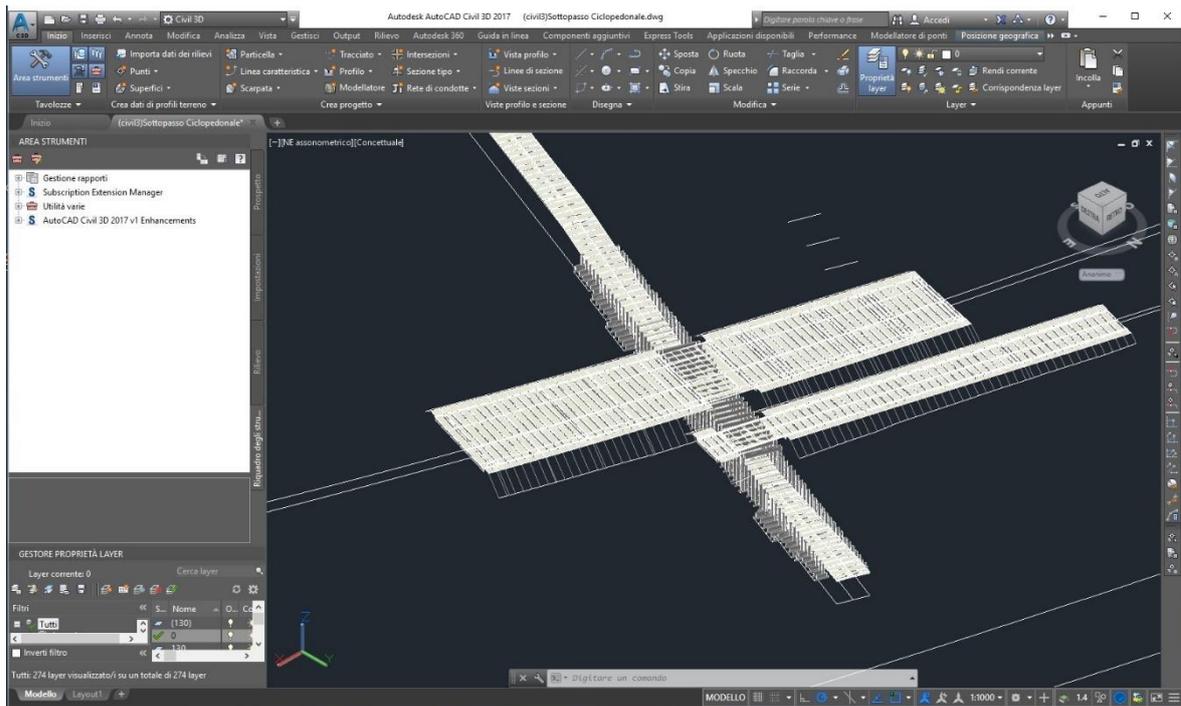


Figura 21-Dettaglio delle opere infrastrutturali

2.3.2 Esportazione del modello di Civil3D verso AutoCAD per ottenere interoperabilità

La seguente prova è stata svolta consci dell'assunto che Revit 2020 comunichi perfettamente con Autocad 2020. In questa analisi si è ipotizzato e successivamente testato la ricompilazione (e conservazione) dei dati tra due piattaforme CAD per introdurli in un software BIM. Dopo l'analisi dello stato di fatto della virtualizzazione in Civil3D 2016 è stato generato dal programma di partenza (Civil3D) un file .DWG (AutoCAD). Vedere Figura 22 per maggiori dettagli sul processo di conversione.

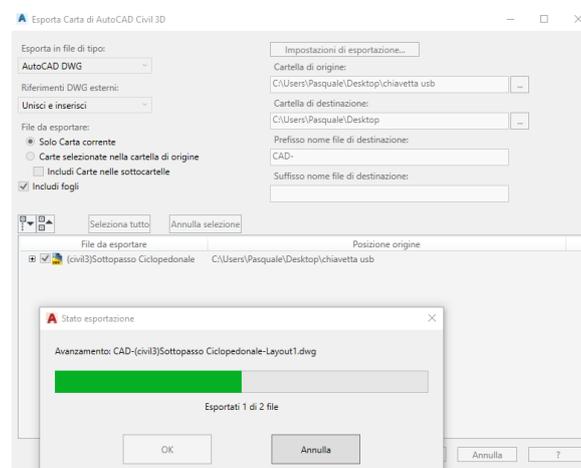


Figura 22-Conversione in DWG (AutoCAD) del file Civil3D

Il file in seguito è stato aperto in AutoCAD 2020 per verificarne la bontà del risultato mostrando notevoli limitazioni. Il DWG in AutoCAD mostra (Figura 23) una schermata che avvisa delle eventuali sostituzioni che il programma ha effettuato nel processo di riconversione.

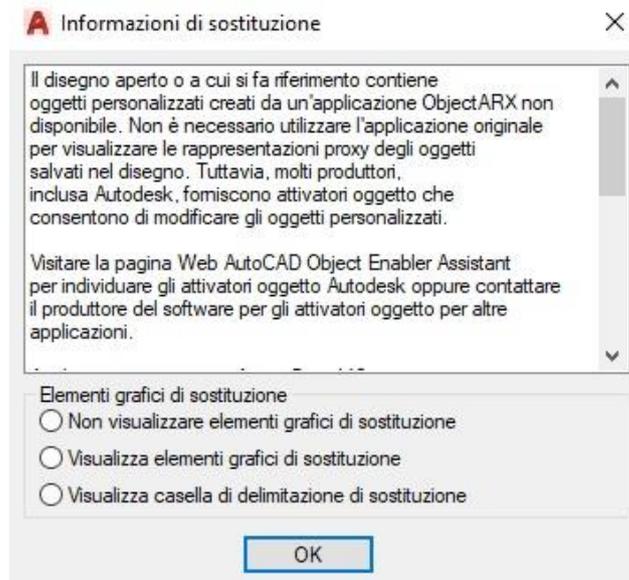


Figura 23-Informazioni di sostituzione degli elementi grafici

Qualunque sia l'opzione che si scelga nella seguente schermata, il programma risponderà nel seguente modo:

- Annullamento dei mesh 3D
- Suddivisione delle geometrie 2D per effettuare il loft
- Errori grafici e informazioni che non vengono riconvertite in modo ottimale

Inoltre, anche se non fossimo stati al corrente di questi errori e si esaminasse il file importandolo in Revit2020, verrebbe generata una schermata di errore con l'avviso che l'operazione non può essere completata, non fornendo alcuna spiegazione, codice numerico identificativo o Log.

2.3.2.1 Conclusioni

La comunicazione diretta tra Civil3D 2016 e AutoCAD 2020 è risultata un insuccesso (anche provando a leggere il file direttamente in Revit2020). Le geometrie 3D non sono tradotte e alcuni elementi sono o generati per scomposizione in forme più elementari o non generati affatto. La comunicazione inoltre è certamente resa più ardua se notiamo la

differenza di versioni delle applicazioni di partenza e arrivo. Il modello di partenza è generato nella versione 2016 di Civil3D e il punto di arrivo ha come base la versione 2020 (sia di AutoCAD che di Revit) dunque la versione e il successivo livello di maturità dei diversi software sono altamente discordanti. La prova sarebbe risultata positiva se si fosse conservata l'informazione della georeferenziazione delle geometrie e i dati che generano le geometrie stesse. Ciò non è avvenuto, l'esportazione da Civil3D in formato DWG verso AutoCAD non ha portato agli esiti sperati e la successiva ricompilazione in formato DWG (di AutoCAD) verso la piattaforma Revit non è potuta procedere perché il file non ha conservato le informazioni.

2.3.3 Da Rhino 6 a Revit 2020

In questa analisi si è provata l'interoperabilità dei programmi CAD che adoperano elementi della modellazione parametrica. Il programma scelto che possiede queste caratteristiche è Rhino 6. Lo scopo in questa analisi è stata far visualizzare al programma CAD (Rhino 6) la geometria in formato DWG proveniente da Civil3D per poi riconvertirla ed esportarla nuovamente in formato DWG (formato ricompilato da Rhino 6) verso la piattaforma Revit. Il programma Rhino 6 è stato selezionato come piattaforma di intermezzo per via delle sue elevate proprietà di interscambio dati. Gli oggetti in Rhino 6 (che si ricorda, non sono BIM ma CAD anche se utilizzano elementi parametrici) sono in questo modo facilmente ricompilabili per qualsiasi impiego in qualsiasi piattaforma o strumento. Revit 2020 a sua volta può ricevere informazioni da specifici programmi CAD per integrarle nel sistema. Come si può osservare in Figura 24 Rhino 6 ha aperto con successo il file generato da Civil3D 2016. La criticità che si nota al primo sguardo è la cancellazione della mesh 3D (TIN) del terreno (e in parte del modello strutturale del sottopasso, Figura 25 e Figura 26) che tuttavia possono essere ricostruite all'interno dell'ambiente di modellazione Rhino 6 in pochi semplici passaggi. Prima di ciò si è scelto di verificare che Revit potesse compilare il file perciò il programma è stato riconvertito in formato .DWG questa volta per essere inserito in Revit. La procedura di conversione ha avuto successo e non sono stati generati errori ma il file anche se in formato .DWG (quindi compatibile) che è stato importato in Revit ha generato una schermata di errore analoga alla schermata riscontrata nel paragrafo precedente che ne ha impedito la lettura senza fornire alcuna spiegazione.

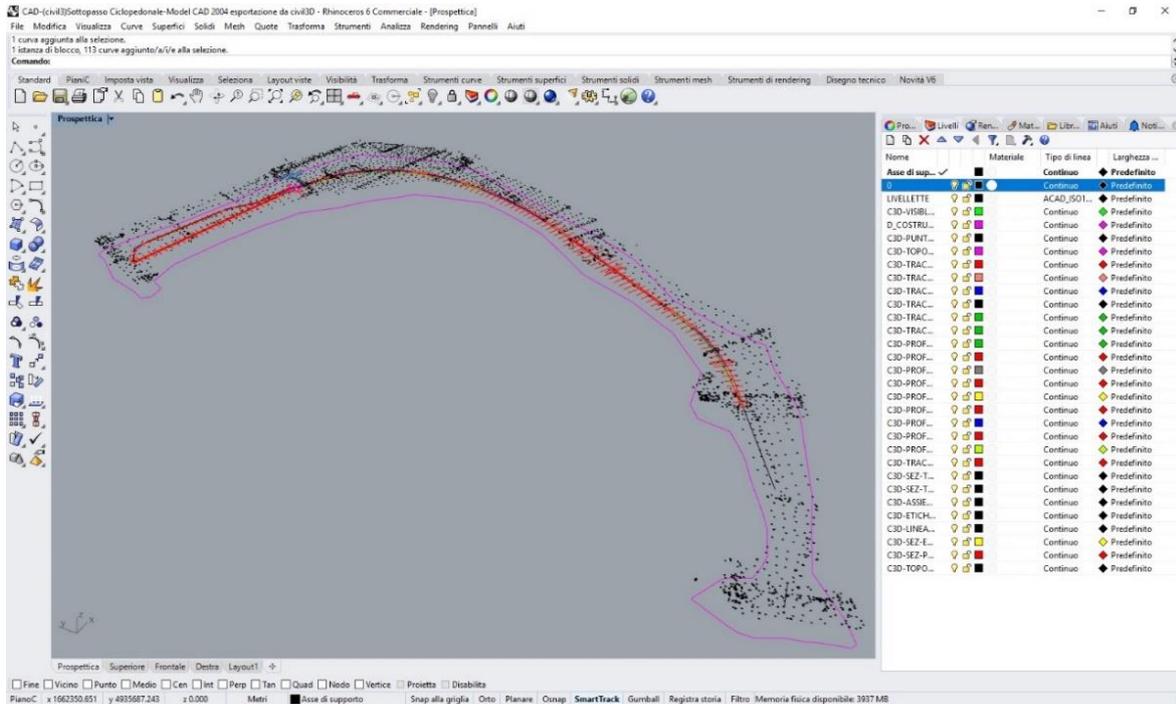


Figura 24-Compilazione e virtualizzazione del file .DWG (AutoCAD) in Rhino 6

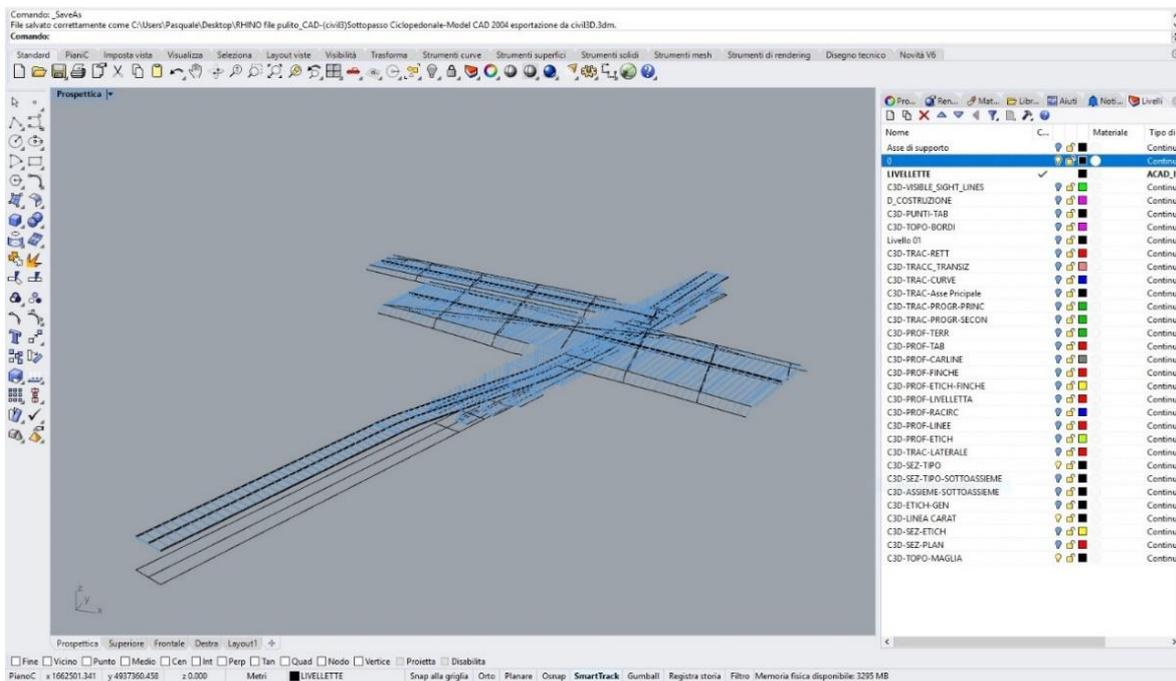


Figura 25-Dettaglio della geometria strutturale del sottopasso ciclopedonale

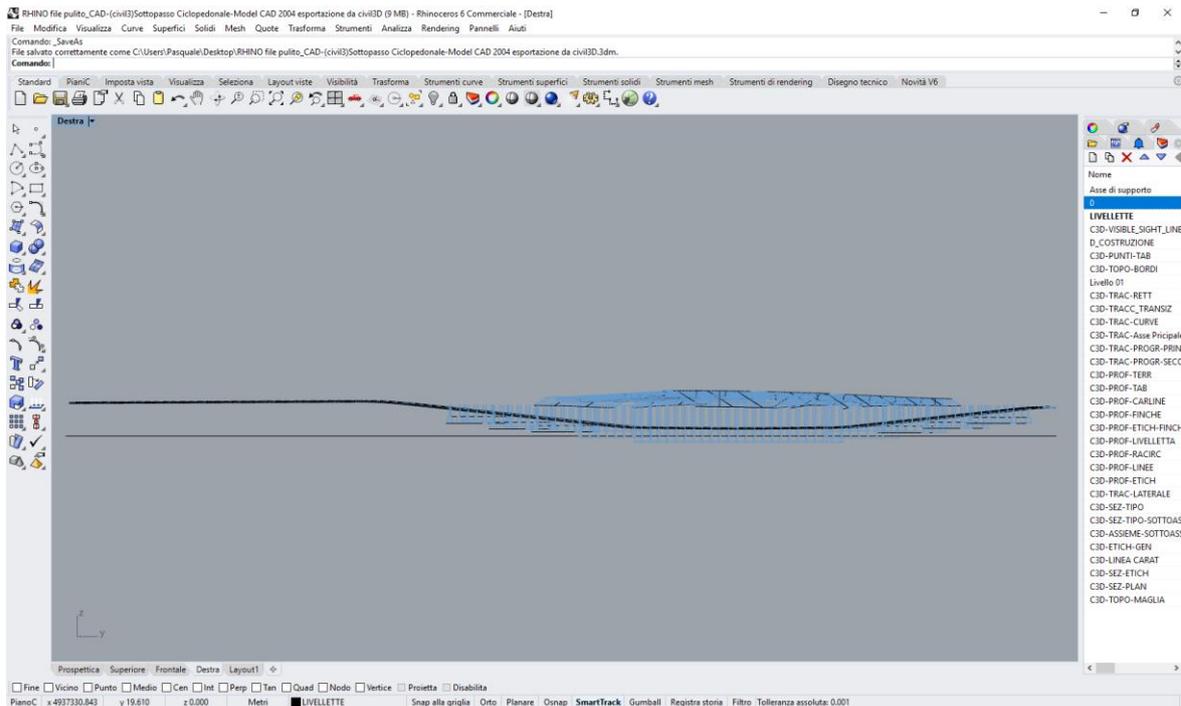


Figura 26-Dettaglio della geometria strutturale in proiezione ortogonale del sottopasso ciclopedonale

2.3.3.1 Conclusioni

L'esito di questa analisi è stato negativo per quanto concerne la virtualizzazione e lettura in Revit 2020 del formato .DWG. Viceversa Rhino 6 si è dimostrato versatile per essere utilizzato come tramite tra due piattaforme nella lettura e nell'interscambio di formati di file non proprietari oltre che nell'essere un abile riconvertitore di informazioni. In questa ricerca metodologica inoltre, si mostra come Civil3D nonostante sia un programma CAD non permette un semplice interscambio di informazioni tra alternative dello stesso sistema e quello del BIM. Nelle analisi successive si indagherà attentamente l'uso e il peso impattante che l'utilizzo di Rhino 6 può avere nella ricerca metodologica.

2.3.4 Modellazione della nuvola di punti in Rhino ed esportazione verso Revit per mezzo di Dynamo

Nella seguente analisi si è posto l'accento sulle proprietà che Rhino 6 può offrire nel processo di interscambio e interoperabilità con i vari applicativi software (oltre a hardware vista la possibilità di utilizzo di Rhino 6 anche su sistemi operativi basati sul kernel linux quali si annovera MacOS) e come modellatore 2D/3D. Il primo passo in questa terza prova di ricerca metodologica è stato un approccio concettuale. Bisogna comprendere la geometria del sottopasso e analizzare la struttura dei livelli presenti nel file riconvertito per Rhino 6 per

eliminare le informazioni superflue e quindi alleggerire il file da trasferire in Revit 2020. In aggiunta all'eliminazione dei livelli superflui si è posta attenzione alla riorganizzazione dei punti secondo i tracciati a cui fanno parte (in Figura 27 lo schema generale con il quale è stata creata la gerarchia della nuvola di punti). Sono state determinate 3 macro categorie di tracciati per le strutture del sottopasso che sono:

- Tracciati Asse Principale (in Figura 30 è mostrata la lista completa dei tracciati)
- Tracciati Asse Secondario (in Figura 31 è mostrata la lista completa dei tracciati)
- Tracciati Sottopasso (in Figura 32 è mostrata la lista completa dei tracciati)

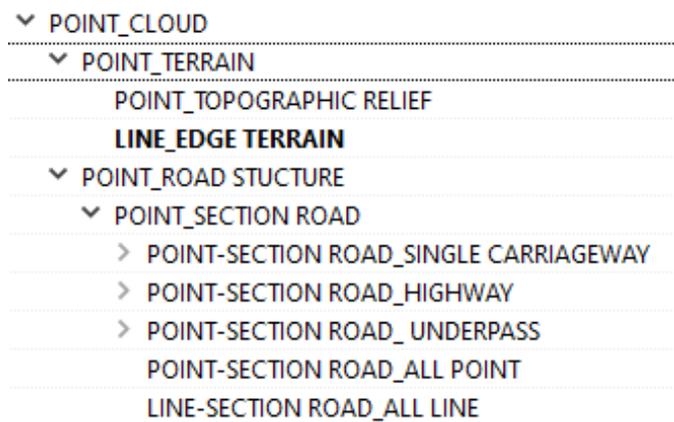


Figura 27-Organizzazione dei livelli della nuvola di punti

I punti di rilievo del terreno sono stati inseriti in un'unica macro categoria. Da chiarire come è stata creata una nomenclatura per facilitare la ricerca che è stata realizzata secondo un metodo di generazione come segue in figura 28.

```

  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_A
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AA
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AB
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AC
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AD
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AE
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AF
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AG
  -----
  POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AH
  -----
  
```

Figura 28-Estratto che mostra la metodologia di codifica dei tracciati

La generazione dei punti in Rhino 6 è avvenuta tramite il comando richiamabile da tastiera, Estrai Punti. Si può osservare tale comando in Figura 29

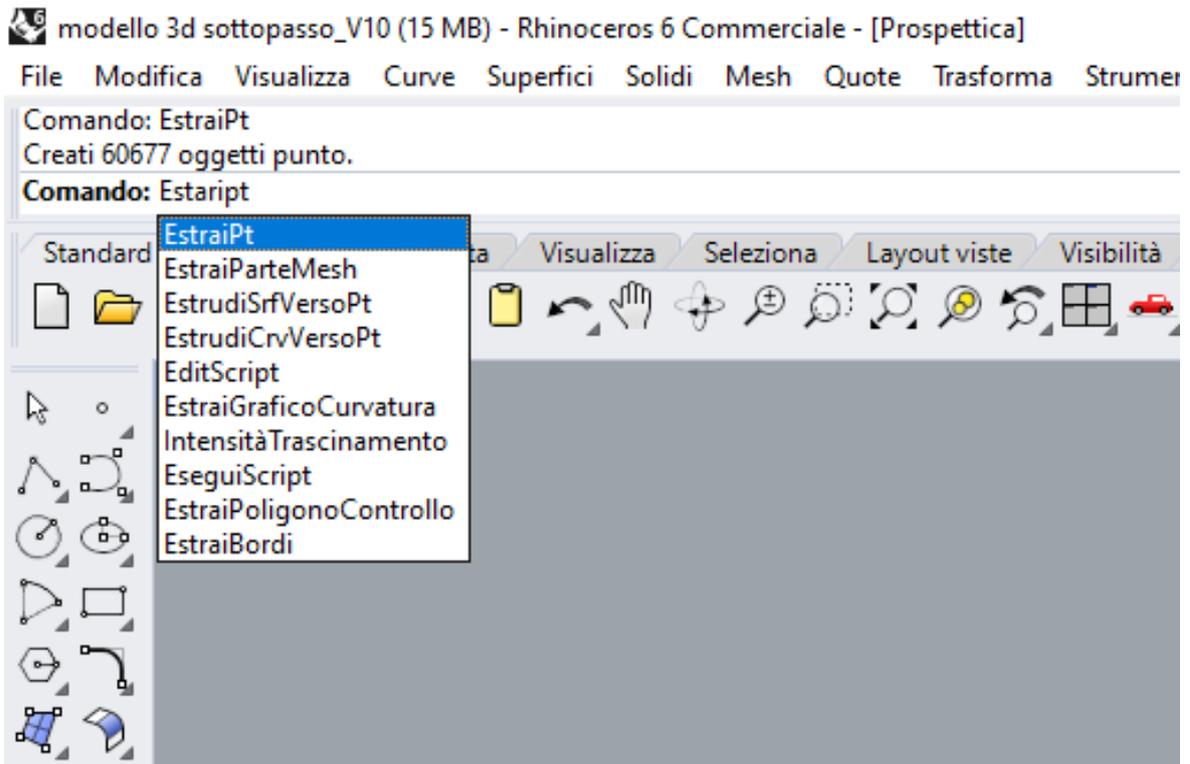


Figura 29-Comando Estrazione Punti

▼ LINE-SECTION ROAD_HIGHWAY
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_A
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AA
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AB
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AC
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AD
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AE
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AF
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AG
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AH
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AI
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AJ
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AK
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AL
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AM
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AN
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AO
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AP
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AQ
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AR
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AS
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AT
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AU
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AV
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AW
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AX
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AY
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_AZ
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_B
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_BA
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_BB
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_BC
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_BD
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_BE
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_BF
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_BG
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_C
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_D
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_E
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_F
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_G
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_H
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_I
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_J
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_K
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_L
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_M
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_N
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_O
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_P
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_Q
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_R
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_S
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_T
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_U
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_V
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_W
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_X
POINT-SECTION ROAD_HIGHWAY_Z

Figura 30-Elenco dei tracciati dell'Asse Principale

POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_A
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AA
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AB
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AC
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AD
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AE
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AF
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AG
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AH
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AI
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AJ
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AK
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AL
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AM
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AN
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AO
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AP
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AQ
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AR
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AS
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AT
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AU
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AV
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AW
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AX
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AY
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_AZ
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_B
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_BA
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_BB
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_BC
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_BD
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_BE
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_BF
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_BG
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_C
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_D
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_E
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_F
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_G
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_H
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_I
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_J
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_K
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_L
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_M
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_N
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_O
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_P
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_Q
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_R
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_S
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_T
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_U
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_V
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_W
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_X
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_Y
POINT-SECTION ROAD_SINGLE CARRIAGEWAY_Z

Figura 31-Elenco dei tracciati dell'Asse Secondario

Alla nuvola di punti che è stata scomposta (vedere nel dettaglio Figura 33 per comprendere il risultato finale) sono state affiliate le sezioni corrispondenti (in Figura 34 un quadro generale che mostra con colori diversi le varie sezioni associate ai punti).

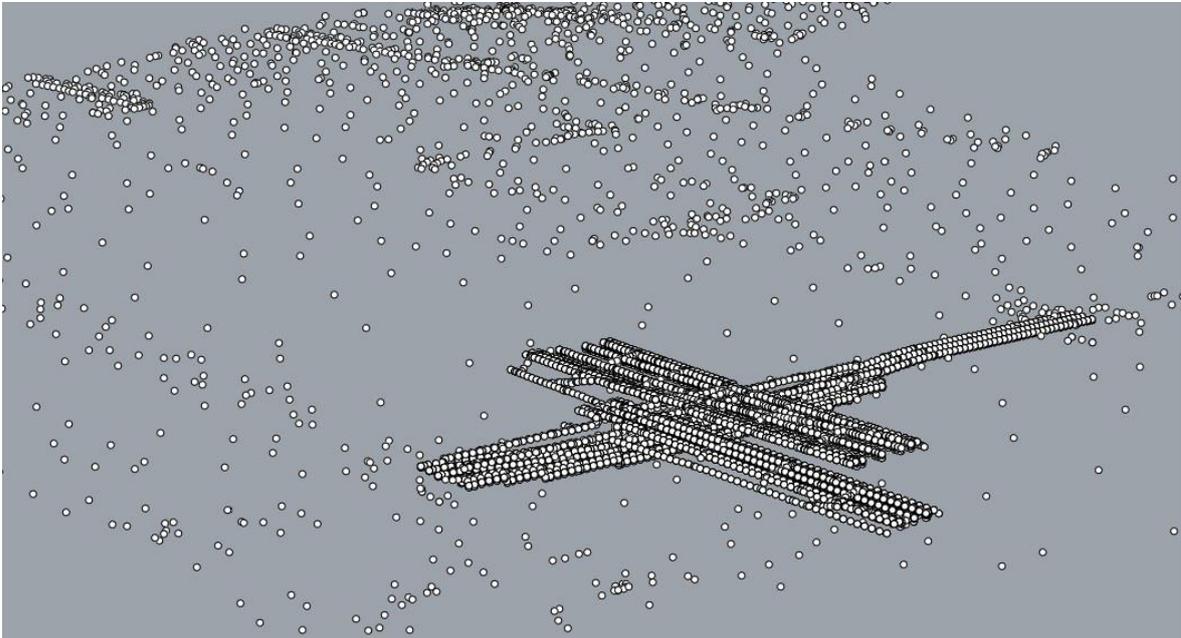


Figura 33-Nuvola di Punti

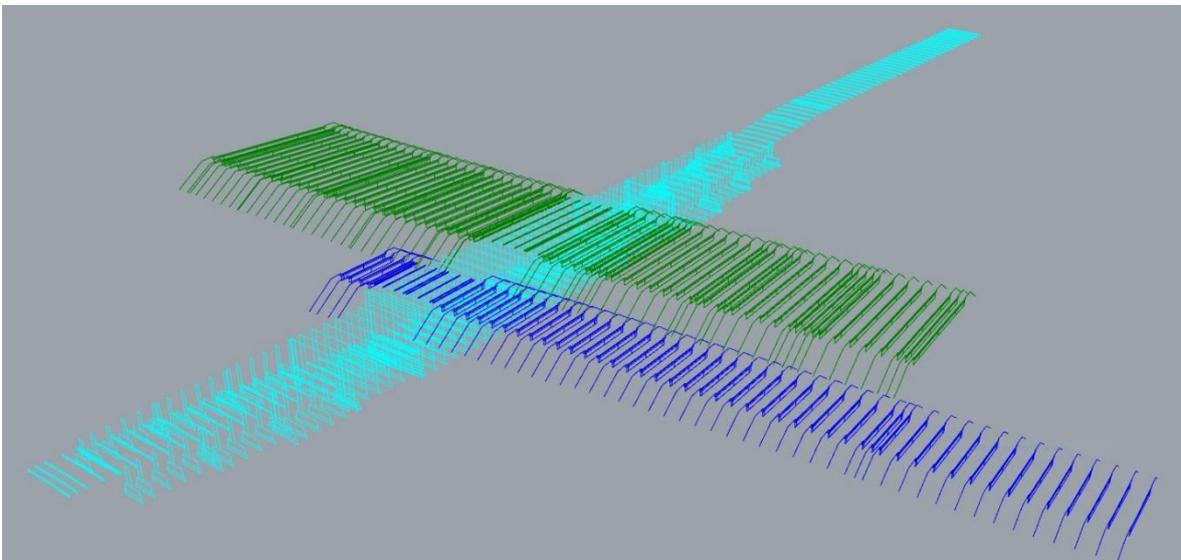


Figura 34-Sezioni associate alla nuvola di punti

Il passo successivo alla creazione della nuvola di punti è stato quello di trasferirli in Dynamo. Dynamo è un applicativo software autonomo e Open Source che Autodesk ha acquisito e inserito all'interno del suo pacchetto di applicazioni e servizi preinstallati in Revit 2020 (e nelle versioni precedenti). Dynamo è un software per la programmazione visuale tramite il quale è possibile sviluppare algoritmi, simulare, progettare e molto altro ancora.

Dynamo ragiona per liste e punti, ha bisogno di formati specifici per lavorare e di un rigoroso ordine come abbiamo strutturato nelle fasi precedenti per la creazione di liste e livelli. I punti sono stati esportati da Rhino 6 in formato .CSV come è possibile osservare in Figura 35 nella finestra di esportazione dati sono state selezionate opzioni che garantiscono la conservazione delle informazioni appena create.

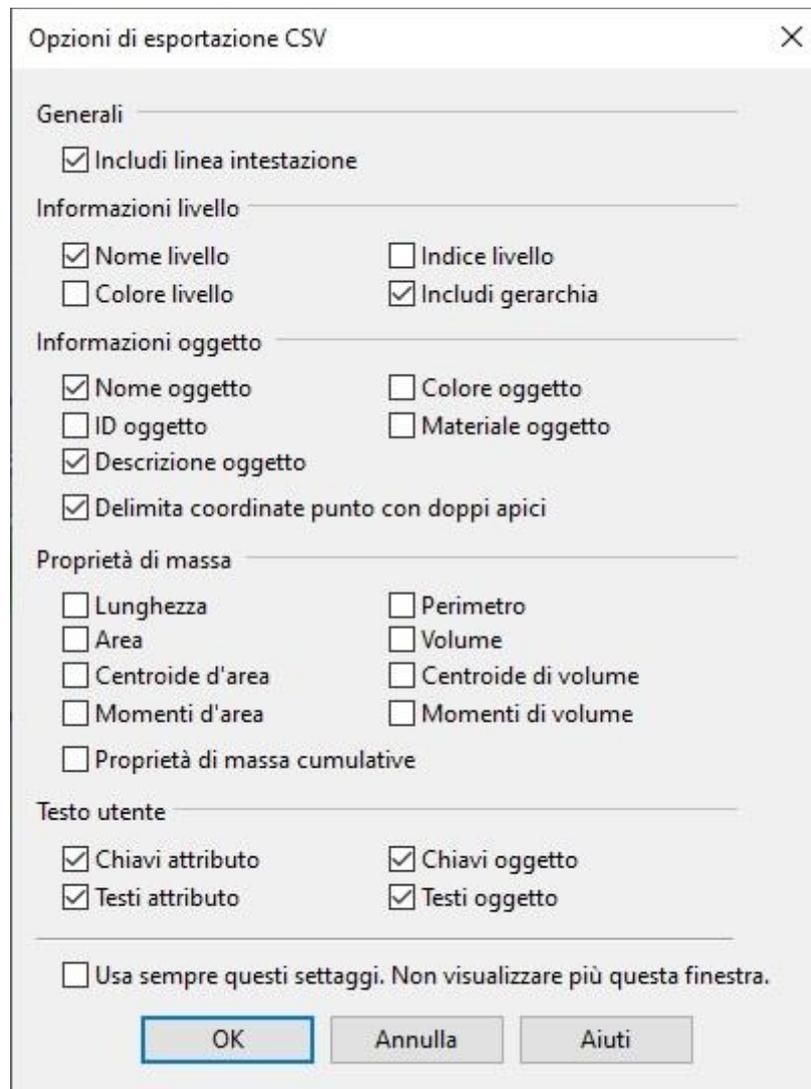


Figura 35-Opzione di esportazione CSV

Il file .CSV è stato successivamente aperto con Excel; nella figura 29 è mostrato il risultato.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Object Count,"	Layer Name",	"Object Name",	"Object Category",	"Object Type",	"Attribute Keys",	"Attribute Texts",	"Object Keys",	"Object Texts"					
2	1,"	POINT_CLOUD::POINT_TERRAIN::POINT_TOPOGRAPHIC_RELIEF",	"",	"point",	"1662580.134,4937382.726,46.36299896240234"									

Figura 36- Estratto del file .CSV aperto in Excel

Il file per essere compreso da Dynamo ha avuto bisogno di essere depurato da tutti i segni grafici non opportuni e di essere trasposto in modo da avere le coordinate X, Y e Z

separate tra di loro. La seguente procedura è stata eseguita su Excel presente su piattaforma MacOS ma le fasi operative non differiscono in ambiente Windows ne generano risultati differenti. La conversione è avvenuta tramite il comando “Selezionare da testo/CSV” che permette la modifica delle colonne e delle righe mediante la cancellazione dei segni grafici consentendo di scegliere la nuova disposizione degli elementi che sono presenti in essi. Nella figura sottostante è mostrata la localizzazione del comando in Excel 2019.

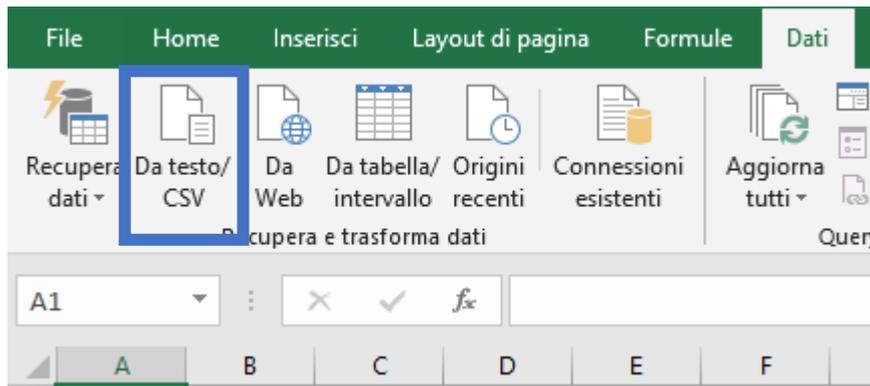


Figura 37-Comando "Selezionare da testo/CSV" presente in Excel 2019

La tabella in formato CSV a questo punto avrà un formato simile a quello in Figura 388.

	A	B	C	D
1	Object Count	"Layer Name"	"Object Name"	"Object Category"
2	1,"POINT_CLOUD::POINT_TERRAIN::POINT_TOPOGRAPHIC RELIEF", "", "point", "1662580.134,4937382.726,46.36299896240234"			

Figura 38-Estratto dei punti CSV in Excel

Con la seguente procedura è stata riscontrata la seguente problematica: il dato delle coordinate è unito ad altri che per lo scopo sono superflui. Bisogna perciò effettuare un passaggio che ci consenta di avere i dati della nuvola di punti in ordine e con le coordinate separate. Rhino 6 in questo è molto limitato dalla sua struttura perciò il modello è stato riconvertito in formato .DWG per AutoCAD e successivamente sono stati estratti seguendo la gerarchia che è stata proposta, tutti i tracciati della nuvola di punti. I punti in AutoCAD sono stati estratti con il comando “EstraiDati” che permette l'estrazione non solo dei punti, ma di tutte le informazioni presenti all'interno del modello in formato CSV. È possibile osservare il comando nella figura sottostante, esso si richiama tramite la tastiera.



Figura 39-Comando estrai Dati in Autocad tramite tastiera

All'interno di Revit è possibile accedere all'applicativo Dynamo tramite il seguente percorso: gestisci-> Dynamo. In Dynamo sono stati generati i seguenti script mostrati in Figura 41, Figura 42, Figura 43 e Figura 44.

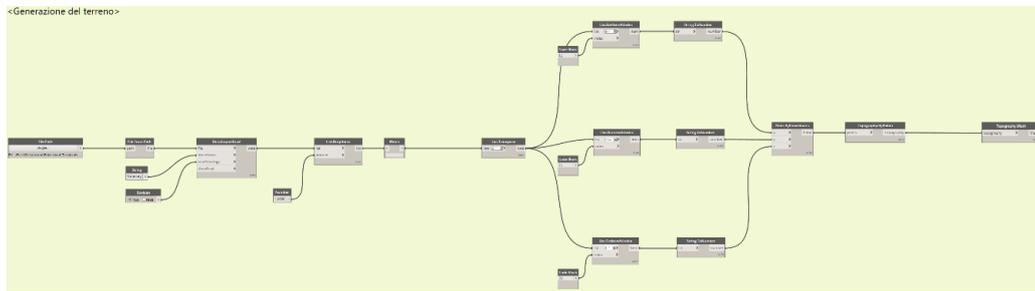


Figura 41-Estratto dello script Dynamo per la generazione del terreno

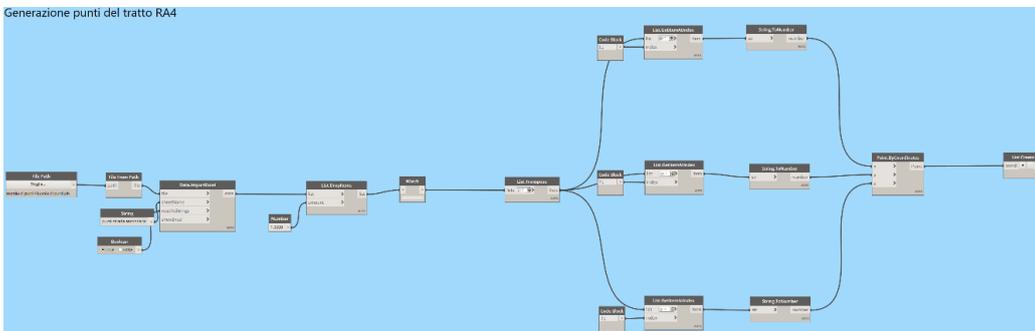


Figura 42-Estratto dello script Dynamo per la generazione del tratto RA4

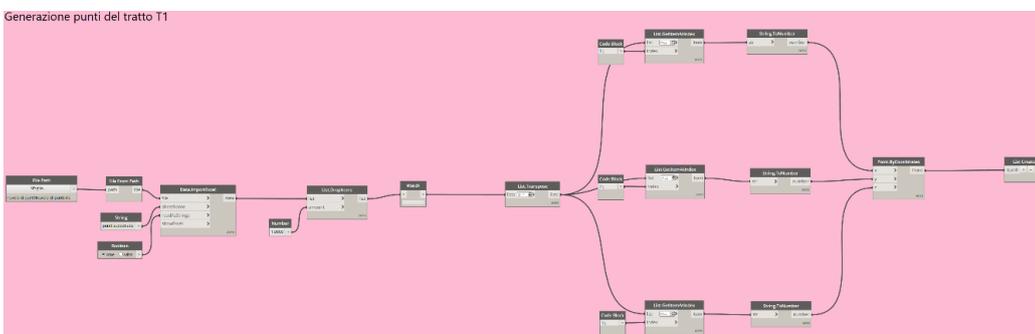


Figura 43-Estratto dello script Dynamo per la generazione del tratto T1

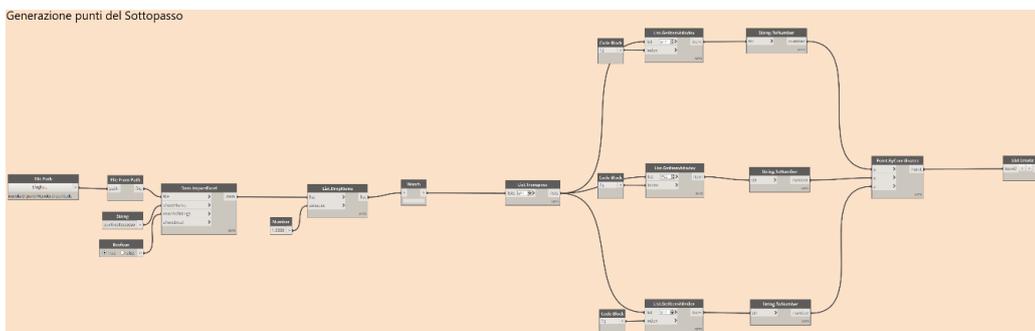


Figura 44-Estratto dello script Dynamo per la generazione del sottopasso

Sostanzialmente tutti gli script nella pagina precedente sono così composti:

- Lettore file Excel (Figura 45)
- Selezionatore delle coordinate (Figura 46)
- Generatore dei punti (Figura 47)



Figura 45-Frammento dello script per generare i punti: lettore file Excel

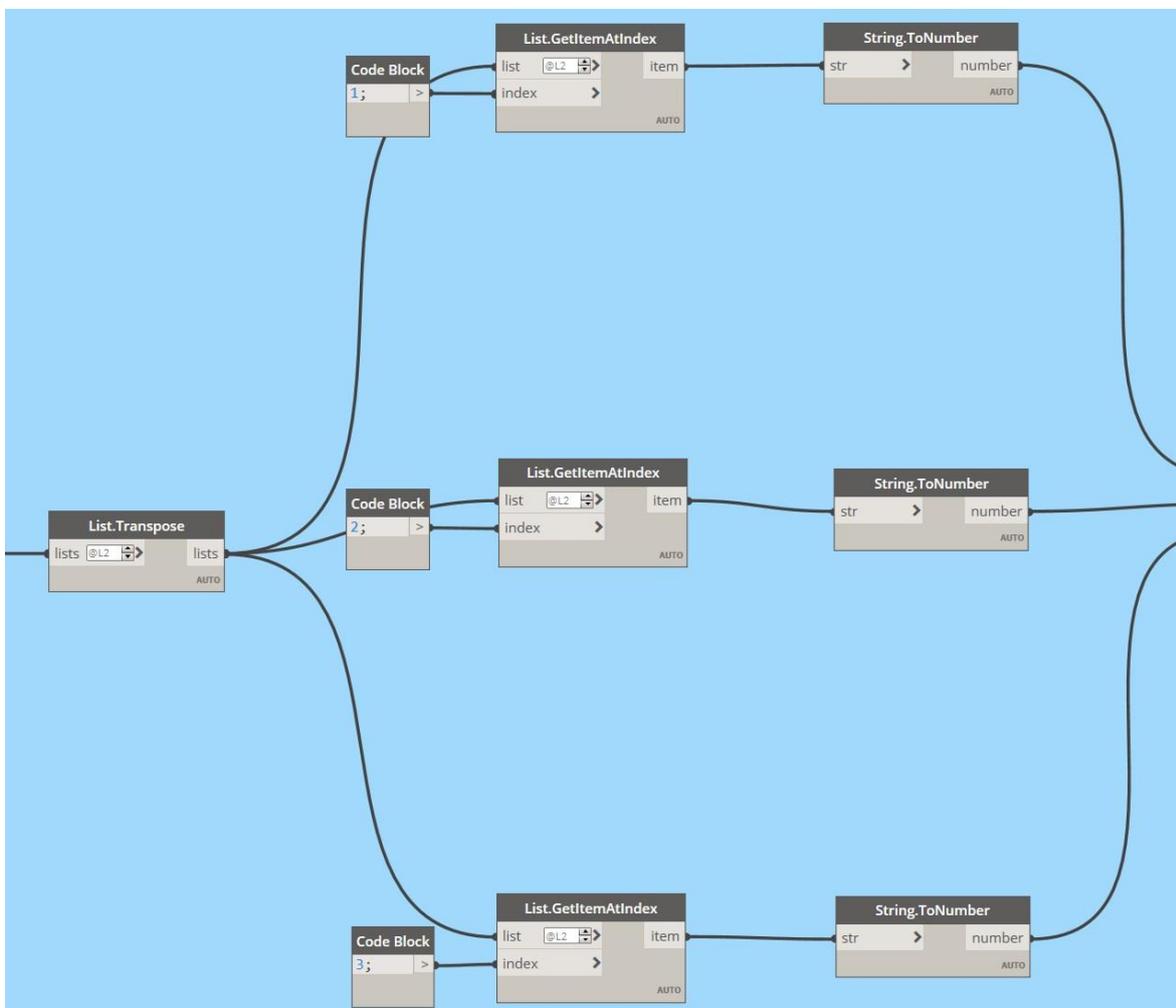


Figura 46-Frammento dello script per generare i punti: selezionatore delle coordinate

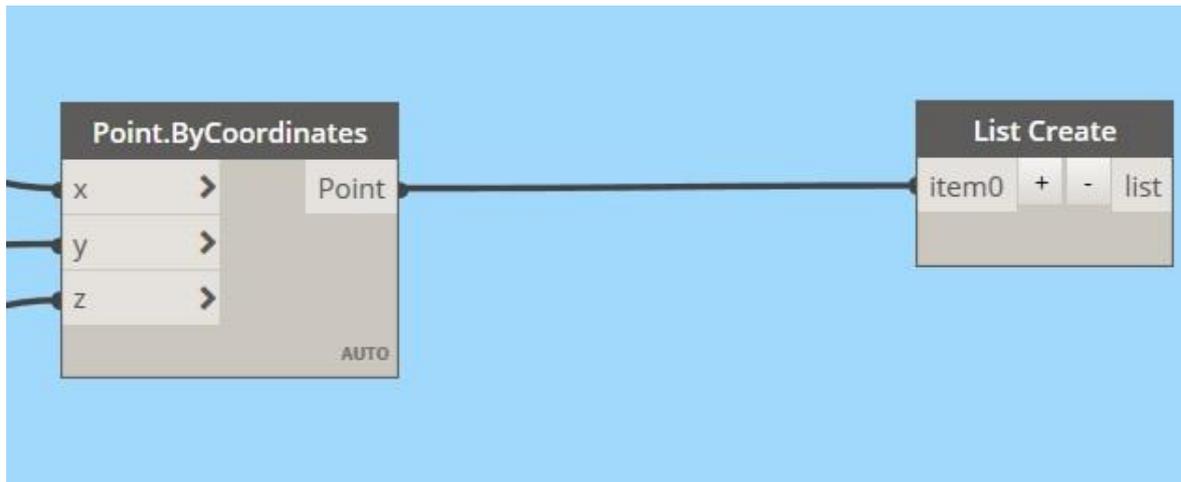


Figura 47-Frammento dello script per generare i punti: generatore dei punti

Gli script sono composti da nodi e questi sono pensati come delle scatole. Questi contenitori nel sistema della programmazione sono definiti Oggetti e nella programmazione visuale si realizzano algoritmi che funzionano tramite il linguaggio di programmazione Python. Questo linguaggio funziona con una struttura imperiale ovvero: dall'alto verso il basso, da sinistra verso destra. Queste istruzioni sono elaborate dal programma in sequenza e tramite l'ausilio di strutture software chiamate API (Application programming interface), richiamano i comandi che verranno usati nella modellazione. Dalla compilazione di questi tre script si ottiene, come mostrato in Figura 48, la nuvola di punti fatta di oggetti bidimensionali che Revit 2020 non potrebbe leggere senza Dynamo.

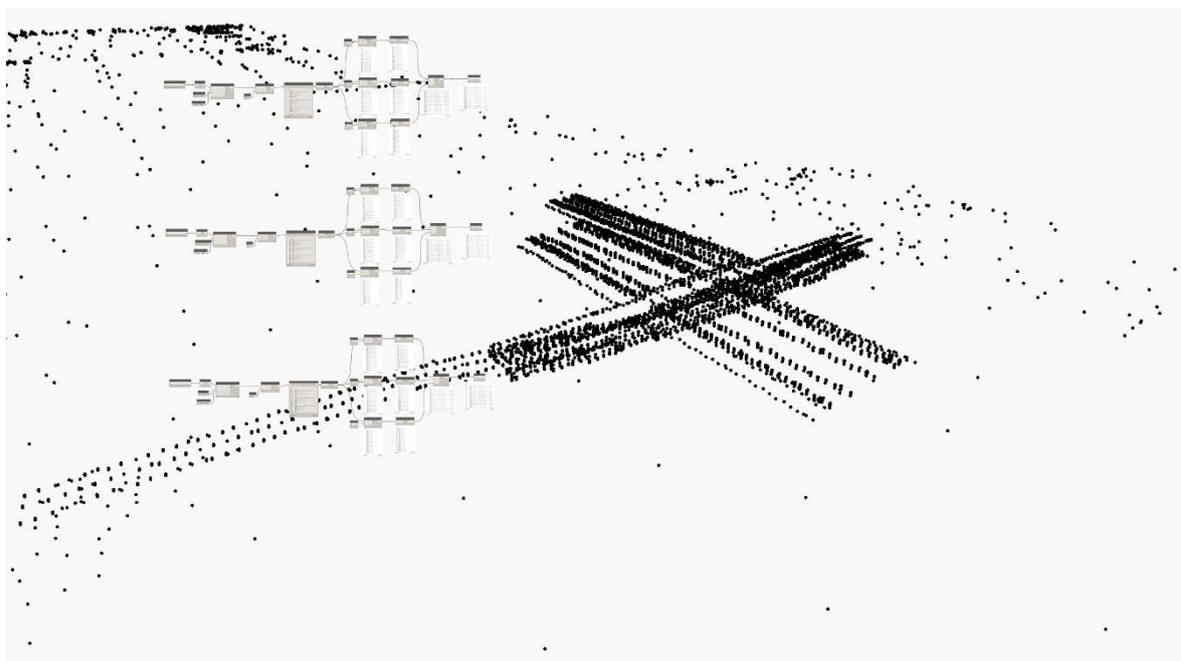


Figura 48-Generazione e virtualizzazione della nuvola di punti

2.3.4.1 Conclusioni

La terza prova di ricerca metodologica ha portato alla luce varie problematiche che hanno portato alla scelta di non adottare questo metodo. In primis la struttura della nuvola di punti anche se generata richiede un quantitativo di memoria RAM non indifferente. Dynamo inoltre, anche se racchiude i tracciati in liste, non le dispone in maniera ordinata con questo metodo. La ricostruzione delle liste stesse richiederebbe non solo la creazione di altrettante sub-liste, dando come risultato un processo macchinoso e non intuitivo, ma peserebbe ad ogni elaborazione dello script generale sulle prestazioni del computer (l'attuale virtualizzazione è stata effettuata su un pc con 32GB di memoria RAM e sono risultati, nonostante la grande capienza di memoria volatile disponibile, pochi). Dopo un periodo di revisione delle liste si è pensato all'uso del nodo "Sort" ordinando le liste di punti secondo le coordinate X e Y. La procedura è risultata inutilmente macchinosa perché nonostante i punti siano in ordine e fossero collegati tra di essi, il programma generava errori grafici (anche impostando la scala di elaborazione su "Grande" che ha un ordine di grandezza e accuratezza di milioni di unità che nel nostro caso corrispondono a metri) e nel caso peggiore crash del sistema. La conclusione a cui si è arrivati è stata di passare alla successiva prova di interoperabilità conservando in questo processo solamente lo script per la generazione del terreno che Revit 2020 ha dimostrato di elaborare senza errori.

2.3.5 Semplificazione della nuvola di punti in Rhino ed esportazione verso Revit per mezzo di Dynamo

La seguente analisi è stata svolta sostanzialmente come la precedente. Il punto nel quale è stato cambiato approccio è nella quantità di punti da far elaborare al programma Dynamo. È stata fatta una prova mediante la creazione di "binari" ma in questo modo non vengono create le superfici ma vengono estruse tramite loft delle sezioni. La ricerca metodologica si è svolta come nel tentativo precedente. Il risultato finale di questa operazione di affinamento dei dati non ha prodotto i risultati attesi. Le geometrie sono risultate difficili da gestire durante l'intero processo di modellazione. Non è stato possibile, con questo metodo, generare le sezioni da estrarre perché il programma entrava in conflitto ed errore prima di completare l'operazione mostrando avvisi di errore su nodi che funzionavano in precedenza.

2.3.5.1 Conclusioni

Con questa prova metodologica si è concluso definitivamente l'uso massivo di Dynamo nella modellazione digitale parametrica. Il software ha mostrato una criticità nella gestione di nuvole di punti di grandi dimensioni. Il programma generando ogni punto simultaneamente richiede grandi risorse hardware che rendono instabile la corretta esecuzione degli script. Dynamo si è dimostrato un potente strumento per la gestione dei dati di forme geometriche monodimensionali e bidimensionali non visualizzabili e modellabili nell'ambiente di Revit. In ottemperanza agli obiettivi che si erano prefissati nella ricerca metodologica, Dynamo non ha soddisfatto i requisiti di efficienza e qualità per quanto concerne l'analisi di enormi quantitativi di punti. Nell'ottica di utilizzare Dynamo come interprete tra CAD e BIM il programma allunga il processo di generazione delle geometrie. Con la conclusione di questa analisi si è compreso come non bisogna trasportare i punti per ricostruire le geometrie ma bisogna ricompilare i modelli CAD nell'ambiente Revit per mezzo di nodi standard o personalizzati.

2.3.6 Rhinamo

Appreso dei nodi, ci si è focalizzati nel massimo risultato con il minor sforzo in termini di tempo, risorse hardware e qualitative (precisione della geometria tra questi). Per prima cosa si è studiato attentamente l'ambiente Dynamo per ricercare nodi creati da utenti o società di sviluppo software per l'AEC che abbiano creato applicazioni e/o strumenti per convertire geometrie Rhino 6 in Revit 2020. La risposta a questa domanda è sopraggiunta con il nodo personalizzato Rhynamo [22]. Questo nodo ha la capacità leggere le geometrie .3dm per elaborarle nell'ambiente di sviluppo di Dynamo per poi ricompilarle in Revit come oggetti FF (Free Form). Installato l'applicativo si è scoperto che esso poteva funzionare soltanto con la versione "Studio" di Dynamo. Questa versione è a sé stante dalla piattaforma Revit 2020 e non è incluso nel pacchetto di installazione del programma. All'interno del forum della Autodesk e di Dynamo si sono poste numerose questioni sulla compatibilità effettiva del nodo che a tutti gli effetti è un programma esterno (precompilato in Python ed esistente soltanto nella applicazione Revit) che per funzionare legge il file .System del proprio computer accertando che ci sia installato non soltanto Rhino 5 (il 6 non è supportato da tale tecnologia, il software Rhino 6 non è risultato abbastanza stabile) ma anche che sia presente nel proprio computer Dynamo Studio. Senza uno di essi (o entrambi) come requisiti il programma non si attiverà risultando impossibile continuare il processo di ricerca.

2.3.6.1 Conclusioni

L'applicativo (o meglio dire strumento) Rhynamo è risultato troppo acerbo per la piattaforma Revit 2020. Le grandi limitazioni che impone il programma non permettono l'interoperabilità e la stabilità dello script perciò l'uso e la ricerca in questa direzione è stata scartata.

2.4 Esito della ricerca metodologica

Nei paragrafi precedenti si è potuto osservare le varie strade che si possono intraprendere nella ricerca metodologica e come esse abbiano vantaggi e svantaggi. A tutt'oggi non esiste un metodo univoco ma in questo paragrafo si è riusciti ad arrivare al sunto di tale metodologia per definire una procedura di operazioni lineari, consequenziali con un grado di errore nullificato. Nei prossimi paragrafi sarà mostrato per esteso come è stata sviluppata la metodologia scelta per tale infrastruttura.

2.4.1 Synthesize

Per prima cosa è stato installato il pacchetto di nodi personalizzati Synthesize. Questo pacchetto permette la lettura dei file .SAT in Revit 2020 (sotto forma di file Free Form) da qualsiasi piattaforma di partenza (che nel nostro caso sarà Rhino 6). Il pacchetto una volta installato con il comando "ricerca pacchetto in linea" appare come nella figura in basso.

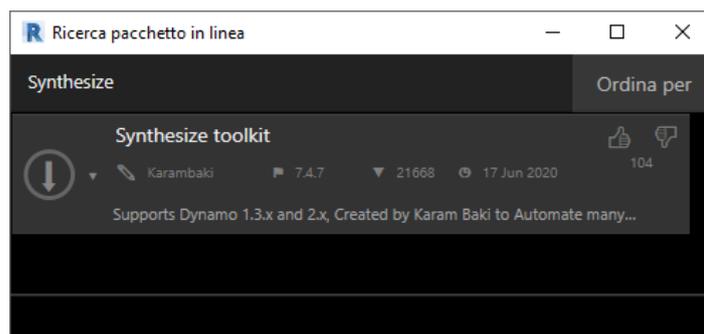


Figura 49-Schermata di Download dei pacchetti in linea

compare automaticamente sul lato sinistro dello schermo nella schermata dove sono presenti tutti i Nodi all'interno di Dynamo. Cliccando sul nodo si apre, come si può osservare in Figura 50, una sottocartella dove sono presenti vari strumenti.

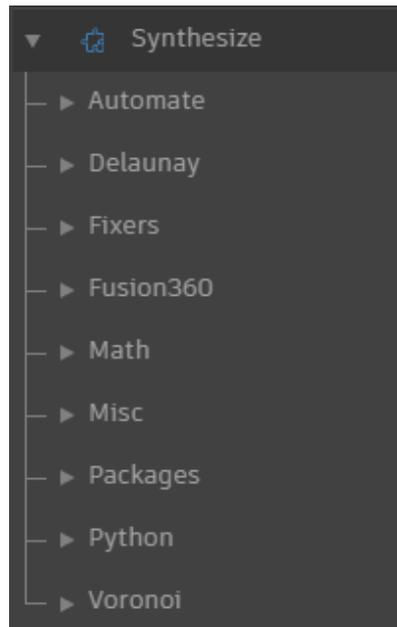


Figura 50-Synthesize come appare nell'applicativo Dynamo

AI fini della ricerca lo strumento utilizzato è stato Fusion360. Cliccando sulla sottocartella di Fusion 360 si apre un ulteriore menu contestuale che contiene i nodi analizzati e impiegati nella ricerca di interoperabilità. In Figura 51 è possibile esaminare come appare la sottocartella dello strumento Synthesize. [23]



Figura 51-Sottocartella Fusion360 in Synthesize

La sottocartella è composta da due strumenti:

- ReFusion IT Export
- ReFusion IT Import

Il primo pacchetto legge il file importato in formato .SAT e lo restituisce nella cartella di origine del file selezionato in formato .SAT (Revit 2020). Alla nomenclatura del file sarà aggiunta, per distinguerlo dal file originale, la stringa “LinkMeToRevit”. Il secondo pacchetto originariamente è stato pensato per leggere i file di Fusion360 restituito in formato .SAT ma, l'applicativo non essendo proprietario può leggere qualunque file .SAT ricompilato da qualsiasi piattaforma di partenza.

2.4.2 Creazione dello script *Dynamo* per la lettura dei file *.SAT*

Il processo per la creazione è stato prima di tutto posizionare il nodo “ReFusion IT Export” e “ReFusion IT Import” nello spazio di lavoro di *Dynamo*. Successivamente è stato aperto e posizionato il nodo “File Path” che permette di leggere la geometria in formato *.SAT* all’interno dell’ambiente *Dynamo*. Gli applicativi saranno collegati come segue nella figura in basso.

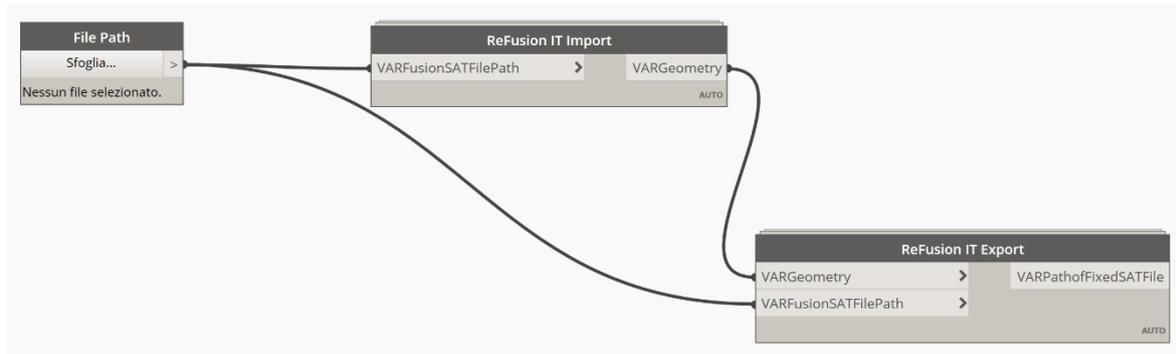


Figura 52-Script *Dynamo* per la lettura dei file in formato *.SAT*

Dopo aver collegato i nodi è stato modificato il nodo “ReFusion IT Import” perché il programmatore iniziale dello script ha impostato gli assi in modo differente da *Rhino 6* e *Revit 2020*. Per la precisione, il seguente script ragiona con gli assi di *Fusion360* che sono ruotati di 90° . Bisognerà modificare il parametro “ 90° ” con “ 0° ”. A questo punto è possibile collegare il modello generato in *Rhino 6* e che è stato utilizzato nella fase successiva per la creazione delle famiglie. In Figura 5353 è mostrato quante volte lo script è stato ripetuto per ogni singolo elemento generando ognuno di essi un file da poter trasformare in famiglia.

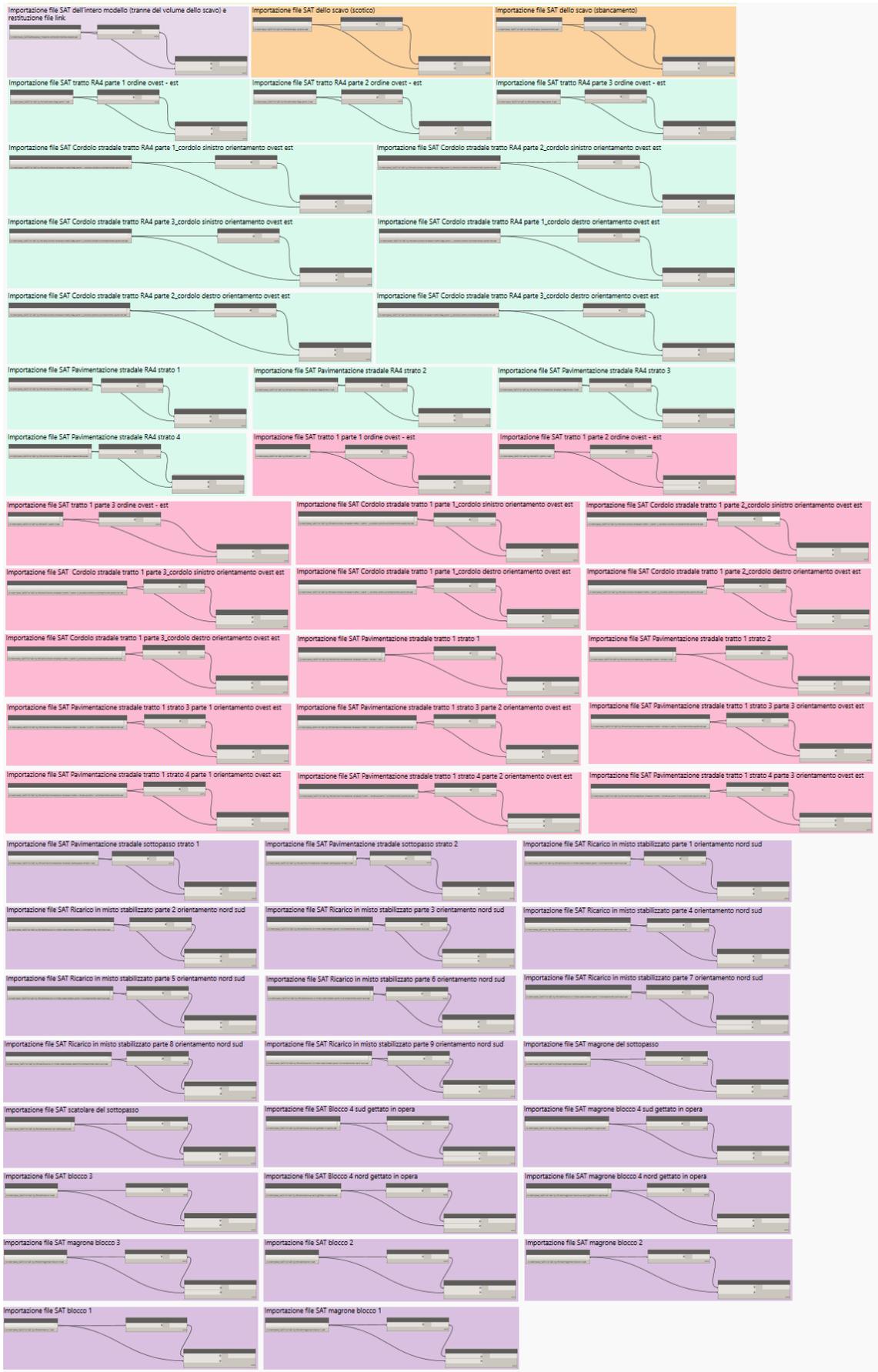


Figura 53-Ripetizione degli script di Dynamo per l'importazione dei blocchi .SAT

2.4.3 Creazione dello script Dynamo per la generazione del Terreno

Lo script del terreno è stato ripreso dalla terza prova di interoperabilità e può essere osservato in Figura 4141. La procedura per l’inserimento delle coordinate dei punti è stata la medesima. Il risultato dello script si osserva in Figura 5454, i dati sono stati selezionati per non avere duplicati e non impattare sulla capacità di virtualizzazione del software perciò è stata analizzata solo una porzione del terreno, quella nelle immediate vicinanze dell’infrastruttura.

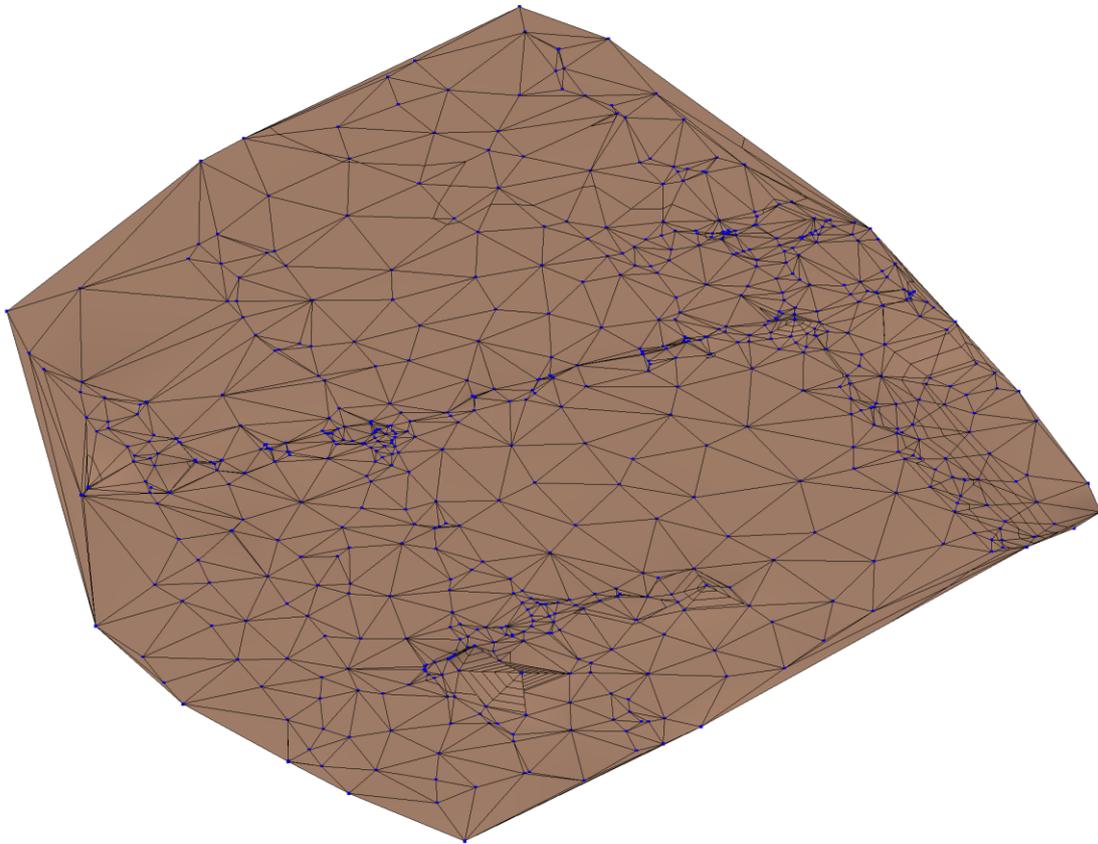


Figura 54-Esito dello script per la generazione del terreno

2.4.4 Modellazione del sottopasso in Rhino 6

La modellazione è avvenuta in Rhino 6 e ha avuto come base di dati di partenza il file generato da Civil3D 2016 nel formato di interscambio .DWG (creato con la prima prova di ricerca metodologica). Come primo passo sono stati creati livelli che identificassero le macro categorie di strutture a cui gli oggetti modellati faranno parte, successivamente tramite l’ausilio del comando “Path” sono state generate le superfici piane tra gli assi (vedere Figura 55 per un esempio degli assi del tratto viario secondario) che si erano generati nella terza

prova di interoperabilità. Una volta prodotte le superfici che rispettano la perfetta geometria del file Civil3D 2016, si è indagato sulla veridicità e precisione della stessa arrivando alla modellizzazione degli elementi per rispecchiare perfettamente le dimensioni che l'elaborato tecnico forniva per ogni elemento componente del sottopasso. In Figura 56 si nota come nel nuovo elemento le dimensioni siano veritiere e congrue con i disegni tecnici in 2D. In Figura 5757 viene posto a paragone a lato sinistro la nuova geometria (accurata e congruente secondo gli elaborati tecnici) e a destra la geometria che Civil3D ha generato e che è stata riproposta nella modellizzazione e successivamente scartata.

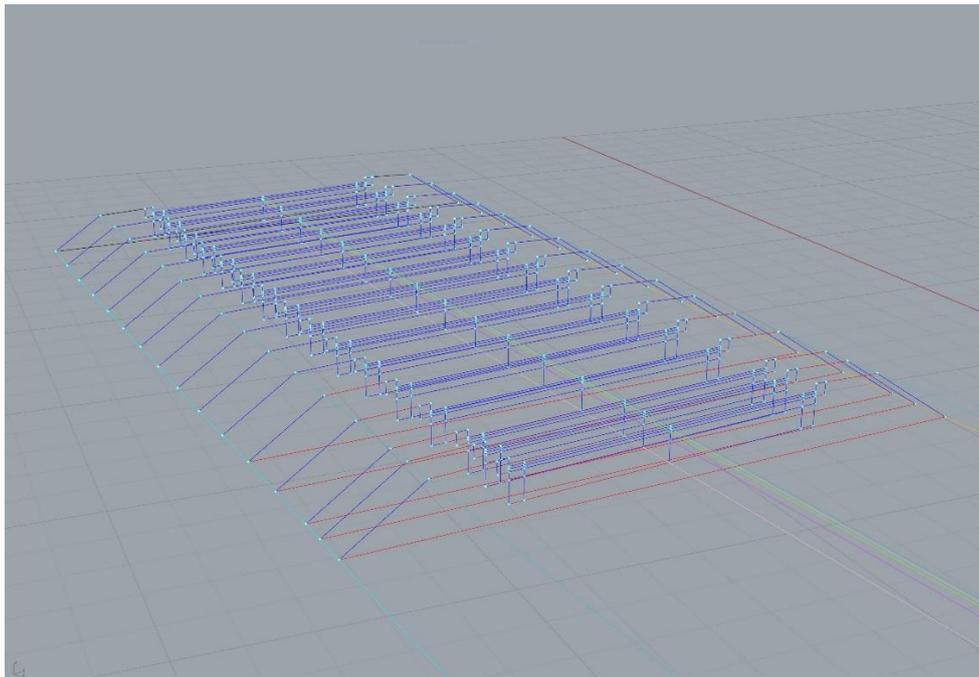


Figura 55-Controllo e gestione degli assi del Tratto Secondario

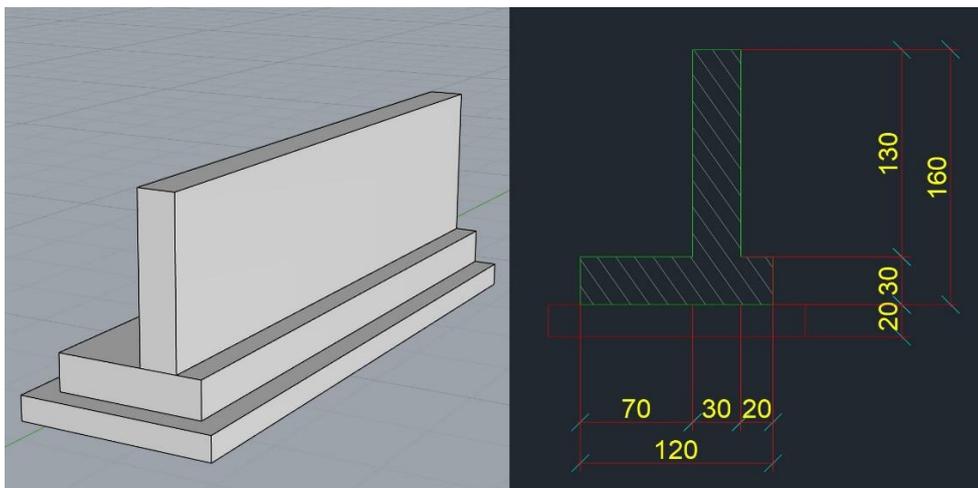


Figura 56-Confronto tra la nuova geometria e gli elaborati tecnici del Blocco 1

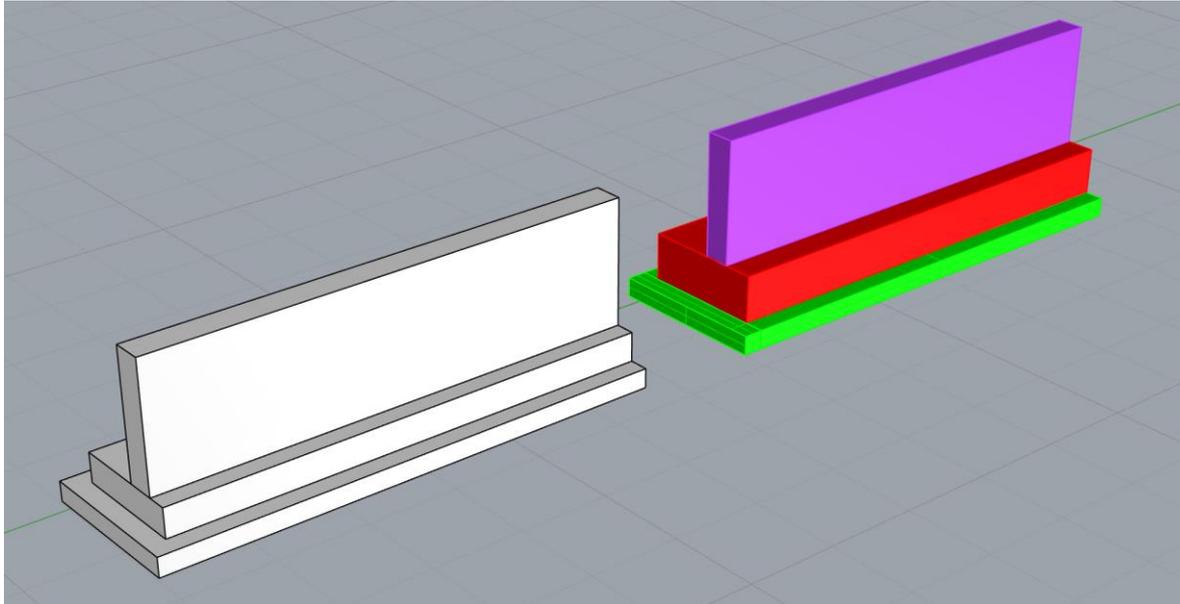


Figura 57-Confronto tra la nuova geometria ricavata dagli elaborati 2D e la vecchia geometria ricavata dai dati Civil3D

Ulteriore passo è stato compiuto nella ricerca di interferenze con le geometrie del contesto circostante. Tali divergenze sono state eliminate mediante operazioni Booleane di sottrazione degli elementi intersecanti (in Figura 58 viene mostrato in grigio il sottopasso che interseca senza alterare la propria struttura gli elementi costituenti dell'Asse Principale che vengono modellati per aderire perfettamente evitando dannose interferenze) con le geometrie del sottopasso.

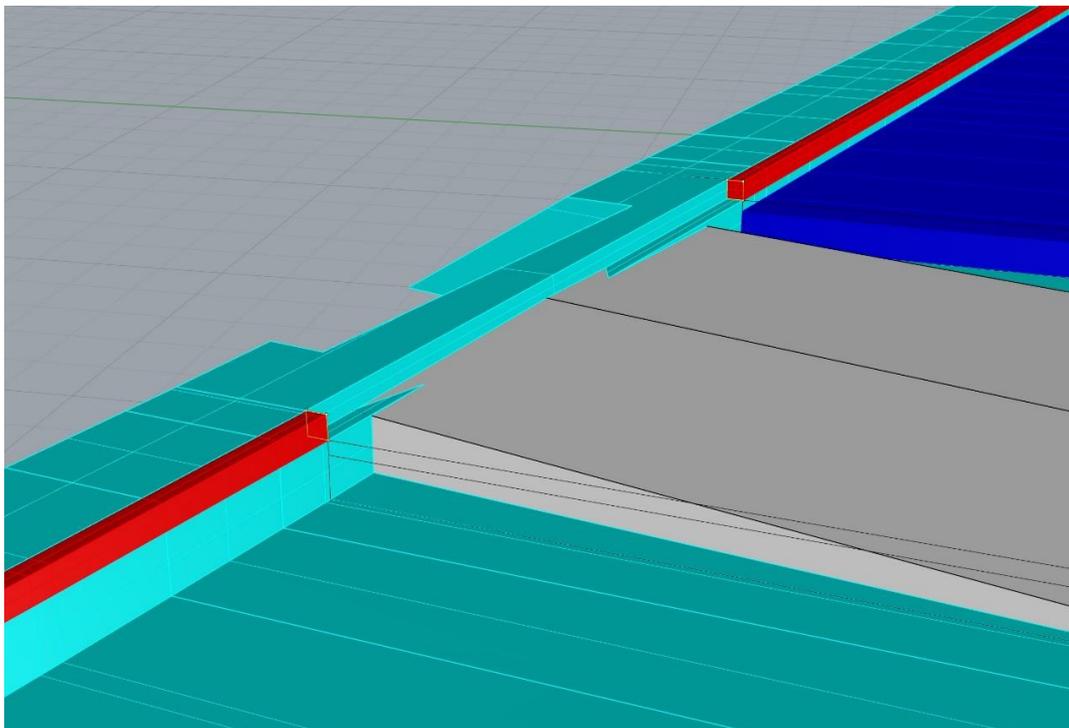


Figura 58-Risultato delle operazioni Booleane sull'elemento dell'Asse Principale

Lo stesso *modus operandi* è stato adottato nella generazione del rinforzo che si presenta al di sotto della pavimentazione stradale (Figura 599). Queste operazioni su Revit sarebbero state pressoché impossibili in quanto Revit (in qualunque versione si modelli) non riesce a creare complesse operazioni booleane come avviene nel CAD. La difficoltà che si sarebbe riscontrata nell'ambiente di modellazione Revit se si fosse applicata una operazione Booleana è data dal fatto che il processo avrebbe richiesto una singola operazione per volta. Nell'ambiente di Rhino le operazioni booleane al contrario possono essere svolte su più oggetti contemporaneamente. Questo vantaggio ha permesso di creare in un singolo passaggio tutte le sottrazioni richieste. In questo modo non si sono generate interferenze.

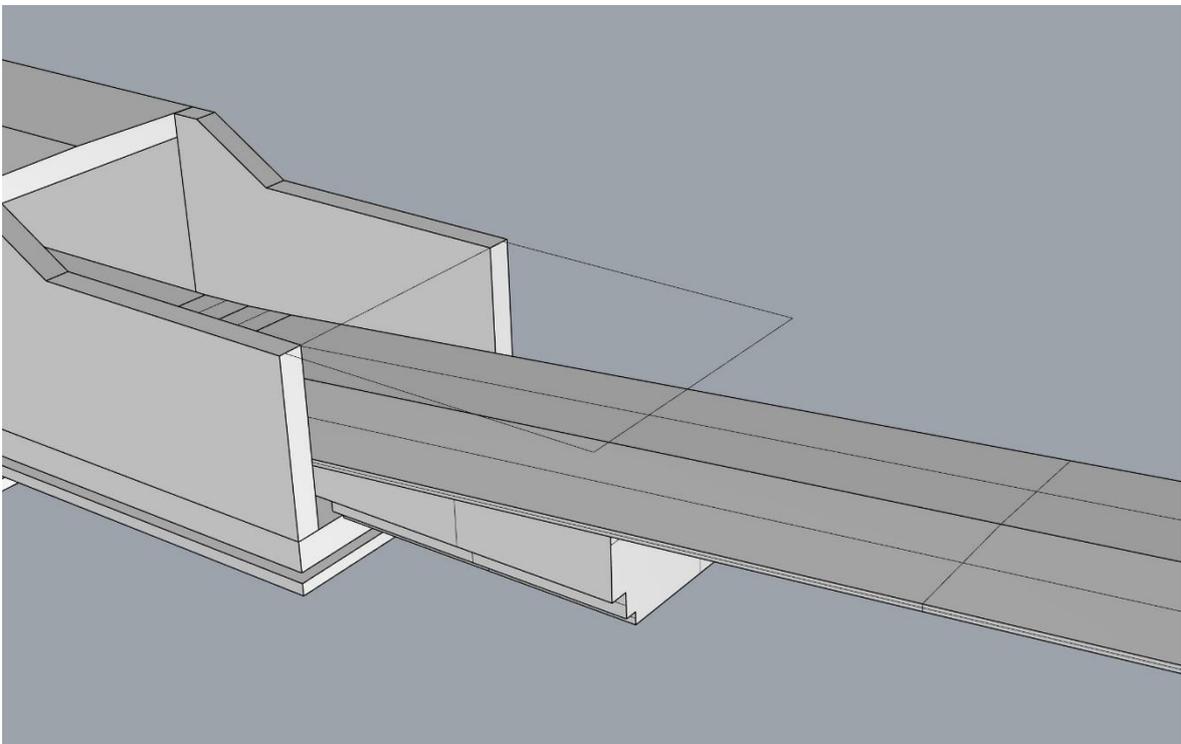


Figura 59-Figura 48-Risultato delle operazioni Booleane del rinforzo all'interno della geometria del Sottopasso

La modellazione dello scavo (in Figura 6060 è mostrata la base prima che venga nascosta dalle altre facce del solido che si sta andando a creare) invece ha richiesto la creazione di un solido che doveva essere chiuso (in modo da essere poi riconosciuto in Revit come SAT modellabile). Il modellatore presente in Revit non riesce a gestire forme geometriche bidimensionali (se importate) quindi si è creato un guscio comprendente i livelli base di ogni singolo blocco costituente la geometria del sottopasso per poi chiudere il tutto tramite l'ausilio del comando “unisci” richiamabile da tastiera. Il comando unisci, per non incorrere in problemi di modellazione pregressi che si potrebbero generare nelle fasi precedenti di modellazione, è stato applicato anche per le restanti parti compositive il

Sottopasso, Asse Secondario e Asse principale. Il comando unisci di fatto ha corretto gli ultimi errori di modellazione e incongruenze possibili generando superfici perfettamente piane e congruenti tra di loro.

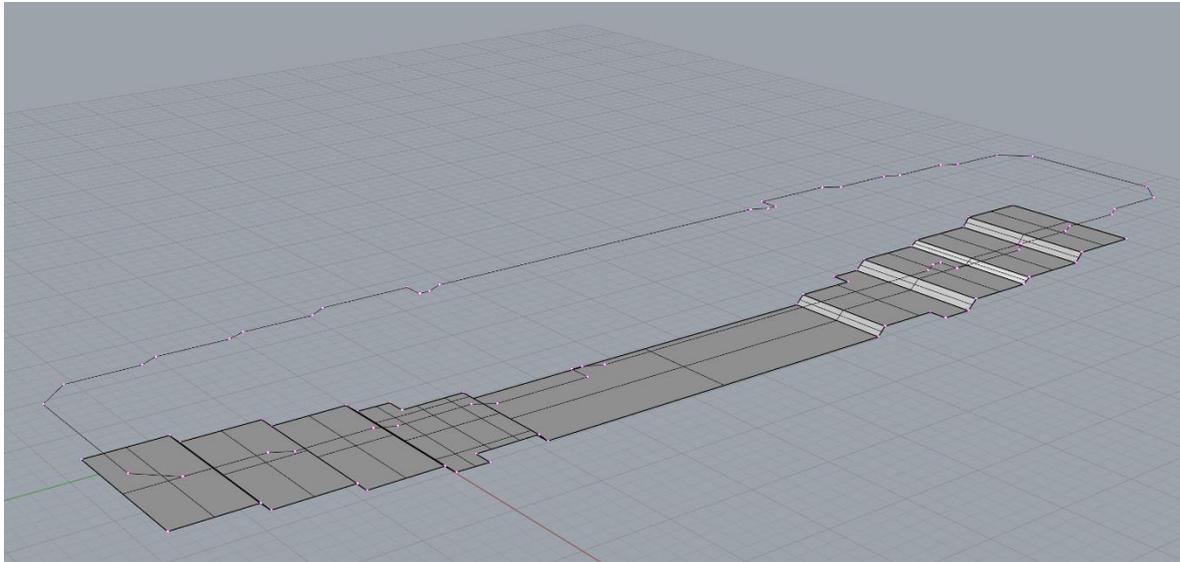


Figura 60-Modellazione dello scavo

2.4.5 Esportazione delle geometrie Rhino in formato ACIS

I modelli una volta generati sono stati salvati singolarmente in formato ACIS (Rhino 6) utilizzando la funzione di Rhino 6 di esportare elementi selezionati. Le impostazioni utilizzate nell'esportazione sono state quelle mostrate in Figura 611 per limitare al minimo la presenza di dati inutili che potrebbero non solo appesantire l'oggetto bensì potrebbero generare errori grafici se non addirittura impedirne la lettura nella nuova interfaccia.

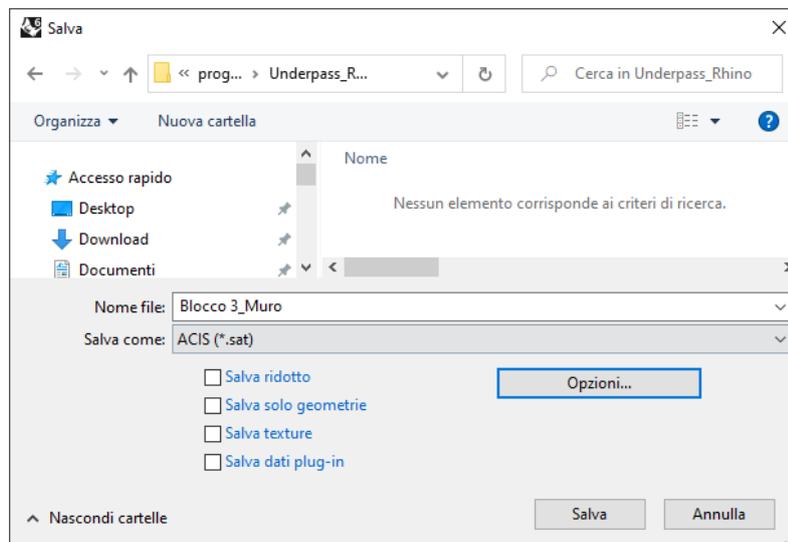


Figura 61-Impostazioni di esportazione dei modelli Rhino 6 in formato ACIS (.SAT)

2.4.6 Creazione delle famiglie

Una volta riconvertiti tutti gli elementi in formato ACIS, grazie alla che offre Rhino 6 di interscambio di file in formati diversi e utilizzando lo script generato in precedenza che analizza, interpreta e ricompila il file oggetto restituendo un file ricompilato e perfettamente compatibile con l'ambiente Revit (in Figura 6262 si può osservare come ogni elemento sia stato generato in Dynamo per poi essere restituito nella medesima cartella di partenza senza generare errori), si è passati alla creazione della famiglia.

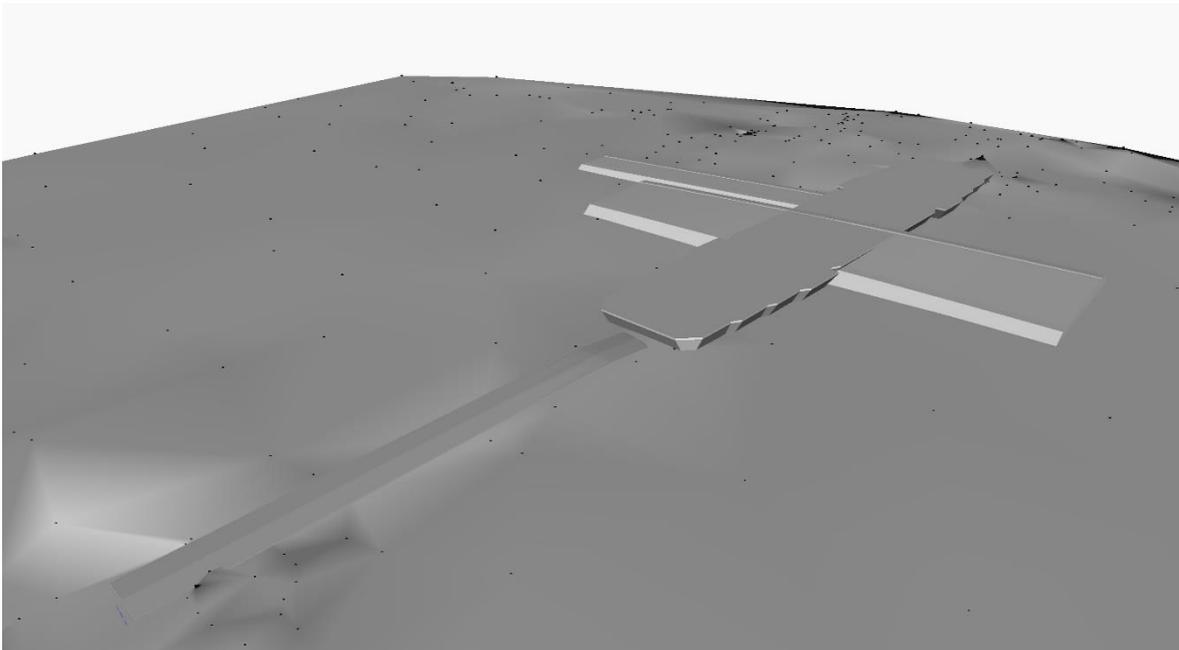


Figura 62-Lettura degli file .SAT in Dynamo tramite lo script di ricompilazione

Nell'ambiente Revit si collegherà il file CAD" come mostrato nella figura in basso.



Figura 63-Comando Collega CAD

Il programma Revit richiamerà il file ACIS (.SAT) che lo script ha ricompilato nell'ambiente Dynamo e che ha restituito nella directory di partenza del file di origine. Selezionato il file con la dicitura "LinkMeToRevit" il programma a questo punto collegherà il file nella piattaforma di arrivo (Revit). Nella creazione della famiglia è stato identificato l'oggetto come appartenente a una categoria. Non essendo presente nel programma una categoria facente parte delle infrastrutture stradali, si è scelto l'opzione "modello generico". che identifica la forma importata come una parziale free form (FF). Il vantaggio di questa metodologia è che il nuovo file generato dallo script che prenderà quindi il nome come segue:

<<NOME FILE_ LinkMeToRevit.SAT>>

non soltanto sarà compatibile con l'applicativo Revit ma anche con l'applicativo Rhino 6. Nel caso vi fossero delle modifiche o degli errori da correggere, basterebbe aprire il file con la dicitura "LinkMeToRevit" precedentemente collegato a Revit e modificarlo nell'ambiente di Rhino 6 sovrascrivendo le modifiche. In questo modo il modello si riaggiorna automaticamente limitando il tempo di modellazione e ricreazione della famiglia. Limitazione di questa metodologia in Revit 2020 sta nella applicazione dei materiali. I materiali possono essere applicati e gestiti solo all'interno della gestione della famiglia ma non al suo esterno. Non saranno pertanto letti e processati al di fuori nell'ambiente di progetto modifiche grafiche. Questa limitazione è stata inserita dalla versione 2017 in poi. La modifica e aggiunta del parametro "finiture e materiali" si applica soltanto a elementi totalmente FF che è un formato proprietario e chiuso all'interno dell'applicazione Revit e non è stata fornita a nessun programma esterno la procedura di ricompilazione. Nelle pagine seguenti vengono mostrati gli elementi che sono stati generati e che sono, grazie al parametro ACIS, georeferenziati dal file di modellazione di partenza (nell'ambiente di Rhino 6). In questo modo gli oggetti hanno la medesima altezza e la medesima posizione nello spazio nelle due piattaforme di partenza e arrivo. La creazione quindi del modello ora richiede soltanto il montaggio delle famiglie che, in una vista piana o nella vista dall'alto possono essere ricollocate se necessario per correggere eventuali traslazioni che nel caso attuale non si sono verificate.

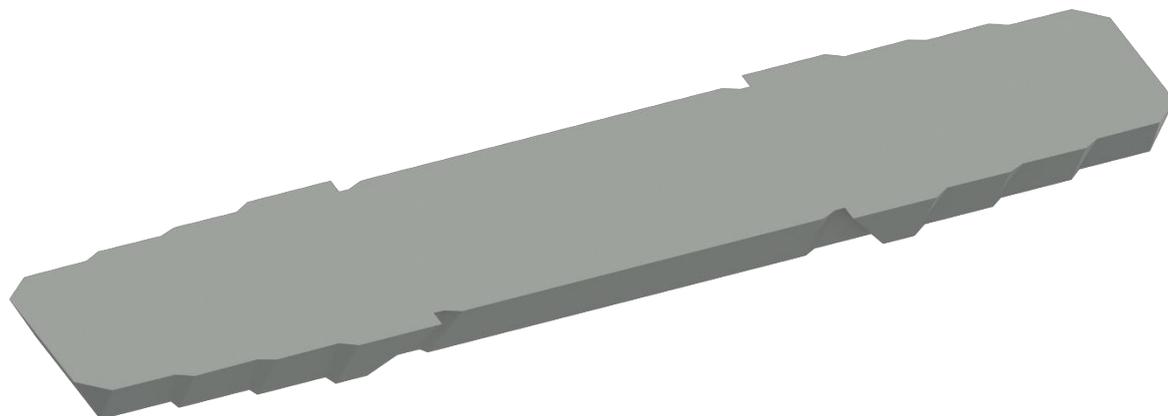


Figura 64-Famiglia dello scavo

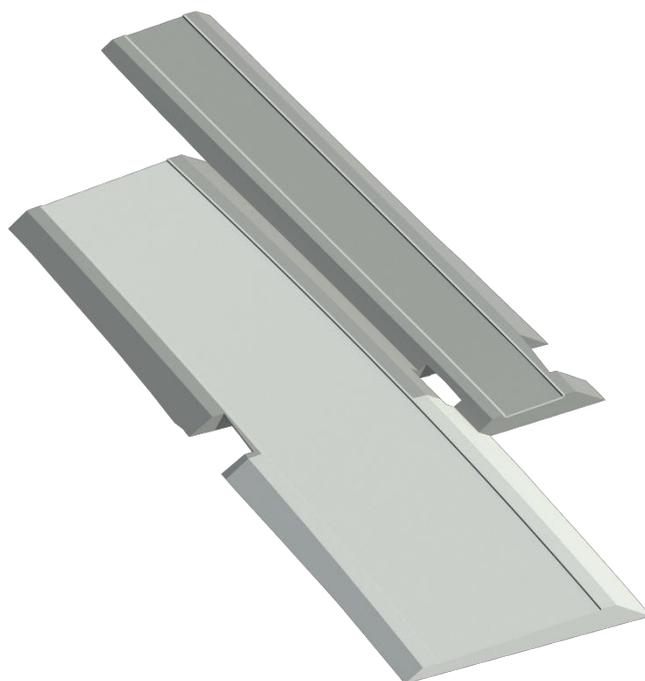


Figura 65-Famiglia dell'Asse Secondario e Asse Principale



Figura 66-Famiglia della pavimentazione stradale e del rinforzo sottostante



Figura 67-Famiglia dell'intero blocco sottopasso

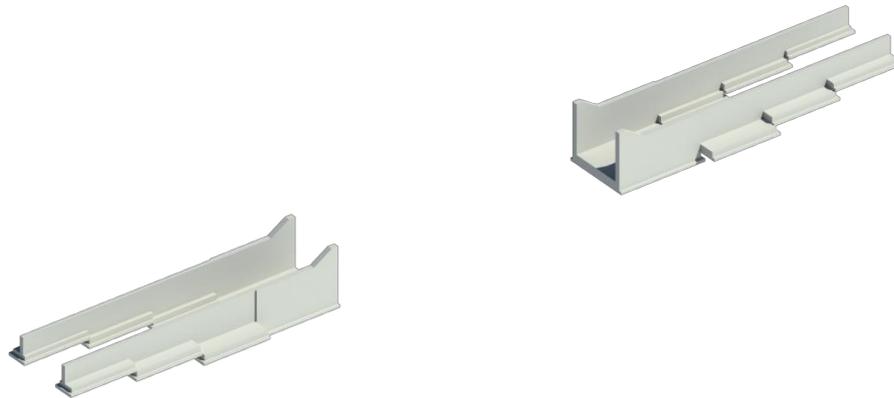


Figura 68-Famiglia dell'intero Blocco 1-4 (Nord-Sud)

2.4.7 Creazione della sequenza progettuale in Revit

Prima di assemblare gli oggetti nell'ambiente di modellazione Revit, si è resa opportuna la creazione di fasi "di prova" che frammentassero le famiglie secondo una logica predeterminata. Sono state create le fasi o per meglio dire la sequenza progettuale delle fasi esecutive del sottopasso. In Figura 69 il risultato.

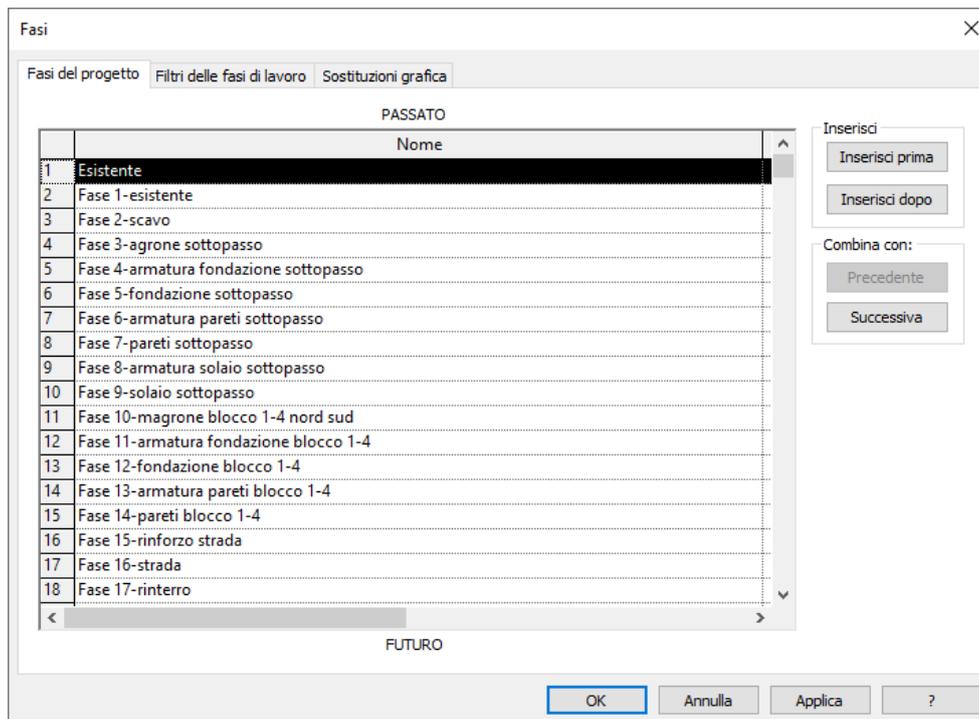


Figura 69-Fasi del progetto nell'ambiente Revit 2020

La creazione di queste fasi non è stata casuale. Queste fasi consentono di costruire tramite la famiglia del “blocco scavo” la base su cui poggerà il progetto e nelle successive, di modellare il terreno per far emergere lo scavo. Per generare le fasi è stato necessario duplicare il terreno e inserirlo nella medesima posizione ma in fasi differenti in modo che le variazioni non creassero intersezioni con le famiglie del sottopasso.

2.4.8 Creazione dello scavo

Grazie alla creazione della sequenza progettuale come anticipato nel paragrafo precedente, tramite la famiglia del modello scavo è stato generato un piano topografico plasmato secondo i vertici appartenenti alla suddetta famiglia. Questo passaggio è stato necessario in quanto Revit non può gestire sottrazioni e addizioni di terreno non perfettamente piano. Usando la famiglia scavo come modello è stato creato il “vuoto” che prenderà il posto di una porzione della topografia esistente e sarà la base per poggiare le successive famiglie. La modellazione del terreno è stata guidata impostando il materiale della “sottrazione” con un colore che dia contrasto e aiuti nella individuazione dei vertici. Questi punti non sempre sono riconosciuti dal programma pertanto si è reso necessario in alcuni frangenti il posizionamento alla medesima quota ma con un margine di errore dell’ordine di 0,002 m. In Figura 71 è rappresentato il terreno concluso ed associato alla “Fase 2” e terminerà nella “Fase 16” (che è la fase prima del rinterro).

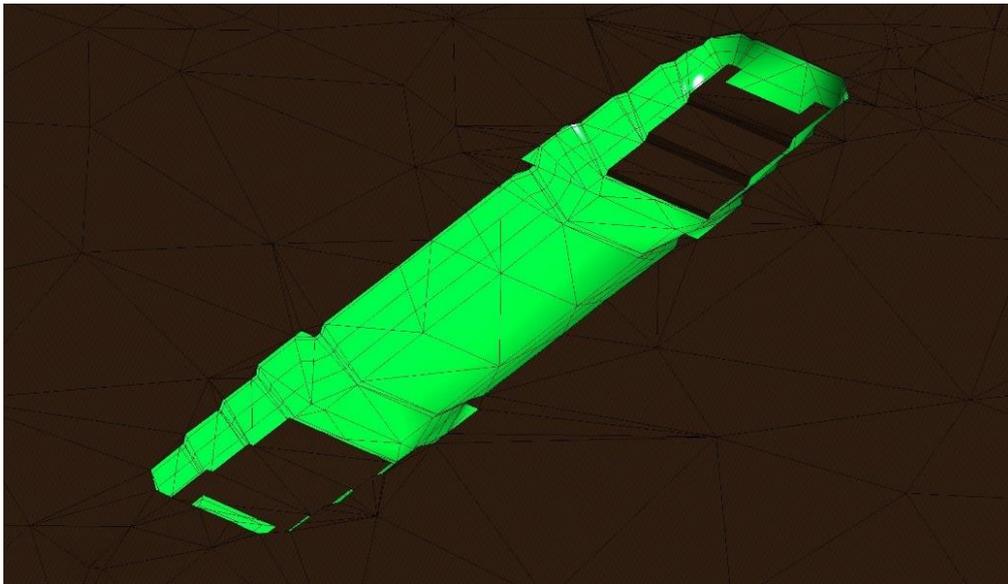


Figura 70- Superficie dello scavo

Il terreno precedente alle operazioni di movimento terra (modellato con Dynamo) è collocato nella medesima posizione del terreno nel quale è presente la superficie topografica dello scavo. Le due superfici sono state assegnate rispettivamente alla “fase 1” e “fase 2”. Nella Figura 7171 è mostrato il terreno esistente, prima delle operazioni di scavo nella sequenza “fase 1”.

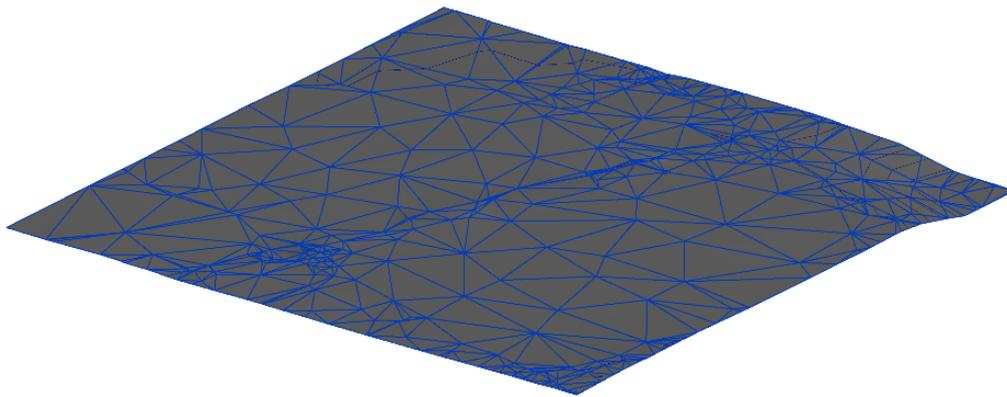


Figura 71- Terreno esistente

Il terreno di rinterro è stato modellato partendo dal duplicato del terreno esistente. Grazie alla possibilità insita nelle topografie di eliminare o modificare alcune sue porzioni, è stata separata in due la planimetria definendo il perimetro della geometria di divisione tramite il perimetro del sottopasso (nella versione completamente costruita). In seguito è stata eliminata la parte in eccesso (Figura 7272). Successivamente la superficie è stata impostata come fase di creazione, la “Fase 17”, e non ha una fase terminale essendo alla fine della sequenza.

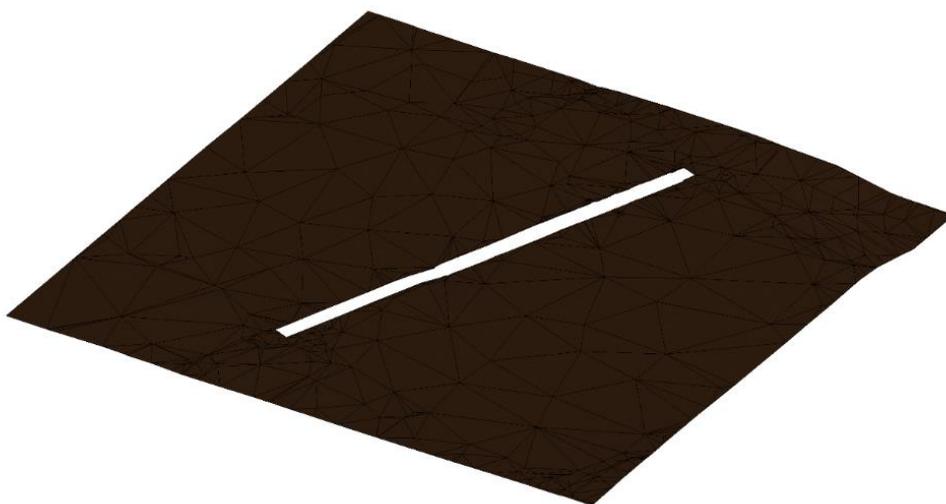


Figura 72-Terreno di rinterro

2.4.9 Creazione dell'armatura

Conclusa la fase di modellazione e costruzione in tutte le fasi dell'esecutivo, è stata realizzata un'ipotesi di armatura. Tale ipotesi è stata necessaria in quanto gli elaborati tecnici a disposizione erano incompleti e non consentivano di individuare una struttura tra le varie parti coerente dal punto di vista geometrico. Quello che segue è stato realizzato per essere di supporto informativo per comprendere appieno la transizione tra le fasi esecutive oltre al raggiungimento del massimo LOD possibile per quanto concerne il livello geometrico. Il sottopasso così facendo è stato realizzato in tutte le sue componenti per quanto riguarda la parte delle opere strutturali. È stata impostata una distanza del copriferro di 4cm (distanza reperita dagli elaborati tecnici per le pareti e le fondazioni contro terra, essa è stata ricavata dalla normativa UNI EN 1992-1-1:2015) e grazie allo strumento "Armatura (Figura 7373)" presente in Revit 2020 sono state realizzate le armature longitudinali e trasversali.

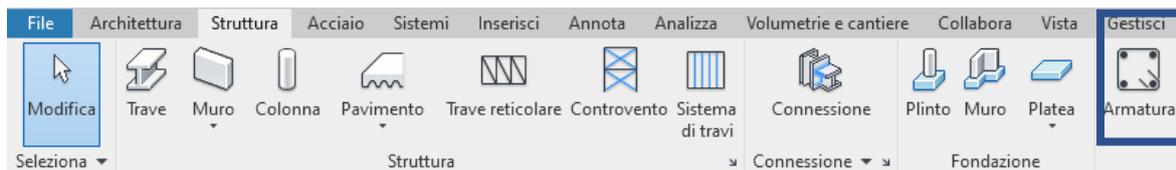


Figura 73-Strumenti per la realizzazione delle strutture in Revit 2020

La generazione dell'armatura è stata automatizzata in quanto serviva solo a concepire l'ingombro massimo che i ferri di armatura avrebbero occupato all'interno del solido in calcestruzzo. Le barre scelte sono state con un raggio di 12 come da elaborati. Revit nel processo di automatizzazione non ha dato riscontri negativi, il programma permette di selezionare e adattare le barre alla geometria del solido selezionato non creando incongruenze ed errori nel calcolo della volumetria che deve rispettare all'interno del copriferro.

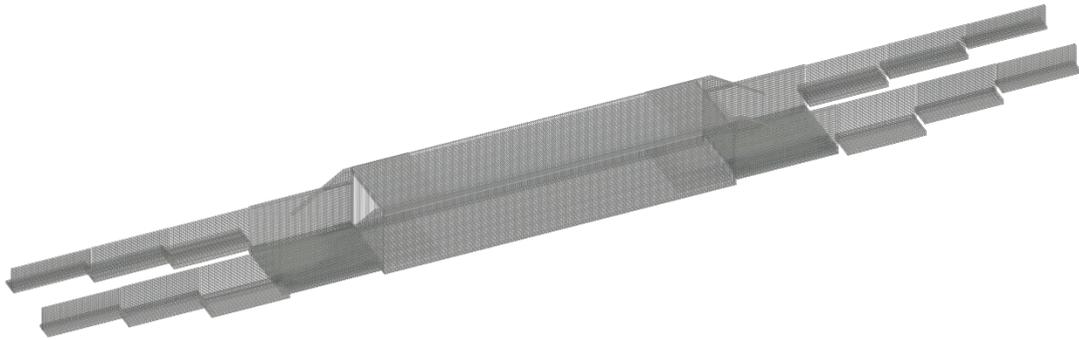


Figura 74-Vista che mostra l'armatura del Sottopasso Ciclopedonale

2.5 Conclusioni

In conclusione, osservando i risultati raggiunti si può considerare come il processo metodologico sia stato strutturato in una ricerca e sviluppo dell'interoperabilità tra applicazione-applicazione, ovvero tra due piattaforme software che nel caso studio sono rispettivamente CAD e BIM. Le macchine e gli strumenti sono codificati in linguaggi diversi e questo porta nel BIM a ricerche metodologiche lunghe e tortuose. Il processo metodologico come si può notare è stato nel complesso iterativo, sono state ripetute azioni e vagliate le strade possibili in rapporto agli obiettivi prestabiliti di qualità e efficienza. Allontanando lo sguardo si nota che gli errori affinano e perfezionano il processo che nelle prime fasi richiede un impiego di tempo per la sua realizzazione non indifferente. Ragionando dal punto di vista grafico associando gli errori all'asse delle ordinate e mentre all'asse delle ascisse le prove che affrontate si può notare che la funzione discendente verso l'asse delle ascisse è proporzionale agli errori che si sono affrontati in precedenza. Nella figura 75 è riassunto quanto detto.

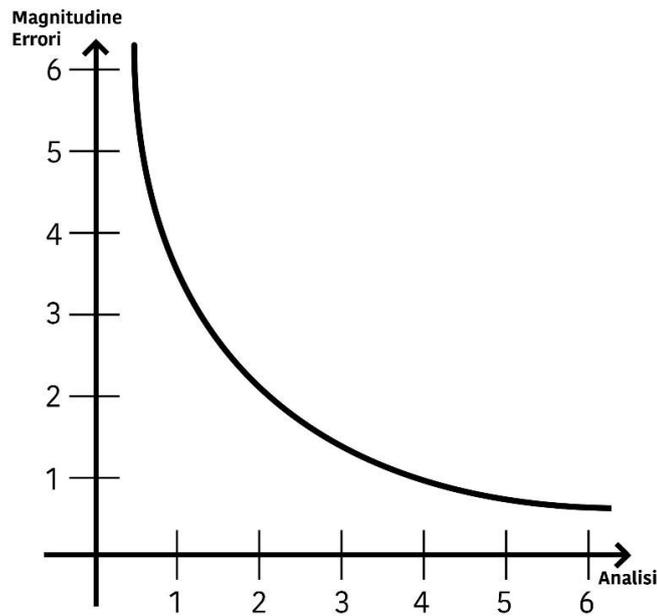


Figura 75-Grafico del rapporto tra errori-Magnitudine errori

La ricerca metodologica ha portato al metodo che, considerando la piattaforma di partenza (civil3D 2016) e la piattaforma di arrivo (Revit 2020), è possibile inquadrare come il più efficiente con questi software. Le problematiche che in modo innegabile sorgono nell'utilizzo del programma Revit 2020 sono la difficile interoperabilità con formati .DWG e .SAT compilati da software CAD (Revit comunica in modo limitato soltanto con AutoCAD e solamente con determinati dati). Il vantaggio di collegare file file CAD in Revit sta nella non persistenza dell'informazione. La modellazione di strutture complesse in Revit richiede un'elevata quantità di tempo per la realizzazione. Al contrario, Rhino 6 ha dimostrato la sua versatilità come "ponte" tra due piattaforme potendo manipolare e ricompilare le geometrie necessarie. Combinando la gestione delle informazioni del software BIM e l'automatismo che produce Dynamo con la versatilità di modellazione di un software CAD è possibile ricreare qualsiasi geometria in tempi brevi, con la comodità di una modellazione parametrica presente in Rhino 6. Questa unione tra i software velocizza inoltre le successive analisi che un progettista può affrontare nella realizzazione di un progetto come le analisi strutturali o come nel caso dell'elaborato, la simulazione 4D. La metodologia finale per concludere, non è stata strutturata solo per le infrastrutture viarie ma può essere reiterata su qualsiasi oggetto di studio del settore delle infrastrutture. La versatilità del metodo sta nel fatto che l'obiettivo non ha guidato il procedimento ma sono state le decisioni cumulate nel processo di gestione degli strumenti a guidare verso la metodologia più efficace. Ottenuta l'interoperabilità, nel capitolo successivo si affronterà la gestione del progetto nella fase

esecutiva. Si osserverà più a fondo come il BIM non sia solo interoperabilità tra formati e software ma che sia anche comunicazione e gestione delle figure che concorrono alla realizzazione del progetto.

3 Project Management

3.1 Introduzione al project management

Nel presente capitolo verranno trattati alcuni concetti riguardanti a disciplina del Project Management. Tale disciplina si presenta come un insieme di pratiche, tecniche e approcci per la gestione non solo dei progetti ma anche delle persone interne ed esterne che lavorano a tali progetti e che svolgono un ruolo fondamentale nella progettazione e nel BIM. Verranno successivamente spiegate la sequenza delle attività della fase esecutiva, l'identificazione degli attori che partecipano al processo esecutivo del manufatto e le interdipendenze tra di loro per strutturare una sequenza logica e cronologica dell'intero processo. Definita la sequenza cronologica delle attività (Gantt) verrà mostrata la gestione 4D del cantiere, ovvero la gestione del tempo. Sarà infine illustrato il processo per simulare il cantiere nella sua totalità così da comprendere in modo multimediale le informazioni che immagazzinate in precedenza in forma grafica/scritta.

3.2 Cosa è il progetto

M. C. Bottero in [24] definisce il termine Project management (PM), in italiano sarebbe tradotto in gestione del progetto. Il primo punto da chiarire è cosa si intende per progetto. In questa definizione si chiarisce che:

<<Un progetto è un impegno temporaneo volto alla realizzazione di un prodotto o servizio unico>>

Nella citazione vengono utilizzate due parole chiave, la prima è *temporaneo* e la seconda è *unico*. Una attività umana che abbia carattere di temporaneità, cioè che abbia un inizio e un suo termine (non per caso ma perché si prevede sia così), e che sia destinata a un risultato unico, nel senso di irripetibile, presenta le caratteristiche per essere chiamato progetto. Esso è pertanto la risposta a un bisogno o la soluzione di un problema che ha come fine ultimo un beneficio. In ambito industriale non viene chiamato progetto una produzione di serie perché ha lo scopo della ripetibilità. L'attività di realizzare progetti in serie non è un progetto ma un suo derivato. Nel concepire e costruire una catena di produzione essa non può essere classificata come un progetto perché non ha finalità uniche e irripetibili. Nel settore dell'AEC dunque, ogni manufatto è caratterizzato da un progetto che presenta le due

caratteristiche dette poc'anzi. Oltre alle due precedenti caratteristiche, il progetto contiene al suo interno delle proprietà che lo caratterizzano quali:

- possedere obiettivi prefissati e unici
- avere disponibilità di risorse limitate
- possedere caratteristiche multidisciplinari

Esistono vari modi per classificare i progetti alcuni dei quali possono essere:

- investimento
- innovazione tecnologica
- cambiamento strategico
- ricerca
- servizi
- sviluppo

Ogni tipologia ha al suo interno può possedere i seguenti criteri:

- interni/esterni. Quando si parla di questa categoria si riferisce alla sua organizzazione. Un progetto interno è una organizzazione che svolge per sé stessa (ad esempio un dipartimento universitario che si riorganizza). Un progetto esterno è un insieme di azioni che una entità svolge per figure esterne all'organizzazione. Questo ad esempio accade nello svolgimento di questa trattazione che ha come progetto la gestione della fase esecutiva del cantiere e la sua evoluzione nel tempo.
- nazionali/internazionali (svolti da società che sviluppano grandi progetti nella nazione o in altri paesi)

3.3 Cosa è il project management

M. C. Bottero [24] continua definendo cosa è il PM, è una disciplina che nasce dal mondo anglosassone. M. S. Pini [25] spiega in modo sintetico che il PM tratta la pianificazione, attuazione e controllo di progetti. Il PM nel suo operato ha come obiettivi la gestione e il controllo del tempo, delle risorse e dei costi. Nella trattazione ci si focalizzerà sulla prima, il tempo, senza considerare risorse e costi.

3.4 Gli strumenti del PM

Nei successivi paragrafi verranno analizzati gli strumenti necessari per gestire, comprendere e strutturare il ciclo di vita dell'edificio che nel caso applicativo in esame, prenderà in esame la sola parte esecutiva del sottopasso ciclopedonale. Nella stesura degli elaborati formati da tabelle, schemi reticolari e sequenze a supporto del PM, sono stati utilizzati applicativi software specifici per attività di PM come Microsoft Project. Per la redazione di tabelle invece è stato utilizzato Microsoft Excel per la versatilità che offre e l'interoperabilità con gli altri applicativi Microsoft e non solo.

3.4.1 WBS

Pavan [26, pp. 46-47] asserisce che il passo fondamentale per la gestione del progetto è la redazione della WBS, acronimo che sta a significare Work Breakdown Structure (traducibile in scomposizione strutturata del progetto). La WBS scinde il progetto secondo una gerarchia definita a priori dal PM secondo le attività che dovrebbero concorrere al completamento dell'opera e la struttura finale apparirà su più livelli. I livelli non sono fissi bensì variano in base al progetto, alla complessità dell'opera e a molti altri fattori. Generalmente un PM nell'affrontare una WBS non la redige mai oltre 5 livelli per evitare di rendere la gestione della WBS (e del progetto) complessa e con vasta probabilità di creare eventi inattesi con magnitudine (la gravità dell'evento inatteso) e frequenza (termine che indica quante volte un evento inatteso si verifica in una determinata quantità di tempo) non prevedibili. Generalmente il primo livello anche detto livello zero è il progetto stesso. Le regole principali che bisogna seguire nella redazione della WBS sono:

- strutturare livelli che rappresentino la totalità del progetto. I livelli presi singolarmente devono indicare tutte le attività/obiettivi per raggiungere il progetto.
- i livelli devono avere una logica e una coerenza interna
- la logica di scomposizione può variare tra i livelli

Un progetto scomposto nella WBS, nel livello più basso mostrerà i Work Packages (WP in italiano pacchetti di lavoro o unità elementari), l'unità più piccola, che se aggregata forma l'attività/obiettivi dei livelli superiori. I WP forniscono molte informazioni utili come la responsabilità delle figure che eseguono il compito, il costo per svolgere l'attività, il tempo che impiega per il suo completamento. I WP possono essere a loro volta scomposti in Task,

3.4.2 *OBS*

Pavan [26, p. 49] Indica come la Organization Breakdown Structure (OBS) sia una conseguenza diretta della WBS per una migliore gestione dei processi. La OBS (in italiano scomposizione strutturata dell'organizzazione) definisce la struttura del progetto dal punto di vista organizzativo per allocare le persone alle specifiche attività. Anche in questo caso la struttura della OBS è dipendente da numerose variabili e tipologie. Può essere presente una struttura gerarchica che favorisca il PM o lo penalizzi quindi tutta la struttura dipende fortemente dallo scopo del progetto e dalla sua complessità. La struttura organizzativa del progetto è stata realizzata associando a ogni task un dipartimento (ovvero all'area organizzativa che si occupa di uno specifico elemento) responsabile della progettazione e dell'esecuzione di uno specifico oggetto del progetto complessivo. Le figure incaricate non sono da intendersi come singole persone ma gruppi non identificati come delle squadre. Seguendo questa logica i livelli dal 2-3 sono indicati con la seguente codifica:

<<NOME INCARICATO_XX (lettere progressive)>>

Ad ogni attività è stata attribuita una codifica distinguibile della WBS. Tutto ciò è stato necessario per permettere di individuare le figure, tracciarle e associarle più agevolmente con la WBS evitando omonimie di ID.

3.4.2.1 *Ricerca dei dati*

I dati sono stati ricavati attraverso L'Atlante del Lavoro e delle Qualificazioni [27], servizio offerto dall'INAPP (Istituto Nazionale per l'Analisi delle Politiche Pubbliche) che ha permesso di ricavare in base al campo di applicazione e all'attività, le figure preposte a tale scopo fornendo un codice ISTAT e ATECO che mi permettesse di ricavare lo spettro di tutte le figure e mansioni.

3.4.2.2 *Risultato*

Il risultato finale si può osservare in Tabella 4 (disponibile nelle appendici in formato maggiore). Ogni figura nel processo è stata associata all'ultimo livello e gli è stato assegnato un codice ID OBS in aggiunta al codice ATECO così da facilitare la lettura incrociata delle tabelle

ID OBS	figura incaricata	ID OBS	figura incaricata	ID OBS	figura incaricata	ID OBS	ID ATECO	figura incaricata
A	Responsibile progetto	A.a) Functional Managers A	A.a.a) Progettazione ed esecuzione AA	A.a.a.a	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra		
				A.a.a.b	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra		
				A.a.a.c	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra		
		A.b) Functional Managers B	A.b.a) Progettazione ed esecuzione BA	A.b.a.a	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti		
				A.b.a.b	6.1.2.2.2	Formatore in calcestruzzo		
				A.b.a.c	6.1.2.2.2	Gettatore di calcestruzzo		
			A.b.b) Progettazione ed esecuzione BB	A.b.b.a	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti		
				A.b.b.b	6.1.2.3.0	Carpentiere edile		
				A.b.b.c	6.1.2.2.2	Formatore in calcestruzzo		
				A.b.b.d	6.1.2.2.2	Gettatore di calcestruzzo		
				A.b.b.e	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti		
				A.b.c) Progettazione ed esecuzione BC	A.b.c.a	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti	
			A.b.c.b	6.1.2.3.0	Carpentiere edile			
			A.b.c.c	6.1.2.2.2	Formatore in calcestruzzo			
			A.b.c.d	6.1.2.2.2	Gettatore di calcestruzzo			
			A.b.c.e	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti			
			A.b.d) Progettazione ed esecuzione BD	A.b.d.a	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti		
				A.b.d.b	6.1.2.3.0	Carpentiere edile		
		A.b.d.c		6.1.2.2.2	Formatore in calcestruzzo			
		A.b.d.d		6.1.2.2.2	Gettatore di calcestruzzo			
		A.b.d.e		6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti			
		A.b.d.f		6.1.3.1.0	Impermeabilizzatori di solai			
		A.c) Functional Managers C		A.c.a) Progettazione ed esecuzione CA	A.c.a.a	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti	
		A.c.a.b	6.1.2.2.2	Formatore in calcestruzzo				
		A.c.a.c	6.1.2.2.2	Gettatore di calcestruzzo				
		A.c.b) Progettazione ed esecuzione CB	A.c.b.a	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti			
			A.c.b.b	6.1.2.3.0	Carpentiere edile			
			A.c.b.c	6.1.2.2.2	Formatore in calcestruzzo			
			A.c.b.c	6.1.2.2.2	Gettatore di calcestruzzo			
			A.c.b.d	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti			
		A.c.c) Progettazione ed esecuzione CC	A.c.c.a	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti			
			A.c.c.b	6.1.2.3.0	Carpentiere edile			
			A.c.c.d	6.1.2.2.2	Formatore in calcestruzzo			
			A.c.c.e	6.1.2.2.2	Gettatore di calcestruzzo			
			A.c.c.f	6.1.2.2.1	Casseronisti/Cassonisti			
			A.d) Functional Managers D	A.d.a) Progettazione ed esecuzione DA	A.d.a.a	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra	
		A.d.a.b	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra				
		A.d.a.c	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra				
		A.d.a.d	6.1.2.6.2	Livellatore stradale				
		A.d.b) Progettazione ed esecuzione DB	A.d.b.a	6.1.2.6.2	Cementista posatore di pavimenti stradali			
			A.d.b.b	6.1.2.6.2	Pavimentatori stradali			
			A.d.b.c	6.1.2.6.2	Pavimentatori stradali			
		A.e) Functional Managers E	A.e.a) Progettazione ed esecuzione EA	A.e.a.a	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra		
		A.e.a.b	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra				
		A.e.a.c	7.4.4.1.0	Conduttori di macchinari per il movimento terra				

Tabella 4-Estratto della OBS (disponibile nelle appendici in formato maggiore)

3.4.3 RACI

Con la matrice RACI si associano le risorse a specifici tasks. La sigla RACI è formata dai ruoli che i soggetti assumeranno nella stessa che sono: Responsible, Accountable, Consulted, Informed. Queste figure che compaiono nel nome della matrice stessa si possono tradurre nell'italiano in:

- Responsabile attività
- Responsabile dell'approvazione dell'attività
- Consulente
- Persone informate

Nella forma inglese, la più agevole in questo caso, la Matrice RACI identifica le specifiche responsabilità di tutte le figure all'interno del progetto. Dall'intersezione tra la WBS e la OBS verrà generata la matrice RACI. La tabella ancora vuota andrà riempita assegnando a ogni figura del progetto un ruolo o più ruoli. I ruoli come è stato specificato in

precedenza sono quattro e ogni ruolo è essenziale alla riuscita del progetto. I ruoli che dovranno assumere le figure e le loro funzioni sono:

- **Responsible.** Sono le persone responsabili nel portare a termine una attività.
- **Accountable.** È la figura incaricata di supervisionare R e approvare il lavoro.
- **Consulted.** Sono persone che possono essere consultate riguardo lo svolgimento o gli obiettivi di una attività.
- **Informed.** Le persone che devono essere informate e devono conoscere l'esito dell'attività e prendere decisioni in merito.

3.4.3.1 Risultato

Incrocando i dati della tabella WBS con la OBS è stato possibile identificare ogni figura e associarla al progetto. Questa operazione è stata necessaria in quanto nelle fasi successive, per la redazione del Network diagram e del gantt, le figure dovranno essere identificate in tutte le sue parti per quanto concerne la sequenza della fase esecutiva. In Tabella 5 viene mostrate un estratto della tabella RACI, disponibile nella sezione Appendici. La tabella mostra la mole di persone coinvolte nel progetto. Le figure professionali sono associate a singole attività e ognuna di esse possiede un grado di responsabilità. In Figura 76 è mostrata in dettaglio la sequenza standard che utilizzata nella edificazione di una parte del blocco di fondazione. È possibile notare nella prima riga (fase del montaggio della cassaforma) come “R, A” è posta all’inizio. I soggetti chiave in questa fase sono i *casseronisti* che si dovranno occupare della carpenteria e che saranno supportati da altri loro colleghi che avranno il compito di scasserare l’elemento e avranno il ruolo “C” mentre tutte le altre figure sono informate dell’esito dell’attività o di eventuali imprevisti per reagire di conseguenza. La seconda riga (fase del montaggio dell’armatura), “R, A” è allocata al carpentiere edile che si occupa del montaggio dell’armatura. Chi prepara il cemento avrà valore “I” invece, chi si occuperà della gettata e della vibrazione del cemento avrà valore “C”. I casseronisti che si occuperanno di scasserare avranno valore “I”. Nella terza riga (fase della preparazione del cemento) si presentano con “R, A” gli addetti alla preparazione della pasta cementizia. Queste figure avranno come “C” (consulente) chi sarà incaricato della gettata e vibrazione della pasta cementizia. Nella quarta riga (fase della gettata della pasta cementizia e vibrazione) il ruolo di “C” è conferito a chi prepara la pasta cementizia per la gettata, “R, A” è assegnato agli operai addetti alla gettata e vibrazione del cemento. Gli “I” saranno gli operai addetti a scasserare l’oggetto. Nell’ultima riga (fase di scasseratura

dell'elemento), "R" sarà assegnato a chi dovrà disarmare l'elemento mentre avrà valore di "A" chi ha effettuato la gettata e vibrazione e può verificare lo stato di salute del cemento e nel caso, prevenire incidenti. Nel ruolo di C sarà posta la squadra che si è occupata della realizzazione dei casseri.

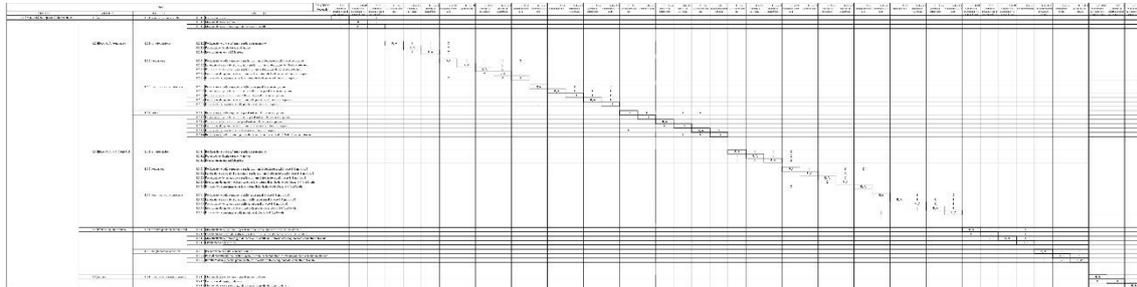


Tabella 5 -Estratto della RACI (disponibile nelle appendici in formato maggiore)

R,A	I	I	I	C
	R, A	I	C	I
		R, A	C	I
		C	R, A	I
C			A	R

Figura 76-Dettaglio della RACI

3.4.4 Network diagram

Pavan [26, pp. 49-65] [28] parla del metodo Network Diagram (diagramma reticolare) anche conosciuto con il suo nome CPM (Critical Path Method nell'italiano traducibile in metodo del cammino critico). Si è scelto di utilizzare il CPM al posto del PERT per la difficoltà statistica nella ricerca della stima più ottimistica e pessimistica. Nel PERT è possibile anche calcolare l'evoluzione dei costi nel tempo ma, come detto in precedenza, nel presente elaborato viene affrontata la sola analisi dei temp. SI utilizzano nella tecnica dei nodi e dei vettori che puntano a essi indicando il flusso (inteso come flusso del tempo, del suo scorrere) che porterà secondo delle interdipendenze tra le varie attività, al compimento del progetto. A livello storico la CPM nasce nel lontano 1957 in Gran Bretagna, per mano della ORSCEGB (Operational Research Section of Central Electricity Generating Board) [29] che elaborò la tecnica per identificare i punti critici e catastrofici a livello temporale di un progetto. La tecnica si concretizzò nel 1958, grazie al progetto Polaris [29] della Marina degli Stati Uniti. Il CPM viene strutturato a partire dai dati della WBS tramite la quale sono

state scomposte le attività identificate. In questa fase le durate ai fini del caso studio sono state ricavate da una raccolta dati (parziale), Figura 77, che ha fornito i tempi delle macro-attività (Esempio Blocco 1-4, Blocco sottopasso, scavi ecc.). Grazie all'atlante del lavoro le attività sono state precedentemente scomposte nei tasks ed è stato effettuato uno studio che è partito concependo la settimana lavorativa standard in 40 ore lavoro suddivise in 8 ore giornaliere. Grazie ai dati reperiti in precedenza che identificavano la durata delle macro-attività (in Figura 77), sono stati specificati i tasks al loro interno, mentre i tempi sono stati inseriti facendo ricadere le durate dei tasks all'interno dell'intervallo di tempo delle macro. Purtroppo, le macro fasi non identificavano attività supplementari che sono state svolte nel caso studio, esse sono state ipotizzate in base ad alcune macro attività simili. Il risultato finale è una modifica dei tempi per permettere l'inserimento di queste nuove specificazioni. In Figura 78 è rappresentato l'elenco finale delle attività con le rispettive durate.

Sottopasso ciclopedonale Pk 1+120	61 g
Scavo a sezione ristretta	3 g
Realizzazione della carpenteria per le	8 g
Lavorazione e posa ferri di armatura	10 g
Getto in calcestruzzo per le strutture	2 g
Realizzazione della carpenteria per le	8 g
Lavorazione e posa ferri di armatura	10 g
Getto in calcestruzzo per le strutture	2 g
Realizzazione di solaio in c.a. in oper	18 g
IMPIANTI	102 g

Figura 77-Tempi di costruzione di massima del sottopasso

Automaticamente il programma Microsoft Project ha restituito i valori che sono abitualmente presenti nel Network diagram quali:

- Free slack
- Early Finish
- Early
- Late Start
- Late Finish

I risultati possono essere osservati nella sezione appendici dove sono indicati anche i predecessori e successori.

1.0	Sottopasso ciclo-pedonale	88,75 d
1.1.1	Scavo del sottopasso	3 d
1.1.1.1	Esecuzione scavi	2 d
1.1.1.2	Movimentazione del terreno	0,5 d
1.1.1.3	Movimentazione e stoccaggio di materiali di risulta	0,5 d
1.2.1	Sottofondazione del Blocco Sottopasso	1,25 d
1.2.1.2	Realizzazione di casseformi a perdere per magrone	0,5 d
1.2.1.3	Preparazione di calcestruzzo Magrone	0,25 d
1.2.1.4	Esecuzione gettata del Magrone	0,5 d
1.2.2	Fondazione del Blocco Sottopasso	34 d
1.2.2.1	Realizzazione della carpenteria per la struttura di fondazione del blocco sottopasso	8 d
1.2.2.2	Lavorazione e posa ferri di armatura per la struttura di fondazione del blocco sottopasso	10 d
1.2.2.3	Preparazione del calcestruzzo per la struttura di fondazione del Blocco Sottopasso	0,25 d
1.2.2.4	Esecuzione del getto in calcestruzzo per la struttura di fondazione del blocco sottopasso	2 d
1.2.2.5	Disarmo della carpenteria per la struttura di fondazione del blocco sottopasso	8 d
1.2.3	Pareti controterra del Blocco Sottopasso	42 d
1.2.3.1	Realizzazione della carpenteria delle pareti per il blocco sottopasso	8 d
1.2.3.2	Lavorazione e posa ferri di armatura delle pareti per il blocco sottopasso	10 d
1.2.3.3	Preparazione del calcestruzzo delle pareti per il blocco sottopasso	0,25 d
1.2.3.4	Esecuzione del getto in calcestruzzo delle pareti per il blocco sottopasso	2 d
1.2.3.5	Disarmo della carpenteria delle pareti per il blocco sottopasso	8 d
1.2.4	Solaio del Blocco Sottopasso	38 d
1.2.4.1	Realizzazione della carpenteria per il solaio del blocco sottopasso	6 d
1.2.4.2	Lavorazione e posa ferri di armatura per il solaio del blocco sottopasso	10 d
1.2.4.3	Preparazione del calcestruzzo per il solaio del blocco sottopasso	0,25 d
1.2.4.4	Esecuzione del getto in calcestruzzo per il solaio del blocco sottopasso	2 d
1.2.4.5	Disarmo della carpenteria per il solaio del blocco sottopasso	6 d
1.2.4.6	Realizzazione dello strato impermeabilizzante con pendenza dell'1% del Blocco Sottopasso	0,75 d
1.3.1	Sottofondazione del Blocco 1-4 (Nord-Sud)	1,25 d
1.3.1.1	Realizzazione di casseformi a perdere per magrone	0,5 d
1.3.1.2	Preparazione di calcestruzzo Magrone	0,25 d
1.3.1.3	Esecuzione gettata del Magrone	0,5 d
1.3.2	Fondazione del Blocco 1-4 (Nord-Sud)	40,25 d
1.3.2.1	Realizzazione della carpenteria per la struttura di fondazione del blocco 1-4 (nord-sud)	8 d
1.3.2.2	Lavorazione e posa ferri di armatura per la struttura di fondazione del blocco 1-4 (nord-sud)	10 d
1.3.2.3	Preparazione del calcestruzzo per la struttura di fondazione del blocco 1-4 (nord-sud)	0,25 d
1.3.2.4	Esecuzione del getto in calcestruzzo per la struttura di fondazione del blocco 1-4 (nord-sud)	2 d
1.3.2.5	Disarmo della carpenteria per la struttura di fondazione del blocco 1-4 (nord-sud)	8 d
1.3.3	Pareti controterra del Blocco 1-4 (Nord-Sud)	37 d
1.3.3.1	Realizzazione della carpenteria delle pareti per il blocco 1-4 (nord-sud)	8 d
1.3.3.2	Lavorazione e posa ferri di armatura delle pareti per il blocco 1-4 (nord-sud)	10 d
1.3.3.3	Preparazione del calcestruzzo delle pareti per il blocco 1-4 (nord-sud)	0,25 d
1.3.3.4	Esecuzione del getto in calcestruzzo delle pareti per il blocco 1-4 (nord-sud)	2 d
1.3.3.5	Disarmo della carpenteria delle pareti per il blocco 1-4 (nord-sud)	8 d
1.4.1	Rinforzo della pavimentazione stradale	81,75 d
1.4.1.1	Movimentazione del terreno per il rinforzo del conglomerato cementizio stradale	0,5 d
1.4.1.2	Esecuzione reintegro del rinforzo per il rinforzo del conglomerato cementizio stradale	2 d
1.4.1.3	Movimentazione e stoccaggio di materiali di risulta del rinforzo del conglomerato cementizio stradale	0,5 d
1.4.1.4	Livellamento del rinforzo	0,5 d
1.4.2	Pavimentazione stradale	1 d
1.4.2.1	Preparazione di malte, cemento, asfalto	0,25 d
1.4.2.2	Posa di rivestimenti realizzati in opera (asfalto, cemento) strato 2 del conglomerato cementizio stradale	0,75 d
1.4.2.3	Rifinitura delle superfici pavimentate e/o rivestite strato 1 conglomerato cementizio stradale	0,75 d
1.5.1	Rinterro	4 d
1.5.1.1	Movimentazione del terreno per il rinterro del sito	0,5 d
1.5.1.2	Esecuzione del rinterro del sito	2 d
1.5.1.3	Movimentazione e stoccaggio di materiali di risulta del rinterro del sito	0,5 d

Figura 78-Estratto delle attività (formato esteso presente nella sezione appendici)

In Figura 77 è presente un estratto che mostra in modo complessivo il risultato finale del Network Diagram con indicato il rosa il passo critico ovvero le attività che non hanno liberasi float.

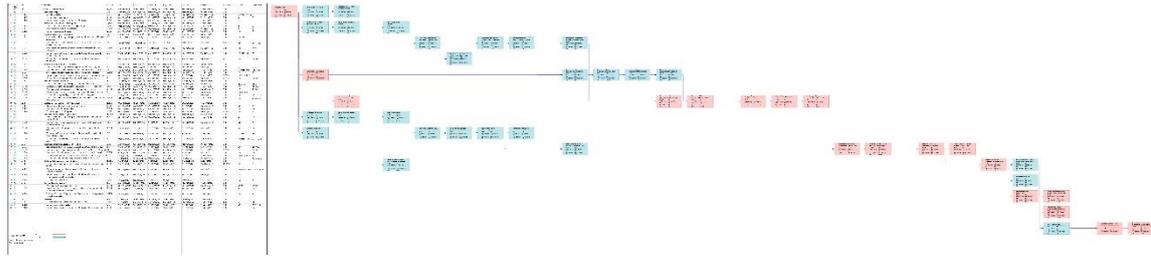


Figura 79-Estratto del Network Diagram (disponibile nelle appendici in formato maggiore)

3.4.5 Gantt

Il diagramma di Gantt ideato dall'ingegnere americano Henry G. Gantt [25] nel 1917 è ad oggi lo strumento più diffuso per la programmazione dei tempi in un progetto (far riferimento a Figura 788 per l'elenco delle durate). Sull'asse X è rappresentata la freccia del tempo che ha come istante zero l'avvio del progetto. Nell'asse Y saranno poste le attività da svolgere che sono state identificate nella WBS, che saranno associate con la codifica creata a una OBS e insieme permettono di individuare il grado RACI per la figura incaricata. Le attività nel Gantt sono collegate a predecessori e successori come è avvenuto nel Network Diagram. In Figura 80 è rappresentato l'andamento del Gantt che sarà discendente. È stato identificato grazie a project in modo automatico il percorso critico ovvero il percorso che non ammette ritardi. Le attività in azzurro sono le attività che hanno margine di azione e permettono di gestire l'attività non entrando in conflitto con le successive.

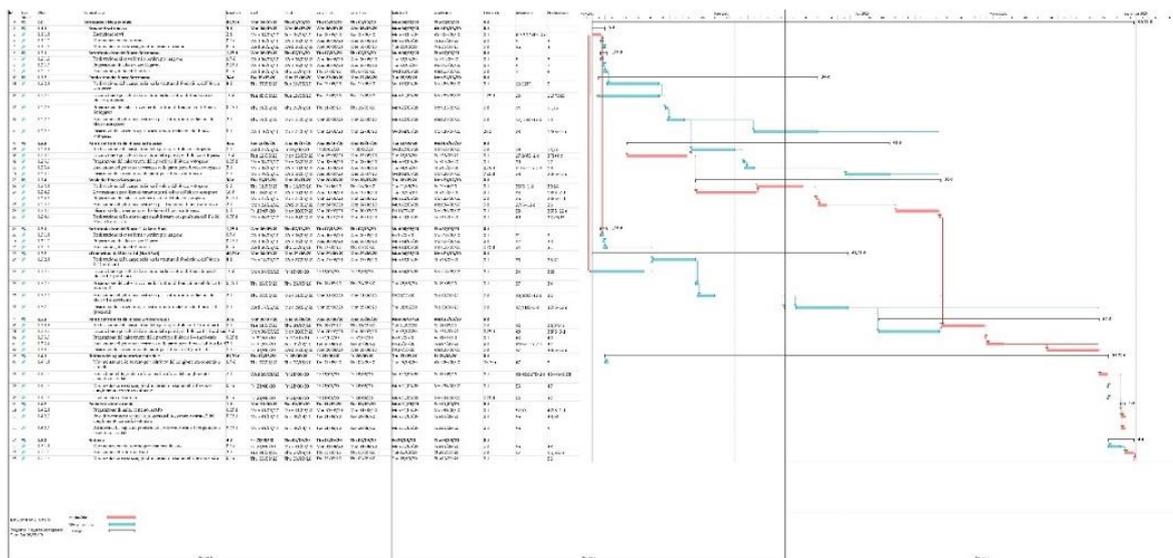


Figura 80-Estratto del Gantt (disponibile nelle appendici in formato maggiore)

3.4.5.1 Risultati

Come ultimo passo è stato generato il gantt, definendo l'andamento del progetto nel tempo. Microsoft Project si è dimostrato versatile nella realizzazione e restituzione degli elaborati che sono stati generati istantaneamente. È possibile esportare il Diagramma Gantt così creato su altre piattaforme, tra cui Navisworks.

4 Simulazione 4D

4.1 La rappresentazione grafica del cantiere

G. Garzino [30, pp. 213-222] parla dell'Era BIM, un'epoca caratterizzata da grossi mutamenti nel processo e nella gestione dei progetti. La committenza ha richiesto progetti sempre più complessi e articolati nel tempo oltre che nello spazio. In questo quadro generale i PM e i professionisti del BIM hanno sviluppato nuovi metodi informativi e di analisi del cantiere per ridurre i tempi e i costi e indagare le criticità del progetto per prestarle alla committenza. Il risultato di questo processo metodologico per la riduzione dei tempi e costi è stata una attenta programmazione, progettazione e monitoraggio del cantiere. Nello specifico il cantiere edile è il luogo dove avviene la realizzazione del progetto attraverso una sequenza di operazioni e di attività che hanno come esito finale la modifica del territorio. I progettisti e i gestori del processo (PM) identificano questo momento come un momento critico. La transizione dalla progettazione alla messa in opera porta con sé la trasmissione di informazioni ed è riconosciuta la criticità dell'intero sistema cantiere rispetto alla logistica, alla sicurezza e al coordinamento. Il coesistere di figure che hanno ruoli e indirizzi molteplici porta il cantiere ad essere un luogo di alta insicurezza operativa. La caratteristica di unicità rende impossibile una standardizzazione dei processi. I principi che si sono esposti sono alla base della iniziativa da parte dei progettisti e PM di simulare il cantiere prima della messa in opera per gestire con largo anticipo le potenziali problematiche e criticità. Per quanto concerne la programmazione operativa secondo l'interpretazione classica, si è costruito un rapporto di interdipendenza tra il cronoprogramma e la sua virtualizzazione. Secondo questo nuovo modo di concepire la fase di cantierizzazione bisogna quindi collegare alla costruzione dell'opera anche il progetto operativo per simulare e valutare l'approccio migliore. Avviene uno slancio che offre nuove opportunità di crescita in una nuova dimensione, la quarta. Quanto espresso dal D.Lgs. 81/08 è la necessità di comunicare il progetto nella maniera più semplice ed efficace possibile. La simulazione 4D in questo senso aiuta nel comprendere l'evoluzione dei progetti e ad agire di conseguenza avanzando una propria proposta operativa di sicurezza e coordinamento dei cantieri. Questa immediatezza di utilizzo e di gestione del dato (anche virtualizzato graficamente) incontra grandi difficoltà con la metodologia tradizionale. Il settore dell'AEC quindi, per quanto concerne questo aspetto, ha effettuato la transizione dal CAD al BIM per trovare nuovi supporti all'attività di progettazione. La capacità nel BIM di contenere al suo interno informazioni non solo

geometriche ma anche fisiche come quella temporale ha reso immediata la comunicazione senza l'ausilio di elaborati cartacei e non discordanti. Il progetto è tutto racchiuso e spiegato in un unico modello che in base all'utilizzo svela le sue informazioni rendendo inutili rappresentazioni standard e limitando al tempo stesso le interferenze e incongruenze dei possibili elaborati.

4.2 L'Ambiente di simulazione: Navisworks Simulate2020

Nel processo di simulazione 4D e analisi delle interferenze è stato utilizzato il software Navisworks Simulate 2020 della Autodesk. La preferenza della versione 2020 è avvenuta per la piena compatibilità con il programma Revit 2020. L'ambiente possiede una elevata interoperabilità con i formati .MPP (Microsoft Project Document) che è stato utilizzato per la stesura del Gantt di progetto e .RVT contenente il modello del sottopasso. Il programma (in Figura 8181 si osserva l'interfaccia) si presenta non come una piattaforma bensì come uno strumento (può leggere e interpretare informazioni generando elaborati grafici e multimediali ma non può apportare modifiche ai dati di partenza, cioè non può modellare nuove geometrie). La schermata di Navisworks è divisa in 2 aree principali:

- la timeline del progetto
- il visualizzatore

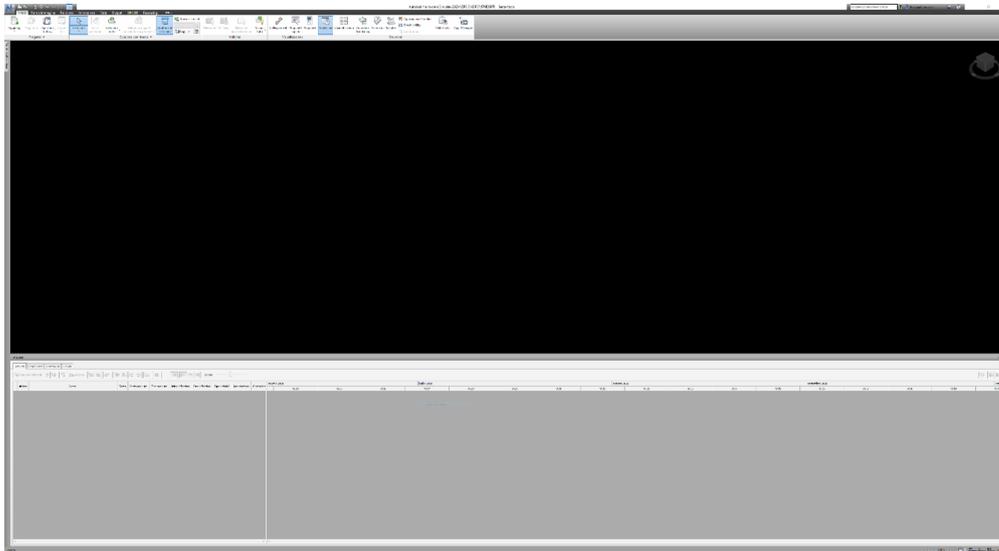


Figura 81-Schermata di avvio di Navisworks 2020

Ai fini della virtualizzazione e simulazione del cantiere si dovranno effettuare delle specifiche procedure selezionando (e attivando) i seguenti strumenti: “Abilitare la struttura di selezione” (di aiuto nell'identificare gli elementi modellati e che funziona come un

navigatore del progetto) e bisognerà selezionare lo strumento “TimeLiner”. In figura sono mostrati i due strumenti da attivare.

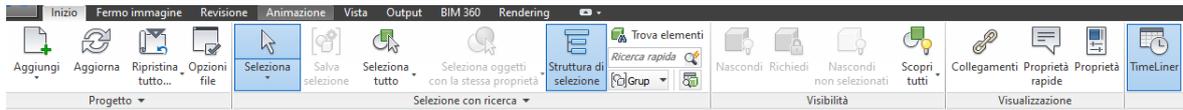


Figura 82-Strumenti di Navisworks da selezionare nella fase di preparazione della simulazione

4.2.1 Inserimento dei dati

Il programma ha la piena compatibilità con la piattaforma Revit e Project. Per preparare i file per prima cosa bisogna recarsi nell'ambiente Revit 2020. Nella scheda modelli aggiuntivi si potrà importare direttamente il modello all'interno dell'ambiente Navisworks. Il percorso è visibile nell'immagine qui in basso.

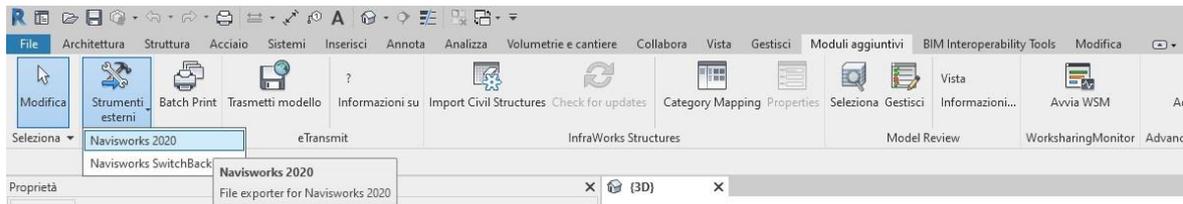


Figura 83-Procedura di esportazione automatizzata verso Navisworks 2020

Questo è possibile perché il programma Navisworks una volta installato analizza se è presente Revit per inserire al suo interno una estensione che lo ricompila e apre Navisworks automaticamente (se non già in esecuzione). A questo punto il modello appare come in figura 84. È possibile notare come le fasi sono state “appiattite”, il programma Navisworks legge le fasi create in precedenza in Revit come un'unica macro fase. I modelli che erano rispettivamente allocati e divisi in viste, ora appaiono tutti in un'unica finestra. Il programma a questo punto è in grado di esportare i modelli presenti nella vista a cui verranno associate le fasi operative di massima scelte e impostate in precedenza.

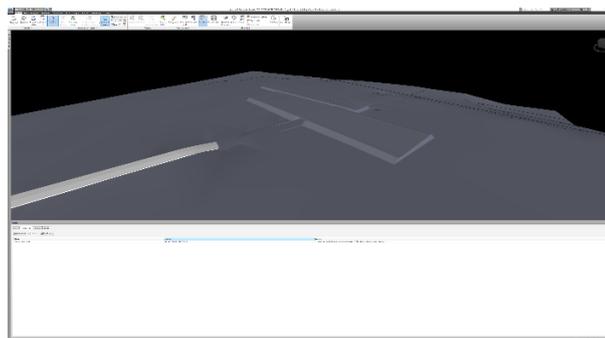


Figura 84-Come appare il modello in Navisworks

Per importare nell'ambiente il cronoprogramma redatto in Project è sufficiente selezionare il file nella scheda "Origine Dati". Si può osservare nella figura 85 tale schermata. Il programma, dopo la compilazione del formato di interscambio di Microsoft Project, aprirà la schermata "Selettore campi" che chiede l'inserimento dei dati da importare (vedere figura 86)



Figura 85-La finestra Origini Dati che serve per importare i file Project all'interno di Navisworks 2020

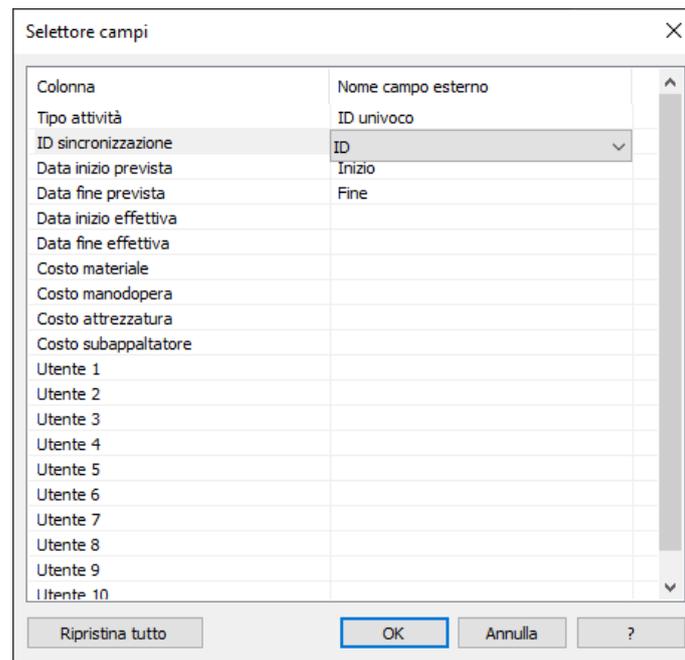


Figura 86-Schermata del selettore campi

I file una volta importati non sono ancora visualizzati all'interno della piattaforma, si dovrà inserire all'interno della finestra "Origine dati" (mostrato nella figura 87) il file Microsoft Project contenente il Gantt di progetto. Una volta inserito all'interno di Navisworks, il programma aprirà una schermata di avviso che chiederà la ricostruzione della gerarchia come è possibile vedere in figura 88.

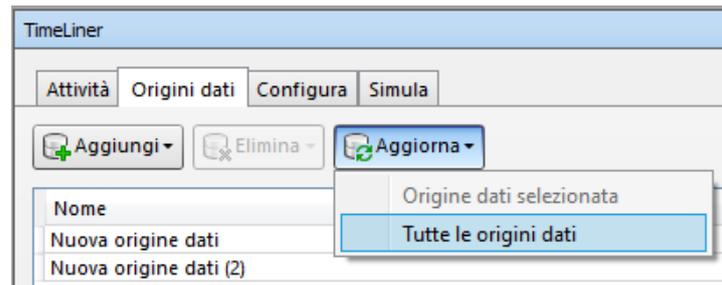


Figura 87-Finestra Origini dati dove è presente la sezione aggiorna

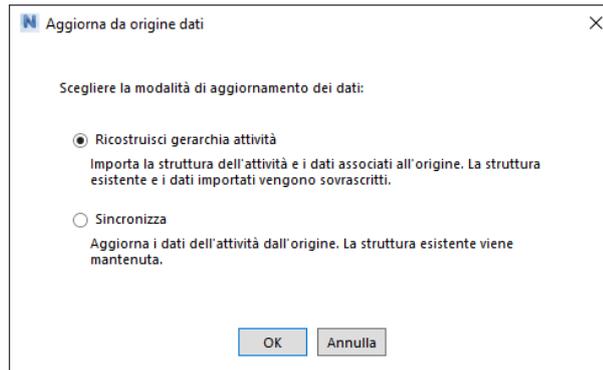


Figura 88-Finestra di aggiornamento dati

Concluso il processo di inserimento dei dati è possibile ritornare alla scheda attività. In Figura 89 è mostrata la verifica relativa alla presenza di eventuali errori nell'importazione. Nel caso in esame non sono state riscontrate anomalie.

Attivo	Nome	Stato	Inizio previsto	Fine prevista	Inizio effettivo	Fine eff.
<input checked="" type="checkbox"/>	Realizzazione di casseformi a perdere per magrone	■	06/05/2020	06/05/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione di calcestruzzo Magrone	■	06/05/2020	06/05/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione gettata del Magrone	■	06/05/2020	07/05/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	<Fondazione del Blocco 1-4 (Nord-Sud)	■	04/05/2020	29/06/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Realizzazione della carpenteria per la struttura di fondazione...	■	18/05/2020	27/06/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Lavorazione e posa ferri di armatura per la struttura di fond...	■	04/05/2020	15/05/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione del calcestruzzo per la struttura di fondazione ...	■	28/05/2020	28/05/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione del getto in calcestruzzo per la struttura di fonda...	■	28/05/2020	01/06/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Disarmo della carpenteria per la struttura di fondazione del b...	■	17/06/2020	29/06/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Pareti controterra del Blocco 1-4 (Nord-Sud)	■	06/07/2020	26/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Realizzazione della carpenteria delle pareti per il blocco 1-4 (...)	■	21/07/2020	30/07/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Lavorazione e posa ferri di armatura delle pareti per il blocco...	■	06/07/2020	20/07/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione del calcestruzzo delle pareti per il blocco 1-4 (n...	■	31/07/2020	31/07/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione del getto in calcestruzzo delle pareti per il blocco ...	■	31/07/2020	04/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Disarmo della carpenteria delle pareti per il blocco 1-4 (nord-...	■	14/08/2020	26/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Rinforzo della pavimentazione stradale	■	07/05/2020	28/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Movimentazione del terreno per il rinforzo del conglomerato ...	■	07/05/2020	07/05/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione reintegro del rinforzo per il rinforzo del conglome...	■	26/08/2020	28/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Movimentazione e stoccaggio di materiali di risulta del rinforz...	■	28/08/2020	28/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Livellamento del rinforzo	■	28/08/2020	28/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Pavimentazione stradale	■	31/08/2020	01/09/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione di malte, cemento, asfalto	■	31/08/2020	31/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Posa di rivestimenti realizzati in opera (asfalto, cemento) str...	■	31/08/2020	01/09/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Rifinitura delle superficiali pavimentate e/o rivestite strato 1 co...	■	31/08/2020	01/09/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Rinterro	■	28/08/2020	03/09/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Movimentazione del terreno per il rinterro del sito	■	28/08/2020	31/08/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione del rinterro del sito	■	01/09/2020	03/09/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Movimentazione e stoccaggio di materiali di risulta del rinter...	■	03/09/2020	03/09/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Terreno esistente	■	01/05/2020	03/05/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Terreno escavato	■	04/05/2020	02/09/2020	N/D	N/D
<input checked="" type="checkbox"/>	Tratto RA4+T1	■	04/09/2020	11/09/2020	N/D	N/D

Figura 89-Schermata attività

4.2.2 Preparazione della simulazione 4D

Inseriti i dati, l'operazione successiva è stata allocare i modelli di revit alle specifiche fasi di lavorazione. L'allocazione è avvenuta collegando gli elementi precedentemente modellati alle rispettive attività. Ripetuta questa operazione per tutti gli oggetti che compongono il sottopasso si è passati alla fase di definizione dell'attività. Navisworks nel simulare un oggetto adatterà tre impostazioni (Figura 90):

- Costruzione
- Demolizione
- Temporaneo

Attivo	Nome	Stato	Inizio previsto	Fine prevista	Inizio effettivo	Fine effettiva	Tipo attività	Associazione	Costo totale
<input checked="" type="checkbox"/>	Realizzazione di casseformi a perdere per magrone		06/05/2020	06/05/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione di calcestruzzo Magrone		06/05/2020	06/05/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione gettata del Magrone		06/05/2020	07/05/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	<Fondazione del Blocco 1-4 (Nord-Sud)		04/05/2020	29/06/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	
<input checked="" type="checkbox"/>	Realizzazione della carpenteria per la struttura di fondazione...		18/05/2020	27/05/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Lavorazione e posa ferri di armatura per la struttura di fondazione...		04/05/2020	15/05/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione del calcestruzzo per la struttura di fondazione ...		28/05/2020	28/05/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione del getto in calcestruzzo per la struttura di fonda...		28/05/2020	01/06/2020	N/D	N/D	Costruzione		
<input checked="" type="checkbox"/>	Disarmo della carpenteria per la struttura di fondazione del b...		17/06/2020	29/06/2020	N/D	N/D	Demolizione		
<input checked="" type="checkbox"/>	Pareti controterra del Blocco 1-4 (Nord-Sud)		06/07/2020	26/08/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	
<input checked="" type="checkbox"/>	Realizzazione della carpenteria delle pareti per il blocco 1-4 (...)		21/07/2020	30/07/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Lavorazione e posa ferri di armatura delle pareti per il blocco...		06/07/2020	20/07/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione del calcestruzzo delle pareti per il blocco 1-4 (n...		31/07/2020	31/07/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione del getto in calcestruzzo delle pareti per il blocco ...		31/07/2020	04/08/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Disarmo della carpenteria delle pareti per il blocco 1-4 (nord-...		14/08/2020	26/08/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Rinforzo della pavimentazione stradale		07/05/2020	28/08/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	
<input checked="" type="checkbox"/>	Movimentazione del terreno per il rinforzo del conglomerato ...		07/05/2020	07/05/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Esecuzione reintegro del rinforzo per il rinforzo del conglome...		26/08/2020	28/08/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Movimentazione e stoccaggio di materiali di risulta del rinforz...		28/08/2020	28/08/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Livellamento del rinforzo		28/08/2020	28/08/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Pavimentazione stradale		31/08/2020	01/09/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Preparazione di malte, cemento, asfalto		31/08/2020	31/08/2020	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Posa di rivestimenti realizzati in opera (asfalto, cemento) str...		31/08/2020	01/09/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	
<input checked="" type="checkbox"/>	Rifinitura delle superfici pavimentate e/o rivestite strato 1 co...		31/08/2020	01/09/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	
<input checked="" type="checkbox"/>	Dintorno		28/08/2020	03/09/2020	N/D	N/D	Costruzione	Selezione esplicita	

Figura 90-Nella schermata attività è mostrata in Tipo attività le possibili alternative

Navisworks interpreta l'oggetto in modo differente a seconda che si scelga Costruzione, Demolizione o Temporaneo. Se si seleziona Costruzione il programma mostra l'oggetto fino alla sua materializzazione e resta immutato fino alla fine della simulazione. Con Demolisci gli oggetti non sono trattati come modelli solidi ma vengono impostati con colore rosso e risultando trasparenti, poiché "esistono" solo nell'intervallo di tempo dell'attività. Con Temporaneo gli oggetti vengono impostati per "nascere" ed "esistere" soltanto nell'intervallo di tempo del Gantt.

Per quanto riguarda il terreno di scavo è stato scelto di selezionare l'opzione Temporaneo e per la fase di Rinterro l'opzione costruisci. Tutti gli altri elementi presenti sono stati trattati con l'opzione Costruisci.

4.3 Risultati

Mediante la schermata “Simula” il programma processa i dati inseriti così come indicato nei paragrafi precedenti. È possibile scegliere la velocità di esecuzione della simulazione e navigare con il mouse in tempo reale la stessa. Navisworks permette anche di agire sul modello mentre viene processato, nascondendo alcuni oggetti se necessario. Nelle pagine seguenti sono mostrati dei fotogrammi ricavati dalla simulazione.

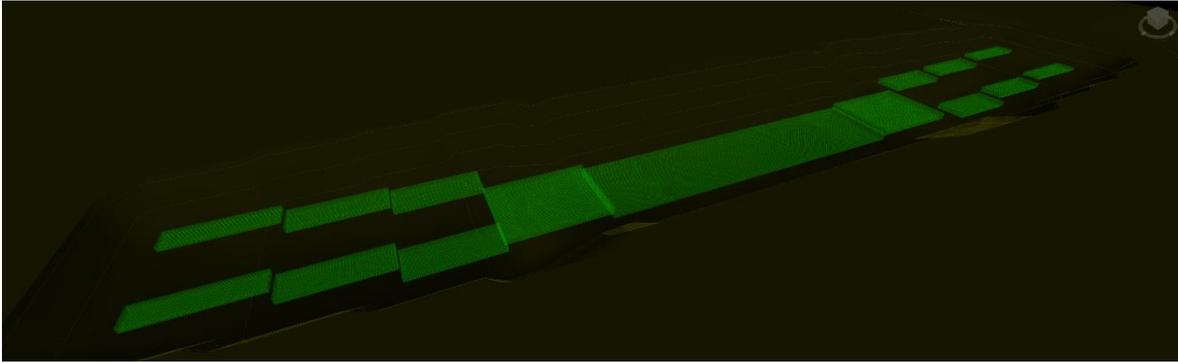


Figura 91-Fase di creazione del magrone

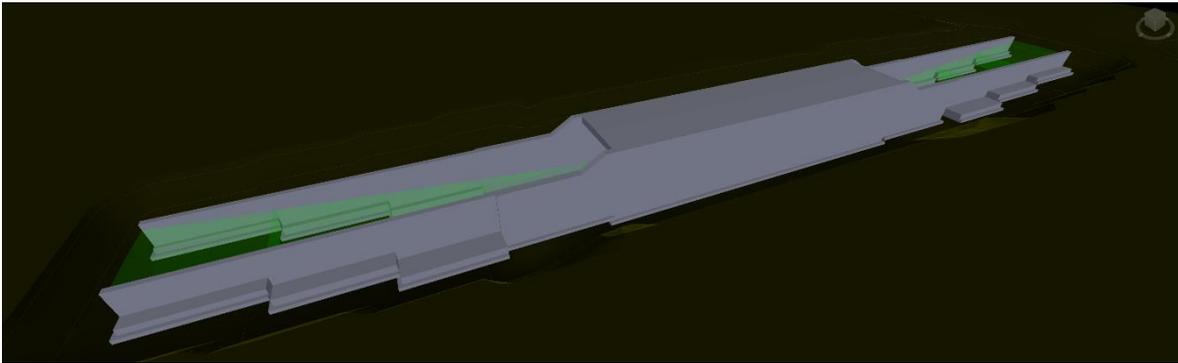


Figura 92-Fase in cui sono state completate le strutture

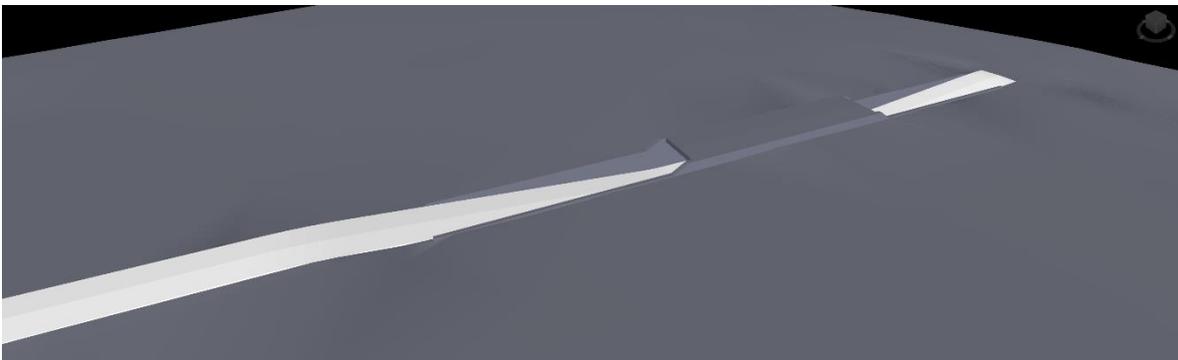


Figura 93-Fase del rinterro del sottopasso

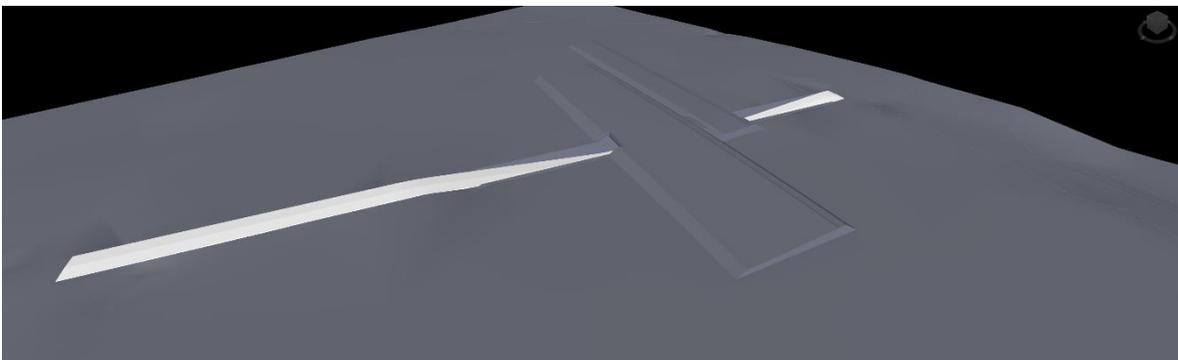


Figura 94-Fase in cui il progetto è totalmente completato

5 Sviluppi futuri

5.1 Introduzione: verso il futuro della progettazione

Nel precedente capitolo si è arrivati a definire una nuova dimensione del cantiere, la quarta dimensione, il tempo. Il Project Management è parte integrante di un sistema più vasto inserito nella quarta rivoluzione industriale che cambia il modo di pensare, progettare e approcciare al progetto.

5.2 Cosa è l'Industria 4.0

R. Conte della società Brain Wise [31] e Mercurio [32] spiegano l'industria 4.0 meglio conosciuta come quarta rivoluzione industriale. La tecnologia ha permesso di aprire nuovi scenari e nuovi mercati con la conseguente generazione di nuovi metodi e processi per gestirli (in Figura 95 una infografica per capire sia l'attuale rivoluzione che le precedenti). La quarta rivoluzione industriale si contraddistingue dalle precedenti soprattutto per il livello di espansione e crescita senza confini che offre la rete.

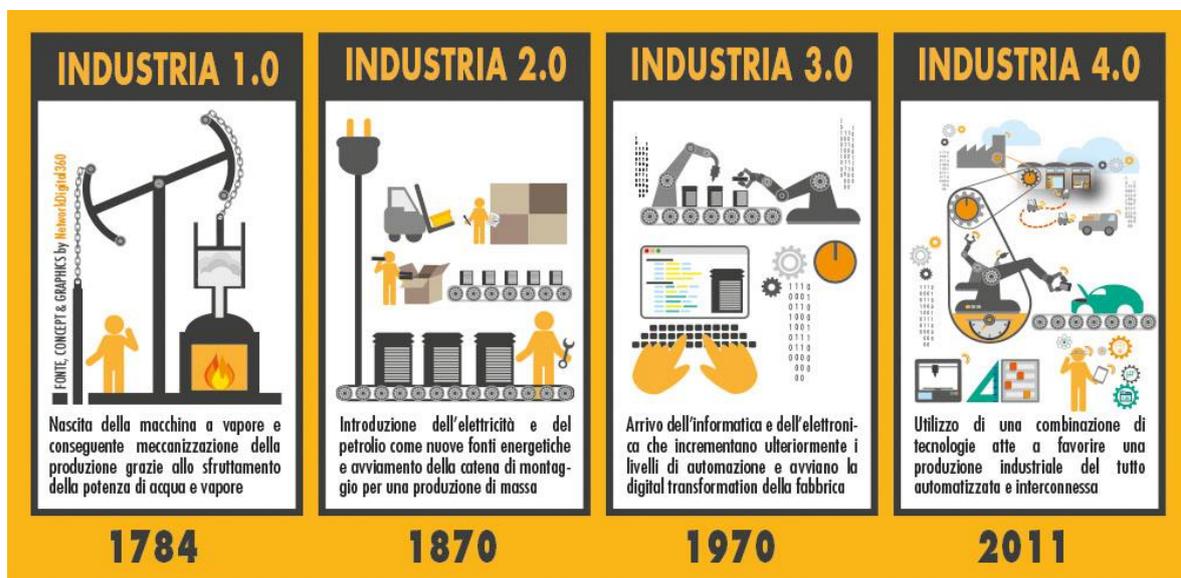


Figura 95-Schema riassuntivo dell'inquadramento storico dell'industria 4.0 [33]

Si parla appunto di “Internet of Things” o “*internet delle cose*”. La precedente rivoluzione ha visto la nascita dell'automazione mentre la quarta si occupa di tutto il sistema di processi e delle decisioni che regolano la precedente. Si intende perciò un salto performativo non equiparabile a nessun'altra rivoluzione industriale passata. Non si tratta

quindi di una soluzione o di un prodotto specifico ma un sistema strutturato che non riguarda solamente scelte tecnologiche ma anche cambi organizzativi e di interfaccia uomo-macchina. Non è dunque una rivoluzione che ha prodotto oggetti rivoluzionari, ma una gestione delle cose che ha mosso il mercato che si è adattato di conseguenza. Come si evince dalle asserzioni di Sergio Bellucci [33], una definizione chiara e univoca non è stata ancora generata. Molte sono le variabili e le interazioni tra gli elementi di questo sistema che non permettono una definizione univoca né un vero e proprio punto di partenza. La multinazionale McKinsey [32] in un rapporto annuale del 2017 ha posto in rilievo quattro direttrici su cui la tecnologia sta agendo nei processi di produzione e gestione. Si sta spingendo e si sta adattando per collocarsi nella quarta rivoluzione industriale e queste direttrici sono:

- Utilizzo dei dati e delle informazioni (in questa epoca sono centralizzati e conservati in un processo perpetuo di accrescimento e affinamento degli stessi).
- Utilizzo di analytics, le informazioni non sono raccolte ma sono incanalate nel processo decisionale. Sono di fatto trasformate in conoscenza.
- Utilizzo di nuove interfacce uomo-macchina, diretta conseguenza del processo di automatizzazione dell'industria che facilita le attività dell'uomo.
- Utilizzo del digitale. L'uso di internet e di nuovi sistemi di comunicazione per diminuire i costi e aumentare l'ottimizzazione del rendimento (di una qualsiasi operazione sia industriale che non). Questa ha ricadute dal mondo digitale a quello reale.

5.3 Industria 4.0 e InfraBIM

A.Osello [34] si concentra sull'industria nel settore dell'AEC è confida che con l'avvento di un'adeguata maturità della quarta rivoluzione il processo produttivo nella filiera delle costruzioni divenga meccanizzato e che assuma interdipendenza tra tutte le sue costituenti. Per far sì che ciò avvenga la filiera ha bisogno di:

- significativi investimenti per effettuare una totale digitalizzazione (che comprende acquisizione dell'hardware, sapere gestionale di esso e mantenimento) oltre che alla formazione dei soggetti coinvolti nel processo
- Abbandono dell'individualismo che permea tuttora il settore dell'AEC

In questa situazione il BIM assume un ruolo cardine in quanto anche esso non è un oggetto o uno strumento ma è al tempo stesso prodotto e motore della tecnologia e dei processi che avvengono in essa e che ci permette di concepire un'era digitale che non è solo nell'internet ma ha ripercussioni nel mondo reale e nelle persone che interagiscono con essa. In particolar modo per quanto concerne le infrastrutture (infraBIM) esso ha portato notevoli benefici con l'introduzione dell'interoperabilità che ha favorito lo scambio di informazioni che in origine in questo specifico settore era limitato e spesso gli attori che ne facevano parte non avevano idea della direzione del progetto e della sua direzione per quanto concerne le scelte decisionali che erano settorializzate e private. I sistemi che hanno favorito questo work-flow in questo ambito dell'industria si sono trovati a crescere con la creazione di standard che hanno regolato il settore. Tra questi quelli che hanno più contribuito e che si sono illustrati nella trattazione vi sono la UNI 11337 e la PAS 1192-2 altre che si possono citare per comprendere la vastità del sistema normativo sono la ISO 29481 (che regola la consegna e la gestione delle informazioni normando sia la metodologia che il formato di interscambio [35]) e le OmniClass (sistema di classificazione creato negli USA ed è orientato all'organizzazione di strutture dati e non [36]). Con la definizione di questi standard grandi entità come l'ANAS (Ente nazionale per le strade) si sono focalizzate su due temi principali per quanto concerne l'infraBIM che sono:

- il tema relativo alla sperimentazione, sviluppo e rappresentazione che si pone l'obiettivo di chiarire realtà molto complesse delimitandole in un capitolato informativo (CI) che tenga conto dei pGI (piani di Gestione Informativa come in UNI 11337-5:2017).
- Il tema relativo alla raccolta dati. Si vuole creare un archivio di oggetti parametrici comprendenti infrastrutture divise per tipologie (viarie, energetiche ecc.) definendo il LOD (livello di sviluppo) formato a sua volta dalla chiara definizione e somma del livello informativo e del livello dettaglio per ogni fase del ciclo di vita dell'opera.

Con questi due chiari obiettivi un eventuale progetto può essere virtualizzato e può restituire informazioni testuali e multimediali. Nell'ottica di accrescimento della banca dati BIM si è pensato inoltre all'introduzione di un template di progetto, ovvero un file standard e base che contenga particolari dati della modellazione informativa e che possa essere utilizzato in più progetti. Grazie al fatto che il settore dell'InfraBIM è in gran parte iterativo, si sta procedendo a originare delle best practice che costituiscano la struttura su cui effettuare

il progetto o una sperimentazione che grazie alla ripetizione si affinerà sempre più. Nell'immediato futuro dell'InfraBIM si stanno realizzando sperimentazioni di nuove tecnologie che legate al tema della comunicazione si pongono come nuovo strumento di comunicazione, analisi e gestione dei dati tramite la realtà virtuale (VR immersiva e non) e realtà aumentata (AR).

5.4 La realtà virtuale

Il giornale delle scienze psicologiche [37] afferma come di realtà virtuale si iniziò a parlare dagli anni '30/'40 del 1900. Stanley Weinbaum nel suo breve racconto "The Pygmalion's Spectacles" parla di caschi per stimolare il senso della vista ma egli nel racconto si spinge oltre affermando che stimolino anche l'olfatto e gusto. Nell'ambito medico invece si può risalire al 1989 [37], anno in cui Jaron Lanier coniò il termine "Virtual Reality" e fondò la prima compagnia di ricerca e sviluppo su di essa, la VPL Research. Dal campo medico la realtà virtuale passò entro pochi anni al settore della psicologia come aiuto nelle terapie per finire all'alba del XXI secolo nell'industria dell'intrattenimento e molto altro ancora. Il settore dell'AEC solo recentemente ha sfruttato l'uso della realtà virtuale nelle sue ricerche e sperimentazioni sul campo. La VR si compone di fattori esperienziali e tecnologici. Riguardo l'aspetto esperienziale la VR non permette solo di vedere in modo stereoscopico un oggetto ma può rendere protagonisti dell'azione. L'osservatore grazie all'azione di strumenti esterni può agire e percepire (con i sensi della vista, udito e del tatto) il mondo virtualizzato manipolando e modificando l'ambiente circostante oltre che esplorarlo. Dunque la VR è nata con l'idea di replica del mondo (sia reale che non reale) superandone i limiti che sussistono nel mondo reale. Nella virtualizzazione il protagonista può anche manipolare il mondo per far emergere informazioni e dettagli nascosti come le proprietà fisiche e chimiche di un oggetto che sono rappresentate nella modalità scritta in un ambiente multimediale e non statico.

5.4.1 Gli strumenti della realtà virtuale

In base alla strumentazione, la VR può essere suddivisa in [37]:

- Immersiva. Grazie a caschi di realtà virtuale che possono incanalare sensazioni sonore e visive. In aggiunta ad esse esistono estensioni che permettono di manipolare l'ambiente aggiungendo il senso del tatto e estensioni che permettono di navigarlo.

- Semi-immersiva. Mediante stanze e schermi che fanno immergere l'osservatore nel mondo virtuale. La modifica della simulazione avviene tramite sensori che osservano le azioni dell'osservatore e ne modificano di conseguenza la simulazione.
- Non immersiva. L'osservatore guarda attraverso un monitor che funge da apertura sul mondo virtualizzato e può interagire con esso tramite mouse, tastiera e altra strumentazione

5.5 la realtà aumentata

Per realtà aumentata (AR) si intende la riproduzione di una realtà manipolata in cui la normale realtà che possiamo esperire è mischiata con informazioni e dati che non appartengono al mondo reale. In questo preciso rapporto la realtà domina sul mondo virtuale modificandolo in base ai cambiamenti che avvengono nel suddetto. L'AR dunque è nata come un potenziamento del mondo reale e non dall'Ideale di rappresentare la realtà [37]. La realtà aumentata può essere visualizzata in:

- real-time (esempio sono schermi e finestre trasparenti che hanno sulla loro superficie informazioni che cambiano con l'ambiente)
- non real-time (ad esempio il cinema)

Dal punto di vista storico l'AR si colloca nel 1957 [38] con l'invenzione del Sensorama Simulator di Morton Heiling. Questo apparecchio embrionale erogava odori e permetteva di mescolare tramite diverse schermate varie informazioni non reali. Nel 1966 il sistema ha una evoluzione grazie a Ivan Sutherland con la sua "Spada di Damocle" che permetteva di mescolare la realtà tramite uno strumento indossabile che ricordava vagamente degli occhiali da vista. Nel 1990 Tom Caudell fu il primo a coniare il termine di realtà aumentata. Utilizzò questo sistema nella proiezione di diagrammi e grafici per la Boeing creando il primo prototipo di applicazione a uso industriale. Questo avvenimento portò all'interesse della US Air Force che lo sviluppò e lo impiegò in ambito militare pochi anni dopo. Tutt'oggi il sistema è in continuo sviluppo e ricerca nell'ambito della HCI (interazione uomo-macchina), disciplina che riguarda la preparazione, la stima e l'implementazione di sistemi informatici interagenti per l'uso umano.

5.5.1 *Gli strumenti della realtà aumentata*

La realtà aumentata si compone principalmente di “finestre” [38]. I principali strumenti della realtà aumentata sono:

- Schermi (che mescolano tramite delle telecamere l’ambiente reale a quello virtuale)
- Occhiali (che mescolano il mondo virtuale al reale)

A sua volta il sistema per sincronizzare i due mondi può usare ha due opzioni di sviluppo:

- tramite l’ausilio di marcatori
- senza marcatori

Le informazioni che vengono visualizzate dagli strumenti inoltre possono rendere l’esperienza AR in:

- debole. Poco accurata e l’integrazione con l’ambiente reale è bassa o del tutto nulla, si avvale di strumenti come Smartphone o PC.
- Forte. Caratterizzato da una elevata accuratezza e ottima integrazione con l’ambiente circostante. L’interazione con essi avviene in modo naturale e presenta HMD.

5.6 Usi della VR/AR al di fuori settore dell’AEC

Da quando esiste la VR/AR molti settori sono mutati e hanno assorbito tale innovazione. Questa tecnologia che a un occhio inesperto può riguardare solamente il campo dell’intrattenimento, in realtà permea oramai quasi ogni settore dell’industria. In questo paragrafo vengono citati solamente alcuni esempi rappresentativi di tale espansione e non rappresentano in alcun modo la sua totalità ma, permettono di osservare tutto l’insieme e come l’industria 4.0 ne giovi nel suo uso.

Nell’ambito militare [39] Regno Unito e USA hanno adottato tale tecnologia per quanto riguarda o “il suo grado di simulazione” o “la sua possibilità di simulare”. Dal punto di vista organizzativo i benefici della VR/AR in ambito militare rimangono localizzati nella riduzione dei costi sia di gestione che di trattamento del personale e in minima parte nella informazione e gestione dei dati. In questi paesi è utilizzata in tutti i settori dell’esercito come: marina, guardia costiera, aeronautica ecc. La VR è utilizzata nell’ottica di allenare il soldato/allievo simulando una vasta gamma di ambienti e situazioni nel modo più realistico possibile. Simulazioni di volo, scenari di battaglia, addestramento medico e simulazione di

guida. Un altro uso massiccio è il trattamento di disturbi post traumatici (PTSD). Questi disturbi compaiono in seguito a eventi traumatici che si sono verificati in azione durante le operazioni militari. La procedura di trattamento che si è andata a definire è la Virtual Reality Exposure Therapy (VRET) [39].

L'industria sportiva [39] utilizza la VR/AR per effettuare e reiterare azioni al fine di migliorare le prestazioni dei giocatori diminuendo il tempo di allenamento. La VR è stata anche utilizzata per migliorare l'esperienza dello spettatore di un evento sportivo. Le emittenti sportive stanno generando nuovi modelli alternativi di business tramite la vendita di biglietti virtuali per permettere di calare l'osservatore all'interno dell'azione.

Nella psichiatria la VR/AR è studiata per rievocare un evento traumatico come un lutto [40] nel tentativo di venire a patti con l'evento e guarire. Il mostrare le paure o le ansie è usato anche come metodo di trattamento per curare e affrontare la depressione. La tecnologia della realtà virtuale può fornire un ambiente sicuro per i pazienti che entrano a contatto con le loro paure.

Gli studenti di medicina e odontoiatria hanno iniziato a utilizzare la realtà virtuale per praticare interventi chirurgici e procedure [39]. Questa tecnologia permette un benefit al sistema sanitario nazionale aumentando la specializzazione dei tirocinanti diminuendo errori potenzialmente fatali e inoltre, il costo del mantenimento di tale strumentazione rientra perfettamente nei limiti di budget imposti.

La VR/AR si estende anche oltre gli studi specialistici [39]. Gli studenti fare esperimenti (grazie ad ambienti virtuali con integrato un motore fisico), gite virtuali ecc. Si è dimostrata particolarmente efficace nel trattare studenti affetti da patologie dello spettro autistico (ASD) e disturbi dell'attenzione. Floreo [39] ha sviluppato scenari per aiutare i bambini affetti da patologie ASD ad apprendere e indicare, stabilire un contatto visivo e accrescere le connessioni sociali.

Meno noto è l'uso della VR/AR nella moda [39] dove ha avuto un impatto piuttosto profondo. La simulazione degli abiti, del loro ingombro e delle loro qualità materiali, permette di ricreare gli ambienti e strutturarne la migliore delle disposizioni. Consente inoltre nel caso vi sia necessità di creare e modificare la segnaletica informativa dei reparti e dei singoli indumenti. Marchi come Tommy Hilfiger, Coach e Gap hanno iniziato ad

adottare tale tecnologia anche nell'esperienza di acquisto e nelle sfilate di moda consentendo ai potenziali di clienti di provare virtualmente gli abiti.

5.7 VR/AR nel settore dell'AEC

La realtà aumentata (AR) offre nuovi orizzonti applicativi per il settore industriale dell'AEC [41]. La comunicazione arricchita di schermi e nuovi dispositivi indossabili permette un ingaggio estremamente semplice e funzionale nello spiegare e rispondere alle domande del fruitore. L'utility Hera[41], utilizzata nella manutenzione degli impianti. Le aziende possono ridurre i tempi di fermo macchina non pianificati, comprimere i costi e focalizzarsi sull'eliminazione del problema. Secondo la ricerca di *Digital factories 2020 Shaping the future of manufacturing* [41], il 98% delle aziende si aspetta un aumento dell'efficienza grazie alle tecnologie AR come il Manufacturing Execution System (MES) che indicano la manutenzione predittiva. Nell'impiantistica e nella sua manutenzione, l'AR si focalizza come strumento informativo per sistemi idraulici, elettrici, caldaie ecc. A supporto della workforce automation un tablet o smartphone illustra e analizza tramite una Help desk virtuale i tracciati e le anomalie e come bisogna procedere ad esse indicando una sequenza operativa che può essere ampliata dal supporto di soggetti esterni.

L'industria delle costruzioni a livello mondiale è afflitta da un problema, la gestione della produttività, afferma Virtualist [42]. Negli ultimi 20 anni la produttività nel settore è cresciuta del solo 1% annuo che è circa un quarto dell'intero settore manifatturiero [42]. Il *6th annual construction technology report* [43] del 2017 ha portato come su 2690 aziende leader del settore dell'industria delle costruzioni, l'AR/VR svolga un ruolo cardine come punto di innovazione. Questa tecnologia consente di migliorare l'intero processo progettazione, costruzione e gestione dell'opera. L'AR nel settore dell'AEC ha questa serie di vantaggi [42]:

- Visualizzazione intuitiva di modelli in un contesto interno o esterno
- Revisione del progetto con diversi livelli informativi in base alla fase di avanzamento dell'opera e alla figura professionale che osserva
- Controllo qualità e ispezioni
- Illustrazione e informazione di oggetti nascosti o non accessibili
- Facilitare la gestione durante il ciclo di vita dell'edificio

La McCarthy Building Companies [42] attiva da oltre 150 anni nel settore delle costruzioni afferma che l'AR ha migliorato la gestione dei progetti complessi e di grandi opere come ospedali. Nei progetti di grandi dimensioni che hanno una lunga durata, afferma McCarthy Building Companies [42], che minimizzare gli errori è essenziale perché anche la minima svista a livello progettuale può provocare derivate catastrofiche in termini di tempi e costi, oltre che la possibilità che si verifichino incidenti. Con l'AR l'azienda afferma che è stata in grado di ridurre i tempi da mesi di lavoro a poche ore. Altro vantaggio che si annovera nell'uso della AR è l'uso del senso di scala dell'opera. La volumetria così osservata, nella sua tridimensionalità permette di apprezzare gli spazi e la sua organizzazione. Questo uso è ampiamente sfruttato nel settore dell'immobiliare e nell'design di interni.

A fronte di questi vantaggi precedentemente elencati, È stata condotta una ricerca sulla minimizzazione dei rischi dalla società Gilbane Building Company [42] che è stata sempre ancorata all'uso delle metodologie standard CAD-cartaceo. Essa ha condotto un esperimento utilizzando i *Microsoft HoloLens* per revisionare un modello 3D virtuale della Dearborn STEM Academy di Boston. L'azienda grazie all'AR e alla sua capacità di individuare visivamente le interferenze ha individuato una anomalia nel telaio strutturale di circa 1900 mq. La correzione di questo errore strutturale nella fase di progettazione ha permesso di evitare una derivata catastrofica che sarebbe costata 70 milioni di dollari.

Il settore delle infrastrutture al contrario di molti altri appartenenti all'AEC si sta affacciando solamente di recente a questa tecnologia per scoprirne i vantaggi e i potenziali sviluppi nel proprio ambito. La Zigurat Global Institute of Technology [44] afferma che le tecnologie che riducono il contatto da uomo a uomo, automatizzano i processi e aumentano la produttività tra le distanze sociali sono in aumento. Diverse società hanno iniziato a sperimentare l'uso della realtà virtuale e hanno riesaminato il loro flusso di lavoro. La società AEGEA [44] che detiene il 23,6% del mercato brasiliano per quanto concerne il settore igienico-sanitario, ha condotto con l'istituto Zigurat Global Institute of Technology una ricerca volta a capire come i processi BIM e gli strumenti VR possano migliorare la gestione e i processi. La ricerca ha quindi descritto come BIM e la VR abbiano influenzato il processo collaborativo. La VR ha stimolato la collaborazione con settori e professioni differenti, il modello delocalizzato ha permesso a tutti gli attori del progetto di intervenire e progettare con una diversa prospettiva. La VR ha aiutato in questa ottica la negoziazione. L'AEGEA tramite l'uso di laser scanner e droni ha elaborato viste VR sempre aggiornate sul proprio

patrimonio infrastrutturale offrendo visioni molto più intuitive e interattive della controparte cartacea che soffre della perdita dei dati nel lungo periodo. La Zigurat Global Institute of Technology afferma [44]:

<<È sicuramente una nuova visione nella gestione del progetto e del funzionamento delle infrastrutture generate dall'esperienza immersiva, una vera rivoluzione con la combinazione di queste tecnologie di acquisizione, elaborazione e generazione di realtà sul campo. Le possibilità di interazione sono impressionanti con i gemelli digitali della struttura all'interno dell'ambiente virtuale: puoi camminare o sorvolare l'impianto di trattamento, toccare le apparecchiature, i tubi e gli oggetti, incontrarti in tempo reale con altri professionisti all'interno della struttura anche se migliaia di chilometri di distanza (multiutente), eseguire misurazioni con precisione centimetrica, simulare l'implementazione di progetti e il funzionamento del sistema, formare professionisti senza rischi, visualizzare le informazioni istantanee di dati analitici e operativi in un ambiente amichevole.>>

La VR genera una maggiore consapevolezza dell'ambiente circostante. Con essa si ha la piena cognizione delle scelte che si adoperano, indipendentemente dall'area o dalla formazione del professionista.

5.8 VR/AR nel Project Management

Z. A. Dodevska e M. Mihic [45] spiegano nell'European Project Management Journal come queste nuove tecnologie siano entrate in contatto con la disciplina del PM. La VR/AR ha stravolto il modo di concepire il progetto per un PM, non si tratta soltanto delle procedure ma anche delle pratiche inteso come documentazioni informative e elaborati che hanno plasmato un nuovo modo di pensare. La disciplina del PM abbraccia innumerevoli campi e inquadrala nell'innovazione BIM unita alla VR/AR nella sua totalità sarebbe impossibile. Per quanto concerne la disciplina del PM applicata al settore dell'AEC e con particolare attenzione al settore delle infrastrutture Z. A. Dodevska e M. Mihic hanno creato una tabella SWOT (figura 96) che analizza in modo didascalico e infografico i vantaggi che questa tecnologia può apportare al PM. La matrice mostra ai quattro vertici in ordine dall'alto verso il basso, da sinistra verso destra i punti di forza, debolezza, opportunità e criticità. I benefici nell'adozione dell'AR/VR sono utili nel processo decisionale e nella negoziazione di progetti complessi. Questa caratteristica è essenziale dal momento in cui un errore può significare ricadute in termini economici e temporali che il committente non può sostenere.

Importanza fondamentale nel processo decisionale è la collaborazione remota che offre tale tecnologia. Riduce gli spostamenti, i tempi di rottura ecc. L'aumento della produttività è un altro fattore essenziale, concetti complessi possono essere spiegati velocemente senza la redazione di elaborati grafici esosi in termini di tempo che possono generare confusione nell'osservatore. Inoltre, consentono in modo molto efficiente il monitoraggio di macchine e processi utili nella fase di controllo e azione sul progetto. Lo stravolgimento che ha portato questo strumento nel PM risiede nella convalida del progetto. La visualizzazione dei prodotti futuri ora può essere presentato ai clienti nella fase di sviluppo. La fase di test in questa ottica azzerà i costi, si può simulare e gestire l'intero progetto in un ambiente controllato e osservato da più figure in varie angolazioni e fasi temporali. Z. A. Dodevska e M. Mihic [45] continuano elencando i fattori scoraggianti per l'implementazione dell'AR/VR nel PM che in particolare ricadono nei requisiti hardware e software e svolgono un vero e proprio ruolo di filtro a questo modo di approcciare il progetto. L'impatto che una tecnologia AR/VR ha su un progetto in termini di costi sono notevoli in relazione alla dimensione del progetto, per opere di piccole dimensioni il mantenimento e la gestione possono essere un fattore discriminante considerando il settore che è composto in gran parte da piccole/medie imprese e non da giganti dell'industria. La strumentazione AR/VR è in forte crescita nel settore dell'AEC e il PM che esiste nella dimensione del progetto, insegue anch'esso tale tecnologia asseriscono Z. A. Dodevska e M. Mihic [45]. Si stima che nel 2020, secondo i mercati, la tecnologia AR/VR sfiori i 150 miliardi di dollari. Nonostante ciò i progetti AR sono ancora in fase di dimostrazione in molte aziende, il 48% delle aziende intervistate da PTC nel 2017 indica Z. A. Dodevska e M. Mihic [45], stanno pianificando la transizione a tale tecnologia entro un anno e il 26% entro due anni. Nella pagina seguente si può osservare l'analisi SWOT che mostra in modo riassuntivo quanto detto fin ora.

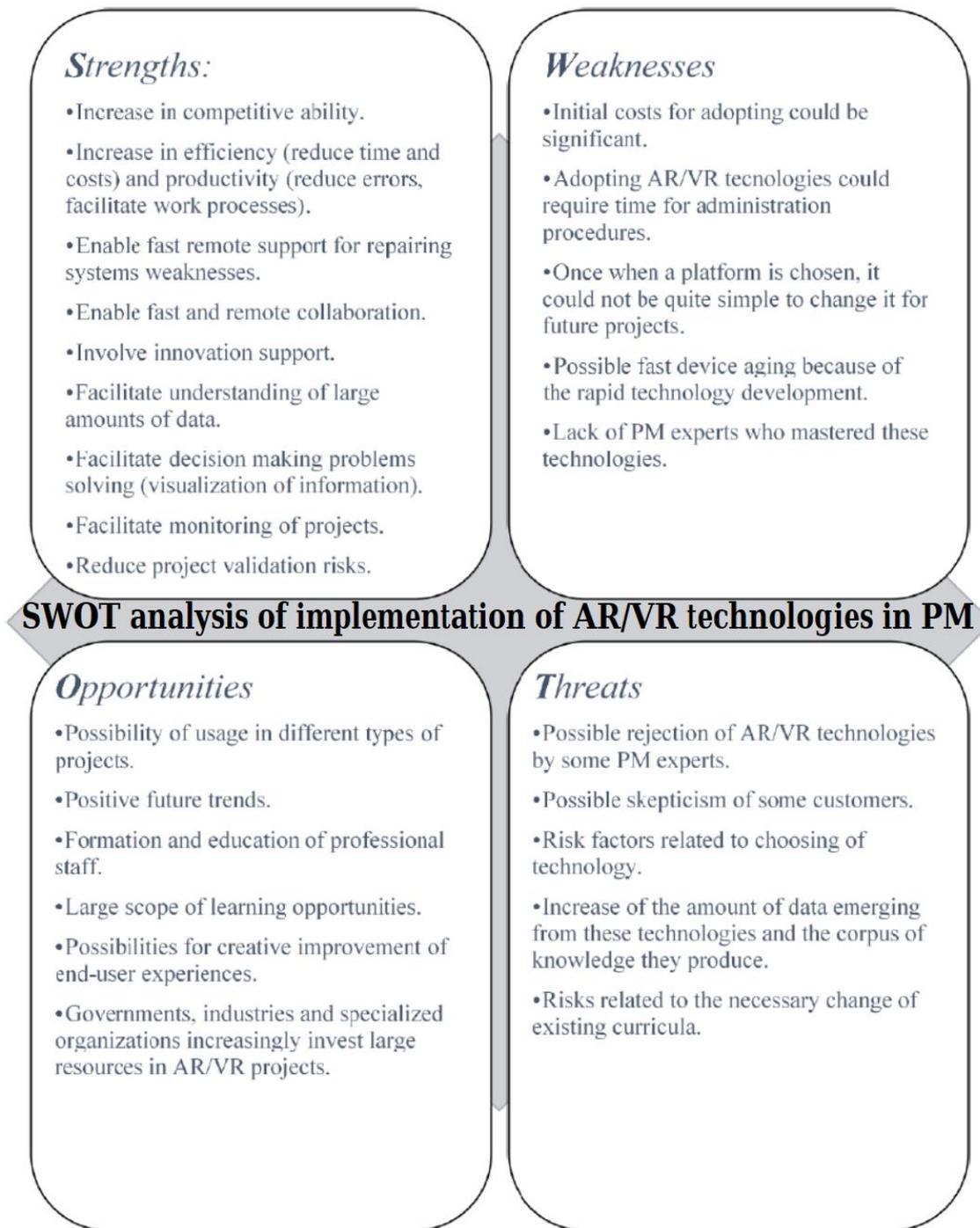


Figura 96-Analisi SWOT dell'implementazione AR/VR nel PM {10}

5.9 VR/AR nei cantieri

E' possibile integrare il caso studio con tale tecnologia e sfruttarla al pieno del suo potenziale. Nella trattazione è stata svolta una analisi 4D, ma sviluppi futuri possono riguardare la simulazione del sottopasso per quanto concerne i costi (analisi 5D). L'implementazione del visore permetterebbe di vagliare in termini economici la migliore cantierizzazione della sicurezza nei cantieri. Tale progetto che spesso è a sè stante, potrebbe

ricadere sul modello esistente e adattarsi alla sequenza progettuale che si è realizzata. La VR/AR in quest'ottica permetterebbe di comprendere i flussi e analizzare le interferenze che si andrebbero a generare non tra elementi geometrici del sottopasso ma da percorsi e ingombri di strumentazioni. Si andrebbe quindi a progettare e gestire nel modo più efficiente e meno oneroso possibile tale fase che spesso è il punto critico dell'intero progetto, la cantierizzazione e messa in sicurezza. Vantaggi che ne ricaverebbe il progetto della trattazione e in generale tutto il settore delle infrastrutture è l'immersione che permette tale tecnologia. Con essa il sottopasso non solo potrebbe essere simulato nel tempo (4D), nei costi (5D) ma anche nel 3D (spazio del progetto) e azzerare grazie alla MR (Mix reality) elaborati grafici e report informativi.

6 Conclusioni

Nello svolgere il qui presente lavoro di tesi, si è perseguito l'obiettivo di determinare una metodologia BIM che potesse adattarsi a qualunque tipologia di infrastruttura. Si è partiti col definire in primo luogo la metodologia BIM e il suo attuale sviluppo e in seguito si è posto l'accento sulla metodologia BIM applicata alle infrastrutture (InfraBIM) e il suo stato dell'arte. Gli strumenti adoperati nello svolgere la transizione dal CAD verso il BIM per modelli infrastrutturali hanno rivelato come l'interoperabilità degli stessi è limitata a un campo mono disciplinare e come tutt'oggi non esista un'unica piattaforma per gestire il progetto nel suo complesso che racchiuda dentro di sé ogni settore dell'AEC. La ricerca metodologica e l'interoperabilità tra gli strumenti e i formati attualmente presenti sul mercato ha addotto che la piattaforma più versatile in ambiente BIM è attualmente Revit. L'applicativo software anche se non in grado di gestire modelli infrastrutturali complessi, permette il dialogo con modellatori CAD quali Rhino che fungono da modellatore 3D e che è possibile impiegare come ponte per il passaggio ai software BIM.

Lo studio della metodologia che ha portato al risultato finale è la conclusione di processi iterativi composti dalla struttura "ipotesi-esecuzione-controllo" che ha portato dopo numerose prove a una ibridazione delle stesse. Ciò che è emerso dal risultato della ricerca metodologica è che non esista una soluzione unica ma solo il metodo più efficace ed efficiente per il raggiungimento degli obiettivi prestabiliti. Questi obiettivi nel caso studio hanno avuto come punto centrale la conversione di geometrie 3D solide conservando dati come la georeferenziazione e utilizzando piattaforme di partenza e arrivo quali Rhino e Revit. È importante sottolineare come con l'impostazione di obiettivi differenti la conversione avrebbe posseduto esiti imprevedibili. I limiti di Civil3D nonostante le molteplici difficoltà nell'interscambio di file hanno dimostrato come l'uso di elementi parametrici nella metodologia CAD possano velocizzare il processo progettuale in un ambiente mono disciplinare che tuttavia rimane confinato entro sé stesso non permettendo una trasparenza dell'informazione e un approccio integrato al progetto.

Il secondo punto che è stato affrontato nel caso studio è l'integrazione di metodi e strumenti della disciplina del Project Management. Non sono state riscontrate rilevanti criticità nel processo di ideazione degli elaborati scritti e grafici. Il Programma Project si è integrato perfettamente nel flusso di lavoro e si è dimostrato una alternativa valida ed

essenziale nel processo di gestione e creazione della sequenza operativa della fase di cantierizzazione. Il programma ha gestito sequenze complesse di informazioni non mostrando errori di sorta. Il vantaggio maggiore che ha portato l'adozione delle tecniche e degli strumenti del Project Management sono la perfetta integrazione con il BIM, infatti esse sono due metodologie di approccio al procedimento che collimano nella trasparenza e nell'efficienza e adottano nuovi modi e processi collaborativi in un approccio multidisciplinare volto alla gestione non solo dei processi del progetto ma anche delle figure in esso contenute. L'ultimo punto affrontato nella tesi ha visto la simulazione 4D del cantiere. La simulazione operativa del cantiere è stata strutturata con il fine di mostrare la sequenza operativa virtualizzata delle attività elaborate con le tecniche e gli strumenti del PM. L'utilizzo di Navisworks Simulator dal punto di vista dell'interoperabilità tra le piattaforme non ha dato riscontro di criticità. Inseriti i dati tramite un semplice procedimento di aggancio attività-oggetto e collegato il Gantt per la struttura dei tempi la simulazione è stata gestita in tempi istantanei. Il grande vantaggio che questo strumento porta nel settore del BIM e della gestione operativa è sicuramente la fase di cantierizzazione che è posta come punto critico tra il progetto e il reale esito. La sicurezza nei cantieri e le varie figure che si muovono nella realizzazione del progetto e nella sua messa in sicurezza ne traggono un notevole vantaggio rispetto a elaborati cartacei dispersivi o con un grado di complessità non richiesto. L'immediatezza dello strumento e la sua capacità multimediale lo rendono essenziale nella metodologia BIM nei processi di gestione e controllo per limitare incidenti e errori.

È stato infine trattato il tema dell'industria 4.0 o quarta rivoluzione industriale, si è definito il campo di applicazione e come esso sia strettamente legato alle metodologie BIM. È stata trattata inoltre una nuova tematica che nel settore dell'AEC e anche nel singolo settore delle infrastrutture sta portando a cambiamenti nel modo di progettare e comunicare. L'interfaccia uomo-macchina con la realtà virtuale e la realtà aumentata ha portato a nuovi orizzonti che sono tuttora in sperimentazione e attuazione.

Appendici

Appendice A

Appendice B

Appendice C

Appendice D

Appendice E

Bibliografia

- [1] Biblus, BIM, "Cos'è il Building Information Modeling?", n.d., Consultato il 14 gennaio 2020, [Online]. Available: <http://biblus.acca.it/focus/bim-building-information-modeling/>
- [2] G. M. Di Giuda, S. Maltese, F. Re Cecconi, V. Villa, *Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari*, Milano: Ulrico Hoepli Editore, 2017
- [3] G. M. Di Giuda e V. Villa, *Il BIM. Guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese, edizione italiana*, Milano: Ulrico Hoepli Editore, 2016
- [4] BIM Portale, *Intervista a Giovanni Cardinale CNI*, YouTube, 5 dicembre 2019. Consultato il 12 gennaio 2020. [Video file]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=_txgJm-clyI&feature=emb_title
- [5] CADenas, *60 anni di CAD: la sua storia dal 1957*, 10 novembre 2017. Consultato il 13 gennaio 2020. [Online]. Available: <https://www.cadenas.de/news/it/reader/items/id-60-anni-di-cad-la-sua-storia-dal-1957#:~:text=Costruito%20da%20Patrick%20Hanratty%2C%20questo,80%25%20dei%20programmi%20CAD%20possono>
- [6] A. Osello, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, edizione italiana e inglese, Palermo: Dario Flaccovio Editore, 2012
- [7] Drawing to the future, *Construction process: Pre-Design, Design, Bidding/Negotiation, Construction, Test, Operation, Retrofit or Demolition*, n.d. Consultato il 23 gennaio 2020. [Online]. Available: <http://www.drawingtothefuture.polito.it/what-we-do-2/bim/>
- [8] A. Pavan, C. Mirarchi, M. Giani, *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*, Milano: Tecniche Nuove Editore, 2017

-
- [9] A. Pavan, *Fasi Informative del Processo Edilizio Digitale - UNI 11337*, Ingenio, 18 dicembre 2017. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/18530-fasi-informative-del-processo-edilizio-digitale---uni-11337>
- [10] BiblusBIM, Livelli di maturità del BIM, il Regno Unito si avvicina al traguardo del Livello 3 per il 2020, n.d., Consultato il 24 gennaio 2020, [Online]. Available: http://bim.acca.it/livelli-maturita-bim-regno-unito-traguardo-livello-3-2020/#2013_8211_Le_norme_PAS_1192.
- [11] Royal Institution of Chartered Surveyors, Linee guida RICS a livello globale. Guida internazionale per l'implementazione di sistemi BIM, prima edizione, edizione tradotta, Regno Unito: Londra, 7 marzo 2019. Consultato il 17 gennaio 2020. [Online]. Available: <http://www.marcobizzotto.it/web/upload/files/servizi/bim/rics-guida-implementazione-sistemi-bim.pdf>.
- [12] T. Hvidegaard, Maps: How European countries differ in BIM adoption, 24 maggio 2019. Consultato il 14 gennaio 2020. [Online]. Available: https://www.linkedin.com/pulse/maps-how-european-countries-differ-bim-adoption-tore-hvidegaard?articleId=6537618774193905664#comments-6537618774193905664&trk=public_profile_article_view.
- [13] Treccani, *Interoperabilità*, 2008. Consultato il 18 gennaio 2020. [Online]. Available: http://www.treccani.it/enciclopedia/interoperabilita_%28Enciclopedia-della-Scienza-e-della-Tecnica%29/
- [14] AssoBIM, *Il rapporto fra il Bim e la normativa: UNI 11337*, 01building, 30 settembre 2019. Consultato il 25 gennaio 2020. [Online]. Available: <https://www.01building.it/bim/bim-normativa-uni-11337/>
- [15] M. Martini, Livelli di sviluppo (L.O.D.), 13 agosto 2017. Consultato il 5 gennaio 2020. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/livelli-di-sviluppo-lod-matteo-martini>

- [16] Shelidon, ISO 19650: dai LOD ai Level of Information Need , 6 maggio 2019. Consultato il 13 gennaio 2020. [Online]. Available: <https://www.shelidon.it/?p=7828>.
- [17] Italferr, *Innovare per progettare il futuro: libro bianco dul building Information Modelling*, edizione 2019, n.d. Consultato il 10 gennaio 2020,» [Online]. Available: <http://www.italferr.it/content/dam/italferr/expertise/innovazione/Innovare%20per%20progettare%20il%20futuro.pdf>.
- [18] Italferr, *BIM - Building Information Modeling, Italferr*, n.d.. Consultato il 10 gennaio 2020. [Online]. Available: <http://www.italferr.it/content/italferr/it/expertise/innovazione/bim.html>
- [19] G. Dell'Acqua , *Università di Napoli Federico II. I-BIM: infrastructure-building information modelling: stato dell'arte*, 2016. Consultato il 13 gennaio 2020. [Online]. Available: https://cdn.fiaccola-network.com/media/post/e94b743/I-BIM-DellAcqua-versione-integrale_1.pdf.
- [20] A. Viola, *Sviluppo di un modello BIM per la manutenzione delle infrastrutture stradali*, Tesi di laurea magistrale, DISEG, Politecnico di Torino, Torino, Italia, 2018
- [21] A. Campagna, *InfraBIM e interoperabilità: analisi di confronto a diversi livelli di progettazione*, Tesi di laurea magistrale, DIATI, Politecnico di Torino, Torino, Italia, 2019
- [22] Provingground, Rhynamo, 2015. Consultato il 13 febbraio 2020. [Online]. Available: <https://provingground.io/tools/rhynamo/>
- [23] Spraut, *Tutorial - Conceptual mass from SAT to Revit by Dynamo*, YouTube, 3 novembre 2016. Consultato il 23 febbraio 2020. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=b9Z6N8F4nkl>.
- [24] M. C. Bottero, lezione di classe, Il PM, 01SFYPQ, Architettura Costruzione Città, Politecnico di Torino, Torino, 2019

- [25] M. S. Pini, Lezione in aula, Dispense di Project Management, Università degli Studi di Padova, Padova, 2011. [Online]. Available: http://www.dei.unipd.it/~pini/fse-doc/scheduling/ProjManag_dispense_v1.3.pdf
- [26] A. Pavan, C. Mirarchi e M. Giani, *BIM: metodi e strumenti. Progettare, costruire e gestire nell'era digitale*, Milano: Tecniche Nuove Editore, 2017.
- [27] INAPP, *Atlantelavoro*, 2019. Consultato il 28 maggio 2020. [Online]. Available: <https://atlantelavoro.inapp.org/>
- [28] Ionos, *Tecniche di project management collaudate*, 18 luglio 2019. Consultato il 22 maggio 2020. [Online]. Available: <https://www.ionos.it/startupguide/produttivita/tecniche-project-management/>
- [29] C. Argiolas, Lezione in aula, Processi e Metodi della Produzione Edilizia, I ruoli e le tecniche di Project management nella gestione del processo edilizio, 80/044, Architettura, 2015, Università degli Studi di Cagliari, Cagliari. [Online]. Available: <https://people.unica.it/carloargiolas/files/2018/11/dispense-modulo-2.pdf>
- [30] G. Garzino, *Disegno (E) In Formazione. Disegno politecnico Drawing (and) information polytechnic drawing.*, edizione italiana e inglese, Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore, 2011
- [31] BrainWise, *Industria 4.0 in pillole da BrainWise*, YouTube, 2017. Consultato il 5 maggio 2020. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=tKxRR38KjQY&list=LL9-QxQx7myr48ESUf_yUFUw&index=2&t=0s.
- [32] M. Romagnoli, *Pharma 4.0: come adeguarsi alla quarta rivoluzione industriale?*, 31 ottobre 2017. Consultato il 5 maggio 2020. [Online]. Available: <http://www.mercurio.it/2017/10/31/pharma4-0-automazione-industriale/>
- [33] S. Bellucci, *La crisi e la Transizione: 3 – Lavoro e capitale*, Sergio Bellucci, 2018. Consultato il 6 maggio 2020. [Online]. Available:

<http://www.sergiobellucci.it/wordpress/2018/02/25/la-crisi-la-transizione-3-lavoro-capitale/>

- [34] A. Osello, *Industria 4.0 BIM e InfraBIM tra didattica e ricerca al Politecnico di Torino*, Ingenio, 29 agosto 2018. Consultato il 6 maggio 2020. [Online]. Available: <https://www.ingenio-web.it/20978-industria-40-bim-e-infrabim-tra-didattica-e-ricerca-al-politecnico-di-torino>
- [35] Building information modelling — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format, ISO 29481-1: 2010, 2010
- [36] Csiresources, *OMNICLASS.*, n.d. Consultato il 7 maggio 2020. [Online]. Available: <https://www.csiresources.org/standards/omniclass>
- [37] Stateofmind, *Realtà virtuale*, Stateofmind., n.d. Consultato l'8 maggio 2020. [Online]. Available: <https://www.stateofmind.it/tag/realta-virtuale/>
- [38] P. Dondi, *Introduzione alla realtà aumentata*, Università degli studi di Pavia, Pavia 2019. Consultato il 9 maggio 2020. [Online]. Available: https://vision.unipv.it/corsi/InformationTechnology/IT_AR.pdf.
- [39] FDMGroup, *5 Exciting Uses for Virtual Reality*, 10 aprile 2020. Consultato il 17 maggio 2020. [Online]. Available: <https://www.fdmgroup.com/5-exciting-uses-for-virtual-reality/>
- [40] A. Vinci, *Madre incontra la figlia morta grazie alla realtà virtuale*, Corriere della Sera, 11 febbraio 2020. Consultato il 17 maggio 2020. [Online]. Available: https://www.corriere.it/tecnologia/20_febbraio_11/madre-incontra-figlia-morta-grazie-realta-virtuale-era-paradiso-050d68f8-4c2c-11ea-91c6-061fa519fab0.shtml
- [41] Digital4, *Realtà aumentata e realtà virtuale a supporto delle operations: i vantaggi convincono le aziende*, 14 set 2018. Consultato il 17 maggio 2020. [Online]. Available: <https://www.digital4.biz/supply-chain/operations-e-plm/realta-aumentata-e-virtuale-nelle-operations/>

- [42] Virtualist, *Augmented Reality (AR) in Architecture*, 14 set 2018. Consultato il 18 maggio 2020. [Online]. Available: <https://virtualist.app/augmented-reality-ar-in-architecture/>
- [43] JBKnowledge, *The 6th annual construction technology report*, 2017. Consultato il 18 maggio 2020. [Online]. Available: <https://jbknowledge.com/wp-content/uploads/2018/10/2017-JBKnowledge-Construction-Technology-Report.pdf>
- [44] Zigurat Global Institute of Technology, *The Lockdown Speeds Up the Adoption of VR in the Infrastructure World*, 16 aprile 2020. Consultato il 19 maggio 2020. [Online]. Available: <https://www.e-zigurat.com/news/en/covid-19-pandemic-virtual-reality-infrastructure-world/>
- [45] Z. A. Dodevska, M. Mihic, “Augmented Reality and Virtual Reality Technologies in Project Management: What Can We Expect?”, *European Project Management Journal*, Volume 8, n 1, November 2018, pp. 17-24. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/329245069_Augmented_Reality_and_Virtual_Reality_Technologies_in_Project_Management_What_Can_We_Expect [Consultato il 19 maggio 2020]

Ringraziamenti

Ringrazio tutto il laboratorio di ricerca e didattica al Politecnico di Torino “drawing To the future” per il supporto ricevuto nella stesura dell’elaborato. In particolare, ringrazio Matteo del Giudice e Anna Viola che sono sempre stati disponibili e di supporto quando vi era necessità. Per ultimo ma non per importanza ringrazio la responsabile del laboratorio nonché mia relatrice la professoressa Anna Osello. Sono infine grato alla mia famiglia e agli affetti più cari per avermi seguito in questo percorso e per avermi supportato in questi anni, un grazie di cuore.