# **POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile



## TESI DI LAUREA MAGISTRALE

## InfraBim and Interoperability: A BIM Methodology Approach for SS 21 – Colle della Maddalena

Relatore: Prof.ssa Anna Osello

Correlatore: Ing. Francesco Semeraro

Candidato: Enrico Pietri

# Abstract

La metodologia BIM (Building Information Modelling) è vista come un potenziale strumento per superare problemi di produttività del settore delle costruzioni. Il BIM mira a fornire mezzi efficaci per integrare adeguatamente le informazioni multidisciplinari richieste per le diverse fasi di progetto; pianificazione, progetto, costruzione e manutenzione. Tuttavia se da un lato questa metodologia nel campo edilizio si sta sviluppando sempre di più, ad oggi non si può dire lo stesso per il settore delle infrastrutture.

Si intende proprio studiare e approfondire la metodologia BIM legandola al campo delle infrastrutture (InfraBIM) in particolar modo applicandola all'analisi di un caso studio reale, l'opera infrastrutturale realizzata e fornita da ANAS "s.s. 21 Colle della Maddalena", situato a Demonte (CN).

Il presente lavoro è strutturato in tre tematiche principali: un'analisi generale teorica della metodologia BIM applicata al mondo delle infrastrutture; la modellazione dell'infrastruttura con diversi software e diversi elementi tra cui un tracciato stradale, un tunnel e con maggior dettaglio un viadotto; lo sviluppo di un modello collaborativo con l'obbiettivo di valutare l'interoperabilità dei formati e di simulare il coordinamento tra i diversi interessati. Nell'ottica di arricchire il modello collaborativo si è studiato la possibilità di includere informazioni riguardanti lo stato di salute dell'opera e la pianificazione della manutenzione. Di conseguenza, il lavoro è stato pensato in modo da contenere e supportare tali dati e di aggiornarli continuamente per aver un controllo di tutto il ciclo di vita dell'opera.

L'approccio metodologico che caratterizza il Building Information Modeling (BIM) evidenzia fin da subito i risultati acquisiti. La multidisciplinarietà delle informazioni contenute in un modello BIM permette infatti una completa integrazione della progettazione stradale con quella strutturale e impiantistica, relativa al ponte analizzato, consentendone uno sviluppo coordinato e libero da incongruenze, errori e interferenze reciproche, che possono essere immediatamente rilevate e risolte ben prima della fase esecutiva di cantiere. L'Integrazione in un unico modello di tutti i dati progettuali e il coordinamento fra le discipline coinvolte nel progetto permette una velocizzazione e semplificazione di tutti gli iter progettuali, dalla generazione degli elaborati e fino all'aggiornamento continuo e in tempo reale degli stessi. In questo contesto ogni figura partecipante al progetto e ogni disciplina coinvolta beneficiano direttamente di questi risultati.

L'auspicio è quello di accrescere le conoscenze nell'ambiente dell'InfraBIM in modo da cogliere i benefici a breve e a lungo termine di ciò che rappresenta il futuro della progettazione, costruzione e gestione delle infrastrutture.

### Sommario

Abstract	3
Indice Figure	7
1. Introduzione	
1.1 Struttura della Tesi	
1.2 Background & contesto	
1.3 Presentazione Problemi & Finalità	15
2. Stato dell'arte della metodologia BIM	
2.1 Perché BIM?	
2.2 BIM-Building Information Modeling	
2.3 InfraBIM	
2.4 Centralità del Modello	21
2.5 Interoperabilità & IFC	23
2.6 Livello di Maturità	26
2.7 LOD-Level of Development	27
3. Considerazione sull'implementazione del BIM	
3.1 Usi & Obbiettivi BIM	
3.2 Ostacoli all'implementazione	
4. Caso studio	
4.1 Introduzione	
4.2 Metodologia	
4.3 Software usati	
4.4 Modellazione stradale in ottica BIM	41
4.4.1 Software usati	41
4.4.2 Metodologia	
4.4.3 Terreno	43
4.4.4 Tracciato	45
4.4.5 Sezioni Trasversali - Templates	47
4.4.6 Corridoi	50
4.4.2 Sopraelevazione	52
4.5 Ponte Parametrico	53
4.5.1 Software utilizzati	53
4.5.2 Metodologia	54
4.5.3 Dati iniziali	55

4.5.4 Creazione Famiglie	56
4.5.5 Composizione Modello	58
4.6 Modello Collaborativo	64
4.6.1 Software utilizzati	64
4.6.2 Metodologia	65
4.6.3 Creazione del Progetto	66
4.6.4 Importazione File e Regole di Conversione	69
4.6.5 Presentazioni	76
4.6.6 Collaborazione BIM	79
4.7 Piano di Manutenzione	87
4.7.1 Schede di Valutazione ispettiva	88
5. Risultati & Conclusioni	91
Bibliografia & Sitografia	95
Ringraziamenti	98

## Indice Figure

-	Figura 1.1 Variazione indice di produttività per settore (numeri indice, anno 2007=100) pag.12	2
-	Figura 1.2 Bandi Bim – Trend mensile 2015-2018 pag.14	ł
-	Figura 2.1 Barriere all'interno dei processi di costruzione pag.17	7
-	Figura 2.2 "muri" tra le fasi di costruzione pag.17	7
-	Figura 2.3 Modello BIM pag 19	)
-	Figura 2.4 Dimensioni BIM pag.21	L
-	Figura 2.5 Bim e Interoperabilitàpag.24	ŧ
-	Figura 2.6 Logo IFC	ł
-	Figura 2.7 Livello di Maturità BIM pag.26	5
-	Figura 2.8 Esempio di LOD terreni esistenti pag.29	)
-	Figura 2.9 Esempio di LOD tracciati stradali pag.29	J
-	Figura 3.1 Curva di MacLeamy – Vantaggi BIM pag.31	L
-	Figura 3.2 Fasi del processo e applicazioni BIM pag.35	5
-	Figura 4.1 Contesto e opera in esame pag.37	7
-	Figura 4.4.1 Workflow per la creazione del modello stradalepag.42	2
-	Figura 4.4.2 Tool di definizione delle coordinate geografiche e sistema di riferimento pag.43	3
-	Figura 4.4.3 Modello 3D CAD del contesto pag.43	3
-	Figura 4.4.4 Modello del terreno in OpenRoads Designer pag.44	ł
-	Figura 4.4.5 Modello finale del terreno pag.44	ł
-	Figura 4.4.6 Tracciato planimetrico pag.45	5
-	Figura 4.4.7 Tracciato altimetrico pag.46	5
-	Figura 4.4.8 Sezione Tipologica in Rilevato-Rettifilo pag.47	7
-	Figura 4.4.9 Sezione Tipologica della pavimentazione stradale pag.47	7
-	Figura 4.4.10 Template del rilevato stradale pag.48	3
-	Figura 4.4.11 Template della pavimentazione stradale pag.48	3
-	Figura 4.4.12 Sezione Tipologica e Template della Galleria pag.49	)
-	Figura 4.4.13 Template completo della Galleria pag.49	)
-	Figura 4.4.14 Corridoi costituenti la Variante di Demonte pag.50	)
-	Figura 4.4.15 Vista 3D dell'opera infrastrutturale pag.50	)
-	Figura 4.4.16 Tool di controllo dei punti per allargamento corsie pag.51	L
-	Figura 4.4.17 Creazione dei piazzali di sosta pag.51	L
-	Figura 4.4.18 Analisi Sopraelevazione dei ciglipag.52	2
-	Figura 4.5.1 Workflow per la creazione del ponte parametrico.	1

-	Figura 4.5.2 Modello del pacchetto stradale del Ponte Cant	pag. <b>55</b>
-	Figura 4.5.3 Report geometrico del tracciato stradale relativo al Ponte Cant	pag. <b>56</b>
-	Figura 4.5.4 Famiglia di Massa	pag. <b>57</b>
-	Figura 4.5.5 Famiglia Adattiva	pag. <b>57</b>
-	Figura 4.5.6 Script Dynamo per l'importazione del tracciato da Excel.	pag. <b>58</b>
-	Figura 4.5.7 Script e Visualizzazione del risultato	pag. <b>58</b>
-	Figura 4.5.8 prima fase della realizzazione della sovrastruttura del ponte	pag. <b>59</b>
-	Figura 4.5.9 Seconda fase della realizzazione della sovrastruttura del ponte	pag. <b>59</b>
-	Figura 4.5.10 Vista dei componenti costituenti del ponte	pag. <b>60</b>
-	Figura 4.5.12 Famiglie di massa adattive della pila e della spalla	pag. <b>61</b>
-	Figura 4.5.13 Script Dynamo per il posizionamento delle pile	pag. <b>61</b>
-	Figura 4.5.14 Script Dynamo per il calcolo altezze delle pile	pag. <b>62</b>
-	Figura 4.5.15 Script Dynamo per il posizionamento del guardrail	pag. <b>62</b>
-	Figura 4.5.16 Modello finale del ponte parametrico	pag. <b>63</b>
-	Figura 4.6.1 Organizzazione Quadri	pag. <b>66</b>
-	Figura 4.6.2 Quadri Project Manager	pag. <b>66</b>
-	Figura 4.6.3 Quadri Project Manager - Utenti.	pag. <b>67</b>
-	Figura 4.6.4 Task Explorer	pag. <b>68</b>
-	Figura 4.6.5 Step di importazione dei modelli.	pag. <b>69</b>
-	Figura 4.6.6 Task di Importazione	pag. <b>70</b>
-	Figura 4.6.7 Importazione LandXML	pag. <b>70</b>
-	Figura 4.6.8 Definizione coordinate e sistema di riferimento.	pag. <b>70</b>
-	Figura 4.6.9 Vista del modello del terreno.	pag. <b>71</b>
-	Figura 4.6.10 Vista del modello di tracciato.	pag. <b>71</b>
-	Figura 4.6.11 Importazione dgn.	pag. <b>72</b>
-	Figura 4.6.12 Vista del modello del corridoio.	pag. <b>72</b>
-	Figura 4.6.13 Vista 3D del file IFC in Solibrì	pag. <b>73</b>
-	Figura 4.6.14 Importazione IFC.	pag. <b>73</b>
-	Figura 4.6.15 Editor di regole di conversione per file IFC.	pag. <b>74</b>
-	Figura 4.6.16 Editor di Conversione attributi di ciascuna regola	pag. <b>75</b>
-	Figura 4.6.17 Vista del modello del ponte.	pag. <b>75</b>
-	Figura 4.6.18 Tool di creazione delle viste.	pag. <b>76</b>
-	Figura 4.6.19 Codice Elaborato – Referenza A.N.A.S.	pag. <b>76</b>
-	Figura 4.6.20 Selezione feature di presentazione (Dynamic Query)	pag. <b>77</b>
-	Figura 4.6.21 Presentazione 3D.	pag. <b>77</b>

-	Figura 4.6.22 Tool di pubblicazione
-	Figura 4.6.23 Workflow di scambio dati tra Novapoint Base e Quadri Easy Access
-	Figura 4.6.24 Tool di condivisione elaborati
-	Figura 4.6.25 Vista 3D del modello condiviso
-	Figura 4.6.26 Vista 2D del modello con ortofotopag.80
-	Figura 4.6.27 Impostazioni Quadri Easy Access
-	Figura 4.6.28 Presentazione 3D in Quadri Easy Access
-	Figura 4.6.29 Definizione impostazioni dei Topics
-	Figura 4.6.30 Modifica dei Topics
-	Figura 4.6.31 Esempio di Topics pag.85
-	Figura 4.6.32 Visualizzazione presentazione e topics in Novapoint Base
-	Figura 4.7.1 Schema di scheda di ispezione pile in formato pdfpag.88
-	Figura 4.7.2 Schema di scheda di ispezione in formato xls.
-	Figura 4.7.3 Tool di importazione allegati
-	Figura 4.7.4 Visualizzazione allegati al modello collaborativo.

## 1. Introduzione

Questo capitolo ha lo scopo di presentare questa tesi, così come il contenuto che ne farà parte. In primo luogo verrà presentato il contesto generale per il settore delle costruzioni, introducendo i problemi affrontati e la portata di questo lavoro.

#### 1.1 Struttura della tesi

Questo capitolo compresi i successivi sotto-capitoli, hanno lo scopo di chiarire come è stata condotta la tesi e descrivere i metodi di ricerca che sono stati utilizzati. Inoltre, il capitolo fornisce una visione più approfondita dei dettagli riguardanti la raccolta dei dati e successivamente ne spiega l'affidabilità e validità del risultato.

Le informazioni contenute in questa tesi si basano su due fonti principali; una revisione della letteratura/normativa e l'analisi di un caso studio. La revisione della letteratura e della normativa è stata condotta per approfondire la comprensione dell'area studiata e per la creazione di una base teorica su cui si fonda l'analisi. In particolare si è fatto riferimento alle normative italiane ed estere:

- PAS 1192 (Normativa Tecnica Britannica)
- ISO 19650 (Standard Internazionali)
- UNI 11337 (Normativa Tecnica Italiana)
- Decreto BIM "Decreto Ministeriale numero 560 del 01/12/2017"

Il caso studio invece riguarda lo sviluppo di un'opera infrastrutturale e ha fornito osservazioni mirate per sviluppare l'elaborato finale. In generale ho avuto modo di esplorare come la metodologia BIM può essere utilizzata per ottimizzare il processo nel settore delle infrastrutture.

#### 1.2 Background e contesto

Tutti gli interessati nel mondo delle costruzioni attualmente stanno affrontando grandi difficoltà; la competizione tra aziende è più grande, la complessità e le esigenze dei progetti stanno diventando sempre più grandi cosi come i costi, prezzi e tassazioni, di conseguenza i margini di profitto stanno diminuendo. Dall'altro lato le disponibilità economiche sono ristrette e in più i costi di manutenzione non stanno diminuendo, che è un aggravante. Osservando questo contesto si capisce che è importante prendere decisioni rapide, basate su un livello più elevato di certezza, diminuendo i costi e il tempo.

E' noto che il settore delle costruzioni abbia una grande influenza nell'economia di un paese, secondo le stime rappresenta circa il 9% del PIL europeo, e da lavoro direttamente a 18 milioni di cittadini europei, il 95% dei quali è impiegato da piccole e medie imprese [1]. L'industria delle costruzioni è divisa in molti rami e aziende che gestiscono progetti solitamente caratterizzati da partnership a breve termine tra team multidisciplinari con diversi livelli di processo, maturità e capacità di gestione delle informazioni. Di solito sono coinvolti la pianificazione, il progetto e la costruzione di strutture di tutti i tipi, oltre a un numero di parti interessate come clienti, appaltatori, progettisti e fornitori di materiali e componenti.





L'industria delle costruzioni è stata criticata per i suoi "problemi diffusi come i ritardi di consegna, aumento dei costi dei progetti e prestazioni insoddisfacenti"(Li et al., 2010)[2], infatti rispetto ad altre industrie manifatturiere, le compagnie di costruzioni sono accusate di avere bassi livelli di efficienza, margini di profitto relativamente mediocri e problemi di qualità (Woksepp, 2007)[3]. Un confronto dell'indice di produttività tra tutte le industrie non agricole mostra un costante trend negativo della produttività nell'industria delle costruzioni, analizzando la figura 1, si riconosce che tutti gli altri settori hanno migliorato i loro indici di produttività.[4]

Rispetto ad altri settori, esiste una vecchia percezione che l'industria delle costruzioni sia un'industria tecnologicamente stagnante. I dati delle spese per la ricerca e lo sviluppo della tecnologia supportano tale dichiarazione. Secondo Goodrum et al. (2009)[5] ritiene che il settore delle costruzioni utilizzi meno dello 0,5% dei suoi profitti in ricerca e sviluppo, mentre altri settori ne investono circa il 3%. Tuttavia negli ultimi anni questa tendenza sta cambiando dovuto a maggiori esigenze per un progetto più efficiente e trasparente dal punto di vista dei tempi e costi.

Bisogna analizzare un altro fattore, il settore delle costruzioni è generalmente molto frammentato rispetto ad altre industrie. Tale frammentazione è implicita nelle diverse specialità e compiti che sono coinvolti in un progetto. Non molto tempo fa un ingegnere poteva capire completamente la sua disciplina, oggigiorno, l'ingegneria è diventata molto più complessa ed è divisa in molte sotto-discipline, dove ogni esperto è responsabile di una certa disciplina. Questo ha portato a una divisione del progetto in diverse fasi e attività successive, ciascuna gestita da uno o più esperti. La frammentazione all'interno di un progetto di costruzione non ha eguali in nessun altro settore e ha un notevole impatto sulla produttività e sulle prestazioni (Gaith et al., 2012)[6]. Ogni prodotto nel settore delle costruzioni è unico rispetto ad altri settori, ma come in ogni altro caso, i prodotti devono essere consegnati al cliente con determinati requisiti e specifiche.

Il buon senso ci dice che qualcosa deve essere cambiato; nella gestione e nel progetto di una costruzione. Il fatto che altre industrie abbiano compiuto progressi nei loro livelli di produttività potrebbe essere dovuto per esempio all'introduzione dell'IT(Information Technology), cioè di tutte le tecnologie informatiche usate per creare, archiviare e scambiare dati elettronici, e al ripensamento dei processi produttivi. L'attenzione non è sulle singole applicazioni o software, ma sul potenziale per unire tutti questi elementi come un sistema globale, coeso e integrato.

Ad oggi mancano ancora metodi e processi definiti che sfruttino i mezzi tecnologici disponibili per migliorare la collaborazione, la comunicazione e l'integrazione, e che allo stesso tempo siano in grado di gestire una notevole quantità di informazioni. Ad esempio molte volte lo stesso lavoro è da rifare a causa della mancanza di informazioni condivise. La comunicazione e collaborazione tra i team responsabili della stima del progetto e quelli della costruzione è povera o inesistente, anche le informazioni condivise generalmente sono di scarsa qualità, e alla fine del processo di costruzione nessuna informazione è rilasciata o creata, rendendo ardue operazioni future come quelle di manutenzione. Ci si rende conto che per questa mancanza di informazioni si perde tempo nella ricerca e nella ricostruzione adeguata, un adattamento ai nuovi metodi e una nuovo processo comporta una richiesta di formazione adeguata, un adattamento ai nuovi metodi e una nuova organizzazione del lavoro, comportando così costi immediati che solo alcune aziende rischiano di prendere. In Italia, in particolare, ma anche in molti dei paesi europei, c'è un enorme bisogno di sviluppo e manutenzione delle infrastrutture esistenti e quindi i nuovi investimenti aumenteranno la domanda di efficienza ed efficacia del progetto.

Le analisi stimano che i benefici finanziari della digitalizzazione dei processi di progettazione, costruzione e gestione siano compresi tra il 10 % e il 20 % delle spese in conto capitale dei progetti nel contesto delle costruzioni verticali (edifici) e dei progetti infrastrutturali [7]. Anche utilizzando una soglia inferiore, un miglioramento del 10 % della produttività del settore europeo delle costruzioni genererebbe risparmi pari a 130 miliardi di EUR.

In questo contesto il BIM si propone di offrire una possibile metodologia per risollevare e migliorare il settore e per raggiungere un migliore tasso di produttività del progetto. Il BIM come strumento di gestione del progetto fornisce mezzi efficaci per un'adeguata integrazione di informazioni multidisciplinari richieste in tutte le diverse fasi di progetto, combinando tecnologie e processi di lavoro. Se utilizzato correttamente, il BIM consente ai progettisti di gestire e affrontare efficacemente le sfide ingegneristiche e inoltre ottenere una migliore qualità e velocità costruttiva.

Anche la normativa italiana si sta dirigendo verso questo orizzonte, in particolare, l'art. 6 del D.Lgs. n. 50/2016 (c.d. Codice dei contratti) prevede che le stazioni appaltanti richiedano, in via obbligatoria, l'uso del BIM secondo la seguente tempistica:

- a. per opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 M di €, a decorrere dal 01/01/2019
- b. per opere di importo a base di gara pari o superiore a 50 M di €, decorrere dal 01/01/2020
- c. per opere di importo a base di gara pari o superiore a 15 M di €, a decorrere dal 01/01/2021
- d. per opere di importo a base di gara pari o superiore a 5,2 M di €, a decorrere dal 01/01/2022
- e. per opere di importo a base di gara pari o superiore a 1 M di €, a decorrere dal 01/01/2023

f. per le nuove opere di importo a base di gara inferiore a 1 M di €, a decorrere dal 01/01/2025 Il trend di crescita dei bandi BIM sembra destinato a consolidarsi nei prossimi anni per effetto della progressiva introduzione di tali metodi e strumenti come previsto dal decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, ma anche per la crescita culturale che sta avvenendo. Nel 2018 l'ammontare delle gare di progettazione in BIM è salito a 246 milioni di euro, nel 2017 erano stati 36 milioni, una crescita pari a 8 volte. L'analisi del numero di bandi in BIM ci dice che si è passati da circa 30 procedure nel biennio 2015-2016 a 99 iniziative nel 2017 e poi a 291 procedure nel 2018, il triplo del 2017[8].



Figura 1.2 Bandi Bim – Trend mensile 2015-2018[8].

Si evince quindi che l'applicazione di questa metodologia non riguarda solo strategie future ma rappresenta una immediata necessità.

#### 1.3 Presentazione Problemi e Finalità

I problemi studiati in questa tesi sono due:

Il primo problema è la condivisione e il trasferimento delle informazioni, definito anche come interoperabilità, questo è uno dei problemi più rilevanti nel settore delle costruzioni. E' presente una mancanza di collaborazione e condivisione di informazioni tra i team coinvolti nel progetto. Anche i software utilizzati molto spesso sono diversi tra i reparti, dove alcune informazioni cardine di certi dipartimenti possono essere trascurabili per altri. Si generano cosi perdite di informazioni proprio per una mancata condivisione e corretta organizzazione.

Il secondo problema riguarda il BIM nell'infrastruttura. Non sembrano esserci molti lavori relativi a questo settore, anche se i progetti infrastrutturali sono molto sensibili a tutti i fattori esterni, quindi occuparsi della gestione di risorse e produttività è un aspetto cardine proprio perché sono i principali "elementi" che causano criticità nei progetti.

Gli obbiettivi principali quindi sono: definire una metodologia plausibile di utilizzo del BIM nel settore delle infrastrutture; sviluppare soluzioni tecniche e specifiche mediante l'utilizzo di applicativi BIM-oriented per le diverse fasi del ciclo di vita dell'opera, dalla progettazione alla manutenzione. Entrambi gli obbiettivi verranno perseguiti mediante lo studio di un caso reale, la variante "s.s. 21 Colle della Maddalena". Le analisi di casi pratici sono particolarmente adatte quando la teoria esistente è limitata e il caso può fornire nuove preziose informazioni. ANAS attualmente ha tentato di implementare strumenti BIM nella fase di pianificazione e progettazione dell'opera citata e ha fornito l'opportunità di esaminare se l'applicazione del BIM può essere utilizzata in progetti infrastrutturali per aumentare l'efficienza.

## 2. Stato dell'arte della metodologia BIM

Questo capitolo presenterà le scoperte teoriche nel campo del BIM. Viene introdotta la teoria sul concetto di BIM; presentando la definizione di BIM, il suo sviluppo, le applicazioni e i benefici, con particolare focus al contesto italiano.

#### 2.1 Perche BIM?

Sono stati identificati nel corso degli anni molti problemi all'interno del settore delle costruzioni; Eastman et al. (1974) ha criticato, l'uso dei disegni CAD, perché devono essere mantenuti coerenti, perché contengono informazioni numeriche aggiunte manualmente, e perché la serie di disegni e progetti finali si decompongono nel tempo. Inoltre, l'alta quantità di parti interessate e di fasi di un processo di costruzione insieme a aspetti unici come "lunghi periodi e processi complicati"(Hammad, Rishi, & Yahaya, 2012)[10] hanno provocato la frammentazione delle attività, con la conseguenza di una bassa produttività. Questi problemi risultano, secondo Eastman et al. (2011)[11], come le cause di maggiori spese e ritardi. Secondo Azhar (2011), i minori costi di progetto, una maggiore qualità e una riduzione dei tempi di consegna del progetto sono i principali obiettivi di miglioramento per l'industria AEC (Architecture, Engineering and Construction).

Studi recenti evidenziano una serie di ostacoli fondamentali per la crescita e il funzionamento efficiente del mercato delle costruzioni. Esiste un ampio consenso, diffuso in tutto il settore e ai suoi clienti, che quella determinata opera sia insufficiente in termini di capacità di fornire valore comune per i cittadini e che ci siano state mancanze di investimenti volte a migliorare questa situazione. Inoltre lavori incoerenti e non produttivi, in particolare nel settore pubblico (che rappresenta quasi il 40% del carico di lavoro del settore), stanno portando a sprechi e inefficienze.[12] Il NIST (National Institute of Standards and Technology) ha scoperto che si perde più di 15,8 miliardi di dollari all'anno negli Stati Uniti solo a causa di problemi di interoperabilità (Gallaher et al., 2004)[9].

Analizzando la letteratura quindi si sono individuati 5 principali svantaggi che condizionano negativamente il processo produttivo [13]:

- la frammentazione dei diversi partecipanti al progetto di costruzione;
- la frammentazione dei dati di progettazione e costruzione;
- il verificarsi di costose modifiche alla progettazione e richieste di risarcimento non necessarie;
- la mancanza di una vera analisi del ciclo di vita del progetto;
- mancanza di comunicazione delle motivazioni e degli intenti del design.



Figura 2.1 Barriere all'interno dei processi di costruzione

Sebbene BIM cerchi di abbassare i muri tra le parti, c'è ancora il pericolo di un lavoro separato e frammentato. L'essenza del BIM è la comunicazione e quando non è acquisita e sfruttata correttamente, le pareti alte rimangono intatte, pur usando modelli molto dettagliati.



Figura 2.2 "muri" tra le fasi di costruzione

#### 2.2 BIM - Building Information Modeling

È sorprendente che ogni figura nel mercato BIM abbia una propria definizione. Questo può essere spiegato dal fatto che BIM non è un pacchetto software o funzionalità, ma un metodo di lavoro.

Una delle definizioni più conosciute e più usate è sviluppata dalla National Building Information Modeling Standard: "Un modello BIM è una rappresentazione digitale di caratteristiche fisiche e funzionali di una struttura. In quanto tale, funge da risorsa di informazioni condivise su una struttura e costituisce una base affidabile per le decisioni durante il suo ciclo di vita. "[14]

Altri lo rendono breve e semplice: "BIM è il processo di progettazione, costruzione e uso dell'edificio o infrastruttura che utilizza le informazioni sugli oggetti virtuali "[15],"Tecnologie e processi che integrano le informazioni sull'edificio attraverso la geometria 3D parametrica"[16], e "BIM è una tecnologia che consente rilevanti informazioni grafiche e di attualità informazioni relative all'ambiente costruito. "[17]

Il BIM Handbook è più elaborato nella sua definizione. Eastman, Teicholz, Sacks e Liston (2011)[11] descrivono il BIM come "una tecnologia di modellazione e un insieme associato di processi per produrre, comunicare, e analizzare i modelli di costruzione. I modelli di costruzione sono caratterizzati da:

- Componenti con rappresentazioni digitali (oggetti) che trasportano attributi grafici e dati computabili identificabili da diverse applicazioni software per essere manipolati in modo intelligente;
- Componenti che includono dati che descrivono come si comportano, come ad esempio, analisi di take-off, specifiche e analisi energetiche;
- Dati coerenti e non ridondanti tali che le modifiche ai dati dei componenti siano rappresentate in tutte le viste del componente e degli assiemi di cui fa parte;
- Dati coordinati tali che tutte le viste di un modello siano rappresentate in modo coordinato. "

L'ultima definizione da menzionare in questo contesto è sviluppata dall'Istituzione degli ingegneri civili britannico (ICE) che facendo riferimento alla normativa inglese PAS 1192 afferma che: "BIM è la gestione mirata delle informazioni lungo l'intero ciclo di vita di un bene infrastrutturale. Quindi, il BIM è un approccio che gestisce la raccolta e lo sfruttamento delle informazioni in tutto il ciclo di vita di un'opera che mantiene le esigenze e lo scopo generale del bene dall'inizio alla fine. Al suo centro sono i modelli generati al computer che collegano tutte le informazioni; grafiche e tabulari, di costruzione e di gestione del bene e dei documenti associati. "[18]

Le diverse definizioni possono causare confusione, ed è per questo che il BIM Task Group lo ha messo in una prospettiva diversa affermando che a volte è più facile dire cosa non sia il BIM:[19]

#### "Non è solo il CAD 3D

#### Non è solo una nuova applicazione tecnologica"

Questo modo di metterlo in evidenza è particolarmente importante perché il BIM è spesso frainteso e interpretato in modo non corretto. Un'altra errata percezione comune è che il BIM sia uno strumento di visualizzazione. È evidente che BIM è un buon modo di visualizzare il modello, ma non è certamente limitato a quello.

Mobilis Modeling (2010)[20] afferma che l'industria è semplicemente focalizzata sulla parte di modellazione della sigla BIM, mentre l'attenzione dovrebbe essere sulle informazioni. In breve si dovrebbe dire che BIM non è inequivocabilmente noto nel suo mercato. D'altra parte, la letteratura più recente mostra che la percezione del BIM diventa più realistica. L'enfasi originale sulla tecnologia è stata sostituita e inserita nel contesto di una migliore gestione delle informazioni, in generale le implicazioni nel produrre una migliore risorsa informativa per l'utente finale; dovrebbero creare beneficio per tutti. Sulla base delle definizioni menzionate, la seguente definizione verrà utilizzata nel corso di questo rapporto:

Il BIM, Building Information Modeling, è la gestione mirata delle informazioni lungo l'intero ciclo di vita di un'opera, creando una rappresentazione delle caratteristiche fisiche e funzionali, utilizzando componenti/oggetti costituiti da attributi grafici, dati e regole parametriche. Pertanto, il BIM è un approccio gestito alla raccolta e allo sfruttamento di informazioni coerenti, non ridondanti e coordinate lungo tutto il ciclo di vita di un'opera.



Figura 2.3 Modello BIM

In parole semplici si può dire che il BIM è un modo di pensare in cui tutte le informazioni rilevanti di un sistema fisico siano collegate digitalmente per tutto il ciclo di vita.

#### 2.3 Infra-BIM

Sebbene i tecnici dell'infrastruttura siano a conoscenza del BIM, il settore è ancora in ritardo di alcuni anni, come mostra chiaramente il rapporto McGraw-Hill Construction (2017)[21]. Lo stesso rapporto afferma che l'utilizzo del BIM nel settore dell'infrastruttura crescerà notevolmente. Questo trend è confermato anche in Italia dovuto non solo agli obblighi imposti dai decreti ministeriali ma anche dai dati rilevati durante gli anni precedenti all'entrata in vigore.

Poiché il BIM ha raggiunto un'ampia adozione nel settore dell'edilizia, sono stati fatti sforzi crescenti per implementare la metodologia BIM per le infrastrutture civili, ed alcuni studiosi hanno esplorato varie possibili applicazioni. Ad esempio, Cho, et al. (2012)[22] ha proposto un sistema di libreria BIM che contiene informazioni su geometria, proprietà e materiali basato sulla modellazione parametrica per il calcolo efficiente dei costi di stima di gallerie. La US Federal Highway Amministration (FHWA), insieme a tre organizzazioni nazionali con sede negli Stati Uniti - l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), l'American Road & Transportation Builders Association (ARTBA) e l'Associated General Contractors of America (AGC) – hanno cercato di promuove l'utilizzo del Building Information Modeling, con l'obiettivo di raccogliere, organizzare e gestire con precisione i dati e informazioni relative alle infrastrutture autostradali. Allo stesso modo in Europa e ora anche in Italia sia nel settore pubblico che in quello privato si sta cercando di promuovere e incentivare questa metodologia. Anche la nomenclatura del BIM per le infrastrutture è stata fonte di confusione. AGI (Association of Geographic Information) ha adottato l'uso di I-BIM (Infrastructure BIM) [23], mentre sono utilizzati anche termini come CIM (Civil Information Modeling), CEIM (Civil Engineering Information Modeling) o Infra-BIM (Henttinen, 2014)[24]. Altri termini come "BIM orizzontale" e "BIM pesante" sono utilizzati per rappresentare il BIM per l'infrastruttura civile (McGraw-Hill, 2012)[21].

In questa ricerca, il termine Infra-BIM è usato per denotare l'applicazione di tecnologie basate sul BIM per progetti di infrastrutture civili. Le differenze tra BIM e Infra-BIM devono essere identificate prima di applicare BIM a progetti infrastrutturali, e possono essere riassunte in tre principali differenze[25]:

In primo luogo, la struttura e le componenti degli edifici sono diverse da quelle delle infrastrutture civili. Ad esempio, i ponti contengono una sovrastruttura che non esiste negli edifici, viceversa gli edifici contengono finestre e altri elementi che non esistono nelle opere infrastrutturali. Anche la terminologia per rappresentare edifici e infrastrutture è diversa, parzialmente dovuta alla differenza nella struttura e nei componenti. Ad esempio, i supporti strutturali verticali negli edifici sono chiamati "colonne e/o pilastri" mentre quelli nei ponti sono chiamate "pile". Pertanto, gli schemi di dati usati per gli edifici non possono essere utilizzati direttamente per le infrastrutture civili.

In secondo luogo, una volta che le fondazioni di un edificio sono stabilite, l'ambiente geometrico circostante ha poco impatto sulla costruzione dell'edificio (McGraw-Hill, 2012)[21]. Invece, i progetti di infrastrutture civili sono soggetti ad ogni cambiamento del terreno, e più in generale a tutte le esternalità. Pertanto, i progetti di costruzione edili sono anche chiamati "progetti verticali ", mentre i progetti di infrastrutture civili sono solitamente chiamati "progetti orizzontali".

Infine, BIM e Infra-BIM hanno diverse metodologie di modellazione. Per infrastrutture civili come le strade e i ponti, tutte le entità specifiche sono posizionate orizzontalmente rispetto all'asse di tracciamento o alla linea di riferimento. Definendo le sezioni trasversali e quindi estendendole orizzontalmente lungo gli allineamenti designati si ottiene l'opera nel suo complesso. D'altro canto, nell'ingegneria edile gli elementi che compongono il modello vengono spesso creati verticalmente piano per piano.

I paragrafi precedenti contengono un'elaborazione della metodologia BIM e della sua definizione. Questa definizione menziona l'accoppiamento di informazioni. Prima di elaborare quali tipi di informazioni dovrebbero essere collegate, devono essere spiegate diverse nozioni che caratterizzano il BIM. In questi sotto-capitoli vengono descritte nozioni generali, tra cui interoperabilità, modellazione orientata agli oggetti e maturità dei livelli.

#### 2.4 Centralità del modello

Uno degli aspetti più essenziali del BIM è la modellazione orientata agli oggetti (Object Oriented Model). Mentre nell'era del CAD le forme 3D avevano valenza solo geometrica, il BIM ha un approccio diverso. Nel BIM sono usati oggetti. Questi oggetti che compongono il modello possono contenere molte informazioni, incluse la parte geometrica, la relazione e dipendenza con altri oggetti e informazioni riguardanti materiali (Eastman et al., 2011) [11] "In questo modo, quando si realizza un'opera virtualmente, la si costruisce con oggetti intelligenti completamente definiti che sanno dove appartengono, come si relazionano ad altri oggetti e in cosa consistono". Questo ha un ruolo molto importante infatti si evita al minimo la perdita di informazioni per tutte le figure coinvolte.

A questo concetto è affiancato quello delle "dimensioni BIM" in cui il progetto ha un ruolo centrale lungo tutto il ciclo di vita. Le dimensioni del BIM (Building Information Modeling) si riferiscono ai livelli di informazioni e dati immessi in un modello, e includono dati del modello 3D, temporali, costi e sostenibilità.



Figura 2.4 Dimensioni BIM

3D BIM: è probabilmente la forma più familiare di BIM. L'utilizzo di strumenti all'avanguardia per la realizzazione di un modello digitale dell'opera consente di curare sempre più il dettaglio grafico della progettazione, garantendo una resa realistica ed un'ottima aderenza geometrica degli elementi modellati. Le parti che collaborano a un progetto devono fornire dati accurati sulle informazioni in modo che possano essere individuati e rimediati potenziali difetti prima di qualsiasi lavoro di costruzione ed evitare inutili costi di rilavorazione.

- 4D BIM: Porta le informazioni temporali nel mix per creare una fonte di informazioni ancora più ricca per il progetto. Questa informazione può essere il tempo di installazione, il tempo di vita relativo ai singoli materiali fino al ciclo di vita dell'intera opera. Questo tipo di informazioni vengono inserite direttamente nel modello e possono aiutare i progettisti nella creazione e nella formulazione di proposte alternative con più efficacia rispetto ai flussi di lavoro tradizionali. I dati puntuali consentono inoltre di visualizzare lo stato di avanzamento di un progetto in diverse fasi. Ciò può influire positivamente sulle tempistiche del progetto, i pianificatori sono in grado infatti di vedere in che modo le risorse si riuniscono in sequenza e forniscono feedback su eventuali problemi prima della costruzione, creando un ambiente di lavoro più sicuro per i lavoratori del sito e un progetto in grado di rispettare le scadenze.
- 5D BIM Al centro del 5D BIM ci sono le informazioni relative ai costi, ad es. il costo di capitale per l'acquisto di un componente. Il punto nevralgico della metodologia è il "Quantity Take Off", ossia l'estrazione delle misure dal progetto per poter definire le quantità di materiale/i necessario alla realizzazione di uno o più elementi. Eseguita questa operazione, al "computista" resta da scegliere le voci di elenco prezzi da assegnare alle lavorazioni, con relativo prezzo unitario, determinandone così l'importo.
- GD BIM è focalizzato sulla gestione di un bene ed è noto come "informazioni sul ciclo di vita del progetto". Un modello del genere viene definito come "as-built" e riporta con sé non soltanto quanto progettato ma quanto effettivamente viene realizzato in fase di cantierizzazione. Infatti, quanto ideato in sede di progetto, viene tradizionalmente rivisto e modificato in sede di cantiere per far fronte ad eventuali varianti in corso d'opera o per la risoluzione di conflitti geometrici od operativi che non erano stati presi in considerazione durante la fase di concepimento dell'opera. Ma la questione non si esaurisce in questi termini: infatti questo modello non è da intendersi come un modello prodotto da un unico software di "BIM authoring" ma come prodotto di un insieme di modelli realizzati con software capaci di descrivere l'opera in maniera adeguata al livello di sviluppo digitale richiesto. I dati possono includere informazioni fornite dal produttore, inclusi programmi di manutenzione, configurazione del componente per prestazioni ottimali, durata prevista, ecc. Si possono prendere decisioni migliori, ad esempio, su beni che hanno una vita più lunga e hanno un senso economico migliore. Con questo livello di dati in un modello, i responsabili delle strutture possono persino pianificare le attività di manutenzione con largo anticipo.
- 7D BIM: Il concetto di "sviluppo sostenibile" viene formalizzato per la prima volta nel 1987 all'interno del rapporto "Brundtland" stilato dalla commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo[26]. Già allora esso viene definito come l'urgenza di far convergere lo sfruttamento delle risorse naturali, la direzione degli investimenti, l'orientamento dello sviluppo tecnologico verso un

percorso che soddisfi in maniera bilanciata i bisogni odierni e futuri. Il concetto di sostenibilità, infatti, può essere esaminato sotto tre diversi punti di vista, si parla infatti di sostenibilità:

- ambientale, posta nei termini di capacità di riproduzione e mantenimento delle risorse naturali
- o economica, intesa come facoltà di generare reddito e lavoro
- o sociale, se la si guarda come generatrice di benessere per l'uomo.

L'importanza di queste fasi è rafforzata anche nella normativa italiana ed in quelle estere, seppur non citando in dettaglio la metodologia BIM, il decreto ministeriale numero 560 del 01/12/2017 sottolinea la centralità di analizzare e di conoscere tutte queste fasi esposte.

#### 2.5 Interoperabilità & IFC

I risultati del report Mcgraw and Hill considerano l'aumento della comunicazione l'obiettivo principale del BIM[21].

L'impiego del BIM per grandi opere consente piena collaborazione e coordinamento di tutti i soggetti coinvolti nella progettazione, costruzione, gestione e manutenzione. La complessità di una grande opera necessita una pianificazione sia a livello urbano che logistico, sia temporale che economica. Il BIM attraverso l'efficace coordinamento di numerose discipline, come la progettazione architettonica, strutturale e impiantistica, permette un risparmio economico e tempistico attraverso strumenti di controllo che a monte permettono di evitare errori o modifiche del progetto.

I trasferimenti delle informazioni, oggi, grazie ad internet si annullano, è possibile lavorare sullo stesso progetto con professionisti di tutto il mondo grazie a formati univoci e standardizzati che permettono alle varie discipline di avere un modello unico di base, da cui reperire le informazioni necessarie per eseguire sviluppi e analisi durante i processi progettuali/costruttivi, ma anche fino all'as-built per i programmi di manutenzione. Le informazioni BIM che oggi si è in grado di utilizzare, grazie ad uno scambio globale, danno la possibilità di superare dei problemi, che sorgevano e sorgono ancora oggi, come testare e verificare cantierabilità e la congruenza dimensionale con una riduzione dei costi generali di costruzione.

Uno dei problemi per migliorare la comunicazione è la comunicazione tra i programmi software. Ogni programma usa il proprio linguaggio, il che rende difficile collaborare con altri programmi. Questo problema, il problema dell'interoperabilità, è considerato uno dei maggiori problemi del BIM (Eastman et al., 2011)[11]. Per affrontare i problemi di interoperabilità, è possibile definire diversi modi. In primo luogo, due fornitori di software possono collaborare per consentire la comprensione reciproca tra i loro software attraverso plug-in. Un'altra opzione è l'uso di standard aperti.

Nel testo del decreto, all'articolo 4 dedicato al tema dell'interoperabilità, richiamando quanto già indicato nell'articolo 23 del Codice appalti, viene specificato che *"le Stazioni Appaltanti utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari"*.

Viene poi precisato che "tutti i dati presenti nel processo [...] devono essere richiamabili in qualunque fase e da ogni attore durante il processo di progettazione, costruzione e gestione dell'intervento secondo formati digitali aperti e non proprietari, normati [...]".



Figura 2.5 Bim e Interoperabilità

Ed ecco quindi la necessità di un formato standard, che consenta l'interoperabilità e l'interscambio dei dati in modo sicuro, senza errori e/o perdita di informazioni. Ad oggi sono presenti diversi formati di scambio file, ma il formato IFC (Industry Foundation Classes), supportato da <u>BuildingSMART</u>, risulta essere quello utilizzato dalla maggioranza dei produttori software.



Figura 2.6 Logo IFC

Lo scopo di buildingSMART è di definire, pubblicare e promuovere norme per le Industry Foundation Classes come base per la condivisone globale delle informazioni di progetto dell'AEC (Architecture and Engineering Construction). L'IFC è un formato che permette l'interoperabilità tra diversi software superando gli approcci tradizionali di condivisione delle informazioni di progetto .dxf, .dwf, .dwg e .pdf. Il modello di dati IFC è stato adottato da diverse governance per il controllo dei regolamenti e per la revisione dei progetti, ed attualmente ha un forte e crescente impatto sulla pratica delle costruzioni e sugli appalti, e di conseguenza sugli sviluppatori e sugli utenti di strumenti BIM. Le IFCs definiscono un unico modello di dati object-oriented, condiviso da tutte le applicazioni conformi alle IFC, in cui i modelli di progetto scambiano informazioni in modo accurato e senza errori con le applicazioni conformi. Il formato IFC include la geometria distinguendo le varie entità di componenti "semplici" e tutte le informazioni ad essi associati, come informazioni alfanumeriche (proprietà, quantità, classificazione, etc.) che ne specificano i parametri, le proprietà fisiche, le informazioni per la costruzione, le informazioni per la manutenzione, etc. Attualmente la maggior parte dei software BIM supportano Import /Export di dati del modello BIM in formato IFC, con la certificazione buildingSMART per il controllo di coerenza. Il formato IFC è importante sia per la compatibilità che per l'interoperabilità, poiché consente a differenti applicazioni di lavorare in forma collaborativa. La IFC Library rappresenta una libreria di riferimento che ha come obiettivo quello di migliore l'interoperabilità nell'industria delle costruzioni fornendo un metodo flessibile per collegare esistenti banche dati di informazioni ad un building information model basato sul buildingSMART, fornendo:

- Funzioni multilingue e di traduzione (utili per un mercato globale);
- Un riferimento globale unico per ogni concetto
- Un arricchimento del modello IFC e il collegamento ai dati di prodotti specifici;
- Una banca dati per la terminologia e definizioni;

L'IFD(International Framework for Dictionaries) è una libreria di termini stndardizzati, i cui concetti essenziali derivano da standard aperti e internazionalmente accettati sviluppati dalla ISO (in particolare lo standard ISO 12006-3:2007). In pratica lo standard IFC descrive gli oggetti, come sono collegati, e come devono essere scambiati e archiviati i dati, mentre lo standard IFD descrive in modo univoco che cosa tali oggetti sono e quali parti, proprietà, unità e valori essi possono avere. L'IFD fornisce un dizionario, che ne definisce i concetti e ne illustra la comprensione necessaria affinchè il flusso comunicativo avvenga senza difficoltà.

Potremmo dire che oggi abbiamo materia su cui operare, ma occorre bene definire quali sono le modalità con cui le varie figure professionali si rapportano, le informazioni da scambiarsi e in quali momenti. Infatti ad oggi questo formato di scambio non traduce totalmente gli oggetti caratteristici dei progetti di infrastrutture, e sono in corso tavoli tecnici per la creazione di librerie di supporto a queste istanze. Analizzando questo aspetto si evince la centralità di avere un quadro normativo coerente agli sviluppi e usi del settore, e si comprende meglio per quale ragione l'introduzione della metodologia BIM non è solo l'introduzione di nuovi strumenti software ma anche il progressivo apprendimento di nuovi modi di lavorare condivisi.

#### 2.6 Livello di Maturità

La maturità del modello BIM descrive il livello di maturità in relazione all'abilità di scambiare e modificare informazioni tra i diversi interessati al progetto. Esistono diversi livelli (spesso descritti come "livelli di maturità") di collaborazione che si basano sull'uso e la condivisione di file e sulla gestione del modello, e vanno da una implementazione di elementi di base fino a un vero e proprio coinvolgimento di tutti gli elementi del processo.



Figura 2.7 Livello di Maturità BIM

- La base iniziale è il Livello 0.

Questa, la forma più semplice e non è propriamente BIM, ma è un CAD gestito tra disegni 2D e file testuali, con lo scambio di informazioni. Essenzialmente questo è un tavolo da disegno digitale senza la possibilità di collaborare con altri utenti. Possiamo affermare che è il livello oggi raggiunto dalla maggior parte degli utenti ma che non si tratta in fondo ancora di "vero BIM".

- Il primo salto di qualità si ha con il Livello 1.

A questo livello di applicazione del BIM, il CAD comincia ad essere formalmente gestito, con la crescente introduzione di funzioni di coordinamento spaziale, strutture e formati standardizzati. Possiamo semplificare il concetto pensando che il BIM di livello 1 comprende una miscela di CAD 3D per quanto riguarda la fase di progettazione e di 2D per quanto riguarda la documentazione e le informazioni di produzione. Nel livello 1 i modelli non sono ancora condivisi tra i membri del team di progetto. - Il Livello 2 è probabilmente il primo ad essere realmente BIM.

Finalmente i team cominciano a collaborare realmente: tutte le parti utilizzano i propri modelli CAD 3D, ma non stanno necessariamente lavorando su un unico modello condiviso. La collaborazione si presenta sotto forma di modalità di scambio delle informazioni tra le varie parti. Le indicazioni per la progettazione sono condivise attraverso un formato di file comune che consente a qualsiasi organizzazione di essere in grado di combinare i dati usati con loro al fine di avere un modello BIM federato, e di effettuare controlli interrogativi su di esso. Di fatto, il Livello 2 del BIM è un ambiente 3D gestito con dati allegati, ma creato in modelli basati su discipline-separate, e anche se i modelli separati sono assemblati in modo da formare un modello federato, questi non perdono la loro identità e l'integrità. I dati possono includere informazioni sul cronoprogramma dei lavori (4D) e sui costi (5D). Questo è il livello che i governi si aspettano in genere di riuscire ad attuare. Per esempio, la grande sfida dell'UK è stata quella di arrivare a un livello 2 obbligatorio negli appalti pubblici entro il 2016.

- Il Livello 3 rappresenta la piena maturità.

Raggiunto questo livello si ottiene la piena e completa collaborazione tra tutte le discipline, in cui si utilizza unico modello progettuale condiviso che si tiene in una repository centralizzata, che dovrà essere conforme con le norme IFC. Con il Livello BIM 3 entrano in gioco anche le informazioni sul progetto del ciclo di vita (6D) e il modello unico a cui tutti lavorano diventa il vero luogo di condivisione delle competenze. Con il livello 3 il progettista, anzi il team di progettazione ha il controllo globale sulla costruzione

La qualità dello scambio dei dati è, dunque, la direzione verso la quale si concentra il maggior impegno ai fini della diffusione del BIM, sia dal punto di vista procedurale che degli strumenti software.

#### 2.7 LOD - Level of Development

Uno dei maggiori punti di forza del BIM è la creazione e la gestione di un database di informazioni riguardanti tutti gli elementi di un modello. Risulta quindi fondamentale definire quanti dettagli, andranno presi in considerazione durante la modellazione, in quale maniera e fino a che livello di completezza. Una chiara articolazione e descrizione degli elementi permetterebbe, indipendentemente dal software utilizzato, di definire ciò che ci si deve aspettare dal modello e di comprenderne l'utilizzabilità e le limitazioni. In questo modo la conoscenza approfondita del modello non è più prerogativa dell'autore ma è espressa nettamente, offre affidabilità e permette una più facile collaborazione tra i vari operatori durante le fasi del processo.

La nozione di LOD(Level of Development), è una delle più note nella società BIM. Il livello di sviluppo degli oggetti digitali che compongono i modelli, definisce quantità e qualità del loro contenuto informativo ed è funzionale al raggiungimento degli obbiettivi del modello cui si riferiscono. La normativa italiana è sostanzialmente concorde con gli standard internazionali e normative estere, è presente solo una differente nomenclatura ma i concetti di base sono gli stessi. Il livello di sviluppo degli oggetti è richiesto dal committente nel capitolato informativo o concordato tra committente ed affidatario attraverso il piano di gestione informativa(pGI) dell'opera (o del complesso di opere). Natura, quantità, qualità e stabilità di dati e informazioni costituenti ciascun oggetto di un modello ne definiscono il livello di sviluppo. Tali dati e informazioni, attributi geometrici e non, sono espressi:

- In forma grafica, per virtualizzazione tridimensionale (oggetto 3D), eventualmente accompagnata da specifiche rappresentazioni bidimensionali (disegno 2D);
- In forma scritta e multimediale (ad es.; attributi per la gestione di tempi, costi, e manutenzione)
   anche attraverso l'uso di specifiche schede informative di prodotto e di processo

Il livello di sviluppo informativo di un oggetto digitale è espresso secondo la normativa UNI 11337 attraverso una scala di riferimento definita dal committente nel capitolato informativo(CI), definendone altresì il livello minimo che ritiene necessario per il raggiungimento dell'obbiettivo:

- 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

In figura si mostrano esempi relativi al settore delle infrastrutture

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
	27.9					
Geometria Terreno esistente rappre- sentato mediante una superilo e jana equiva- lente, comprensiva di un punto notevole, di un orientamento e una geo- referenziazione	Geometria Terreno esistente rappre- sentato mediante una superficie tridimensionale basilare (TIN o Grid)	Geometria Terreno esistente rappre- sentato mediante una superifici e tristimensionale oreata da una rete di punti appositamente rilevati (ad esempio laser scan).	Geometria Terreno esistente rappre- sentato mediante una superficie triumensionale creata da una rete di punti appositamente rilevati (ad esempio laser scan). Utienon stratigrafie sotto- stanti sono rappresentate anch'esse da superfici 3D create suita base di op- portuni rilevi.	Geometria Come LOD D.	Geometria Come LOD E (con aggiomamenti).	Geometria Come LOD F (con aggiornamenti).
Oggetto Superficie 2D	Oggetto Superficie 3D	Oggetto Superficie 3D	Oggetto Superfici complesse 3D	Oggetto Superfici complesse 3D	Oggetto Superfici complesse 3D	Oggetto Superfici complesse 3D
Caratteristiche Nome della superficie Area occupata	Caratteristiche • Quote del punti	Caratteristiche Pendenze delle scarpate Orografia realistica	Caratteristiche • Dettaglio stratigrafie	Caratteristiche	Caratteristiche	Caratteristiche

#### Figura 2.8 Esempio di LOD terreni esistenti

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
and a second sec	- ACLAR	7	7			7
Geometria Tracciato pianimetrico base (2D).	Geometria Tracciato planimetrico comprensivo di curve di transizione. Tracciato attimetrico com- prensivo di raccordi verti- call.	Geometria Tracolato planoaltimetrico completo.	Geometria Modelo stradale a superfi- ci, costruito sull'asse 3D.	Geometria Modello stratale completo a superio, costruito sull'asse 30.	Geometria Come LOD E (rilevo di quanto eseguito).	Geometria Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiomamenti) Manutenzione e gestone su tracciati esistenti: Come LOD C o D (a partire da).
Oggetto Asse 2D	Oggetto Asse 2D nel plano oriz- zontale Asse 2D nel plano verticale	Oggetto Asse 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D	Oggetto Assi 3D Superfici 3D
Caratteristiche Lunghezza rettifil Raggi curve circolari	Caratteristiche Parametricitoldi Livellette Raccordi verticali Categoria stradale	Caratteristiche	Caratteristiche Sezione trasversae da categoria stradaie Rotazione dei cigii Allargamenti in curva	Caratteristiche Sezioni tipo Pendenza scarpate Smattmento acque di piattatorma Voiumi di materiale (movimenti terra, pa- vimentazioni, ecc.)	Caratteristiche Certificazioni di pro- dotto Certificati di omologa- zione Informazioni su terre e rocce da scavo Estil prove in situ Estil prove di labora- torio	Caratteristiche Data di ultima manu- tenzione Gogeto manutentore Tipologia di Intervento Esiti nilevi

Figura 2.9 Esempio di LOD tracciati stradali

### 3. Considerazioni sull'implementazione del BIM

La creazione di modelli informativi è diventata un tema centrale nell'industria delle costruzioni. Ci sono innumerevoli benefici derivanti dall'uso del BIM ed è della massima importanza renderli visibili con il fine di promuovere ulteriormente l'implementazione del BIM nell'infrastruttura. Questa sezione affronterà un numero di importanti benefici derivanti dall'implementazione del BIM.

#### - Visualizzazione

Guardando indietro a ciò che Engelbart (1962)[30] scrisse, affermò che lavorare con il computer dovrebbe migliorare l'intelletto umano, come accennato nell'introduzione, il modo di lavorare con BIM è una metodologia modello-centrica. Rispetto al lavoro dei disegni CAD 2D, questo consente una visualizzazione avanzata della struttura. La visualizzazione migliorata ha i seguenti vantaggi:

- migliore visione d'insieme e comprensione
- compatibilità e rilevamento delle interferenze
- riduzione del rischio

La visualizzazione dei modelli 3D è di grande vantaggio per ogni fase della costruzione, e per tutti gli stakeholder(interessati) che lo usano. L'uso di modelli di costruzione come strumento di visualizzazione è uno dei suoi usi più ovvi con i vantaggi più evidenti. Il modello 3D del progetto aiuta le diverse parti a comprendere meglio i dettagli del design, formando un quadro mentale comune più rapido ed efficace rispetto ai disegni tradizionali. Questo è supportato dalle ricerche nel campo (Azhar, et al., 2008)[31], la maggior parte delle aziende che hanno implementato il BIM lo usano proprio per queste ragioni cioè come strumento di visualizzazione e controllo di interferenze. Inoltre, una ricerca presso la Stanford University ha raccolto informazioni da 32 progetti di costruzione dove era stato utilizzato il BIM. I risultati hanno dimostrato che, utilizzando BIM per il rilevamento delle interferenze, è possibile ottenere un risparmio fino al 10% del valore del contratto (Azhar, 2011)[32].

#### - Pianificazione e progettazione preventiva

L'uso del BIM può rendere i processi esistenti più efficaci fornendo nuovi metodi di lavoro che supportano la pianificazione e la progettazione dettagliata e preventiva. Vantaggi relativi a questo possono essere esemplificati in:

- minori richieste di informazioni
- minore necessità di riprogettazione
- valutazione di scenari ipotetici

L'indagine precedentemente menzionata condotta alla Stanford University ha concluso che il 79% degli utenti BIM ha indicato che l'uso del BIM ha migliorato i risultati del progetto, in un minor numero di richieste di informazioni e riduzione dei problemi di coordinazione [32]. Il verificarsi di problemi e errori durante la fase di realizzazione dell'opera comporta un aumento nel numero di richieste di informazioni, coinvolgendo inutilmente persone in decisioni che richiedono tempo e che si sarebbero evitate se si fossero analizzati in precedenza (Eastman, et al., 2011)[11]. Come indicato, il BIM ha dimostrato di diminuire il numero di errori fornendo allo stesso tempo un facile accesso alle informazioni.

L'integrazione di input di progettazione multidisciplinare mediante il singolo modello 3D consente di identificare e risolvere i problemi di interfaccia in anticipo, eliminando i costi e gli impatti del tempo della riprogettazione (MacDonald, 2012)[33]. Oltre alla riduzione della riprogettazione e della rilavorazione, c'è un altro vantaggio, vale a dire la possibilità di valutare in modo efficace scenari ipotetici. I modelli BIM 3D sono formati da oggetti, come affermato nel capitolo precedenti, accoppiati tra loro anche in modo parametrico. A causa di questo, significa che gli scenari ipotetici possono essere valutati in modo più efficiente e con più facilità, e se più informazioni, come ad esempio l'aspetto economico, sono collegate

automaticamente al modello, l'efficienza diventa ancora più alta, perchè si possono confrontare direttamente i vantaggi e svantaggi delle diverse soluzioni.

In linea con questo, Strafaci (2008)[28] descrive le differenze nella capacità di influenzare il designo tra un progetto utilizzando BIM e uno in cui vengono utilizzati gli approcci tradizionali. Questo confronto è illustrato nella Figura 3.2 di seguito



Figura 3.1 Curva di MacLeamy – Vantaggi BIM

Nella figura, la linea numero uno illustra la capacità del designer di influenzare il design, sia economicamente che in termini di prestazioni. Questa capacità di impatto è alta durante il progetto preliminare ma diminuisce costantemente mentre il progetto procede verso la fase operativa. La linea numero due illustra il costo per le modifiche di progetto, mostrando un piccolo costo nella fase di progettazione preliminare e con un aumento costante per tutto il progetto. Inoltre, Strafaci distingue tra ciò che definisce un flusso di lavoro "BIM" e un flusso di lavoro "tradizionale". In quest'ultimo, la maggior parte del lavoro di progettazione, come mostra la linea numero tre, è condotta nella fase di documentazione in cui i costi sono in aumento e la capacità di influenzare il design è diminuita rispetto al progetto preliminare. La linea quattro, d'altra parte, che rappresenta il processo di lavoro quando si utilizza BIM, mostra come molti degli sforzi sono introdotti all'inizio, nella fase di progettazione. Di conseguenza, lavorando con il progetto BIM l'efficienza può essere aumentata a causa dei tempi di costruzione più brevi, meno errori di progettazione e meno cambiamenti nella progettazione durante la costruzione.

#### - Collaborazione migliorata

Altri due vantaggi relativi all'utilizzo del BIM sono:

- migliore collaborazione
- migliore previsione del progetto

Nella letteratura, si afferma che il BIM supporta e facilita la collaborazione all'interno del gruppo di progetto per l'intera durata di costruzione (Eastman, et al., 2011)[11]. Secondo Engelbart (1962)[30], le persone lavorano con un livello più alto di efficienza e producono risultati migliori se lavorano in gruppi con buona collaborazione e buona comunicazione.

Dichiarazioni molto simili possono essere trovate sul fatto che BIM ha sviluppato un modo di lavoro che, se utilizzato correttamente, consente un elevato livello di comunicazione e scambio di informazioni. Questo è supportato dalla seguente dichiarazione di un caso studio che conclude "le sessioni di visualizzazione 3D collaborative hanno anche migliorato la comunicazione e la fiducia tra le parti interessate e abilitato un rapido processo decisionale fin dall'inizio del processo "(Azhar, et al., 2008, p.7)[31]. In aggiunta a questo, si indica che rispetto al lavoro tradizionale, il BIM parametrico rende più facile condurre il lavoro simultaneo in fase di progettazione. Questo è dovuto al fatto che è più facile applicare modifiche al modello che esegue automaticamente le modifiche a tutte le dimensioni e a tutti i disegni digitali collegati al modello, rispetto ai disegni 2D che devono essere modificati individualmente.

#### 3.1 Usi & Obbiettivi BIM

Il BIM ha molti usi diversi, per attori diversi e per le diverse fasi di progetto. Ci sono molte aree di applicazione generali per il BIM e considerando il fatto che diverse parti interessate hanno diversi processi di lavoro, il modo in cui viene utilizzato il BIM può variare tra diversi attori e diversi metodi di consegna. Questo capitolo introdurrà brevemente gli usi correnti per il BIM.

- Design concettuale

Il BIM può essere utilizzato subito dai designer per la progettazione concettuale, lo sketch, la pianificazione degli spazi e l'orientamento sul sito. Inoltre, le informazioni di progettazione generate attraverso il design concettuale consentono analisi preliminari e simulazioni di ciò che verrà costruito. Usando strumenti di esplorazione del design, si possono creare oggetti di massa e forme libere che possono fungere da base per una progettazione più dettagliata nelle fasi successive. Rispetto agli elaborati 2D, questa forma semplice e veloce di disegno 3D può più facilmente comunicare informazioni visive e spaziali tra le parti interessate del progetto.

- Analisi e simulazione

Le informazioni relative agli oggetti inerenti a un modello BIM consentono l'analisi e simulazioni di ciò che viene costruito. Inoltre, consente ai progettisti di determinare in anticipo se il progetto soddisferà le funzioni previste per la struttura. Anche se la maggior parte della letteratura sul BIM si concentra sul design degli edifici, ci sono alcune analisi e simulazioni che si applicano ai progetti infrastrutturali. Ad esempio, la simulazione BIM può prevedere l'impatto degli eventi sismici su ponti, strade e gallerie, che aiutano i progettisti a generare soluzioni di design durevoli (Bennet, 2012)[27]. Inoltre, la simulazione della sicurezza stradale può garantire che il progetto stradale soddisfi i requisiti per la distanza di visibilità, prendendo in considerazione sia la geometria della strada che le ostruzioni esterne (Strafaci, 2008)[28].

#### - Coordinazione del design

Tradizionalmente, il coordinamento della progettazione e il controllo delle interferenze sono stati eseguiti manualmente utilizzando disegni di carta 2D su un tavolo luminoso o digitalmente utilizzando gli strati(layers) di disegni CAD 2D. Al contrario, le revisioni automatizzate dei modelli 3D sono diventate sempre più comuni per il rilevamento delle interferenze, che è un modo efficace e automatizzato di rilevare errori di progettazione. Tuttavia, il semplice rilevamento automatico delle interferenze di modelli 3D spesso rileva scontri irrilevanti e manca della capacità di categorizzarli. Inoltre, se il livello di dettaglio della geometria 3D è troppo basso è difficile rilevare questi scontri. Il rilevamento dei conflitti attraverso l'uso del BIM, d'altra parte, fornisce la capacità di combinare il rilevamento delle interferenze con analisi basate su regole predefinite. Quindi le interferenze possono essere identificate, categorizzate e interpretate come rilevanti o meno. Questa metodologia di rilevamento basato sul BIM fornisce un modo altamente efficace di ridurre gli errori di progettazione che altrimenti sarebbero emersi in termini di tempi, costi e problemi durante la produzione (Eastman, et al., 2011)[11].

#### - Disegni di progettazione dettagliata

Sulla base del modello BIM, i progettisti possono generare informazioni di progettazione sotto forma di disegni e documenti. Attraverso sezioni e piani possono essere generati disegni di dettaglio facilmente in modi infiniti e in tempi molto brevi rispetto alla produzione dei classici disegni CAD 2D.

#### - Quantità e stima dei costi

Con l'aiuto del software BIM, è possibile ottenere quantità precise per i materiali. Ad esempio, possono essere ottenute documentazione di rinforzo, incluse informazioni su quantità e proprietà del materiale (Tekla, 2013)[29]. La stima dei costi può essere estratta dai software BIM attraverso il calcolo delle quantità. In questo modo, le informazioni obiettive memorizzate all'interno del modello possono essere convertite più facilmente in fatture che forniscono stime accurate dei costi, riducendo al minimo il rischio per l'uomo - Pianificazione dei lavori (4D)

Il BIM offre la possibilità di collegare la pianificazione al modello 3D, nel senso che si conosce l'evoluzione temporale dell'opera. Questo permette di collegare i compiti di lavoro a oggetti fisici e visualizzarli in sequenza migliorando l'efficienza di tutto il processo (Eastman, et al., 2011)[11].



Figura 3.2 Fasi del processo e applicazioni BIM

#### 3.2 Ostacoli all'implementazione

Anche se il BIM ha dimostrato di generare benefici quando implementato, ci sono ancora molti ostacoli che devono essere superati affinché il BIM possa essere ampiamente adottato.

- Alti Costi

Uno dei maggiori ostacoli è quello che le società di costruzioni credono che la formazione BIM costerebbe alla propria azienda troppi soldi e risorse umane (Yan & Damian, 2008)[34] sia per quanto riguarda l'acquisto di licenze software sia per la formazione del personale. Con queste motivazioni, si può anche capire perché le piccole aziende di costruzioni abbiano avuto delle diffidenze nell'adozione della metodologia BIM.

- Resistenza sociale

A parte il fatto che molte ricerche concordano sui benefici economici dell'adozione della metodologia BIM, c'è una resistenza sociale e abituale a cambiare il modo in cui viene svolto il lavoro nel settore edile e civile (Yan & Damian, 2008)[34]. Questo è supportato da Eastman, et al. (2011)[11] che afferma che la resistenza ai cambiamenti dell'attuale processo di lavoro è un ostacolo per il successo dell'implementazione del BIM.

- Interoperabilità

Ci sono anche barriere tecniche che ostacolano l'adozione del BIM nell'industria delle costruzioni. Il problema dell'interoperabilità tra software è stato identificato come un ostacolo che mina la progettazione collaborativa efficiente. Inoltre, il fatto che gli sviluppatori di software devono assumersi il rischio finanziario per lo sviluppo specializzato di software diminuisce la gamma di prodotti disponibili sul mercato (Eastman, et al., 2011)[11].

- Normative

Anche le questioni legali sono state identificate come un ostacolo, considerando il fatto che il una migliore collaborazione BIM significa anche responsabilità e ricompense che devono essere legalmente regolate. Il problema della proprietà sul modello è un rischio legale che deve essere gestito per facilitare l'adozione del BIM (Azhar, et al., 2008)[31]. Il settore AEC è in gran parte regolato da contratti che sono stati sviluppati anche molto prima dell'introduzione del CAD e di conseguenza c'è bisogno di nuovi contratti e norme che coprano il nuovo scambio di informazioni (Hartmann & Fisher, 2008)[35].

- Esperienza

Infine è stato identificato che c'è una mancanza di persone con esperienza in entrambi campi BIM e ingegneria strutturale. Questo è illustrato in un altro studio affermando che la barriera più frequentemente menzionata è stata la mancanza di personale qualificato. (Kaner, 2011)[36].
# 4. Caso Studio

La metodologia BIM applicata alla progettazione di Infrastrutture può rappresentare un miglioramento del flusso di lavoro, del progetto e del prodotto finale. Nel mondo delle Infrastrutture esiste l'esigenza di far dialogare diverse discipline specialistiche, ad esempio la disciplina della Progettazione Stradale con quella Strutturale, inoltre i progetti infrastrutturali, spesso, sono suddivisi tra diversi gruppi di progettazione e l'ottimizzazione della comunicazione tra i gruppi è un aspetto fondamentale per il miglioramento complessivo del progetto stesso come spiegato nei capitoli introduttivi. La fase progettuale risulta tanto più efficacie quanto più le diverse discipline sono in grado di dialogare fra loro in modo organico, attraverso strumenti che permettano l'integrazione ed il controllo reciproco. Di seguito si cercherà quindi di chiarire come sia possibile operare seguendo alcune prassi metodologiche di matrice Bim applicandole al caso studio di un'infrastruttura complessa.

## 4.1 Introduzione

La S.S. 21 "della Maddalena" Variante di Demonte, Aisone e Vinadio è una strada statale, realizzata da ANAS s.p.a., il progetto riguarda la variante al comune di Demonte(CN) in Piemonte, dell'itinerario SS 21 "della Maddalena" che costituisce un'importante via di collegamento transalpino, garantendo l'accessibilità al territorio francese tramite il valico del Colle della Maddalena. Il tracciato di progetto, di lunghezza complessiva pari a 2,72 km(figura. ), è stato realizzato per diminuire la congestione creata dall'attraversamento urbano di Demonte e migliorare i livelli di servizio e di sicurezza sull'attuale SS 21.



Figura 4.1 Contesto e opera in esame

Nella realizzazione del modello si è scelto di sviluppare nel dettaglio solo la seconda metà della strada statale a partire dalla progressiva 1+359.00, consapevoli che l'analisi può essere applicata con gli stessi criteri anche nella prima metà del progetto. Per la produzione dell'elaborato, inoltre si è partiti dall'assunzione che il tracciato rispetti i criteri della normativa stradale (D.M. 5/11/2001 e D.M. 19/04/2006). Si sono comunque confrontati i risultati ottenuti con quelli di progetto.

## 4.2 Metodologia

L'idea principale del Building Information Modeling (BIM) è creare modelli 3D e archiviare le informazioni su un progetto di costruzione lungo tutto il ciclo di vita in un database, in modo che queste possano essere facilmente estratte e visualizzate. Creando modelli 3D e aggiungendo informazioni relative a tutte le diverse discipline coinvolte, tutte le informazioni che prima dovevano essere coordinate a posteriori della concezione dell'opera possono essere subito incorporate nel modello. In questo modo, si ottiene in anticipo una panoramica del progetto, che a sua volta significa che problemi o miglioramenti possano essere identificati nelle prime fasi del processo di progettazione.

In contrasto con il design tradizionale e l'uso di strumenti CAD, in cui i disegni sono indipendenti tra loro, il BIM è un modello con oggetti 3D e elementi con proprietà parametrizzate relazionate tra loro. Proprietà parametrizzate significa che gli oggetti sono assegnati con alcuni parametri (ad esempio dimensioni, offset rispetto alla posizione originale, materiali, ecc.) che sono facilmente modificabili attraverso una tavolozza di proprietà. Una volta che le informazioni che rappresentano l'oggetto sono modificate, lo saranno ovunque nel modello BIM.

Utilizzare uno standard per rappresentare le informazioni sull'infrastruttura in un formato digitale che può essere rapidamente adottato da strumenti software può offrire diverse opportunità; consegna di progetti digitali, visualizzazione 3D, assemblaggio virtuale, controllo macchina automatizzato e e altro ancora, come parte dello sviluppo del progetto e della gestione del patrimonio esistente. Allo stesso tempo, si deve valutare il potenziale di un nuovo processo digitale, questo include, tra le altre cose, valutare i programmi utilizzati e come possono essere integrati in progetti infrastrutturali.

Questa parte del lavoro della tesi mira a sviluppare diverse metodologie che soddisfino i requisiti dei modelli orientati al BIM. I modelli creati potrebbero essere ulteriormente utilizzati per analisi strutturali o di sensibilità, pertanto viene presa in considerazione la possibilità di esportare in IFC (Industry Foundation Classes) o altri formati. L'implementazione della tecnologia orientata al BIM implica una serie di software che portano il processo di lavoro ad un nuovo livello di collaborazione tra tutti i partecipanti alla costruzione. Utilizzando software di modellazione dinamica tridimensionale, in tempo reale come Revit e OpenRoads Designer, viene fornito ai designer la possibilità di progettare una struttura e le sue componenti in 3D, annotare il modello con redazione di tavole 2D e accedere alle informazioni di costruzione dal database del modello.

Il processo di realizzazione del presente lavoro è stato realizzato con diversi software e suddiviso in diverse fasi.

- La raccolta delle informazioni dai file forniti:
  - Acquisizione file .pdf, .dwg.
- La realizzazione del modello BIM stradale
  - o **Terreno**
  - o Tracciato
  - o Sezioni Trasversali
  - o Corridoi
  - o Sopraelevazione
- La realizzazione del modello parametrico BIM del ponte Cant
  - Acquisizione dati di progetto
  - Creazione Famiglie in Revit
  - Composizione modello
- Lo sviluppo di alcuni aspetti del modello collaborativo BIM.
  - o Importazione del modello stradale e del ponte Cant
  - o Piano di Manutenzione

Il fattore che accomuna tutti i processi è la centralità del modello 3D del progetto e la sua interoperabilità tra i diversi software.

### 4.3 Software usati

Si sottolinea l'importanza di ricercare interoperabilità tra i software, infatti è proprio tra software diversi, soprattutto di aziende diverse, che nascono i problemi di compatibilità causando attività dispendiose e ritardi. Per questo motivo si sono studiati i diversi modi di importazione ed esportazione dei diversi file andando a ricercare la giusta metodologia per avere la minor perdita di informazioni tra le diverse fasi. OpenRoads Designer della Bentley è stato utilizzato per tutta la parte di modellazione stradale e per estrarre le linee base per la realizzazione del ponte Cant. La modellazione di dettaglio riguardante il ponte citato riportato nell'elaborato è stata eseguita in Revit e nel nell'applicativo Dynamo, entrambi software di Autodesk. Infine si sono uniti i diversi modelli nel software NovaPoint, della Trimble.

### Ulteriori software utilizzati:

- Disegno CAD: Autodesk AutoCAD 2019 [www.autodesk.it]
- Editor testo: Microsoft Word [www.office.com]
- Lettore pdf: Adobe Reader [www.adobe.com]
- Elaborazione dati per test sulle funzioni: Microsoft Excel [www.office.com]
- Elaborazione file txt: NotePad ++ [notepad-plus-plus.org]

# 4.4 Modellazione stradale in ottica BIM

## 4.4.1 Software Utilizzati

Per la modellazione stradale e del terreno è stato deciso di utilizzare Bentley OpenRoads Designer. OpenRoads Designer [www.bentley.com][37]



OpenRoads Designer è un programma focalizzato sulla costruzione di progetti di reti stradali, combinando i processi di progettazione, costruzione dell'opera, concezione e completamento della stessa. L'applicazione fornisce funzionalità di progettazione dettagliate e complete per il rilievo, il drenaggio, le utility sotterranee e la progettazione stradale. Il software consente di riunire dati contestuali provenienti da più fonti, come nuvole di punti, mesh poligonali 3D,

dati sul terreno, immagini e informazioni geospaziali, per integrare il paesaggio reale nel progetto. Inoltre permette di raggiungere una maggiore performance di modellazione con la produzione della documentazione progettuale incentrata sul modello e di condividere le informazioni progettuali tra più team, siti e discipline.

La ragione di questa scelta è che è un software che offre buone soluzioni per la progettazione e documentazione di infrastrutture stradali. Gli strumenti all'interno del software consentono un'ottima collaborazione ed efficienza nel flusso di lavoro. Gli innovativi strumenti di progettazione aiutano a ridurre il tempo necessario per progettare, analizzare e implementare perché collegano dinamicamente gli elementi creati.

Inoltre, l'interoperabilità è uno degli scopi di questa tesi, quindi per analizzare l'interoperabilità tra diversi software nel mercato è stato conveniente lavorare con programmi di case diverse da Trimble e Autodesk, usati nelle fasi successive di questa tesi.

## 4.4.2 Metodologia

Questa fase consiste nel generare la superficie del terreno in cui viene localizzato il ponte Cant. Con questo fine, è stato necessario creare il modello stradale, dal momento che la superficie finale sarà dipendente dalle caratteristiche generali della strada. Inoltre, da questo modello sono state ottenute le linee caratteristiche del ponte, utili per lo sviluppo della fase successiva: Modellazione parametrica del Ponte.

Per realizzare il modello stradale, è stato utilizzato un software specificamente orientato all'ingegneria civile e stradale: Bentley OpenRoads Designer.

A.N.A.S ha fornito le informazioni sul terreno utilizzate come base (file DTM) per la superficie finale e informazioni riguardo la composizione del tracciato stradale e delle sue caratteristiche geometriche e tecniche (File AutoCAD e PDF): Tracciato planimetrico e altimetrico, Sezioni Trasversali e Superelevazione dei cigli stradali.

Il risultato è stato un modello 3D in cui le caratteristiche precedentemente dichiarate sono state rappresentate in un unico modello BIM.



Figura 4.4.1 Workflow per la creazione del modello stradale

#### 4.4.3 Terreno

La prima parte è stata la creazione del modello del terreno nel software Open Roads Designer, necessaria per la realizzazione del tracciato planimetrico e altimetrico.

Tuttavia prima di creare il modello del terreno si sono dovute convertire le coordinate presenti nei file 3D CAD in coordinate geodetiche Est-Nord. In accordo con gli standard presenti nella UNI 11337 si è scelto come sistema di riferimento l'UTM32 con codice ESRG:25832, in modo da avere univocamente geolocalizzato l'opera in esame. Infatti la definizione univoca del sistema di riferimento è uno dei requisiti necessari per la manipolazione e la gestione dei dati, ma anche per l'importazione ed esportazione delle informazioni tra i vari software.



Figura 4.4.2 Tool di definizione delle coordinate geografiche e sistema di riferimento

In questo passaggio si è sfruttato la posizione nota di inizio e fine tracciato e attraverso una rototraslazione in AutoCad 2019 si è ottenuto il modello corretto, utilizzabile in tutti gli step successivi.



Figura 4.4.3 Modello 3D CAD del contesto

All'interno del software OpenRoads sono disponibili diverse opzioni di creazione e importazione del terreno, dalle superfici DTM realizzate con software GIS a rilevazioni di nubi di punti Lidar. In mancanza di dati più specifici si è scelto tuttavia di lavorare con le curve di livello 3D estratte dai file .dwg forniti. Si vuole

ribadire che il flusso di lavoro è stato eseguito in questo modo in mancanza di altri dati, tuttavia, in fase di progettazione è necessario utilizzare strumenti in grado di ottenere risultati più precisi.

OpenRoads ha il perfetto controllo dei disegni CAD, selezionando solo i layers relativi alle curve di livello, l'operazione automatica di triangolazione ha permesso di creare una superficie che modella il terreno, privata di tutte le strutture e infrastrutture e esportabile in diversi formati. Questa modellazione è fondamentale perché fornisce le quote di progetto delle varie entità. Si è quindi scelto di creare un file separato solo per il terreno, ma completamente richiamabile, in modo che eventuali e future correzioni possano essere applicate senza dover modificare da capo tutte le altre entità che si andranno a creare.



Figura 4.4.4 Modello del terreno in OpenRoads Designer



Figura 4.4.5 Modello finale del terreno

## 4.4.4 Tracciato

A questo punto è stato importato l'asse principale del progetto che viene letto in OpenRoads solo come entità geometrica priva di proprietà in quanto file CAD 2D. Per ricreare fedelmente l'asse si sono utilizzati i file .pdf contenenti tutte le informazioni essenziali riguardanti i diversi aspetti della progettazione stradale. Bisogna anche considerare che la progettazione geometrica rispetti la normativa vigente: nel software infatti sono disponibili strumenti di controllo, direttamente collegati alla normativa italiana, che indicano quando non si rispettano i criteri di progetto, ma come già detto si è supposto che questi siano stati tutti rispettati da ANAS.

## - Tracciato Planimetrico:

Partendo dal punto iniziale del file .dwg del tracciato, geolocalizzato secondo le coordinate scelte, si è generato l'asse planimetrico costituito dai diversi elementi; rettifili, archi e clotoidi(figura.). L'interfaccia di OpenRoads permette una creazione semplice e diretta degli elementi planimetrici confrontabili con i criteri di progettazione applicati per l'asse in questione. In questo modo ci si assicura che il disegno sia conforme alle norme stabilite e, in caso contrario, è possibile vedere segnali di avvertimento sull'asse per modificarne la geometria. Si è deciso infatti di andare a ricostruire fedelmente il tracciato cosi da osservare come i parametri caratteristici e necessari per la progettazione stradale (lunghezza rettilinei, parametri delle clotoidi e raggi dei tratti circolari) venissero trasferiti tra i diversi software utilizzati

						one disegni Disegno Vista	Cerca nella barra multifunzi 👂 🚽 👤 🔹 🔺 🔼
PRINCIPI	E SETTING OUT L	INE FOR Asse	12	$\sum$	$\bigcirc$	▲ Iffset e rastremazioni ▼ ✓ Modifica ▼ IIII ► ▼ UL ▼ ▲ Curve inverse ▼ ✓ Geometria complessa ▼ IIII ► ▼	
POINT	CHAINAGE (m)	NORTHING (m)	EASTING (m)	ELEMENT	LENGTH (m)	D Transizioni * La * La * Orizzontale Verticale Strur	Ay menti comuni
INIZIO	0.000	4908169.342	362806.879	ŇŇZ	$\overline{}$		
Ň	$\bigtriangledown$		$\sim\sim$	STRAIGHT	17.822		
PC	17821663.000	4908154.353	362816.519	$\sim$	$\sim \sim$		
$\sim$	$\sim \sim \sim$	$\bigtriangledown$	$\sim\sim$	R = -175.000	128.866		
CS	146687517.000	4908080.020	362918.225	$\sim \sim$	$\sim \sim$		
$\sim$	$\bigtriangledown$	$\bigtriangledown$	$\sim \sim$	SPIRAL	82.286		
ST	228973231.000	4908071.321	362999.846	$\sim\sim$	$\sim\sim\sim$		
$\sim$	$\bigtriangledown$	$\searrow \bigvee \bigvee$	( > > )	STRAIGHT	2.383		
TS	231356386.000	4908071.255	363002.228	$\sim\sim$	$\sim\sim\sim$		
$\bigtriangleup$	$\searrow \bigtriangledown \bigvee$	$\sim \sim \sim$	$\sim \sim$	SPIRAL	83.333		
SC	314689719.000	4908067.393	363085.461	$\sim\sim$	$\sim \sim$		950
$\bigtriangleup$	$\sim$ $\sim$ $\sim$	$\bigtriangledown$ $\searrow$ $\searrow$	$\sim \sim$	R = +750.000	66.840		i i i i i i i i i i i i i i i i i i i
CS	381529719.000	4908058.867	363151.732	$\sim \sim$	$\searrow$	nogm	
$\sim$	$\times \times \times$	$\times \times \times$	(X X)	SPIRAL	83.333	88601.000	
ST	464863052.000	4908041.533	363233.231	$(\times \times$	$\times \times$	175.00000	1 ML
$\leftarrow$	$\times$ $\times$ $\times$	$\times$ $\times$ $\times$	$\rightarrow$	STRAIGHT	323.880		Sold States
TS	788743052.000	4907968.303	363548.724				2283
	004040050 000	1007044.040	101004 700	SPIRAL	115,000	103°04′04 0"	246.25931m 512 35.5
36	004343062.000	4007044.343	303001.790	R - 1000 000	78.910	92°02'36.	6" 30.55
~~~	991152052.000	4907924 248	282727 021		70,010	449.17000	m
~~	301133052.000	4001034.240	000737.921	CRIPAL	115 800		
ST	1096753052.000	4907927.900	363853 329		110,000		
~				STRAIGHT	449 170		
тя	1545923052.000	4907911.883	364302.213				
X			KX.	SPIRAL	246.259		
SC	1792182360.000	4907913 737	364548 282	KX7			

Figura 4.4.6 Tracciato planimetrico

- Tracciato Altimetrico:

Il profilo longitudinale dell'asse principale è stato realizzato tramite livellette e raccordi parabolici, nel pieno rispetto dei criteri di normativa. Esistono infatti alcuni criteri che devono essere sempre presi in considerazione per l'allineamento verticale: di sicurezza, comfort e economicità; come per esempio le distanze di visibilità, l'allineamento plano/altimetrico e la compensazione dei volumi di sterro e riporto. Avendo considerato per rispettati questi criteri base, una volta creato il tracciato planimetrico, nel programma è possibile creare una vista cartesiana del profilo del terreno che combacia con il tracciato planimetrico selezionato, dove nelle ordinate sono presenti le quote altimetriche e nelle ascisse le progressive. Si è quindi proseguiti alla creazione del tracciato altimetrico, costituito da parti rettilinee e raccordi parabolici, in modo che siano fedeli ai dati di progetto. (figura.)



Figura 4.4.7 Tracciato altimetrico

Una volta rappresentato fedelmente il tracciato plano-altimetrico, lo si è salvato in un file separato anche in questo caso dovuto al fatto che eventuali modifiche al tracciato siano facilmente richiamabili. In questa fase inoltre è possibile realizzare in modo molto veloce e automatico i primi disegni tecnici in formato .dwg, il programma facilita questo processo attraverso diverse funzionalita, che vanno dagli stili di rappresentazione alla scelta degli elementi da inserire nei disegni. Questo strumento è molto utile in quanto ottimizza i tempi di impostazione e gestione.

## 4.4.5 Sezioni trasversali - Templates

Lo step successivo è stata la creazione delle sezioni trasversali. Esse sono costituite da elementi singoli che interagiscono tra di loro e con l'asse di tracciamento ai quali vengono associate. E' dunque necessario conoscere bene ogni elemento. Si sono seguiti i file .pdf forniti per realizzare in dettaglio le sezioni da applicare(figura.). La sezione stradale adottata per l'asse principale è la sezione di categoria "C1", relativa alle "strade extraurbane secondarie" del D.M. prot. 6792 del 05/11/2001 "Norme Funzionali e Geometriche per la Costruzione delle Strade", la quale prevede una piattaforma pavimentata di larghezza minima pari a 10,50 m, sia in rilevato che in trincea; la sezione è costituita dai seguenti elementi:

- n.2 corsie (1 per senso di marcia) da 3,75 m ciascuna;
- banchine da 1,50 m;
- in rilevato, arginello di larghezza totale pari a 1,75 m.



Figura 4.4.8 Sezione Tipologica in Rilevato-Rettifilo

La pavimentazione stradale invece risulta così composta:

- 5 cm di usura
- 6 cm collegamento (binder)
- 10 cm base in conglomerato bituminoso
- 20 cm misto cementato
- 15 cm misto granulare



Figura 4.4.9 Sezione Tipologica della pavimentazione stradale

Per rappresentare le scelte progettuali, il software presenta un editor 2D, chiamato **Template Editor** dove è possibile assemblare il profilo a partire da diversi componenti presenti nella libreria o crearne di nuovi. I modelli vengono continuamente aggiornati man mano che ne vengono creati di nuovi.



#### Figura 4.4.10 Template del rilevato stradale

Ogni template è fondamentalmente una sezione tipica contenente le caratteristiche e i componenti che verranno estrusi lungo una geometria per creare i corridoi. Le sezioni create presentano componenti intelligenti, infatti oltre che possedere attributi geometrici si adattano automaticamente a condizioni quali la sopraelevazione e la creazione di rilevati/trincee, ad esempio gli elementi che costituiscono le scarpate sono stati inseriti con le dovute pendenze trasversali e parametrizzati affinchè prevedessero l'inserimento di berne in caso di rilevato superiore ai 5 m. Inoltre si possono decidere i materiali da applicare con notevoli benefici per le fasi di stima dei volumi e dei costi.



Figura 4.4.11 Template della pavimentazione stradale

Un'altra sezione trasversale analizzata nel modello stradale è quella relativa alla galleria Demonte, presente subito dopo il viadotto a partire dalla progressiva 1+909.00 per uno sviluppo di circa 640 m. Gli step per comporre questa sezione sono simili. In una prima fase si è creato il solido della galleria definendo dimensioni e materiali del volume di sterro ottenuti dai file .pdf.



Figura 4.4.12 Sezione Tipologica e Template della Galleria

Successivamente è stato essenziale aggiungere il modello stradale. Il software in queste operazioni risulta molto intuitivo infatti è possibile caricare in modo rapido diversi template per formarne uno globale contenente tutte le informazioni



Figura 4.4.13 Template completo della Galleria

## 4.4.6 Corridoi

Generare il corridoio è stato il passo più importante per raggiungere l'obiettivo di questa fase.

Un modello di corridoio si basa sull'uso di vari oggetti e dati; inclusi modelli di template, tracciato planimetrico e altimetrico e superfici. Il corridoio gestisce i dati, legando vari template alle linee di base e ai loro profili. Un oggetto corridoio viene creato da una linea di base (tracciato) posizionando sezioni 2D in posizioni incrementali.

I corridoi sono creati e basati su oggetti esistenti, che includono:

- Tracciato planimetrico. Utilizzato da un corridoio come linea centrale.
- Tracciato altimetrico. Utilizzato per definire le elevazioni di superficie lungo l'allineamento orizzontale.
- **Superfici del terreno**. Utilizzato per derivare i tracciati planimetrici e altimetrici e per la classificazione dei corridoi.

• Sezioni Trasversali. Rappresentano una sezione tipica di un corridoio. I templates comprendono uno o piu sotto-templates tra di loro interconnessi.

Una volta definite le sezioni tipo e caricati i modelli di terreno e di tracciato si è passati alla creazione dei corridoi, che sono i veri elementi che comporranno il modello stradale, infatti selezionando l'asse con cui si vuole creare un corridoio, appare un pop-up del menu contestuale che ne permette la creazione. Dopo questo step, la casella degli strumenti relativa all'inserimento dei template diventa attiva. Si seleziona il modello di template da applicare e quindi si definiscono i punti di inizio e fine relativi a quel template, infatti è possibile creare ulteriori modelli selezionando altri template e seguendo di nuovo gli stessi step.



Figura 4.4.14 Corridoi costituenti la Variante di Demonte

Il risultato finale è quello di comporre un'opera complessa formata da diverse sezioni tipo.



Figura 4.4.15 Vista 3D dell'opera infrastrutturale

Va fatta un'ultima importante precisazione, OpenRoads Designer permette il controllo a posteriori dei corridoi creati, sono presenti infatti diversi strumenti che permettono la modifica dei modelli con il fine di rappresentare fedelmente le diverse situazioni di progetto.

Un esempio delle potenzialità del programma è dato dal comando controllo dei punti, usato per riprodurre i piazzali di sosta. Utilizzando questo tool è possibile diminuire al minimo il numero di modelli che si producono in un corridoio, così da ridurre la pesantezza del file senza pregiudicare la rappresentazione e la corretta riproduzione dei dettagli.



Figura 4.4.16 Tool di controllo dei punti per allargamento corsie

Attraverso questo comando si ha la possibilità di scegliere diversi target di controllo, nel caso analizzato sono state disegnate delle nuove linee nel modello 2D per mostrare un allargamento dei cigli esterni. I punti selezionati appartenenti al corridoio seguono orizzontalmente e/o verticalmente queste linee base, per riprodurre fedelmente la geometria creata.

							_		Modifica	Varie	Sepraelevazione	Controlla	
E.		D D 2 0											
	• •		II. cost	7			0						
		Descratore con	HOCATE	tipo di controle	us		Progessiva na	Progressiva male	2 B 4 1				
P	~	sonta ciglio ex	Parenetra	Geometria Imeare	1400		1+512.784	1+586.850					
11-		sosta ciglio dx	Parimetria	Geometria lineare	Paiso	1	1+512.721	1+580.403					
U-		sosta ciglio dx	Planimotría	Geometria lineare	Falso	1	2+547.590	2+618.802					
1.		sosta ciglio ex	Parimetria	Geometria Ineare	Felso	1	2+547.590	2+619.945					
									and the second space was as a second				
<	_							>					
R	gz 14	∢ 1 6	4 🕨 🕅										

Figura 4.4.17 Creazione dei piazzali di sosta

Il risultato finale mostrato nelle figure rispecchia perfettamente i dati di progetto iniziali. Si sono successivamente aggiunte le linee di sezione per creare le viste per le sezioni trasversali

#### 4.4.7 Sopraelevazione

Deve essere analizzato un altro aspetto fondamentale nella progettazione stradale che è quello relativo al calcolo della sopraelevazione. La sopraelevazione è la rotazione della pavimentazione lungo un tratto curvilineo orizzontale e ha principalmente due scopi che si riflettono sui parametri di progettazione. La prima finalità è assistere il guidatore contrastando l'accelerazione laterale prodotta dall'immissione nel tratto curvo, mentre la seconda è assicurare un corretto smaltimento delle acque di piattaforma, così da evitare fenomeni che pregiudichino la sicurezza per i guidatori come l'acquaplaning.

Il calcolo dell'andamento dei cigli stradali viene effettuato in automatico dal software, mediante l'apposito comando, assegnando le caratteristiche desiderate relative alla tipologia di strada, in accordo con la normativa.

Process By Report sonraelevatione	Calcola sopraelevaz	ione — 🗆 🗙
W Crea	Nome file regole	C:\ProgramData\Bentley\OpenRoads Designer CE\Configuration\Org
🏪 Calcola 🔹 🕂 Apri vista sopraelevazione	Selezionare normativa	talan 🗸
<b>*</b>	Selezionare metodologia	NO_Transition
🗃 Modifica 🔻	Velocità di progetto	Vel fne Categoria
	Punto di rotazione	Corona
Sopraelevazione	Apri editor	

Il programma quindi avvia il calcolo e genera un andamento dei cigli visualizzabile nella vista apposita. E' comunque possibile realizzare modifiche, per adattare le scelte progettuali a particolari situazioni. Inoltre l'analisi dei cigli stradali sarà particolarmente utile per la modellazione del ponte, in quanto fornisce i dati di partenza per la modellazione parametrica del ponte Cant.

					1.1							
		/										
									:			
400	450 1+500 1+55	90 1+000 1+0	50 1+700 1+	750 1+800 1+8	30 1+900 1+9	50 2+000 2+0	150 2+100 2+1	150 2+200 2+2	50 2+300 2+	350 2+400 2	2+450 2+500 2+	ł
	1 × 1 1 1 1	er 🛋 🔒 🚖 🕷	s 🛋 🔘 I									
	Sopraelevazione	Nome	Progressiva	Curva impostata	Pendenza trasv	Tipo transizione	Pivot Ciglio	Lunghezza curv	Tipo di punto	Ignora	Tipo vincolo dist.	
P.	right.	right - 1+359	1+358.960	0	-2.50%	Lineare	Margine sinistro		Corona normale	Falso	Nessuno	
	right	right - 1+546	1+546.000	0	-2.50%	Lineare	Margine sinistro		Corona normale	Falso	Nessuno	
	right.	right - 1+571	1+571.000	0	0.00%	Lineare	Margine sinistro		Deflusso soprael	Falso	Offset distanza	
	right.	right - 1+596	1+596.000	0	2.50%	Lineare	Margine sinistro		Corona inversa	Falso	Offset distanza	
	right.	right - 1+792	1+792.000	0	4.30%	Lineare	Margine sinistro		Sopraelevazione .	Falso	Nessuno	
	right.	right - 2+256	2+256.000	0	4.30%	Lineare	Margine sinistro		Sopraelevazione .	Falso	Nessuno	
	right.	right - 2+572	2+572.000	0	7.00%	Lineare	Margine sinistro		Sopraelevazione .	Falso	Nessuno	
	right.	right - 2+581	2+581.000	0	7.00%	Uneare	Margine sinistro		Sopraelevatione .	Falso	Nessuno	
	left	left - 1+359	1+358.960	0	-2.50%	Lineare	Margine destro		Corona normale	Falso	Offset distanza	
	left	left - 1+596	1+596.000	0	-2.50%	Lineare	Margine destro		Corona normale	Falso	Offset distanza	
	left	left - 1+792	1+792.000	0	-4.30%	Lineare	Margine destro		Sopraelevazione .	- Falso	Offset distanza	
	let	left - 2+256	2+256.000	0	-4.30%	Uneare	Margine destro		Sopraelevatione .	. Falso	Offset distanza	
Ri	iga:  ∢ -∢   1	di 14 🕨 🔰										
a .00					<ul> <li>Vista &amp; Secione</li> <li>Visualizza propri</li> <li>763-</li> <li>759-</li> <li>758-</li> <li>756-</li> <li>755-</li> </ul>	tranveraile - Com età - I eta -	deie: corridoio Pian 1+ 600.000 2.541	no. Assel 2 Profile: A	99623 9000 94%	-		

Figura 4.4.18 Analisi Sopraelevazione dei cigli

# 4.5 Ponte Parametrico

## 4.5.1 Software Utilizzati

#### Revit 2020 [www.autodesk.it][38]



Revit è uno strumento BIM che si concentra sulla parte di progettazione del processo di costruzione. Ha un'interfaccia utente intuitiva e pulita, e consente all'utente di modellare molte tipologie di elementi, dalle strutture di base alle geometrie definite in modo specifico. In precedenza Revit è stato diviso in un'applicazione Architecture,

un'applicazione MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) e un'applicazione Structure. In Revit 2013 queste applicazioni sono combinate in un'unica applicazione. Il formato file di Revit è .rvt o .rve, ma può anche esportare e importare diverse tipologie di formati in modo da adattarsi a diversi casi.

Dynamo[www.autodesk.com][39]



Dynamo è un software, disponibile in modalità Open Source, sviluppato da Autodesk, si interfaccia direttamente con Revit e permette di progettare geometrie BIM sia in campo architettonico che infrastrutturale. Dynamo è uno

strumento di programmazione visiva che mira ad essere accessibile sia ai non programmatori che ai programmatori. Offre la possibilità di interpretare visivamente il comportamento, definire componenti logiche e script utilizzando vari linguaggi di programmazione testuale. Si possono creare delle geometrie flessibili, perchè i parametri restano modificabili in qualsiasi momento. Ogni modifica ai parametri si ripercuote immediatamente sulla geometria, permettendo di studiare dinamicamente tutte le alternative possibili. Il tutto senza conoscere linguaggi di programmazione. L'interfaccia diretta con Microsoft Excel permette di aggiungere formule e di importare diverse tipologie di informazioni utili per i parametri utilizzati.

Poiché le proprietà parametriche sono essenziali per la modellazione si presuppone che il ponte stesso sia progettato mediante strumenti parametrici. Questa capacità offre i vantaggi fondamentali di coordinamento e produttività peculiari di Revit come il cambiamento di qualsiasi variabile, dimensione o altri dati in qualsiasi momento nel modello. Pertanto, Revit è stato scelto come strumento di modellazione principale per questa parte del progetto. La maggior parte del software BIM ha componenti di scripting visuali ausiliari che permettono il controllo parametrico degli elementi generati. Nel caso di Revit esiste il linguaggio di programmazione grafica open source Dynamo. Questa applicazione gratuita è molto conveniente e intuitiva nell'uso come add-in, estende la modellazione delle informazioni degli edifici attraverso strumenti tipici di un editor grafico di algoritmi. Dynamo inoltre può essere esteso facilmente attraverso una vasta libreria di pacchetti, scripting Python e importazioni diretta di .dll per creare nodi.

Dynamo inoltre offre un'intera suite di nodi progettati appositamente per Revit, cosi come librerie di terze parti generate da una fiorente comunità AEC. I programmatori hanno utilizzato queste tecnologie per anni, ma lo scripting basato su testo non è accessibile a tutti. Dynamo cerca di democratizzare questa esigenza attraverso un editor di algoritmi grafico accessibile e questo lavoro di progetto dimostra alcune delle possibili potenzialità.

# 4.5.2 Metodologia

Il processo di progettazione dei ponti non è comunemente usato in termini di orientamento BIM e sono ancora preferiti i metodi tradizionali. Questo è dovuto a due cause specifiche:

- La definizione geometrica degli edifici è sviluppata in un sistema a griglia rettangolare, mentre i
  ponti sono definiti con allineamenti orizzontali curvi o diritti (progressive e offset), gradi verticali e
  profili di curve (elevazioni) e sezioni trasversali variabili.
- Il numero di discipline e mestieri coinvolti nelle strutture edilizie è significativamente più basso che per i ponti.

Quindi, è opportuno valutare in che modo si può rimediare alla mancanza di capacità degli strumenti BIM nella progettazione di ponti e in che modo il BIM può essere utilizzato in misura maggiore come risorsa.

Lo scopo del progetto era quello di conoscere Revit come strumento di modellazione e di studiarne l'applicabilità per la progettazione infrastrutturale col fine di valutare i problemi, i vantaggi e le sfide. Il focus oltre che sulla modellazione stessa riguarda anche l'interazione con altri programmi, in particolare, è stato importante essere in grado di includere efficacemente un modello stradale contenente le coordinate corrette.



Figura 4.5.1 Workflow per la creazione del ponte parametrico

# 4.5.3 Dati iniziali

Il ponte Cant presente dal km 1+766.88 al km 1+901.88 per una lunghezza di 135m è stato realizzato in diverse fasi e con diversi software. I modelli realizzati presentano delle semplificazioni dovuto alla mole di lavoro, ma individuando dei punti base per l'applicazione della metodologia BIM e per l'interoperabilità tra i diversi software e tra i diversi team di lavoro. I ponti infatti sono strutture molto complesse, si devono fare i conti con l'allineamento curvo e la presenza di potenziali allargamenti o restringimenti di corsia dovute ad esigenze di sicurezza ed economicità. Inoltre è sempre presente una pendenza longitudinale e trasversale che ne condiziona la progettazione di dettaglio.

Oltre all'analisi dei dati presenti in forma .pdf e .dwg forniti da ANAS, in OpenRoads Designer si è deciso di andare ad applicare lungo l'asse solo le sezioni di manto stradale, così da avere i punti base della geometria del viadotto.



Figura 4.5.2 Modello del pacchetto stradale del Ponte Cant

Il processo è fondamentale perché non riportando i dati di progetto iniziali si andrebbero a perdere parametri per la progettazione, come la rappresentazione della pendenza delle corsie(dal -7% al +7%) e la corretta geolocalizazzione dell'opera.

Bisogna sottolineare come non si possa direttamente importare il tracciato originario realizzato in OpenRoads in Revit. Anche per queste ragioni Revit è assegnato principalmente allo sviluppo di progetti nel campo edile, l'unica possibilità di ottenere l'allineamento del ponte è quella di creare un percorso stradale attraverso l'uso della funzione "Curva attraverso i punti". In questo caso, i "punti" sono le coordinate dell'asse stradale. Ci si rende conto che questa è un'approssimazione del modello originario, naturalmente minore è l'intervallo tra i diversi punti e maggiore sarà la precisione nella rappresentazione del tracciato.

L'importazione da OpenRoads ha permesso di impostare l'asse di tracciato di questo caso di studio. Con l'aiuto di questo software, possiamo generare un report in formato Excel con tutte le coordinate X, Y, Z di una determinata linea considerando la curvatura orizzontale e l'elevazione verticale, secondo il sistema di riferimento scelto.

E	<b>∃ 5</b> - ੇ	÷					prova	[modalità com	npatibilità] -	Excel						Ace	cedi	<b>A</b> -	- 0	×	
	ile Home	Inserisci Layout	di pagina Fo	ormule	Dati Rev	isione Visu	alizza Gui	da Q Co	sa vuoi fare										R, c₀	ndividi	
Inc	olla 💉	Calibri • 10 <b>G C <u>S</u> • <math> </math> <math>\square</math> • <math> </math> <math>\leq</math> Carattere</b>	• A* A* =		l ≫ - e = e = E	b Testo a capo ∃ Unisci e alline mento	a al centro 👻	Generale	000   58 49 eri	Format condizi	≠ tazione Fe onale +	ormatta com tabella ~ Stili	e Stili cella ≁	Inserisci	Elimina Celle	Formato	∑ - ↓ - , -	Artina e filtra ∗ s Modifica	Trova e eleziona ▼		~
Α4		: × √ fx	Client																		~
	А	В	С	D	E	F	G	н	I.	J	к	L	м	N		0	Р	Q	R		
5 6 7 8 9 10 11 12 13	Client Compar Address 1 Date: 23/04/2 Corridor Nam Reference Alig	y Your Company Name 123 Main Street 019 17:37:27 e: Corridor - (10) nment Name: Asse																			
14	Station	Northing	Easting	Elevation	Description																
15	0+000.	49.079.116.945	3.645.230.629	757.076		49	07911.6945	364523.0629	757.0760	center											
16	0+000.	52 49.079.117.365	3.645.236.815	757.074	center	49	07911.7365	364523.6815	757.0740	center											
17	0+000.	49.079.117.403	3.645.237.378	757.074	center	49	07911.7403	364523.7378	757.0740	center											
18	0+001.	49.079.117.624	3.645.240.606	757.073	center	49	07911.7624	364524.0606	757.0730	center											
19	0+002.	49.079.118.314	3.645.250.582	757.070	center	49	07911.8314	364525.0582	757.0700	center											
20	0+003.	49.079.119.014	3.645.260.558	757.067	center	49	07911.9014	364526.0558	757.0670	center											
21	0+003.	49.079.119.099	3.645.261.755	757.067	center	49	07911.9099	364526.1755	757.0670	center											
22	0+004.	49.079.119.724	3.645.270.533	757.064	center	49	07911.9724	364527.0533	757.0640	center											
23	0+005.	49.079.120.446	3.645.280.506	757.061	center	49	07912.0446	364528.0506	757.0610	center											
24	0+005.	52 49.079.120.898	3.645.286.690	757.059	center	49	07912.0898	364528.6690	757.0590	center											
25	0+006.	49.079.121.177	3.645.290.480	757.058	center	49	07912.1177	364529.0480	757.0580	center											
26	0+007.	49.079.121.919	3.645.300.452	757.055	center	49	07912.1919	364530.0452	757.0550	center											*
	< >	CIVIIReport Foglic	Foglio2	+							:									Þ	
Pro	nto																] [2]	-		+ 100	19%

Figura 4.5.3 Report geometrico del tracciato stradale relativo al Ponte Cant

# 4.5.4 Creazione famiglie:

Una parte del processo è stata la creazione delle diverse famiglie che compongono il modello in Revit. Le famiglie sono degli elementi sia 2D che 3D accumunati da proprietà parametriche che ne influenzano la rappresentazione grafica. Infatti oltre alla definizione dei diversi materiali, di particolare importanza è la possibilità di realizzare modifiche e che queste ultime siano applicate in modo automatico al modello globale. In Revit sono presenti diverse tipologie base di creazione, si sono scelte:

 Famiglie di massa: questa tipologia di famiglie è stata utile per la creazione dei profili della sovrastruttura mista acciaio-calcestruzzo. In questi modelli sono realizzabili sezioni che si adattano in funzione del cambio dei parametri.



Figura 4.5.4 Famiglia di Massa

Famiglie adattive: In questo caso queste famiglie sono state utilizzate per il corretto
posizionamento nel modello globale, si possono inserire dei parametri che permettono la corretta
posizione delle opere rispetto ad altri elementi costituenti il modello. Questo è un aspetto
fondamentale perché le eventuali modifiche applicate a singoli oggetti devono essere recepite dal
modello globale senza andare a causare errori o conflitti tra gli elementi.

Un'altra importante funzione che offre Revit è la possibilità di usare famiglie nidificate cioè famiglie interne ad altre famiglie. In questo modo per esempio le sezioni 2D sono state create come famiglia di massa e poi caricate in un modello di famiglia adattivo così da controllare la posizione in relazione ad altri elementi.



Figura 4.5.5 Famiglia Adattiva

#### 4.5.5 Composizione modello:

Dal momento che non vi è alcuna connessione tra OpenRoads/Excel/Revit per leggere le coordinate e disegnare questa curva, Dynamo è il software necessario per affrontare questo caso. Una volta note le potenzialità che il software offre sono stati creati degli script che andassero a leggere la geometria dell'opera in formato .xls e che andassero a rappresentarla in Revit.



Figura 4.5.6 Script Dynamo per l'importazione del tracciato da Excel

Questi script permettono un controllo parametrico dell'opera infatti qualora il file base del tracciato fosse cambiato o aggiornato, le variazioni si andrebbero a riflettere in modo automatico sul modello del ponte. Lo script consente di leggere le coordinate Est-Nord e altimetriche e convertirle in punti e poi splines su Revit, dove una volta avviato, il risultato è immediatamente visibile sia su Revit che su Dynamo.



Figura 4.5.7 Script e Visualizzazione del risultato

In un secondo step si è lavorato su Revit. La geometria ottenuta in forma di spline rappresenta fedelmente il tracciato stradale di partenza, questa curva dà l'opportunità di usare le funzioni "Dividi percorso" e "Ripeti" in cui distribuire i profili lungo la linea. Pertanto, l'uso di componenti adattivi è ragionevole. attraverso le funzionalità di "drag and drop", è stato possibile trascinare le famiglie realizzate precedentemente nel progetto globale, l'utilizzo di componenti adattivi ha inoltre permesso un perfetto adattamento delle famiglie, in modo che le sezioni e gli elementi rimanessero ortogonali al tracciato stesso.

#### • Sovrastruttura:

la famiglia di massa una volta resa adattiva è stata caricata sul modello con le soprelevazioni rilevate nel progetto, infatti la famiglia presenta dei parametri modificabili come la larghezza e la pendenza delle corsie oltre che altre dimensioni geometriche che formano il modello. Una volta applicata la sezione si è generato per estrusione la forma del deck stradale



Figura 4.5.8 prima fase della realizzazione della sovrastruttura del ponte



Figura 4.5.9 Seconda fase della realizzazione della sovrastruttura del ponte

#### • Travi Laterali e Centrale:

La stessa tecnica è stata utilizzata per altri componenti come le travi d'acciaio che costituiscono gli elementi portanti della sovrastruttura. Secondo questa metodologia, qualsiasi componente con un asse parallelo all'allineamento (travi, parapetti, marciapiede, guard rail, ecc.) possono essere modellati come un nuovo tipo di famiglia contenenti i parametri necessari. Nota questa potenzialità partendo dalle linee base generate nel modello, per estrusione si sono generati i diversi componenti. Questi elementi possono essere rappresentati come famiglie separate e caricati nel progetto uno per uno per creare un'unica famiglia contenente tutti gli elementi ausiliari.

### • Traversi e Controventi:

In questo caso non si è lavorato seguendo lo stesso processo, bensì le famiglie adattive dei traversi e controventi sono state inserite nelle corrette posizioni attraverso l'opzione di "drag and drop" e sfruttando i punti adattivi è stato possibile collocare tutti gli elementi nelle corrette posizioni e con le corrette lunghezze. Successivamente attraverso l'opzione "ripeti" si è ripetuta la configurazione base in tutto il ponte ottenendo globalmente tutti i componenti.



Figura 4.5.10 Vista dei componenti costituenti del ponte

#### • Sottostruttura (appoggi e spalle):

Il passo successivo è stata la creazione degli elementi di sottostruttura, rappresentati dagli appoggi e dalle spalle da ponte (entrambe basate su un modello di famiglia adattivo parametrico).



Figura 4.5.12 Famiglie di massa adattive della pila e della spalla

Nel caso di una traiettoria lineare, non vi sono problemi con la distribuzione degli appoggi o Di altri elementi lungo la strada. Ma dal momento che consideriamo un percorso curvo, il posizionamento manuale e la rotazione di ciascuno elemento sarebbe un compito che richiederebbe troppo tempo. Per gestire queste difficoltà è stato scritto un codice Dynamo, risolvendo i seguenti compiti:

- 1. Numero di appoggi richiesti;
- 2. Allineamento di ogni istanza al piano perpendicolare alla curva, in ciascun punto;
- 3. Considerare il posizionamento delle spalle da ponte;



Figura 4.5.13 Script Dynamo per il posizionamento delle pile

Pertanto, la distribuzione degli elementi lungo la curva si è trasformata in un processo rapido e ottimizzato. Prima di eseguire il codice deve essere controllato se l'istanza di famiglia è già stata scaricata nel progetto.

La costruzione di ponti a lunga campata implica la costruzione della struttura sul terreno che presenta un livello incostante, quindi l'altezza degli elementi di supporto può variare. Per implementare gli appoggi con dimensioni diverse, ogni istanza deve essere modificata manualmente.



Figura 4.5.14 Script Dynamo per il calcolo altezze delle pile

Come soluzione, è stato sviluppato un altro codice Dynamo, che legge i dati del profilo geologico del terreno e assegna le altezze in base alla profondità necessaria Come risultato, gli appoggi e le spalle da ponte sono stati inseriti usando una modellazione parametrica che si adatta alle modifiche a al tracciato stradale.

#### • Elementi di Dettaglio (Guard Rails):

Come ultima fase si sono aggiunti i Guard Rails, utilizzando due famiglie adattive. Per questo tipo di azioni Dynamo riduce al minimo i tempi di modellazione e importazione, infatti si è scritto uno script che andasse a caricare le famiglie adattive e che le rappresentasse correttamente nel ponte una volta selezionata la superficie e la linea di riferimento direttamente nel modello Revit.



Figura 4.5.15 Script Dynamo per il posizionamento del guardrail

### • Risultato Finale:

Il risultato ottenuto, dopo aver applicato tutti gli step del processo spiegati nel capitolo, è un modello 3D parametrico del Ponte Cant. Questo modello può essere usato per ulteriori studi, come l'analisi dei tempi-costi, o analisi di tipo strutturale (dopo aver definito i carichi e i vincoli). Queste azioni possono essere svolte da diversi software compatibili con il modello generato. Naturalmente più informazioni si hanno e migliore è l'interpretazione del modello.

In questo caso studio il ponte creato verrà analizzato dal punto di vista di un unico modello collaborativo dove si aggiungeranno ulteriori informazioni riguardanti la manutenzione.



Figura 4.5.16 Modello finale del ponte parametrico

# 4.6 Modello Collaborativo

## 4.6.1 Software utilizzati

Le attività sviluppate su questa parte della tesi si svolgono nell'ambiente per la federazione dei modelli. A questo punto sorge la necessità di trovare uno strumento in grado di collegare i diversi professionisti che inevitabilmente utilizzano vari software, quindi diversi formati di scambio.

Per eseguire quest'ultima fase, l'autore ha lavorato con un software Trimble: Novapoint (Versione 21). Questo software è relativamente nuovo, di conseguenza non si hanno numerose informazioni a riguardo, il fine è stato scoprire e analizzare i vantaggi e svantaggi di questo programma.

#### NovaPoint [www.trimble.it] [40]



Ø

Novapoint della casa Trimble funge da strumento comune indipendentemente dalla disciplina, gestendo il modello centrale nel suo intero, offrendo funzionalità chiave per la modellazione BIM della situazione esistente. Il

programma supporta una vasta gamma di diversi formati di importazione, tra cui LandXML, DWG e IFC. Una volta stabilito un modello di situazione esistente, il modulo Novapoint offre una vasta gamma di strumenti per l'organizzazione e l'utilizzo delle informazioni all'interno del modello. Il software risulta intuitivo e presenta funzionalità altamente efficaci che consentono di visualizzare il modello in pianta, sezioni e 3D. Novapoint è integrato con il server BIM tramite la piattaforma di collaborazione Trimble Quadri in un modo facile da usare. Si può considerare che il software è composto da tre parti:

#### **Novapoint Base:**

Il software gestisce il modello centrale di Quadri, è possibile lavorare localmente (utente singolo) o utilizzare Quadri in un cloud privato, collaborando con gli altri. Inoltre, licenze, caricamento del modulo, e le impostazioni comuni sono gestite da Novapoint Base.

#### Server QUADRI-BIM:

Il modello Quadri supporta una vasta gamma di diversi formati di importazione, tra cui DWG, DGN. Il server contiene tutti i modelli presenti nell'ecosistema Novapoint. Trimble Quadri è la chiave per raggiungere il livello di maturità BIM 3, incluso il supporto per formati aperti come XML e IFC.

- Server basato su cloud
  - Archiviazione su un cloud pubblico o privato
  - Possibilità di archiviazione di più progetti e modelli

• Un modello centrale

- Sistema multiutente

- Tutti i membri del progetto verificano il modello centrale sul desktop come copia locale del modello condiviso (attività per creare e modificare; attività di rilascio)

- Condivisione / ricezione di attività e oggetti

#### **Easy Access:**

Questa parte consente di lavorare su tutti i tipi di dispositivi (pc, tablet o telefono) e seguire tutte le attività di progetto, infatti è possibile avere una panoramica dei progetti Quadri. Significa quindi ottenere una visione in tempo reale del modello. Si possono vedere come sono strutturate le attività e quando sono state eseguite, inoltre è possibile seguire tutte le modifiche in corso nel progetto istantaneamente.

Novapoint e Quadri sono strumenti che consentono di raggiungere la federazione del modello e la collaborazione tra i diversi settori.

#### 4.6.2 Metodologia

L'obiettivo di questa fase è quello di realizzare un modello BIM collaborativo, in cui diversi utenti possono lavorare con un unico modello globale implementabile con informazioni relative alla manutenzione. Prima di iniziare con l'implementazione del programma di manutenzione, è necessario creare il modello che contenga il progetto di ciascun utente (studenti di Test). E' stata usata come soluzione ideale quella basata su Server Base, cioè tutti i file sono locati in un server online centrale.

Fatto ciò, è stato possibile scaricare il workset che contiene le informazioni condivise. Il workset è stato organizzato in attività(Task) che definiscono la struttura del processo, ognuno di essi contiene informazioni/file importati o creati direttamente in Novapoint. Per raggiungere una importazione accurata è stato necessario dedicare tempo alle conversioni di regola, in modo da avere una corretta rappresentazione del modello. In questa fase si sono anche testate le potenzialità di comunicazione (attraverso Easy Access), simulando i diversi utenti che lavorano in un progetto, osservando le potenzialità si è deciso di legare l'aspetto della comunicazione all'implementazione delle informazioni riguardo la manutenzione, avvenute tramite i comandi Classificazione, Allega e Presentazione.

### 4.6.3 Creazione del progetto

Un progetto Quadri consente a più utenti di lavorare con lo stesso modello Quadri, ospitato su un server con un IP univoco. Ogni server Quadri può contenere più modelli Quadri. Ogni modello può contenere una gerarchia di progetti Quadri in cui ogni progetto ha un ID univoco.



Figura 4.6.1 Organizzazione Quadri [41]

In questa fase risulta molto importante definire il sistema di riferimento CRS (contiene due elementi diversi: l'origine e il sistema di coordinate) collegato a un modello Quadri, quindi tutti i progetti hanno lo stesso CRS. Questo passaggio è molto importante per raggiungere il coordinamento delle parti del progetto.

I diversi utenti lavorano su un progetto Quadri controllando una copia locale del modello e si può successivamente condividere le modifiche attraverso i comandi di Share e Publish. Il modello è stato impostato nel programma di amministrazione: Quadri Model Manager (QMM). In questo caso il modello ha un amministratore unico (HERPACEAS, che forniva la licenza del software) e diversi utenti (due studenti di tesi, due corelatori di tesi e l'amministratore). L'amministratore ha creato Trimble Quadri Connection chiamato: Server Test e a questo server ha associato un modello chiamato: Variante di Demonte. È stato necessario indicare la posizione del modello e i membri che possono partecipare.

Quindi, una volta creato il progetto Quadri il passaggio successivo è stato completare il nome, la descrizione del progetto, posizione e utenti.



Figura 4.6.2 Quadri Project Manager

#### - Download Workset

Scaricare un workset, è stato possibile solo una volta aver avuto accesso al server (Quadri) con un nome utente e una password.

Nella finestra di dialogo, gli utenti trovano l'elenco dei server con cui possono lavorare, in questo caso il server Test era l'unico disponibile. Quando l'utente fa clic sul server, viene chiesto di accedere con l'ID Trimble. Quindi,mostrato il modello Variante di Demonte, è stato possibile fare clic sul modello per vedere il progetto. Quando l'utente fa clic sul nome del progetto, nella finestra di dialogo, viene mostrata l'area di interesse per il progetto sulla mappa, nonché le proprietà, il sistema di coordinate utilizzati e gli utenti attivi nel progetto.

Trimble Quadri Project Manager				? ×
	General Where Users			
	All users		Selected users	
Quadri Server Test	View: Users	~ •	Username	Fullname
😑 🧊 Variante di Demonte	Filter:	•	ariannafonsati	Arianna Fonsati
🐼 Variante di Demonte	Username 🔺 Fullname		enricopietri	Enrico Pietri
			francescosemeraro	Francesco Semeraro
			paulinatovo	Paulina Tovo
			robertoredaelli	Roberto Redaelli
				Edit
				Close

Figura 4.6.3 Quadri Project Manager - Utenti

Infine, quando l'utente selezione sopra il progetto si apre una finestra che permette il download del workset del modello.

#### Task

Per creare le attività (Task), in cui sarà organizzato il progetto, è stato necessario inserire una struttura di processo predefinita (costruita da una gerarchia di attività di riepilogo). In questo caso è stato selezionato un modello base; è stato possibile rinominare, eliminare e aggiungere attività di riepilogo, con l'obiettivo di ottenere una migliore organizzazione del progetto, l'autore ha deciso di creare le seguenti attività di riepilogo:

All'interno dell'attività IMPORT, sono state create tre attività di riepilogo, tenendo conto dei file che verranno importati, denominato: / DGN; / LandXML; / IFC.

Per avere un'attività che contenga tutti i file di manutenzione degli elementi, è stata creata un'attività di riepilogo denominata: FILE DI MANUTENZIONE.

Tutti i compiti sono mostrati nel pannello laterale.

Explorer	•	<b></b>	×						
😑  🗊 Variante di demonte			^						
Variante di Demonte									
🗆 🛛 🔛 Variante di Demonte									
Contract Rules									
🗷 🛛 🔛 10 IMPORT (19)									
18 MAINTENANCE FREQUENCY (10)									
🕀 🛛 🔛 20 TERRAIN (0)									
30 EXISTING SITUATION (0)									
40 LINES (0)									
🕀 🛛 🔛 50 ROADS (1)									
51 ROAD DRAINAGE (0)									
E 52 CONSTRUCTIONS (0)									
90 PRESENTATIONS (3)									
Collection 1			~						

#### Figura 4.6.4 Task Explorer

Passando il mouse su un'attività, è possibile vedere se l'attività è riservata e da quale utente, e chi infine ha apportato modifiche all'attività. L'attività può essere condivisa e ricevuta, inoltre, è possibile prenotare o rilasciare per intero o parti del workset. Le icone di stato nel riquadro Explorer indicano lo stato tra il workset e il modello Quadri condiviso centralmente:

- Linea grigia: sola lettura nel workset. L'attività non è riservata da un altro utente.
- Linea grigia con lucchetto: sola lettura nel workset. L'attività è riservata da un altroutente.
- Linea verde: attività da te riservata e può essere modificata in questo workset

- Linea blu con un punto esclamativo: attività da te riservata che viene modificata, ma non condivisa con il server.

- Più verde: una nuova attività creata da te, ma non condivisa con il server

## Reserve(Riserva)

Con questa funzione è stato possibile prenotare un'attività con l'obiettivo di aggiornarla (modificare, eliminare o eseguire altre operazioni). L'attività selezionata e le funzioni risultanti sono bloccate per gli altri utenti, fino a quando non vengono rilasciati.

#### **Release(Pubblicazione)**

Dopo aver condiviso le modifiche delle attività e quando si sono concluse le operazioni, è stato possibile rilasciare le attività, in questo modo altri utenti possono riservarle se necessario.

Questi strumenti hanno permesso di lavorare in ordine e hanno ridotto il rischio di errori di collaborazione. Se qualcuno desidera prenotare un'attività che è già prenotata da un altro utente, il software invia un messaggio chiedendogli se consente questa operazione.

Queste azioni aumentano le potenzialità del software, poiché consentono non solo di visualizzare la parte del progetto aggiunta da altri utenti, ma anche modificarla o aggiungere elementi, usando solo un software

### 4.6.4 Importazione File & Regole di Conversione

Per iniziare a lavorare con questo software è stato necessario importare tutti i file correlati al progetto, i file DGN e LandXML per il terreno e per il modello stradale, il file IFC per il modello del ponte parametrico realizzato in Revit+Dynamo.



Figura 4.6.5 Step di importazione dei modelli

Land XML

Un modo per importare la superficie del terreno e l'asse stradale è stato attraverso il File LandXML. In precedenza, queste informazioni sono state esportate da OpenRoad Designer in formato LandXML. Il programma richiede di definire il nome dell'importazione e l'attività / 10 IMPORT/ 104 LandXML



Figura 4.6.6 Task di Importazione

🕥 👌 🖓 - 🖬 - 🗅 🖡	)=			1	Import Tools					-	σ	×
Home Insert	Modell	ing Cor	istruction Vi	ew Output	Task							0
Task (Template: General Import)	Input	Settings	No conversion r	ule is selected	÷ ∓ Select Rules	Change Switch X/Y	Select Features -	None Preview	Finish Cancel			
		Options		Conversion		CRS	Selection	Preview	Finish			
Explorer	Select Files (C Select Click impo Musi XML (5) ort Asse. ort pruel	Select from t Files to select the t be of the sa xml 1 Da_2.xml 1 no.xml 1	n Folder (0) Conr e files for the o one import task ime format.	Trimble	Quadri							

Figura 4.6.7 Importazione LandXML

Quando è stato selezionato il file, sono state definite le informazioni sulle coordinate. In questo caso, è stata scelta l'opzione "File CRS è la stessa del modello Quadri attivo". Poi è stata aperta la finestra e le informazioni sono state verificate, quindi è stato possibile continuare.



Figura 4.6.8 Definizione coordinate e sistema di riferimento

Il passo successivo è stato selezionare la regola di conversione e completare il processo. Di conseguenza, sono stati rappresentati il terreno e l'asse.



Figura 4.6.9 Vista del modello del terreno

Se l'utente seleziona qualche elemento, ad esempio l'asse di tracciamente possono essere viste tutte le proprietà contenute nel file. In questo caso le regole di conversione presenti tra la libreria hanno permesso di conservare i parametri geometrici del tracciato, sia quelli planimetrici che altimetrici.

Explorer 👻 🕈 🗙								🖳 Import Asse.xml 1 🗙	
-	🚺 Variant	e di demonte					^		
	😑 🛛 🔷 Vari	ante di Demo	nte				~	M	2
Pro	Properties 👻 🖣 🗙							R	dh
(3)	🚱 LinearElement 🗸 🌼 - Details 🔻						🕸 - Details -		Gin)
+	Back Horiz	ontal element	s	~	curve				
	Element	From	То	Radius	Length	Parameter	Start X 🔨		$\sim$
1	Straight Lin	e 0.000	17.822	0	17.822		362806.879 4		25
2	Arc	17.822	146.688	175.000	128.866		362816.519 4		-
3	Clothoid	146.688	228.973	175.000	82.286	120.000	362918.225 4		2
4	Straight Lin	e 228.973	231.356	0	2.383		362999.846 4		
5	Clothoid	231.356	314.690	0.000 >	83.333	250.000	363002.228 4		(-+-)
6	Arc	314.690	381.530	-750.000	66.840		363085.461 4	No. And the second s	
	Clothoid	381.530	464.863	-750.000	85.355	250.000	363151./32 4		
-	Clothoid	e 404.000	/00./45	0.000 >	115 600	240.000	262549 724		
10	Arc	004 242	001 152	1000.000	76.910	340.000	262661 706		
11	Clothoid	081 153	1006 753	1000.000	115 600	340.000	363737 921		
12	Straight Lin	e 1096.753	1545 923	0	449.170	340.000	363853.329 4		
13	Clothoid	1545.923	1792.182	0.000 >	246.259	483,680	364302.213 4		
14	Arc	1792.182	2304.411	950.000	512.228		364548.282 4		
15	Clothoid	2304.411	2523.553	950.000	219.142	348.492	365021.255 4		
16	Arc	2523.553	2581.043	350.010	57.490		365170.510 4		
17	Clothoid	2581.043	2658.847	350.010	77.805	142.910	365194.300 4		
18	Arc	2658.847	2717.807	150.000	58.960		365208.494 4		
<							····· > `		

Figura 4.6.10 Vista del modello di tracciato

- DGN

In questo caso, l'autore ha deciso di nominare l'attivita "105 DGN" situata all'interno dell'attivita "10 IMPORT".

Home Insert Modelling Con	struction View Output Task				
Task (Template:General Import)	No conversion rule is selected	Select Rules	Select Features *	None v Preview Preview	Finish Cancel
Explorer         Sett           Variante di demonte         Sett           Variante di Demonte         Sett           Projett Rules         To InAPORT (21)           Projett Rules         Projett Rules           Projett Rules <td>a Folder (I) Connections (I) Trimble Quadri Input</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>	a Folder (I) Connections (I) Trimble Quadri Input				

#### Figura 4.6.11 Importazione dgn

Open Roads non offre possibiltà di esportazione del modello stradale in altri formati, si è deciso quindi di utilizzare il formato nativo per i file Bentley cioe .dgn. Le entità importate in questo formato non sono relative al solo rilevato stradale ma a tutti i componenti che compongo i diversi corridoi, quindi anche il modello del Tunnel.

In questo caso l'impossibilità di avere formati aperti ha portato una sostanziale perdita di informazioni, gli elementi importati infatti hanno sole caratteristiche geometriche, si sono perse infatti tutte le relazioni parametriche tra le diverse entità. Questo è un aspetto negativo perche si perdono molte dei requisiti di un modello BIM



Figura 4.6.12 Vista del modello del corridoio
- IFC

L'autore ha deciso di utilizzare il file IFC 2X3 per importare il modello del ponte parametrico realizzato in Revit. Il processo seguito è stato lo stesso per il file LandXML e DGN ma in questo caso l'editor delle regole di conversione ha richiesto più tempo perché c'erano molti elementi da rappresentare. Una volta creata la regola di conversione per l'importazione, è stato possibile visualizzare l'anteprima della funzione convertita. In questa fase è stato utile l'utilizzo del software Solibrì che permette di visualizzare in anteprima i file IFC e i relativi attributi degli elementi costituenti il modello.



Figura 4.6.13 Vista 3D del file IFC in Solibrì

## Regole di Conversione

L'editor delle regole di conversione è uno strumento molto potente per definire come l'utente desidera convertire la geometria di origine in funzioni intelligenti. La creazione o la selezione delle regole è necessaria per ottenere l'importazione. Le regole di conversione sono importanti per ottenere quante più informazioni possibili nel modello. In questa sezione, l'autore spiegherà in dettaglio come è stata creata la regola di conversione per il file del Ponte Cant.





Esistono regole di conversione standard per questo tipo di file, ma si è deciso di creare una nuova regola di conversione per ottenere una rappresentazione migliore e specifica.

Prima di iniziare a configurare le regole, il programma ha richiesto alcune informazioni sul file di conversione come: Nome, Compatibilità sorgente, Catalogo funzionalità di destinazione e Compatibilità di destinazione. Una volta completate queste informazioni, è stata aperta la finestra di dialogo Regole di conversione

Conversio	n Rule Editor   Managing	Conversion Rules   IFC2x	3_Import_Proxy Objects C	Сору	? ×
New Rule	X Delete Rule X Delete All Rules	Re-order Move Up Move Down Create Preview	Rules from Create Rules w model from .txt-file	Match Spatials	View Feature
Active	Source Feature	Source Attribute	Conversion Key Name	Conversion Key Value	Destination Feature
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*spalla A.*/i	Abutment
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*spalla B.*/i	Abutment
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*pila.*/i	Pile
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*appoggi.*/i	BridgePart
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*trave sx.*/i	Beam
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*trave dx.*/i	Beam
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*trave centro.*/i	Beam
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*traverso.*/i	Beam
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*guard rail.*/i	GuardRailBeam
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	Name	/.*appoggio campate.*/i	BridgePart
$\checkmark$	lfcObject	nameValuePairList	name	/.*completo.*/i	Slab
	12 row(s)			Save	OK Close

*Figura 4.6.15 Editor di regole di conversione per file IFC* 

Quando l'utente seleziona Nuova regola viene aggiunta una riga ed è stato possibile completare le colonne:

<u>Source Feature</u>: definisce il tipo di geometria dei dati di origine in questo caso è stata selezionata l'opzione IfcObject.

<u>Source Attribute</u>: viene utilizzato per filtrare i dati di origine. C'erano diverse opzioni per questo compito, l'autore ha deciso di utilizzare Namevaluepartlist, in questo modo il software seleziona le informazioni in funzione di questo parametro.

<u>Conversion Key Value</u>: in questa colonna l'utente deve inserire il valore su cui sarà basato il filtro. È stato possibile scrivere il valore o selezionarlo da un elenco degli oggetti disponibili nel modello, in base al tipo di geometria impostato nel valore della funzione di origine. Per la namevaluepartlist, la colonna è stata completata con il nome dell'elemento assegnato nel modello. Un'utile opzione per risparmiare tempo nel caso di elementi i cui nomi hanno uno stesso inizio e richiedono la stessa rappresentazione, è stato scritto il valore della chiave di conversione usando la configurazione /.\*Parte del nome in comune \*. /, Quindi tutti gli elementi con questi valori sono stati filtrati e convertiti con la stessa regola.

<u>Destination Feature</u>: definisce il Tipo di funzione da creare lato Novapoint. È stato aperto un elenco del catalogo delle funzioni in Novapoint ed è stata selezionata la funzione dell'elenco che si adattava meglio a ciascun caso.

Conversio	on Rule Editor   Man	aging Conversion	Rules	IFC2x3_Im	port_Proxy Objects	Сору						3	,	$\times$
New Rule	X Delete Rule X Delete All Rules	icates ■ Re-order ↑ Move Up ↓ Move Do	wn	reate Rules Preview m	s from Create Rules odel from .txt-file	✓ Match Spatials	Source Feature	Destination Feature	View At	tributes Conversion pe	er Feature 👻 Attribute View	Sp Attr V	atial ibuti iew	
Active	Source Feature	Conversion Key Value	Dest Feat	Add A	Attribute Row									
	lfcObject		Prox	Only This	Source Attribute	Attribute Conversion I	Key	Destination		Attribute Conversion Key	Default Value	р	F	м ^
	lfcObject	/.*spalla A.*/i	Abut	F2F		Name		Attribute		Name			_	
	IfcObject	/.*spalla B.*/i	Abut					Attribute						
	IfCODJect	/.^pila.^/i	Pile					attachmentList.	.atta					
	IfcObject	/.^appoggi.^/i	Bridg					attachmentList.	.atta					
	IfcObject	/ trave dv */i	Beam					attachmentList.	.atta					
	IfcObject	/ trave centro */i	Bean					genericPropert	vList			H		-
	lfcObject	/ *traverso */i	Bean		name)(alueDaid ist	Codice Contr	relle	genericPropert	- Wiet	Codico Controllo		H		_
	lfcObject	/.*guard rail.*/i	Guar		name varaer an erse	Cource contra		genericitopere				H		_
	lfcObject	/.*appoggio ca	Bride		nameValuePairList	Codice Eleme	ento	genericPropert	yList	Codice Elemento		Ц		_
	lfcObject	/.*completo.*/i	Slab		nameValuePairList	FILE.NAME		genericPropert	tyList	FILE.NAME				
					nameValuePairList	Globalld		genericPropert	lyList	Globalld				
					nameValuePairList	Instancelden	tifier	genericPropert	tyList	Instanceldentifier				
					nameValuePairList	Name		genericPropert	yList	Name		Н		-
					objectType			genericPropert	vlist	ohityne				~
<	12 row(s)		>										_	
											Save OK		с	ose

Figura 4.6.16 Editor di Conversione attributi di ciascuna regola

Per mostrare e definire parametri più specifici è stata aperta una nuova sezione della finestra di dialogo ed è stato definito quali informazioni del modello si mostrano e quali informazioni vengono aggiunte per ciascun elemento. In questo passaggio, l'autore ha deciso di mostrare: Nome, Materiale da costruzione, Descrizione, Identificatore istanza. Inoltre, è stato possibile aggiungere un elenco di informazioni e un elenco di collegamenti da associare all'elemento. Quando gli attributi sono stati definiti, si è fatto clic su OK per terminare la finestra di dialogo.



Figura 4.6.17 Vista del modello del ponte

# 4.6.5 Presentazioni

Una volta importati i diversi file e convertiti correttamente bisogna visualizzarli insieme in un'unica vista. Si raggiunge questo obbiettivo tramite le Presentazioni che sono delle viste permanenti del modello collaborativo, infatti il software permette di selezionare molteplici Task e/o oggetti da visualizzare nello stesso momento. Inoltre queste presentazioni possono essere pubblicate in Easy Access.

Esistono due tipi di Presentazioni, le viste piane e le viste 3D, il processo per ottenerle è simile. In questo caso si sono utilizzate le Presentazioni 3D utili per aspetti relativi alla manutenzione e alla collaborazione, analizzati meglio nei capitoli successivi.

		– o 🗙
	Home Insert Modelling Construction View Output	
	메 뫯 내 [6] 14 [14] [14] [15] [15] [15] [16] (20] (20] (20] (20] (20] (20] (20] (20	
Panes	Mes         Plan Presentation         3D         Long Section         Table         Capture         Save as Task         Drawing Rule Editor         Pan         Visible         Selection         Window         Point	3D Tools
	Presentations Navigation	

Figura 4.6.18 Tool di creazione delle viste

Una volta aperta la finestra di dialogo, è stato necessario definire il nome della Presentazione e in che task inserirla. In questo caso, si è deciso di denominare le viste in accordo con le istruzioni operative date da A.N.A.S per codificare i lavori e i relativi file. In questo modo si è ottenuta un'unica identificazione rendendo più semplice l'interpretazione.



Figura 4.6.19 Codice Elaborato – Referenza A.N.A.S

Per tutte le presentazioni create riguardanti il Ponte Cant i codici di primo e secondo livello (codice macroopera e codice ambito-opera) sono gli stessi:

P00: è il codice relativo al progetto dell'asse principale "Variante di Demonte"

VI02: è relativo alla rappresentazione del secondo ponte (Ponte Cant) del progetto globale.

Il codice di terzo livello cambia in funzione della disciplina di rappresentazione:

ARC: per la rappresentazione architettonica

MAN: per la rappresentazione relativa alla manutenzione

Infine il codice di rappresentazioni di quarto livello definisce la tipologia dell'elaborato:

RN: per la vista 3D

Sono stati cosi ottenuti i seguenti codici:

P00 VI02 ARC RN01

P00 VI02 MAN RN01

E infine uno per la vista globale del modello:

P00 EG00 ARC RN01

Successivamente sono state selezionate le feature da rappresentare. Esistono due metodi di selezione: una selezione singola per ciascun elemento, oppure l'utilizzo della Dynamic Query. In questo caso, è stato piu conveniente usare la seconda metodologia perché permette una selezione più rapida e intuitiva.

Dynamic Query (1221 features)	? ×
V 💭 Tasks	Location
Search Tasks	\$ <b>~</b>
Project Rules (0)	21/05/2019 ^
Alignment - (1) (1) السم	19/03/2019
Alignment - (1)-a manoLayout (1) (1) السم	23/03/2019
Alignment rotonda 1- (2) (1) السم	19/03/2019
Alignment rotonda 2 - (1) (1) السم	19/03/2019
Alignment Variante Demonte (1) السم	21/05/2019
AlignmentPREUA - (1)-Layout (5) (0) السم	15/07/2019
AlignmentPRUEBA- (1)-Layout (7) (1)	15/07/2019
Asse12 (1)	19/09/2019
Attach Files 1 (1)	11/09/2019
Bridge Model (3405)	04/06/2019
Bridge_tekla (2876)	15/07/2019
🗌 🎦 Civil3D Connector 1 (164)	719/03/2019
Twil3D Connector 2 (162)	25/04/2019 -
✓ ∅	Close

Figura 4.6.20 Selezione feature di presentazione (Dynamic Query)

Una volta selezionata, si apre la finestra di dialogo ed è stato possibile selezionare Task, Feature e Location; la selezione per Task ha permesso in modo rapido di selezionare gli elementi corretti per le Presentazioni. Sono state selezionate le Task relative al terreno e al tracciato oltre che quella del Ponte Cant. Va notato come tutti gli elementi combacino, infatti si è usato un unico sistema di riferimento cosi da poter localizzare gli elementi in maniera univoca senza dover eseguire nessun tipo di spostamento fisico degli oggetti generati, questo approccio riduce gli eventuali errori che potrebbero essere causati da una non corretta localizzazione dei modelli. Il risultato finale è una vista 3D di tutti gli elementi.



Figura 4.6.21 Presentazione 3D

## - Pubblicazione Presentazioni

Questi comandi sono stati utilizzati per pubblicare le presentazioni del modello create su Novapoint in Easy Access, consentendo le comunicazioni tra i diversi interessati al progetto.

🕥 ( 🏦 🖓 - 🐸 - 🐼 🖬 ) =		-	٥	×
Home Insert Modelling Construction Vie	w Output			0
Export to File DWG DGN KML PDF3D Conversion File Editor	HoloLens Maps Presentations Maps			
Export	Publish to Publish to Easy Access Mobile			

### Figura 4.6.22 Tool di pubblicazione

Il programma permette di scegliere dalla lista di pubblicare delle Presentazioni 2D/3D direttamente in Easy Access. Il processo è molto semplice e intuitivo, una volta selezionata la presentazione da pubblicare Novapoint avvia in automatico il trasferimento del file al Server centrale tramite una compressione del file. Questa soluzione Cloud è molto vantaggiosa nel caso di grandi progetti collaborativi perchè si possono facilmente visualizzare le informazioni specifiche del caso. Inoltra se si utilizzasse tutto il modello la grandezza del file sarebbe troppo grande e causerebbe rallentamenti al programma.



Figura 4.6.23 Workflow di scambio dati tra Novapoint Base e Quadri Easy Access

## 4.6.6 Collaborazione BIM

Questa è una parte fondamentale degli usi di Novapoint, con la funzione di condivisione e ricezione è possibile inserire tutte le informazioni in un modello centrale in qualsiasi momento tramite Internet, in questo modo il progetto ha continuamente un modello centrale che è aggiornato ora per ora, giorno per giorno. I membri sono informati di questi cambiamenti in modo dettagliato e trasparente.

In questa parte della tesi, l'autore ha ricevuto informazioni da un altro studente che sta lavorando con una parte del progetto Variante di Demonte e che utilizza software diversi da quelli utilizzati per questa tesi, come Tekla e Grasshopper. Prima di iniziare a lavorare, è stato fondamentale stabilire le coordinate e il file da utilizzare per evitare problemi di coordinamento. Tuttavia, in caso di problemi di coordinamento, il software consente di intervenire sul posizionamento di alcuni tipi di modello importato, ad esempio per i IFC è possibile regolare le impostazioni di importazione e assegnare coordinate globali.

# - Condivisione (Share)

Questa azione è quella che consente di condividere le modifiche al Modello Quadri,le funzioni e le attività nel workset sono sincronizzate con il modello condiviso (server) e quindi gli altri membri del progetto possono ricevere le modifiche. È importante condividere periodicamente le informazioni, questo perché in caso di danneggiamento dei file l'utente non perde tutto il lavoro perché tutte le informazioni rimangono nel cloud. (modello centrale).

A questo punto, ci sono due opzioni: condividere tutte le modifiche o selezionare l'attività e l'oggetto da condividere singolarmente, così da rilasciare solo informazioni complete e precise. Successivamente, è stato possibile vedere quante attività e oggetti saranno condivisi.



Figura 4.6.24 Tool di condivisione elaborati

# - Ricezione (Receive)

Questa funzione viene utilizzata per aggiornare il workset con le modifiche apportate da altri utenti al modello condiviso (server). In questo caso, è stato utilizzato per ricevere le informazioni della prima parte della Variante di Demonte.

È stato possibile decidere quando e quali modifiche ricevere, se tutte o solo alcune in una data specifica. Si è deciso quindi di ricevere le informazioni relative alla prima parte del progetto, che comprende un ponte (Perdioni) e il modello stradale, così da verificare congruenza tra i diversi modelli.

È stato possibile generare viste contenti informazioni sull'intero modello o solo di un'attività selezionata. Come accennato, una volta che l'utente condivide e rilascia un'attività, questo può essere riservato da un'altra persona che può modificarla e/o scaricarla in modo locale. In questa tesi, non sono stati effettuati cambiamenti. Alla fine, è stata ottenuta una rappresentazione completa dell'intero progetto della Variante di Demonte



Figura 4.6.25 Vista 3D del modello condiviso



Figura 4.6.26 Vista 2D del modello con ortofoto

## Quadri Easy Access

E' un'applicazione web e una piattaforma di comunicazione. Permette di seguire i progetti ovunque e da qualunque device. Quando l'utente accede al sito (con l'ID Trimble), può vedere tutti i progetti in cui si ha diritto di accesso. Quindi, viene scelto il progetto di interesse e vengono selezionati i membri che possono utilizzare il modello.

Variante di Demonte •	3	E	P				
Project Info	+ 0	Timeline				+	ø
Presentations	+ 0	Tasks	+ 0	Topics		÷	c
Project Users	+ 0	Maps	+ 0	Attachments		+	c

|--|

#### Figura 4.6.27 Impostazioni Quadri Easy Access

Con questa piattaforma è possibile accedere facilmente alle informazioni sul progetto:

- Panoramica del progetto: informazioni generali;

- Cronologia: mostra cosa, chi e quando cambia o aggiunge qualcosa al modello;

 Presentazione: presentazione 3D pubblicata da Novapoint Base, non sono dinamici ma consentono una navigazione 3D e l'accesso alle proprietà delle funzionalità di base;

- Mappe: presentazione 2D pubblicata da Novapoint Base;

- Attività: mostra come è organizzato il modello, facendo clic nella struttura delle attività è possibile visualizzare la data e l'ora dell'ultima esecuzione;

- Temi(Topics): comunicazione attorno al modello (possibili scontri, controlli, chiedere o fornire informazioni);

- Allegato: per aggiungere documenti comuni, tutti gli utenti con accesso possono visualizzare o scaricare i file, è un modo semplice per distribuire i file che hanno a che fare con il progetto e visualizza anche un elenco di report esportati.

-Utente: panoramica degli utenti che hanno accesso al Modello Quadri.

In particolare tra tutte queste attività si è scelto di analizzare con maggiore dettaglio le Presentazioni e i Temi (Topics)

## Presentazioni

Una volta che le presentazioni sono state pubblicate, possono essere aperte in Easy Access Da qui, è stato possibile vedere la caratteristica principale di ogni elemento come il profilo della trave, i codici di controllo e di elemento e il collegamento allegato. A questo punto, uno degli scopi dell'obiettivo di comunicazione è stato raggiunto, poiché i partecipanti possono accedere al link mostrato e modificare il file, automaticamente e anche questo verrà modificato in Novapoint.



Figura 4.6.28 Presentazione 3D in Quadri Easy Access

## - Topics (Temi)

I Topics sono uno strumento di comunicazione esono correlati ai dati del modello. È possibile metterli in relazione con le presentazioni 3D, creare punti di vista e caricare immagini su Novapoint. Nelle ultime versioni sono disponibili le opzioni per creare un'animazione degli argomenti (se in un argomento sono presenti molti punti di vista, è possibile creare un piccolo video per mostrarlo). È molto utile fare commenti sul modello, senza la necessità di utilizzare altri programmi o applicazioni. Gli utenti possono accedere tramite Novapoint Base, dispositivo mobile o browser web. Gli argomenti possono essere esportati, importati, eliminati o modificati. Per creare un argomento è necessario, prima di tutto, definire le impostazioni dell'argomento che contengono le informazioni con cui un argomento può essere taggato.

Questa è un'impostazione globale per il progetto e sarà attiva per tutti i nuovi argomenti stabiliti:

- Tipi: nome per i diversi tipi di argomenti che l'utente desidera.

- Etichette (Labels): set di possibili etichette con cui l'utente può contrassegnare il diverso argomento.

- Priorità: utile per definire il livello di significatività dell'argomento.
- Stati: possibili valori di stato tra cui scegliere per contrassegnare gli argomenti
- Utenti: si tratta di informazioni di sola lettura
- Clona impostazioni: è possibile clonare le impostazioni degli argomenti di un altro progetto a cui l'utente ha accesso.

## Topic Settings - Variante di Demonte

> Types (2)	📎 Labels (6)	☐ Priorities (3)	Statuses (4)	🍟 Users (5)	Clone Settings
Add a new Topic Ty	pe				Add
	nce				×
Extraordinary Mai	ntenance				×
Delete All					

Figura 4.6.29 Definizione impostazioni dei Topics

In questo progetto, si è deciso di creare le seguenti Impostazioni argomento:

Tipi: - Manutenzione;

Etichette: -Beam (Trave); - Guardrail; - Pavement (Sovrastruttura); - Abutment (Spalle da ponte); - Pile (Pile da Ponte)

Priorità: - Alta; - Normale; -Bassa

Stati: -Attivo; -In corso; - Finito; -Non programmato

Gli argomenti possono essere creati direttamente in Novapoint Base o in Easy Access. A titolo di esempio, per utilizzare questo strumento l'autore ha ipotizzato la situazione in cui la persona incaricata di eseguire la manutenzione ordinaria deve comunicare con il progettista

/A Type:			
av Type.		Status:	
Routine Maintenance	~	Active	
☐ Priority:		🛞 Labels:	
Choose a priority	~	Pile × Add a label	
Author:		Assigned to:	
enrico pietri	$\sim$	enrico pietri	`

Figura 4.6.30 Modifica dei Topics

Quindi è stato necessario completare le informazioni richieste, le possibili scelte sono predefinite nelle impostazioni. Il titolo è la prima informazione che viene mostrata nei Topics; in questo caso l'autore ha completato le informazioni con i seguenti valori:

- Tipi: Manutenzione ordinaria
- Etichette: Pila, perché l'addetto alla manutenzione desidera richiedere questo tipo di elemento
- Stato: Attivo, perché è un nuovo argomento e al momento non ci sono cambiamenti.
- Priorità: normale, perché serve solo per chiedere informazioni a conferma della situazione.

Assegnato a: di solito questo spazio è completato con altri utenti, ma in questo caso il progettista
 e il manutentore sono lo stesso utente.

Successivamente è stata disponibile un'anteprima dell'argomento. Il passo successivo è stato fare clic sul pulsante Crea argomenti, dopodiché è stato possibile aggiungere commenti e immagini, modificare lo stato e le priorità. Per aggiungere punti di vista e animazioni è necessario fare clic sulla scheda Presentazione e aprire la corrispondente presentazione 3D. Quindi nella colonna dell'argomento risulta disponibile l'opzione per aggiungere un punto di vista. Una volta aggiunto il punto di vista, è stato anche possibile disegnare nell'immagine. L'animazione è stata generata automaticamente, per vederla l'utente deve fare clic su Riproduci punti di vista.



#### Figura 4.6.31 Esempio di Topics

L'argomento creato è stato aggiornato istantaneamente in Novapoint Base, in modo che il progettista potesse rispondere immediatamente. L'interfaccia è quasi identica a ciò che si vede nel web, ma qui c'è la possibilità di creare dei marker nel progetto. Il risultato è stato un marker rappresentato con un'icona



## corrispondente all'argomento tipo e con un colore in base allo stato dell'argomento.

#### Figura 4.6.32 Visualizzazione presentazione e topics in Novapoint Base

Se uno dei partecipanti all'argomento cambia lo stato o la priorità, cambierà anche il colore del topic. Questo è stato un modo interessante di conoscere rapidamente uno stato dell'argomento. Di solito in un progetto ci sono molti argomenti, sia Novapoint che Easy Access consentono di ordinarli in base a diverse classificazioni: Data di creazione, Data di modifica, Tipo, Autore, Assegnato a, Stato e Priorità. In questo modo diventa più facile cercare l'argomento di interesse. Un altro elemento da considerare è il fatto che gli argomenti a cui partecipa l'utente sono indicati con un titolo blu. Tuttavia, il modo migliore per cercare gli argomenti era iniziare a digitare ciò che l'utente sta cercando nella casella di ricerca, è possibile combinare vari parametri di ricerca. Continuando lo stesso esempio sopra, se il manutentore desidera cercare un vecchio argomento per verificare alcune informazioni, nella riga di ricerca deve scrivere le parole chiave o le informazioni corrispondenti.

# 4.7 Piano di Manutenzione

Una volta note le potenzialità che Easy Access e Novapoint offrono si è deciso di focalizzare l'attenzione negli aspetti della manutenzione andando ad inserire informazioni più specifiche.

I problemi legati alla valutazione della durabilità sono legati alle fasi di sorveglianza, dai risultati infatti è possibile programmare interventi di manutenzione. Gli obiettivi del programma di manutenzione sono:

- Mantenere l'inventario esistente di ponti in modo strutturalmente sicuro e funzionale;
- Correggere difetti strutturali minori;
- Correggere le carenze strutturali minori all'inizio della vita di un ponte, piuttosto che aspettare fino a quando un ponte ha grossi problemi che richiedono costose riabilitazioni, ricostruzioni o sostituzioni;
- prolungare la vita utile dei ponti esistenti;
- Utilizzare in modo efficiente risorse limitate

Il Metodo della Valutazione Numerica consente di giungere alla classificazione numerica delle opere, per gravità di degrado, sulla base di dati oggettivi. La prima ispezione, condotta seguendo il metodo numerico, è detta Ispezione Primaria e costituisce il riferimento per la valutazione e il confronto nel tempo dello stato complessivo dell'opera. L'ispezione visiva deve rappresentare l'esatta fotografia della situazione delle strutture e dei materiali costituenti, monitorando i fenomeni di dissesto in atto. La raccolta delle informazioni deve essere sistematica, ripetibile ed esaustiva, tenendo conto di tutte le possibili condizioni di degrado, consentendo di programmare, nei casi meno gravi, interventi mirati all'eliminazione delle cause. Nei casi più complessi, o che implicano un rischio strutturale, sarà opportuno eseguire indagini sperimentali e verifiche teoriche volte ad individuare origini e conseguenze dei fenomeni osservati.

# 4.7.1 Schede di Valutazione Ispettiva

Il metodo della valutazione numerica è impostato sulla compilazione in campo di una serie di Schede di Valutazione divise per elemento strutturale e materiale costituente. Ogni scheda riporta tutti i difetti riscontrabili sull'elemento strutturale di quel materiale. Le schede, di cui se ne presenta un esempio, vanno compilate con sistematicità e precisione.

	Scheda Ispezione Ponti											
3	Pile						N°_		_ P	osizione	Materiale: calcestruzzo	
1	Struttura:		_ 1	Local	ità: _		0.038			km:	Ispettore: data://	
NIº	Decerizione difette	\$	6	Este	Estensione K		Int	ensità	h K <sub>2</sub>	N°	Nata	
N	Descrizione diretto	vis	G	0,2	0,5	1	0,2	0,5	1	Foto	Note	
1.1)	Macchie di umidità passiva		1									
1.2)	Macchie di umidità attiva		4				1					
1.3)	Cis dilavato / ammalorato		2									
1.4)	Vespai		2									
1.5)	Distacco del copriferro		2									
1.6)	Armatura ossidata		5									
1.13)	Lesioni a ragnatela modeste		1									
1.14)	Fessure orizzontali		2	11	1+2	+ 3						
1.15)	Fessure verticali		2		113	*3						
1.16)	Fessure diagonali		5	Ô		*1						
1.20)	Staffe scoperte / ossidate		3									_
1.21)	Lesioni attacco pilastri		2									
1.23)	Armatura verticale deformata		5									
1.25)	Riprese successive deteriorate		1									
1.29)	Danni da urto		4									
1.30)	Danni causati dagli app. d'appog.		4									
5.1)	Fuori piombo		5					1.00	10			
5.2)	Scalzamento		5									
5.5)	Difetti d'appoggio in neoprene		4									
5.6)	Difetti pendoli		4									
5.7)	Difetti carrelli		4									
5.8)	Difetti d'appoggio compositi		4									



F	ile F	lome Inserisci Layout di	pagina Formu	ıle Dati	Revision	e Visual	izza Gui	da Ç	Cosa vuoi fa	ıre?						Constanti	Sacoli I	R₁ Con	dividi
In:	ppunti	G C S + S Carattere		- * ·	한 Test	to a capo sci e allinea o	al centro 👻	General General S	e 6 000   588 umeri	Form     conc	izionale ≁	ormatta cor tabella ~ Stili	me Stili cella •	Inserisci E	ilimina Forma	to	A Z Ordina e filtra - Modific	Trova e releziona *	^
J1	4	▼ : × ✓ fx																	~
	A	ВС	D	E	F	G	н	1	J	к	L.	м	N	0	Р	Q	R	s	-
1	Scheda I	spezione Ponti																	
2	Pile						Posizione						Materiale	2					
3	Struttura	a		Località			km			Ispettore			Data						
4		Description of the second			E	stensione	К1	E	stensione	K2									
5	N <sup>-</sup>	Descrizione Difetto	VISTO	G	0.2	0.5	1	0.2	0.5	1	Nº TOLO		N	ote					
6	1.	2 Macchie di umidità atti	va	4															
7	1.	.3 Cls dilavato/ammalorat	to	2															
8	1.	4 Vespai		2															
9	1.	.5 Distacco del copriferro	<b>b</b>	2															
10	1.	.6 Armatura osidata		5															
11	1.1	Lesioni a ragnatela mode	ste	1															
12	1.1	4 Fessure orizzontali		2															
13	1.1	5 Fessure verticali		2															
14	1.1	6 Fessure diagonali		5															
15	1.1	17 Staffe scoperte/ossidat	te	3															
16	1.1	Lesioni attacco pilastr	1	2									_	-					
17	1.1	9 Armatura verticale deform	nata	5															
18	1.	.2 Riprese successive detion	rate	1															
19	1.2	Danni da urto		4															
20	5.	Danni causati da appog	8i	4									-	-					
21	5.	2 Fuori piombo											-						
22	5.	o scalzamento		1 3	1	I	I	I	I	I	L	I	1	I					
		Foglio1 (+)											4						•

Figura 4.7.2 Schema di scheda di ispezione in formato xls

In alto, va indicato il numero di elementi strutturali analoghi che possono essere descritti con una singola scheda.

- Nella prima colonna, Descrizione del Difetto, sono riportate le identificazioni dei difetti stessi. La numerazione corrisponde a quella identificativa della Scheda Difettologica.
- Nella seconda, Visto, va posto un segno ad indicare che quel difetto è stato oggetto di ricerca e non va posto quando la ricerca non è stata effettuata. Va considerato che l'indicazione precisa di aver valutato un difetto, ma di non averlo riscontrato, rappresenta un riferimento fondamentale per le successive ispezioni. Infatti, un difetto che dovesse insorgere nell'ispezione successiva assume una valenza notevolmente superiore a difetti che sono presenti da tempo ed in qualche modo consolidati. L'insorgere di un nuovo difetto è pertanto una "lampadina di allarme" che va considerata con attenzione.
- Nella terza colonna, G, sono riportati i pesi numerici attribuiti ai singoli difetti. I difetti con peso 5 sono stati evidenziati, ad indicare la particolare attenzione cui devono essere sottoposti.
- Nella quarta e quinta colonna si trovano le caselle da barrare per l'attribuzione del valore dei coefficienti K1 e K2 tabellati in funzione dell'entità della lesione.
- La sesta colonna FOTO, riporta la numerazione digitale delle foto effettuate.
- Nell'ultima, Note, si riportano delle osservazioni aggiuntive utili per esempio per localizzare con precisione il difetto.

L'ispezione condotta visivamente deve consentire di riconoscere tutti i tipi di degrado riscontrabili sulle strutture, riportandoli con precisione in apposite schede predisposte, Schede di Valutazione, per elemento strutturale e tipo di materiale. Le Schede di Valutazione forniranno, sulla base dei risultati del MVN, un numero finale correlato con lo stato complessivo del degrado. Più alto è il numero e più grave è la condizione generale. La valutazione numerica deriva dalla sommatoria dei pesi "G" attribuiti ai singoli difetti, moltiplicati per i coefficienti d'estensione ed intensità, K1 e K2.

Il metodo utilizzato per includere queste informazioni è stato utilizzare il comando Attachment (allegati). I passaggi seguiti per allegare il file risultano molto simili al processo seguito per tutte le importazioni.

N * · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Insert			- 0	×
Home Insert Modelling Construction View Output	t Attachments				0
Name: Attach Files 1 - Templates Subtask of: / Documentation	Select features (1) •	 Ţ Ţ Ţ Ţ Ţ Ţ Ţ Ţ	https://drive.googgOmRAZ/laQdIMK2dZrC	Finish Can	el
Test	Colorada and	Alter these sets	1 June 1	Electrole 1	

### Figura 4.7.3 Tool di importazione allegati

Il passo successivo è stato selezionare il file da allegare. Esistono due vie per allegare i file; la prima consiste nel caricare fisicamente il file nel modello, tuttavia questa opzione non permette di raggiungere una collaborazione ottimale, perché il file allegato non può essere aperto o scaricato in Easy Access. La seconda soluzione invece permette di allegare dei link.



Figura 4.7.4 Visualizzazione allegati al modello collaborativo

Utilizzando questo ultimo metodo è stato possibile creare una cartella di Google Drive contenente tutti i file allegati ed unire ogni elemento al link del file corrispondente, così tramite Easy Access i diversi utenti possono leggere e/o modificare le informazioni contenute nel drive.

# 5. Risultati & Conclusioni

# Risultati

Partendo dalla creazione modello stradale si è riusciti ad ottenere tramite OpenRoads Designer gli obiettivi prefissati. Si è ottenuto un modello digitale del terreno che ha permesso una reale interpretazione del Ponte Cant, inoltre attraverso la localizzazione della posizione esatta è stato possibile identificare il profilo planimetrico e altimetrico del ponte in esame ed esportarlo in Revit e successivamente in Novapoint.

In questi obbiettivi OpenRoads Designer risulta un software molto completo per gli ingegneri civili, in particolare per ingegneri specializzati nella modellazione stradale. Permette di generare diverse tipologie di elementi parametrici e controllarli in modo facile ed intuitivo. Questi elementi possono comporre viste 3D con informazioni geometriche e relative alla stima dei volumi e costi, ma anche viste piane utili per tutte le fasi di progetto. Il principale vantaggio risulta la velocità nella composizione del modello e della modifica dei parametri.

Le conoscenze precedenti riguardanti la progettazione stradale sono state fondamentali per capire in che modo lavorasse il software, tuttavia il tempo passato nella ricerca e nell'apprendimento del software ha occupato una grande parte del tempo globale. Un altro svantaggio è dovuto alla parziale interoperabilità raggiunta con questo software, questo è dovuto al fatto che OpenRoads Designer ad oggi non permette un'esportazione completa del modello in formati aperti. Da una parte permette di esportare singolarmente i modelli del terreno e del tracciato in formati aperti come LandXML e IFC, mentre per il modello del corridoio l'unica opzione è l'utilizzo del formato nativo .dgn.

Per quanto riguarda la creazione del modello parametrico del Ponte Cant attraverso l'utilizzo di Dynamo è stato possibile raggiungere buoni livelli di interoperabilità tra software di aziende diverse come Autodesk e Bentley. Dynamo è un programma molto intuitivo che combina le regole di programmazione alla rappresentazione grafica. Il tempo che è stato impiegato nella creazione degli script è sicuramente minore della creazione del progetto solo su Revit, in particolar modo sarebbe stato impossibile rappresentare il corretto profilo planimetrico e altimetrico. Tramite la contemporanea visualizzazione su Revit si è completato con maggior livello di dettaglio il modello, infatti Revit ha permesso la creazione e la modifica dei singoli elementi parametrici costituenti il modello globale. I risultati ottenuti hanno permesso una perfetta rappresentazione del ponte in esame ed un ottimo livello di automazione nei processi di modifica, soprattutto grazie la combinazione degli script Dynamo e gli strumenti di Revit. Infine analizzando il modello collaborativo e relativo alla manutenzione, Novapoint e i relativi programmi collegati (Quadri Easy Access) hanno permesso di raggiungere gli obbiettivi prefissati, lavorare con questi software non ha portato grandi complicazioni pur non avendo conoscenze precedenti, questo è dovuto principalmente ad un'interfaccia utente facile e diretta, che ha portato ad una riduzione dei tempi di apprendimento.

I livelli di interoperabilità tra Novapoint e Revit sono stati molto soddisfacenti. Novapoint supporta un gran numero di estensioni, dalle ortofotoin formato TIN fino ai DGN, LandXML e IFC etc.. In questo caso i file importati in formato IFC sono stati totalmente recepiti soprattutto grazie alla definizione delle regole di conversione, che è la chiave per ottenere una corretta importazione e rappresentazion.

L'interoperabilità con OpenRoads Designer invece risulta parziale questo perché non è stato possibile utilizzare formati aperti per la rappresentazione del modello stradale, si sono ottenute delle geometrie 3D perdendo pero tutti gli attributi caratteristici di un modello BIM, dall'altro lato si è riusciti ad importare altri file in formato aperto da OpenRoads come il modello del tracciato e quello del terreno in LandXML.

L'implementazione delle informazioni di manutenzione ha portato ad un incremento della conoscenza del modello, senza portare ad un incremento dei tempi di lavoro. Questo risultato è peculiare delle metodologie BIM, infatti i cambiamenti in corso d'opera non risultano vincolanti come accadeva con le vecchie tecnologie CAD 2D.

Inoltre, l'intero pacchetto: Novapoint-Quadri-Easy Access compone davvero buon strumento per la comunicazione BIM. Avere utilizzato Quadri come server e piattaforma di collaborazione ha permesso diverse figure (in questo caso due studenti) di lavorare insieme in uno stesso modello, raggiungendo una comprensione comune del progetto. Ogni utente poteva vedere quali erano i dati attuali, evitando di lavorare con dati non aggiornati o errati.

È stato possibile vedere contemporaneamente tutte le discipline con dettaglio e come tutto il modello è collegato. Tutti questi risultati sono un grande vantaggio, perché hanno permesso di rilevare fin da subito collisioni con elementi eseguiti da altri utenti e apportare più rapidamente modifiche rispetto alle tecniche precedenti, dove gli utenti lavoravano separatamente in singoli progetti.

Un altro grande vantaggio di ottenere tutto in Quadri, è che gli utenti possono portare il modello con loro in ogni momento (sul cellulare, tablet o computer) attraverso Easy Access. È importante sottolineare il fatto che l'utilizzo di Easy Access non permetta di modificare il modello, ma solo di visualizzarlo (navigazione 3D) e di analizzare alcune informazioni o importare o esportare allegati. L'argomento della comunicazione è stato molto utile, soprattutto quando i controlli sono in corso consentendo una veloce comunicazione tra i partecipanti (alcuni in ufficio e altri in situ), con l'aggiunta di una localizzazione esatta dei problemi.

Infine in tabella si mostrano i risultati globali per i software utilizzati.



	OpenRoads Designer	Autodesk Revit	Trimble Novapoint
OpenRoads Designer		•	
Autodesk Revit	$\bigcirc$		
Trimble Novapoint		$\bigcirc$	



Grande perdita di dati

Discreto scambio di informazioni

Ottimo livello di interoperabilità

# - Conclusioni

Per riassumere, credo che gli obiettivi fissati all'inizio del lavoro siano stati raggiunti. Alcuni sono stati più impegnativi di altri, ma in termini generali gli obiettivi proposti sono stati raggiunti e si è ottenuto un buon risultato.

È stato possibile dimostrare l'utilità della tecnologia BIM, non solo per la fase di progettazione/sviluppo, ma anche per dare un seguito al processo costruttivo. Dal punto di vista della modellazione, ciò porta grandi vantaggi. Prima di tutto, può salvare molto tempo, rispetto a quello di una modellazione nelle due dimensioni tradizionali. Inoltre, si ottiene un'interpretazione molto più chiara del progetto. Molte volte, quando si lavora in due dimensioni, diventa difficile comprendere alcuni aspetti dei disegni, come è successo in questo progetto quando è stato necessario investire molto tempo nell'analisi dei dati iniziali contenuti in AutoCad.

Un altro aspetto da evidenziare rispetto alla modellazione classica è che possono essere evitati molti errori, avendo modellato tutti gli oggetti che si svolgono nel lavoro, la rappresentazione 3D ha permesso di rilevare interferenze e clash. Ciò comporta un risparmio di denaro, poiché impedisce di incorrere in errori durante la fase costruttiva e quindi di generare ulteriori spese.

Dopo aver modellato e georeferenziato, un aspetto fondamentale è stato il coordinamento. Questa parte è stata realizzata utilizzando come piattaforma collaborativa l'intero pacchetto che Novapoint offre. Questo software ha permesso di definire il modello federato, unendo la parte stradale e del contesto con quella relativa al ponte in un unico modello centrale. In futuro, potranno essere aggiunte altre discipline (ad esempio: tutto ciò che riguarda le analisi strutturali o di contabilità), con lo scopo di ottenere davvero un database completo.

Questo concetto, dell'OpenBIM è molto importante, sebbene si stia sviluppando negli ultimi anni ha ancora molto da migliorare per scambiare informazioni senza perdere dettagli e qualità. In generale, i risultati ottenuti sono stati soddisfacenti. Si potrebbe mostrare come la modifica del modello centrale abbia un impatto sul modello coordinato, quindi anche nei documenti ottenuti. Quindi, le informazioni sono aggiornate automaticamente (dopo averle condivise) quando un membro cambia il modello, consentendo un controllo delle caratteristiche del progetto. Lavorare in una piattaforma collaborativa, offre la possibilità di creare diverse ipotesi per il progetto e valutare diverse situazioni che possono avere un impatto sull'economia e sulle sue prestazioni.

Il fatto di non avere una precedente conoscenza della metodologia BIM e di conseguenza dei relativi software, ha significato una sfida personale e un grande tempo di apprendimento. Durante lo sviluppo della tesi sono sorte alcune difficoltà, tuttavia, nella stragrande maggioranza dei casi sono state risolte con successo senza compromettere i principi di base della metodologia. È importante notare come più si ha conoscenza della metodologia e del potenziale del software, e maggiori sono i vantaggi ottenuti. Per questo motivo è fondamentale contare sul supporto dei governi, università e aziende per promuovere il BIM, che in pochi anni sostituirà il modo tradizionale di lavorare in campo ingegneristico.

# Bibliografia e sitografia

- [1] FIEC, Relazione annuale 2017, Commissione europea. <u>http://www.fiec.eu/en/library-619/annual-report-english.aspx</u>
- [2] Li X., Zhu Y. and Zhang Z. (2010). An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. Building and Environment, 45(3):766-775
- [3] Woksepp, S., and Olofsson, T. (2007), "Using Virtual Reality on a Large-Scale Industry Project",
   ITCon Electronic Journal of Information Technology in Construction, 11, 627-640
- [4] BANCA D'ITALIA, L'economia delle regioni italiane, Dinamiche recenti e aspetti strutturali, n.43,
   Banca d'Italia, dicembre 2016, pag.167
- [5] Caldas, C. H., Kim, J.-Y., Haas, C. T., Goodrum, P. M., & Zhang, D. (2014). Method to Assess the Level of Implementation of Productivity Practices on Industrial Projects. Journal of construction engineering and management.
- [6] Gaith, F., Rashid, K. & Ismail, A., 2012. Application and efficacy of information technology in construction industry.
- [7] BCG, Digital in Engineering and Construction: The Transformative Power of Building Information Modeling", 2017
- [8] " BIM-MONITORING" CNAPPC- CRESME L'innovazione e il mercato in Italia
- [9] Michael P. Gallaher, Alan C. O'Connor, John L. Dettbarn, Jr., and Linda T. Gilday, Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry
- [10] MITIGATING CONSTRUCTION PROJECT RISK USING BUILDING INFORMATION MODELLING
   (BIM), D.B. Hammad, A. G. Rishi and M. B. Yahaya, 2012
- [11] Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. John Wiley & Sons, New Jersey, 2011.
- [12] Cabinet Office Annual Report and Accounts 2011-12, <u>https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\_data/fil</u> <u>e/225983/21664\_HC\_56.pdf</u>
- [13] Reinventing construction through a productivity revolution, Mckinsey Global Institute, 2017
   Report
- [14] Smith, D. K., & Edgar, A. (2006). Building Information Modeling (BIM). National Institute of Building Sciences
- [15] BSI Annual Report 2013 BSI Group, <u>https://www.bsigroup.com/Documents/about-</u> <u>bsi/financial-performance/2013/bsi-financial-performance-2013.pdf</u>

- [16] Ashcraft, H. W. 2008. Building information modeling: a framework for collaboration. Construction Lawyer, 28(3), 5-18.
- [17] Weygant, R. S. (2011). BIM content development: standards, strategies, and best practices.
   John Wiley & Sons.
- [18] PAS 1192-2:2013: Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. BSI, London, UK
- [19] EU BIM Task Group (2017) Handbook for the Introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. EU BIM Task Group, London, England, UK.
- [20] National Institute of Standards and Technology (2013) Model-Based Enterprise Summit Report.
   National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA, NIST Technical Note 1820.
- [21] McGraw-Hill Construction, The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets, <u>https://www.icn-solutions.nl/pdf/bim\_construction.pdf</u>
- [22] Cho, H., Lee, K.H., Lee, S.H., Lee, T., Cho, H.J., Kim, S.H. and Nam, S.H. (2011). Introduction of Construction management integrated system using BIM in the Honam High-speed railway lot No.4-2. Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea
- [23] Kemp Anne, BIM isn't Geospatial Or is it?, Agi GEOCOMMUNITY 2011, Atkins
- [24] T. Henttinen, Common BIM requirements 2012, v. 1.0, Series 01 General BIM Requirements,
   The building Information Foundation RTS, (2012).
- [25] Chun Keung Senior Resident Engineer, Atkins China Ltd. Hong Kong SAR, China Infrastructure Building Information Modeling(I-BIM),
- [26] Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, <u>https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf</u>
- [27] Bennett, Terry D., 2012. "Role of BIM in infrastructure sismic retrofit." STRUCTURE Magazine.
- [28] Strafaci A (2008) What does BIM mean for civil engineers. CE News Magazine.
- [29] Tekla Corporation. 2013, Basic concepts. http://www.tekla.com
- [30] Douglas C. Engelbart, October 1962, Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework
- [31] Azhar, S.; Hein, M; and Sketo, B. (2008). "Building Information Modeling: Benefits, Risks and Challenges", Proceedings of the 44th ASC National Conference, Auburn, Alabama, USA
- [32] Azhar, S. (2011) 'Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry', ASCE Journal of Leadership and Management in Engineering
- [33] Macdonald J.A., 2012, A Framework For Collaborative Bim Education Across The Aec
   Disciplines
- [34] YAN, H. and DEMIAN, P., 2008. Benefits and barriers of building information modelling

- [35] Hartmann, T., & Fisher, M. (2008), Application of BIM and Hurdles for widespread adoption of BIM
- [36] Kaner , 2011, Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms
- [37] <u>https://www.bentley.com/en/about-us/news/2016/november/01/bentleys-openroads-</u> <u>designer-connect-edition</u>
- [38] https://www.autodesk.com/products/revit
- [39] <u>https://www.autodesk.com/products/dynamo-studio/overview</u>
- [40] <u>http://help.novapoint.com/doku.php?id=en:np:start</u>
- [41] Novapoint 20.00/20.05 Course Manual Road Design Beginners course

# Ringraziamenti

Mi da un immenso piacere chiudere la mia carriera universitaria con la presentazione di questa tesi su una tematica innovativa che spero possa aprire insieme alle conoscenze acquisite nel corso degli anni nuove porte per la mia vita. Il cammino non è stato facile, ma posso finalmente dire che i tanti anni dedicati allo studio sono stati ripagati.

Vorrei ringraziare il Politecnico di Torino e tutti i professori che mi hanno formato dal punto di vista tecnico, ma soprattutto mi hanno spronato ad avere un pensiero critico e a non accontentarsi mai dei risultati raggiunti per cercare sempre di migliorarsi.

Ringrazio la Prof.ssa Anna Osello per avermi dato l'opportunità di realizzare la tesi nel dipartimento "Drawing to The Future", in particolare ringrazio il mio correlatore l'ing. Francesco Semeraro per avermi guidato e per aver dedicato il suo tempo in questo percorso di tesi. Ringrazio l'ing. Roberto Redaelli della società Harpaceas per avermi dato informazioni utili per i software utilizzati.

Infine in questo spazio voglio ringraziare i pilastri fondamentali della mia vita: la mia famiglia e i miei amici.

Ai miei amici, quelli di sempre, che mi hanno appoggiato e sostenuto durante tutti questi anni, nonostante la distanza e le vite diverse siete stati con me fin da quando ero un piccolo ragazzo. Agli amici conosciuti a Torino, siete stati come una seconda famiglia per me. A tutti i miei amici conosciuti al Politecnico, sarebbe riduttivo definirvi solo colleghi, per aver condiviso questo step della mia vita. Agli amici conosciuti a Madrid, mi avete subito accolto come se vi conoscessi da una vita e avete reso l'esperienza Erasmus indimenticabile. Ad Edoardo, non credo ci siano sufficienti parole per esprimere quello che sei stato, non solo un amico e coinquilino. Grazie per avermi supportato nei bei e brutti momenti, aver raggiunto questa meta è stato anche grazie a te.

Per ultimo, il più grande ringraziamento va dato alla mia famiglia, per aver creduto in me fin dall'inizio e per avermi sempre dato un appoggio su cui contare. A mia madre e mio padre, senza il vostro sostegno morale ed economico e senza i vostri consigli non sarei mai arrivato al raggiungimento di un traguardo così importante. Grazie per essere stati sempre accanto a me, il vostro esempio di serietà e rispetto altrui è stato fondamentale per la persona che sono ora, per cui spero che la fine di questo percorso sia per voi motivo di orgoglio.

Un sentito grazie a tutti!