POLITECNICO DI TORINO

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e

delle Infrastrutture (DIATI)

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

Tesi di Laurea Magistrale

InfraBIM e interoperabilità: analisi di confronto a diversi livelli di progettazione



Relatore: (*Firma del relatore*) Prof. Ing. Orazio Baglieri

••••••

Correlatori:

(Firma dei correlatori) Prof.ssa Ing. Anna Osello

.....

Ing. Anna Viola

.....

Candidato: (Firma del candidato) Angelo Campagna

21 ottobre 2019

A colui che mi ha insegnato a camminare, a colui che, inconsciamente, da un'officina di serramenti mi ha trasmesso la passione per l'ingegneria, a colui che è il mio più grande esempio di Uomo, A mio padre.

Abstract 🛝

Se in Europa il BIM ha trovato sin da subito largo utilizzo grazie ai numerosi vantaggi dovuti al flusso di lavoro collaborativo, all'integrazione tra i processi e all'interoperabilità dei software utilizzati per la progettazione, costruzione e manutenzione delle varie strutture e infrastrutture, in Italia tale metodologia si sta sviluppando solo dopo l'attuazione del "Decreto BIM" (Decreto n. 560 del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti dell'1 dicembre 2017, previsto all'articolo 23, comma 13 del Codice dei contratti di cui al D.Lgs. n. 50/2016). Per tale motivo, l'adozione del Building Information Model (BIM), ad oggi, risulta ancora in via di sviluppo nel settore AEC (Architecture Engineering Construction) ovvero nel settore delle strutture e infrastrutture civili (ponti, viadotti, infrastrutture viarie).

Allo stato attuale, uno dei più grandi ostacoli per lo sviluppo della metodologia BIM nel mondo delle strutture ed infrastrutture dell'ingegneria civile è sicuramente la mancanza di interoperabilità tra i software infraBIM presenti oggi nel mercato.

Questa tesi analizza l'uso della metodologia infraBIM nella fase di progettazione preliminare e definitiva con i programmi delle due software-house più importanti nel mercato dei software infraBIM: Bentley Systems e Autodesk. In particolare, facendo riferimento ad un progetto sviluppato precedentemente in CAD, saranno sviluppate due modellazioni preliminari (una per ognuna delle due software-house). Una volta concluse le due modellazioni preliminari, si svolgerà un'analisi di interoperabilità tramite un benchmark tra i due software per poter continuare ad usare la metodologia BIM anche ai livelli di progettazione successivi.

Abstract 🔉

If in Europe the BIM has immediately found large use thanks to the many advantages due to the collaborative workflow, the integration between the processes and the interoperability of the software used for the design, construction and maintenance of the various structures and infrastructures, in Italy this methodology is developing only after the implementation of the "BIM Decree" (Decree n. 560 of the Ministry of Infrastructure and Transport of 1 December 2017, provided for in Article 23, paragraph 13 of the Code of contracts under D. Lgs Decree n. 50/2016). For this reason, the adoption of the Building Information Model (BIM), to date, is still under development in the AEC (Architecture Engineering Construction) sector or in the sector of civil structures and infrastructures (bridges, viaducts, road infrastructures). At present, one of the biggest obstacles to developing the BIM methodology in the world of civil engineering structures and infrastructures is certainly the lack of interoperability between infraBIM software present in the market today.

This thesis analyzes the use of the infraBIM methodology in the preliminary and final design phase with the programs of the two most important software-houses in the infraBIM software market: Bentley Systems and Autodesk. In particular, referring to a project previously developed in CAD, two preliminary modeling will be developed (one for each of the two software-houses). Once the two preliminary modeling has been completed, an interoperability analysis will take place through a benchmark between the two software in order to continue using the BIM methodology even in a successive design level.

Indice

Introduzione 3				
1	l Metodologia BIM9			
	1.1	Bu	ilding Information Modeling9	
	1.1	1.1	Origine del concetto BIM13	
	1.1	1.2	Evoluzione del BIM18	
	1.1	1.3	Il BIM in Europa19	
	1.1	1.4	Il BIM in Italia	
	1.2	Inf	raBim24	
	1.2	2.1	Sviluppo del BIM nelle infrastrutture 30	
2	So	oftw	are BIM	
	2.1	Sof	tware-House BIM	
	2.2	Au	todesk 43	
	2.2	2.1	Autodesk Revit	
	2.2	2.2	Autodesk InfraWorks 46	
	2.3	Ber	ntley Systems 49	
	2.3	3.1	OpenRoads Concept Station 50	
	2.3	3.2	OpenRoads Designer	
	2.4	Int	eroperabilità 56	
	2.4	4.1	Formato IFC 60	
	2.4	4.2	Altri formati 61	
	2.5	Int	eroperabilità nell'infraBIM64	

3	Ca	aso	Studio: descrizione del progetto	69	
3.1 Descrizione del progetto				69	
	3.2	Ca	aratteristiche geometriche del tracciato principale	73	
3.3 Caratteristiche geometriche delle opere minori				75	
4	4 Modellazione infraBIM preliminare8				
	4.1	M	odellazione in OpenRoads Concept Station	82	
	4.	1.1	Download del modello	83	
	4.	1.2	Modellazione del profilo plano-altimetrico	84	
	4.	1.3	Modellazione delle opere minori	87	
	4.	1.4	Modellazione delle intersezioni a rotatoria	92	
	4.2	M	odellazione in Autodesk Infraworks	95	
	4.2	2.1	Download del modello	95	
	4.2	2.2	Modellazione del profilo plano-altimetrico	98	
	4.2	2.3	Modellazione delle opere minori	.107	
	4.2	2.4	Modellazione delle intersezioni a rotatoria	.109	
5	Aı	nali	isi e risultati della modellazione infraBIM prelimir	nare	
	•••	••••		.115	
	5.1	Mo	odellazione in OpenRoads Concept Station	.115	
	5.2	Mo	odellazione in Autodesk Infraworks	.118	
	5.3	Be	enchmark dei modelli infraBIM sviluppati	.123	
	5.4	Au	atodesk Civil 3D	.126	
6	Μ	ode	ellazione infraBIM per un livello di progettazi	ione	
de	efini	tiva	a	.131	
	6.1 Modellazione BIM con Civil 3D131				
	6.1.1 Download Country Kit Italia133				
	6.1.2 Import del modello di Autodesk Infraworks134				

6.2 Modellazione profilo planimetrico 136			
6.2.1 Modellazione archi137			
6.2.2 Modellazione nodi 141			
6.3 Benchmark tra modellazione in fase preliminare e fase			
definitiva 152			
Conclusioni e sviluppi futuri157			
Bibliografia161			
itografia165			
lingraziamenti			

Indice delle figure

Figura 1.1: Elementi di un progetto BIM (AJC Carrières)
Figura 1.2: Livello di dettaglio (truecadd.com) 11
Figura 1.3: Dimensioni del BIM (biblus.acca.it) 12
Figura 1.4: Logo Graphisoft ArchiCAD (Graphisoft.com) 13
Figura 1.5: Differenze tra CAD e BIM (Biblus-net.com) 16
Figura 1.6: Fasi di utilizzo del BIM (slideshare.net) 17
Figura 1.7: Passaggio dalla metodologia di progettazione classica alla
metodologia BIM (National Building Information Model Standard
NBIMS, 2007, AEC Infosystems) 19
Figura 1.8: Sviluppo del BIM in Europa (Spanish Chapter Building
Smart website)
Figura 1.9: Infrastruttura viaria (farefuturofondazione.it)
Figura 1.10: Fasi progettuali (shelidon.it)
Figura 1.11: Fasi di un progetto infraBIM (arketipomagazine.it) 30
Figura 1.12: Oggetto BIM (cadlinesw.com)
Figura 1.13: Facility Management (associatiminnucci.com)
Figura 2.1: Tipi di software (T. Dalla Mora, F. Peron, F. Cappelletti, P.
Romagnoni, P. Ruggeri, 2014, "Una panoramica sul BIM", AICARR). 40
Figura 2.2: Logo Graphisoft ArchiCAD (Graphisoft.com) 42
Figura 2.3: Interfaccia Graphisoft ArchiCAD (Graphisoft.com)
Figura 2.4: Logo Autodesk (autodesk.com) 43
Figura 2.5: Logo Autodesk Revit 2019 (Autodesk.com) 45
Figura 2.6: Esempio di progettazione BIM di un edificio con Autodesk
Revit (autodesk.com) 46
Figura 2.7: Logo Autodesk InfraWorks 2019 (autodesk.com) 47
Figura 2.8: Esempio di progettazione BIM di un'infrastruttura viaria con
Autodesk InfraWorks (autodeskforum.com)

Figura 2.9: Logo Bentley Systems (bentley.com)49
Figura 2.10: Logo OpenRoads Concept Station (bentley.com)50
Figura 2.11: Esempio di progettazione con OpenRoads Concept Station
(bentley.com)
Figura 2.12: Logo OpenRoads Designer (bentley.com)53
Figura 2.13: Progettazione con OpenRoads Designer (bentley.com) 56
Figura 2.14: Interoperabilità BIM (bimmanagementstructura.it) 57
Figura 2.15: Curva del processo di progettazione di MacLeamy (T. Dalla
Mora, F. Peron, F. Cappelletti, P. Romagnoni, P. Ruggeri, 2014, "Una
panoramica sul BIM", AICARR)
Figura 2.16: Logo BuildingSmart (autodesk.com)59
Figura 2.17: Gestione del progetto tramite formato IFC
(bimmanagementstructura.it)
Figura 2.18: Loghi formati gbXML, DWG e DGN63
Figura 3.1: Progetto caso studio (Autodesk AutoCAD)
Figura 3.2: Particolare ramo secondario della Rotatoria A (Autodesk
AutoCAD)
Figura 3.3: Particolare ramo secondario della Rotatoria B (Autodesk
AutoCad)
Figura 3.4: Sezione tipo del rilevato (Autodesk Autocad)
Figura 3.5: Particolare arginello (Autocad)74
Figura 3.6: Sezione tipo in presenza di opere d'arte (Relazione tecnico
stradale del progetto)75
Figura 3.7: Particolare del cavalcavia autostradale (Autocad)75
Figura 3.8: Sezione tipo della viabilità secondaria (Relazione tecnico
stradale del progetto)76
Figura 3.9: Sezione tipologica: Rotatoria A (Autodesk Autocad)77
Figura 3.10: Particolare rotatoria B (Autocad)77
Figura 3.11: Sezione tipo della pista ciclo-pedonale (Relazione tecnico
stradale del progetto)78
Figura 4.1: Schermata iniziale (OpenRoads Concept Station)

Figura 4.2: Individuazione sito di interesse (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.3: Download degli elementi di interesse (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.4: Interfaccia iniziale (OpenRoads Concept Station)
Figura 4.5: Edit della sezione del ramo principale (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.6: Sviluppo del ramo principale di progetto (OpenRoads
Concept Station)
Figura 4.7: Comando Insert PVI/Delete PVI (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.8: Profilo altimetrico del ramo principale (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.9: Comando Bridge (OpenRoads Concept Station)
Figura 4.10: Edit del template ponte (OpenRoads Concept Station) 88
Figura 4.11: Edit template Bike path (OpenRoads Concept Station) 88
Figura 4.12: Comando Bike path (OpenRoads Concept Station) 88
Figura 4.13: Particolare sottopasso ciclopedonale (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.14: Edit template Autostrada del sole (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.15: Particolare cavalcavia autostradale (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.16: Comando Bridge Clearence (OpenRoads Concept Station)
Figura 4.17: Particolare clearence del cavalcavia autostradale
(OpenRoads Concept Station)
Figura 4.18: Comando Culvert (OpenRoads Concept Station)91
Figura 4.19: Particolare tombino (OpenRoads Concept Station)
Figura 4.20: Inserimento rami secondari (OpenRoads Concept Station)

Figura 4.21: Com ando Roundabouts (OpenRoads Concept Station) $\dots 93$
Figura 4.22: Particolare rotatoria A di progetto (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.23: Particolare rotatorie B e C di progetto (OpenRoads Concept
Station)
Figura 4.24: Schermata iniziale (Autodesk Infraworks)95
Figura 4.25 Comando Model Builder (Autodesk Infraworks)96
Figura 4.26: Selezione del sito di progetto con il comando Model Builder
(Autodesk Infraworks)
Figura 4.27: Geo-localizzazione del sito di progetto (Autodesk Infrawork)
Figura 4.28: Procedura di download del modello (Autodesk Infraworks)
Figura 4.29: Schermata iniziale (Autodesk Infraworks)97
Figura 4.30: Schermata iniziale modello (Autodesk Infraworks)98
Figura 4.31: Barra dei comandi (Autodesk Infraworks)
Figura 4.32: Comando Strade a componenti (Autodesk Infraworks)99
Figura 4.33: Attributi del comando Strade a componenti (Autodesk
Infraworks)
Figura 4.34: Particolare collegamento rotatoria sviluppo planimetrico
nella modalità Two Lanes Shoulder (Autodesk Infraworks)100
Figura 4.35: Comando Two Lanes (Autodesk Infraworks)101
Figura 4.36: Comando Mostra vista sezione trasversale (Autodesk
Infraworks)102
Figura 4.37: Strada extraurbana di tipo locale della normativa UK
(Autodesk Infraworks)102
Figura 4.38: Strada Categoria F1 (Ministero delle Infrastrutture e dei
Trasporti prot. n. 6792)
Figura 4.39: Comando Converti geometria (Autodesk Infraworks) 103
Figura 4.40: Sviluppo planimetrico del progetto (Autodesk Infraworks)

Figura 4.41: Comando Mostra vista profilo (Autodesk Infraworks) 104
Figura 4.42: Comando Aggiungi vertice altimetrico (Autodesk
Infraworks) 105
Figura 4.43: Comando Converti geometria (Autodesk Infraworks) 105
Figura 4.44: Profilo altimetrico del tratto 1 (Autodesk Infraworks) 106
Figura 4.45: Comando Aggiungi struttura (Autodesk Infraworks) 107
Figura 4.46: Inserimento ponte (Autodesk Infraworks) 107
Figura 4.47: Particolare sottopasso ciclopedonale (Autodesk Infraworks)
Figura 4.48: Comando Aggiungi pilone (Autodesk Infraworks) 108
Figura 4.49: Particolare cavalcavia autostradale (Autodesk Infraworks)
Figura 4.50: Modellazione automatica di un'intersezione del software
(Autodesk Infraworks) 110
Figura 4.51: Comando Converti in rotatoria110
Figura 4.52: Tipologia di rotatoria (Autodesk Infraworks) 111
Figura 4.53: Particolare rotatoria A (Autodesk Infraworks) 111
Figura 4.54: Particolare rotatorie B e C (Autodesk Infraworks) 112
Figura 5.1: Comandi Furniture e Marking (OpenRoads Concept Station)
Figura 5.2: Comando Quantities and Costs (OpenRoads Concept
Station) 117
Figura 5.3: Comando Export to XLS (OpenRoads Concept Station) 117
Figura 5.4: Export in formato .xls del computo metrico (OpenRoads
Concept Station) 118
Figura 5.5: Comando Arredo urbano (Autodesk Infraworks) 120
Figura 5.6: Comando Crea istantanea (Autodesk Infraworks) 120
Figura 5.7: Comando Crea storyboard (Autodesk Infraworks) 121
Figura 5.8: Comando Sole e cielo (Autodesk Infraworks) 121
Figura 5.9: Comando Tabella dati e scheda riepiloga (Autodesk
Infraworks) 122

Figura 5.10: Scheda riepilogativa della quantità di materiale (Autodesk
Infraworks)122
Figura 5.11: Logo Autodesk Civil 3D 2020 (Autodesk.com)126
Figura 6.1: Interfaccia iniziale (Autodesk Civil 3D)132
Figura 6.2: Strumenti di progettazione infrastrutturale (Autodesk Civil
3D)
Figura 6.3: Download Country Kit Italia (Autodesk.com)133
Figura 6.4: Comando Riquadro degli strumenti (Autodesk Civil 3D) 133
Figura 6.5: Comando Infraworks (Autodesk Civil 3D)134
Figura 6.6: Scelta del modello da importare (Autodesk Civil 3D) 135
Figura 6.7: Modello scaricato (Autodesk Civil 3D)135
Figura 6.8: Particolare modello scaricato (Autodesk Civil 3D)136
Figura 6.9: Classificazione archi e nodi (Decreto ministeriale 19 aprile
2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle
intersezioni stradali (GU n.170 del 24-7-2006))
Figura 6.10: Strada Categoria F1 (Ministero delle Infrastrutture e dei
Trasporti prot. n. 6792)138
Figura 6.11: Comando Crea sezione tipo (Autodesk Civil 3D)138
Figura 6.12: Scelta sezione tipo (Autodesk Civil 3D)139
Figura 6.13: Settaggio dei parametri della sezione tipo (Autodesk Civil
3D)
Figura 6.14: Comando modellatore (Autodesk Civil 3D)140
Figura 6.15: Crea tracciato di scostamento (Autodesk Civil 3D)140
Figura 6.16: Settaggio impostazioni per i tracciati di scostamento
(Autodesk Civil 3D)141
Figura 6.17: Classificazione rotatorie (Decreto ministeriale 19 aprile
2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle
intersezioni stradali (GU n.170 del 24-7-2006))
Figura 6.18: Comando Crea rotatoria (Autodesk Civil 3D)142
Figura 6.19: Rotatorie del D.M. 19/04/2006 presenti nel Country Kit
Italia (Autodesk Civil 3D)143

Figura 6.20: Scelta del tipo di rotatoria (Autodesk Civil 3D)144
Figura 6.21: Settaggio dei parametri della rotatoria C (Autodesk Civil
3D)145
Figura 6.22: Settaggio dei parametri per i rami delle rotatorie (Autodesk
Civil 3D)
Figura 6.23: Particolare rotatoria C (Autodesk Civil 3D)146
Figura 6.24: Comando Cerchio (Autodesk Civil 3D)146
Figura 6.25: Comando Crea tracciato da oggetti (Autodesk Civil 3D)147
Figura 6.26: Tracciato circolare realizzato (Autodesk Civil 3D) 147
Figura 6.27: Sezione tipo rotatoria (Autodesk Civil 3D) 148
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)
Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)
 Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)

Indice delle tabelle

Tabella 5.1: Benchmark tra i due software di progettazione preliminare:						
OpenRoads	Concept	Station	(Bentley	Systems)	e	Infraworks
(Autodesk)						
Tabella 6.1: Benchmark verticale nel passaggio da Autodesk Infraworks						
ad Autodesk Civil 3D152						
Tabella 6.2: Benchmark per l'elemento rotatoria modellato con Autodesk						
Civil 3D153						

INTRODUZIONE

Introduzione

La progettazione e realizzazione delle infrastrutture civili richiede la partecipazione di diverse discipline, le quali necessitano di essere messe in relazione tra di loro al fine di ottimizzare il processo costruttivo. Da qui, nasce l'esigenza di rispondere al cambiamento delle richieste di mercato mediante uno strumento in grado di operare fin dalle prime fasi di progettazione dell'infrastruttura attraverso un approccio integrato, coordinato ed efficiente.

Attualmente il BIM (Building Information Modeling) è una delle metodologie di lavoro più innovative e all'avanguardia nel settore dell'AEC (Architecture, Engineering and Construction), basata sull'interoperabilità tra le varie discipline. Tale metodologia permette di gestire in maniera integrata l'intero ciclo di vita dell'infrastruttura attraverso un modello "intelligente", partendo dalla programmazione e progettazione fino alla realizzazione, manutenzione e demolizione dell'opera.

Originariamente, il BIM fu introdotto come supporto alla progettazione per poi diffondersi progressivamente a tutte le attività riguardanti il settore delle costruzioni edili e civili. Al giorno d'oggi, tale metodologia ha raggiunto una maturità rilevante nel settore dell'edilizia e delle costruzioni verticali, nonostante si possano riscontrare livelli di sviluppo differenti nei vari Paesi. II successo riscosso dall'adozione della metodologia BIM nel settore dell'ingegneria edile ha suscitato un grande interesse anche da parte del mondo delle infrastrutture e più in generale

3

nel settore dell'ingegneria civile. Pertanto, l'estensione ai progetti infrastrutturali può essere vista come una naturale conseguenza della diffusione della metodologia BIM nel campo delle costruzioni, il quale è stato fortemente incentivato dalle nuove normative nazionali ed europee.

Le infrastrutture, inoltre, essendo opere complesse e di grandi dimensioni, richiedono interventi complessi oltre ad ingenti somme di denaro per la loro progettazione e realizzazione. La complessità degli interventi è strettamente connessa alla partecipazione di molte discipline (strutturale, impiantistica, idraulica, architettonica, etc.) del mondo dell'ingegneria, sia nella fase progettuale sia durante la successiva fase di realizzazione. Al fine di poter avere un progetto coordinato, tra tutti gli attori della filiera delle costruzioni, è necessario riuscire ad implementare un processo integrato, in grado di rispondere alle richieste delle varie parti in modo fluido e dinamico.

L'applicazione della metodologia BIM permette, pertanto, di gestire in maniera più efficace e meno onerosa il flusso di lavoro durante l'intero ciclo di vita dell'infrastruttura: dalla fase di progettazione e realizzazione fino alla fase di gestione, manutenzione e demolizione.

In tale contesto, si colloca l'elaborato "InfraBIM e interoperabilità: analisi di confronto tra software house a diversi livelli di progettazione". In particolare, con tale elaborato ci si è voluti soffermare sulle problematiche di interoperabilità tra software di diverse software-house che gli utenti si trovano ad affrontare ai diversi livelli di progettazione. Per tale motivo, si è deciso di sviluppare un benchmark ^[1] tra i software di modellazione preliminare usati delle due software-house, attualmente leader nel mercato dei software infraBIM, in modo tale da poter dare delle linee guida per la progettazione preliminare in BIM di

^[1] Benchmark: termine inglese che indica un parametro di riferimento. Nel linguaggio aziendale e finanziario, viene utilizzato come "indice", adoperato dalle società di investimento come termine di paragone per valutare e per rendere evidente al cliente il rendimento, cioè l'efficacia, di un determinato investimento (treccani.it).

un'infrastruttura viaria. Successivamente, si è proseguito con la modellazione definitiva utilizzando i programmi della software-house che, tramite il benchmark, ha ottenuto una valutazione migliore nella modellazione preliminare. Anche per la progettazione definitiva, è stato sviluppato un benchmark "verticale" in modo tale da analizzare le potenzialità e le lacune che un nuovo utente può riscontrare nel passaggio da una progettazione preliminare ad una definitiva utilizzando i software della stessa software-house.

Per tale motivo, questo elaborato non vuole avere alcun scopo di sponsorizzazione per nessuna delle due software-house citate, bensì solo quello di analizzare l'implementazione della metodologia BIM nel processo di progettazione di una infrastruttura viaria.

METODOLOGIA BIM

Metodologia BIM

1.1 Building Information Modeling

Con il termine BIM (Building Information Modeling) non ci si riferisce ad uno strumento di progettazione, bensì ad un processo che utilizza un modello contenente tutte le informazioni che riguardano l'intero ciclo di vita di un'opera: dal progetto alla costruzione, fino alla sua demolizione e dismissione. Grazie alla metodologia BIM, l'edificio viene *"costruito"* prima della sua realizzazione fisica mediante un modello virtuale e attraverso la collaborazione di tutti i professionisti coinvolti nel progetto.



Figura 1.1: Elementi di un progetto BIM (impiantoelettricoonline.it)

Con l'avvento della metodologia BIM, anche i metodi di consegna del progetto sono cambiati: la consegna in formati elettronici è sempre più

diffusa, tanto da poter prevedere un futuro dove la consegna dei progetti non avverrà più tramite carta. Questo perché il progetto finale non è altro che il risultato finale di uno scambio elettronico tra una varietà di software e documenti condivisi dai vari componenti del team di progettazione. Per tale motivo, la maggior parte dei dati di un progetto BIM viene, oggi, consegnata in forma di modello e con un livello informativo dipendente dal livello di dettaglio che si vuole dare. Esso, è un modo per descrivere la quantità di dettagli che il modello BIM deve contenere, e viene definito come LOD (Level of Details). Il LOD di un oggetto è, pertanto, il suo livello di dettaglio in termini di geometria e dati parametrici (come localizzazione, dimensioni, forma, quantità, etc.) nel modello digitale. Al giorno d'oggi, con l'acronimo LOD ci si può riferire oltre che al "Livello di dettaglio" anche al "Livello di sviluppo". Quest'ultimo indica il livello di sviluppo del modello digitale. Vale a dire che, a seconda dell'avanzamento di un progetto, è necessario un oggetto con una geometria più o meno evoluta, a seconda delle esigenze di calcolo, di fabbricazione o di funzionamento. Per quanto riguarda i livelli di dettaglio, l'AIA (American Institute of Architects) con la pubblicazione del "LOD framework G202-2013" [2], ne ha ufficialmente riconosciuto cinque:

- LOD 100: il modello elementare viene rappresentato in forma grafica con un simbolo o semplicemente con una <u>rappresentazione</u> <u>generica</u>.
- LOD 200: l'elemento del modello viene rappresentato graficamente all'interno del modello come un <u>sistema generico</u>, un oggetto o un assemblaggio con valori di dimensioni, forma posizione e orientamento del tutto approssimativi.
- LOD 300: l'elemento del modello viene rappresentato graficamente all'interno del modello come un <u>sistema specifico</u> o

^[2] LOD framework G202-2013: framework pubblicato dall'AIA (American Institute) nel 2013 per il "Building Information Modelling Protocol Form".

come un assemblaggio in termini di quantità, dimensioni, forma, posizione e orientamento.

- LOD 400: l'elemento del modello <u>viene rappresentato</u> <u>graficamente all'interno del modello</u> o come un assemblaggio in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento con dettagli relativi alla fabbricazione e alle informazioni di installazione.
- LOD 500: l'elemento del modello è una <u>rappresentazione</u> <u>verificata in cantiere</u> in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento. Inoltre, le informazioni di natura non grafica possono anche essere collegate agli elementi del modello.



Figura 1.2: Livello di dettaglio (truecadd.com)

Al giorno d'oggi, si cerca di lavorare e sviluppare modelli e teorie che vadano oltre al semplice modello tridimensionale. Infatti, in accordo con la classificazione della norma UNI 11337^[3], si parla di:

Progettazione 4D: quando si ha una programmazione e pianificazione dei tempi del modello. La quarta dimensione del

^[3] Norma UNI 11337: norma italiana sul BIM.

BIM consente ai partecipanti di estrarre e visualizzare il progresso delle attività durante il ciclo di vita del progetto.

- Progettazione 5D: quando si ha una stima e analisi dei costi. La quinta dimensione del BIM associata al modello 3D e al BIM-4D (tempi) consente ai partecipanti di visualizzare il progresso delle loro attività ed i relativi costi nel tempo.
- Progettazione 6D: è utilizzata per la gestione operativa e per la manutenzione dell'edificio e delle sue componenti per l'intero ciclo di vita. L'utilizzo della tecnologia BIM-6D comporta una gestione più semplice ed efficiente, soprattutto in riferimento alla sostituzione e/o manutenzione delle parti costituenti l'edificio.
- Progettazione 7D: quando si ha un'analisi e simulazione delle prestazioni. L'utilizzo della tecnologia BIM-7D può determinare stime energetiche più complete e accurate di quelle stimate nella precedente fase di progettazione. Permette, inoltre, di misurare, verificare e migliorare i processi per raccogliere informazioni sulle prestazioni delle strutture.



Figura 1.3: Dimensioni del BIM (biblus.acca.it)

Infatti, uno dei grandi vantaggi che offre il modello BIM è il suo utilizzo per la *manutenzione*. In termini di manutenzione, il BIM permette un monitoraggio costante dello stato delle strutture ed infrastrutture così da poter tenere sotto controllo tutti i fenomeni di degrado e ridurre al minimo i costi di manutenzione straordinaria.

Infatti, un progetto BIM, a differenza di un progetto in CAD, dà la possibilità alla committenza di avere un'elaborazione virtuale del ciclo di vita dell'edificio, anche dopo la fase di progettazione; in questo modo è più semplice monitorare il degrado dei materiali e programmare meglio la manutenzione.

1.1.1 Origine del concetto BIM

Il termine BIM fu usato per la prima volta, dal professor Charles M. Eastman del Georgia Institute of Technology alla fine degli anni '70.

Con il termine "Modeling" si intende l'uso della rappresentazione digitale condiviso per facilitare la progettazione, la costruzione e soprattutto la gestione dei processi in modo da formare una base affidabile per quelle che saranno le decisioni progettuali da prendere. Per tale motivo, con l'espressione BIM ci si riferisce alla condivisione di informazioni e non al semplice possesso delle stesse. Pur essendo stato introdotto negli anni '70, il concetto di BIM si è diffuso solo a partire dal 1987, anno in cui venne realizzata la prima idea di "edificio virtuale" ottenuto con il software ArchiCAD della software-house Graphisoft.



Figura 1.4: Logo Graphisoft ArchiCAD (Graphisoft.com)

Ad oggi, non vi è una definizione di BIM univoca, ma in Europa si sta lavorando per creare una norma che standardizzi le definizioni.

La più recente è: "use of shared digital representation of a built object (including buildings, bridges, roads, process plants, etc.) to facilitate design, construction and operation processes to form a reliable basis for decisions"^[4].

Per definire meglio il concetto di BIM è molto importante chiarire che esso corrisponde alla rappresentazione di un modello di dati relativi ad un'opera che definiscono tutte le informazioni riguardanti gli specifici componenti. In tale ottica, un modello tri-dimensionale della geometria di un'opera usato esclusivamente per simulazioni grafiche (rendering) non può essere considerato BIM. Per tale motivo, il ruolo del BIM, oggi, è quello di porsi come uno strumento di comunicazione tra le diverse discipline che partecipano ad un progetto ai fini di garantire una migliore gestione del progetto lungo l'intero ciclo di vita dell'opera, ottenendo risultati positivi sia in termini economici che in termini di tempo. Il BIM, oggi, rappresenta molto più del semplice sviluppo della progettazione 2-D e/o 3-D. Con il BIM è possibile creare più che una rappresentazione tridimensionale, un modello informativo dinamico, interdisciplinare, condiviso e in continua evoluzione, che contiene dati su geometria, materiali, struttura portante, caratteristiche termiche e prestazioni energetiche, impianti, costi, sicurezza, manutenzione, ciclo di vita, demolizione, dismissione.

La prima vera rivoluzione nel mondo della progettazione la si ha avuta negli anni '90, quando si è passati dal progettare edifici e infrastrutture civili con la matita, all'uso dei primi software CAD (Computer Aided Drafting). L'avvento del CAD nell'ambito dell'ingegneria civile ed edile ha trasformato il "modus operandi" di ogni tipo di progetto, dai piccoli edifici alle grandi infrastrutture (ponti e infrastrutture viarie).

^[4] Definizione di BIM aggiornata e ufficialmente riconosciuta.
I vantaggi dell'avvento del CAD sono stati molteplici: se da un lato si è ottenuta una notevole e consistente riduzione dei tempi di progettazione, dall'altro è migliorata notevolmente la comunicazione tra i vari progettisti all'interno dei team.

A partire dagli anni 2000 il CAD ha fatto un altro passo importante: la realizzazione di edifici e infrastrutture 3D. Pur trattandosi di un passo importante, con il 3D il progetto è solamente una immagine tridimensionale di un generico progetto priva di "intelligenza" visto che anche con una progettazione 3D vi è la necessità di dover rigenerare i dati in ogni fase del processo per poter adempire ai diversi compiti.

La rigenerazione di dati è necessaria perché essendo i modelli costituiti da oggetti non parametrici, essi non si adattano facilmente ai diversi scopi. Contrariamente al processo di progettazione 3D basato su un database, i dati BIM non sono un attributo contenuto in un database esterno ma sono oggetti parametrici che risiedono nel modello stesso. In tal modo, il software può mantenere l'intero progetto coerente e coordinato. Tutto ciò significa che quando si modifica un oggetto, il modello si adegua e coordina tutto in modo da tenere conto dinamicamente delle modifiche effettuate. Da questo punto di vista, si evince come il BIM sta portando la progettazione a nuovi livelli di efficienza e dettaglio riducendo al minimo i possibili errori dovuti alla rielaborazione dei dati.

I motivi principali che stanno spingendo sempre più progettisti all'uso del processo BIM sono:

- creazione di un modello i cui dati possono essere utilizzati nell'intero ciclo di vita dell'opera (progettazione, manutenzione, dismissione);
- condivisione dei modelli realizzati;
- modellazione di oggetti aventi la loro reale posizione nello spazio;
- interazione tra le diverse figure professionali.



Figura 1.5: Differenze tra CAD e BIM (Biblus-net.com)

L'implementazione efficace di un progetto in BIM varia a seconde delle dimensioni del progetto stesso. Essa risulterà abbastanza semplice per un progetto di piccole dimensioni (edifici ad uso di civile abitazione), molto più dettagliata per progetti di dimensioni più importanti e che coinvolgono più figure professionali (ponti ed infrastrutture viarie). Per tale motivo, il modello BIM dovrà avere un grado di dettaglio tale da soddisfare i requisiti proposti. A tal fine, sono diverse le figure che vengono coinvolte all'interno di un nuovo progetto: progettisti, ingegneri e architetti collaborano e cooperano ad un unico progetto con l'intento di ridurre al minimo le discrepanze dovute agli errori e alle disattenzioni che risultano sono inevitabili in una progettazione tradizionale.

La transizione da progettazione in CAD a progettazione in BIM richiede molta pianificazione oltre che un approccio completamente diverso per quelle che sono sia le fasi preliminari di un progetto che per la gestione dello stesso. Si richiede, soprattutto, lo sviluppo di nuovi processi che supportino il coordinamento di tutte le parti coinvolte: dalla scelta dei membri del team di progetto ai metodi di consegna del progetto. Sono diverse, ad oggi, le linee guida sul BIM che possono essere usate a seconda del tipo di progetto che deve essere prodotto e consegnato. A tal fine, se da una parte risulta di fondamentale importanza riuscire ad identificare gli obiettivi che si vogliono raggiungere nel progetto BIM, risulta, altresì, importante identificare sin dall'inizio i ruoli e le responsabilità dei membri che faranno parte del team.

Le fasi di un progetto BIM sono molto diverse da un processo tradizionale. Infatti, in un progetto CAD la parte più onerosa risulta essere la parte progettuale visto che è la fase in cui possono nascere più problemi; viceversa, per i progetti BIM la fase preliminare risulta la più impegnativa, dal momento che molte decisioni vengono prese all'inizio.



BIM – Fasi di utilizzo

Figura 1.6: Fasi di utilizzo del BIM (slideshare.net)

Il cambiamento più evidente, nel passaggio da progettazione in CAD a progettazione in BIM, si ha sicuramente nella fase di integrazione dei documenti, dal momento che essi con la metodologia BIM saranno parte integrante del modello e saranno coordinati con lo stato di avanzamento del progetto. Infatti, la fase di revisione dei documenti viene considerevolmente ridotta o eliminata del tutto. La metodologia BIM avrà quindi un impatto positivo su quasi tutti gli aspetti del progetto: dai dibattimenti iniziali per la progettazione e la costruzione fino alla consegna dell'opera e soprattutto al facility manager. L'aspetto più importante è che le informazioni contenute nel modello BIM si evolveranno durante ogni fase del progetto e potranno essere consultate e ordinate in modo che queste rendano la gestione del progetto più efficace possibile.

1.1.2 Evoluzione del BIM

Come già detto precedentemente con il termine BIM (Building Information Modelling) si fa riferimento ad una nuova metodologia di progettazione che consente di avere numerosi vantaggi sia in termini economici sia in termini di tempi di lavoro. Molto spesso, nella terminologia comune, si confonde il Building Information Modeling con il Building Information Modelling; tali denominazioni, che a prima vista appaiono sinonimi, si riferiscono invece a due ambiti profondamente diversi. Con il termine "modelling" si fa riferimento all'oggetto mentre il termine "modeling" è utilizzato per indicare il processo. Quest'ultimo è stato anche definito dal National Building Information Model Standard Project Committee, come "una nuova metodologia laper rappresentazione computabile delle caratteristiche fisiche e funzionali di una struttura e delle sue informazioni relative al ciclo di vita previsto utilizzando standard aperti per il processo decisionale d'impresa rivolto alla migliore profittabilità".^[5]

Inizialmente, il BIM è stato inserito a supporto della progettazione e solo successivamente si è diffuso interessando gradualmente tutte le attività del settore delle costruzioni. Dalla fine degli anni '90, il BIM ha gradualmente trasformato il modo di progettare le opere nel settore AEC (Architecture, Engineering and Construction).

^[5] Definizione approvata durante la conferenza dell' 1 Marzo del 2006 dal NBIMS Exec. Comm. (National Building Information Model Standard).



Figura 1.7: Passaggio dalla metodologia di progettazione classica alla metodologia BIM (National Building Information Model Standard NBIMS, 2007, AEC Infosystems)

La metodologia BIM, quindi, nasce come un'evoluzione degli oggetti 3D orientati, aggiungendo ai dati geometrici altri attributi di diversa entità. Essi permettevano di verificare e risolvere problemi di interazione tra le parti, automatizzare alcune operazioni, come ad esempio l'inserimento e lo spostamento delle finestre all'interno delle pareti, ordinare gli oggetti in base alle loro proprietà, estrarre quantità, con la possibilità di interfacciarsi con altri software senza la perdita di informazioni.

Non è solamente un cambiamento del modo di disegnare, come in passato lo era stato con l'avvento del CAD, bensì una vera e propria rivoluzione nel modo di progettare, che coinvolge sia l'intero processo di progettazione e costruzione sia tutti gli attori del mondo delle costruzioni.

1.1.3 Il BIM in Europa

I Paesi in cui l'uso del BIM ha raggiunto uno stadio avanzato sono quelli scandinavi (Norvegia, Danimarca, Finlandia) e la Gran Bretagna, oltre agli stati Uniti, l'Australia e Singapore. Sicuramente, per quel che concerne l'Europa, Francia, Germania e Gran Bretagna, negli ultimi anni hanno adottato politiche atte a favorire un rapido e notevole sviluppo della metodologia BIM.



Figura 1.8: Sviluppo del BIM in Europa (Spanish Chapter Building Smart website)

In Francia, sono stati avviati una serie di grandi progetti di infrastrutture ed opere pubbliche, in cui sono state immediatamente applicate sul campo tutte le potenzialità del BIM. L'adozione di tale programma ha permesso, oltre alla realizzazione di ben 500.000 nuove abitazioni, progettate e realizzate con strumenti BIM, la realizzazione del *"Grand Paris express"*, il più grande progetto europeo di infrastrutture basato sul BIM, che si svilupperà su circa 200 Km di rete metropolitana e ferroviaria ad alta velocità, con 68 nuove stazioni metro realizzate nella zona della Ille de France di Parigi.

La strategia francese sul BIM è stata supportata inoltre attraverso il progetto nazionale MINnD (Modélisation des INformations INteropérables pourr les INfrastructures Durables) coordinato dall'IREX e che include quasi 60 partner nazionali (suddivisi tra aziende, istituzioni, università, ecc).

La Germania ha, invece, promosso l'innovazione delle costruzioni attraverso un approccio dal basso verso l'alto; ovvero, partendo dalle associazioni, e dai gruppi di lavoro locali, è stata sviluppata la strategia nazionale chiamata "*Stufenplan Digital Planen und Bauen*" avviata nel 2015 con il supporto economico del Ministero delle Infrastrutture e Costruzioni Digitali. La strategia è basata sull'implementazione, entro il 2020, di progetti pilota utilizzati per testare i benefici degli ambienti BIM. Solo dopo tale data sarà emanata una normativa che renderà obbligatoria l'utilizzo del BIM 5D nelle opere pubbliche.

Il *"Futurium Berlin"*, uno dei più importanti progetti pilota, è per il governo tedesco un riferimento essenziale per comprendere il livello di diffusione e/o adozione del BIM in Germania. Promosso da una partnership pubblico-privata, il piano copre un'area di 8,000 m² ed ha previsto un budget di 58 milioni di euro: i lavori sono iniziati nel 2017 e saranno completati entro la fine del 2019.

Il più grande piano che prevede l'uso del BIM è invece il "*Rastatt tunnel*" che funge da connessione ferroviaria tra Karlsruhe e Basilea. Costituito da due gallerie, una per ciascun senso di marcia, avrà una lunghezza complessiva di 4.7 Km, un diametro di 11 metri, ed un budget di 450 milioni di euro. I lavori avviati nel 2016 saranno completati nel 2022. Attualmente in Germania l'utilizzo del BIM per i progetti pubblici con investimenti superiori ai 5 milioni di euro è oramai una prassi consolidata; pertanto, il Paese è oramai pronto per rendere obbligatorio l'utilizzo di tale metodologia per la progettazione e costruzione di tutte le opere pubbliche.

Per quanto riguarda la Gran Bretagna, è uno dei Paesi in cui il BIM ha trovato sin da subito terreno fertile. Nel 2011, il Governo britannico ha introdotto nella "*Construction Strategy*" l'uso del "*Building Information Modelling (BIM) Level 2*" su tutti i progetti pubblici entro il 2016. Questa decisione ha portato il Governo e l'industria delle costruzioni a lavorare insieme per sviluppare le competenze, gli standard e gli strumenti del settore per ridurre drasticamente il costo delle infrastrutture pubbliche. In secondo luogo, si è impegnata a finanziare un gruppo di lavoro BIM per sviluppare gli standard e protocolli comuni necessari e renderli disponibili in formati accessibili, senza alcun costo, per favorire la diffusione soprattutto tra le PMI. Si è visto, come attraverso l'uso della "Construction Strategy BIM Level 2°, il Governo britannico ha già raggiunto un risparmio sui costi del 20% sugli appalti pubblici. Inoltre, l'implementazione del BIM ha permesso al Governo britannico di risparmiare ben 1,2 miliardi di sterline nel 2015/2016, rispetto agli 840 milioni di sterline nel 2013/2014. La nuova strategia in atto (in fase di preparazione), partita nel 2015, è denominata "Digital Built Britain' Level 3" e descrive i passi che il Governo intende intraprendere nella definizione di standard avanzati, creando nuovi modelli commerciali e identificando tecnologie per trasformare l'approccio allo sviluppo e alla costruzione delle infrastrutture pubbliche. La strategia del "Digital Built Britain" cerca di creare un'economia digitale per l'ambiente costruito che offra attività ad alto rendimento e un valore eccezionale per gli investitori, nonché una base di conoscenze per consentire alle Smart City e alle comunità di migliorare gli ambienti urbani. Il "Construction Leadership Council" ha messo il BIM al centro della sua Construction Strategy 2025, con l'obiettivo di ridurre i costi di costruzione del 33% e un risparmio di tempo ed emissioni di carbonio del 50%.

1.1.4 Il BIM in Italia

In Italia, la metodologia BIM non ha trovato sin dalle sue origini terreno fertile come in Gran Bretagna, e solo a partire dal 2016, vedendo i risultati ottenuti dagli altri Paesi, il Governo italiano ha deciso di riconoscere ed introdurre il BIM come nuova metodologia di progettazione e costruzione per infrastrutture e opere pubbliche.

Per la prima volta la metodologia BIM, in Italia, è stata adottata per il progetto del Provveditorato Interregionale di Lombardia e Liguria. Esso ha rappresentato il primo caso in cui un ufficio della Pubblica Amministrazione Centrale ha sperimentato il BIM all'interno di un appalto di ristrutturazione e nuova costruzione.

Come detto precedentemente, in Italia la procedura BIM è entrata in vigore solo a patire dal 1 gennaio 2019, così come previsto all'articolo 6, comma 1, lettera a) del decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 1 dicembre 2017, n. 560 cosiddetto "**Decreto BIM**" previsto all'articolo 23, comma 13 del Codice dei contratti di cui al D.Lgs. n. 50/2016, lo stesso è entrato in vigore dal 1° gennaio 2019 per i lavori complessi relativi ad opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro.

Il decreto sul BIM entrerà compiutamente in vigore per le opere di qualsiasi importo soltanto dal 1° gennaio 2025 secondo la seguente tempistica:

- Per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 100 milioni di euro, a decorrere dal 1º gennaio 2019.
- Per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni a decorrere dal 1º gennaio 2020.
- Per i lavori complessi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiore a 15 milioni di euro a decorrere dal 1º gennaio 2021.
- Per le opere di importo a base di gara pari o superiore alla soglia di cui all'articolo 35 del codice dei contratti pubblici (soglie comunitarie), a decorrere dal 1º gennaio 2022.
- Per le opere di importo a base di gara pari o superiore a 1 milione di euro, a decorrere dal 1º gennaio 2023.
- Per le opere di importo a base di gara inferiore a 1 milione di euro, a decorrere dal 1º gennaio 2025.

1.2 InfraBim

Il termine *"infrastruttura*" viene usato per designare un complesso di beni capitali che, pur non essendo utilizzati direttamente nel processo produttivo, forniscono una serie di servizi indispensabili per il funzionamento del sistema economico: strade, linee ferroviarie, porti, scuole, ospedali, ecc. ^[6]

Per quanto riguarda i trasporti terrestri, le infrastrutture riguardano l'insieme di strade, ferrovie e canali, e cioè il complesso di opere che consentono i movimenti di passeggeri e trasferimenti di merci. Sono infrastrutture anche le reti per il trasporto dei materiali energetici (oleodotti, gasdotti, elettrodotti), le reti di comunicazione (telefonica, televisiva, radiofonica, Internet), le reti di distribuzione e raccolta idrica (acquedotti e fognature).

L'importanza delle infrastrutture, considerando il solo aspetto quantitativo, può essere facilmente dimostrata da un semplice dato: nei paesi sviluppati e industrializzati, le infrastrutture rappresentano circa il 35-40% di tutte le opere pubbliche presenti nel territorio. I servizi forniti dai beni infrastrutturali favoriscono sia produttori (come quando, ad esempio, una strada viene utilizzata per il trasporto di merci) sia i consumatori (quando la stessa strada è utilizzata dal turista per attraversare una regione paesaggisticamente attraente).

Tra le infrastrutture si distinguono quelle "a rete" e quelle "puntuali":

Le infrastrutture a rete sono sistemi presenti in modo diffuso sul territorio e caratterizzati da una serie di punti interconnessi. La significatività economica e l'importanza di questi sistemi dipendono, in modo cruciale, dal numero di persone e/o di luoghi collegati alla rete. È evidente che l'utilità di un sistema dipende dal numero di utenti che ne usufruiscono e dai luoghi raggiunti

^[6] Definizione di infrastruttura (Treccani, Enciclopedia delle scienze sociali, 1994).

dalla rete stessa: nel caso limite di un solo utente l'utilità del sistema è infatti nulla.

Le infrastrutture puntuali (ad esempio un ospedale) presentano invece la caratteristica di essere utili in quanto unità singole.

Ai fini dell'analisi economica risulta comunque importante soprattutto la distinzione tra:

- Infrastrutture di base: sono sostanzialmente le strutture edilizie che vengono utilizzate per l'assolvimento di compiti fondamentali per l'esistenza dello Stato, quali la difesa, la gestione della giustizia, l'attività legislativa, esecutiva e amministrativa in genere. Appartengono a questa categoria di infrastrutture gli edifici militari, ministeriali e governativi, gli aeroporti militari, le prigioni, i posti di polizia, ecc. Benché queste strutture siano importanti per la vita di qualsiasi comunità, esse non sono oggetto di uno studio particolare, perché non contribuiscono in via diretta allo sviluppo economico del sistema.
- Infrastrutture economiche: sono infrastrutture che si caratterizzano invece perché sono fattori di produzione che si affiancano al capitale direttamente produttivo, per lo più di proprietà privata, contribuendo alla produzione di beni e servizi: esempi di questo tipo di infrastrutture sono le reti stradali e ferroviarie, i porti, gli oleodotti, i metanodotti, le dighe, le opere di bonifica.
- Infrastrutture sociali: sono tutte le infrastrutture che contribuiscono a determinare le condizioni di vita della collettività, incidendo su aspetti quali la salute e il livello di istruzione dei cittadini (scuole, ospedali, acquedotti, ecc.). Sono importanti non solo perché accrescono il benessere della società, ma anche perché indirettamente, agendo sulla qualità

25

del capitale umano, accrescono la produttività complessiva del sistema.

Come accennato precedentemente, le infrastrutture di trasporto sono costituite dall'insieme dei sistemi e delle opere civili idonei e necessari all'esercizio di un modo di trasporto che si svolge su un determinato territorio, e possono essere distinte in:

- Infrastrutture stradali, che includono i sistemi autostradali, le strade di grande comunicazione, la viabilità regionale e comunale.
- Infrastrutture ferroviarie, composte dalle reti nazionali, dalle ferrovie locali e dalle reti metropolitane.
- Infrastrutture aeroportuali per il trasporto aereo, portuali per il trasporto marittimo, idroviarie per il trasporto fluviale.

Le infrastrutture stradali e ferroviarie, denotate anche come *infrastrutture viarie*, costituiscono le opere di maggior rilievo, sia per gli aspetti realizzativi e gestionali, sia per la loro incidenza sullo sviluppo economico e sociale.



Figura 1.9: Infrastruttura viaria (farefuturofondazione.it)

Un'infrastruttura è, anche, l'insieme delle fasi di programmazione e di decisione. Tali fasi, direttamente connesse alle caratteristiche del territorio circostante, sono molto condizionate dalle esigenze del committente, che approva le scelte progettuali e dispone il budget per la realizzazione dell'opera. La programmazione e la realizzazione delle infrastrutture di trasporto sono gestite quasi sempre da enti pubblici e pertanto l'intero processo di progettazione, affidamento e realizzazione dei lavori, è regolato da precise norme e disposizioni legislative. Ad esempio, in Italia la normativa che disciplina il processo di progettazione e realizzazione delle infrastrutture è contenuta nel "*Codice dei contratti pubblici*" (D. lgs. 18 apr. 2016 nr. 50) che recepisce in maniera unificata e congiunta tutte le precedenti disposizioni e le direttive europee in materia di lavori, servizi e forniture. Per quanto riguarda la fase di progettazione, il vigente quadro normativo prevede tre fasi distinte: progetto preliminare, progetto definitivo e progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la fase di progettazione preliminare, viene individuata la soluzione tecnica dell'opera attraverso un confronto con più soluzioni alternative. La scelta di una particolare soluzione tecnica deve essere definita tenendo conto di vari fattori dettati da eventuali particolari esigenze. L'opera va posta in relazione ai vari tipi di vincoli che possono condizionare la scelta, quali possono essere i vincoli di carattere urbanistico, territoriale, geologico-geotecnico, idrologicoidraulico, archeologico, paesaggistico. A tale scopo risulta indispensabile condurre diversi tipi di studi e indagini che possono essere di natura geologica-geotecnica e/o di natura idrologica-idraulica.

Per quanto riguarda la fase di progettazione definitiva, vengono precisate le soluzioni tecniche ed economiche impiegate per l'infrastruttura attraverso l'illustrazione di prestazioni e vantaggi in termini di sicurezza e funzionalità, sulla base delle scelte e delle decisioni maturate nell'ambito del progetto preliminare. Ad esempio, facendo riferimento ad un'infrastruttura viaria, in tale fase assume rilevante importanza la definizione del tracciato plano-altimetrico, la definizione delle interferenze, delle intersezioni e lo studio e la

27

progettazione di tutte le opere minori e complementari. In tale fase, assume anche rilevante importanza lo studio di impatto ambientale che viene sviluppato attraverso tre documenti: il quadro di riferimento programmatico, quadro di riferimento progettuale e il quadro di riferimento ambientale.

La fase di progettazione esecutiva viene avviata a valle dell'approvazione del progetto definitivo attraverso il recepimento delle eventuali prescrizioni e/o raccomandazioni scaturite in CdS (Consiglio di Stato). In tale fase avviene la definizione (e quindi lo sviluppo successivo) di tutti gli aspetti tecnici, in modo tale da poter fornire gli elementi per la realizzazione finale dell'opera progettata.

Lo sviluppo del progetto esecutivo si articola con l'approfondimento degli studi e delle indagini, già condotte nelle fasi progettuali precedenti. In particolare, avviene la definizione di dettaglio di tutti gli aspetti dell'infrastruttura attraverso l'esatta ubicazione del tracciato e la completa definizione, in termini di tipologia e posizione, di tutte le opere d'arte con la definizione di elaborati di carpenteria, armature e particolari costruttivi delle opere in cemento armato. Il progetto esecutivo porta, inoltre, alla definizione delle fasi costruttive che si rendono necessarie per la realizzazione dell'opera, attraverso elaborati grafici in cui si riporta l'articolazione e la successione delle varie fasi costruttive, e il cronoprogramma costruttivo, attraverso il quale avviene la definizione dei tempi richiesti alla realizzazione. Nel progetto esecutivo si definisce, inoltre, l'esatto importo dei lavori da realizzare; a prodotti appositi elaborati tale scopo vengono costituenti la documentazione tecnico-economica, quali il computo metrico estimativo, l'elenco e l'analisi dei prezzi unitari, e il quadro economico di spesa. Oltre a elaborati grafici e relazioni tecniche, il progetto esecutivo si compone di elaborati specifici amministrativi per l'appalto, quali lo schema di appalto e il capitolato d'appalto, il piano di sicurezza e il programma di manutenzione dell'opera.

L'approvazione del progetto esecutivo da parte di tutti i soggetti coinvolti, unitamente alla disponibilità di risorse economiche da parte dell'amministrazione, consente di attivare la fase successiva di affidamento della realizzazione dell'opera al soggetto esecutore mediante procedura di appalto.



Figura 1.10: Fasi progettuali (shelidon.it)

Per quanto concerne la gestione delle infrastrutture, essa non può prescindere dalla presenza dello Stato e comunque di un ente pubblico; questa presenza è giustificata dal fatto che l'intero processo di progettazione e costruzione richiede ingenti somme di denaro. Negli anni si è sempre cercato di trovare una metodologia che consentisse una riduzione dei costi, sia in termini economici che di tempo, per la progettazione e costruzione delle infrastrutture. In tale ambito, va contestualizzato lo sviluppo del BIM nel mondo delle infrastrutture. Esso nasce come una metodologia utile per la coordinazione e gestione delle varie fasi progettuali e delle varie figure che collaborano a tali progetti (ingegneri strutturali, infrastrutturali, idraulici, geotecnici, architetti).

1.2.1 Sviluppo del BIM nelle infrastrutture

Se nel campo delle strutture il BIM ha da sempre trovato terreno fertile per il suo sviluppo e utilizzo lo stesso non si può dire per il settore delle infrastrutture, ovvero per quello che è il settore dell'infraBIM (Infrastructure Building Information Modeling). Con il termine infraBIM ci si riferisce a tutti quei processi che interessano la progettazione in BIM delle infrastrutture (ponti, acquedotti, strade, ferrovie, aeroporti, etc.).



Figura 1.11: Fasi di un progetto infraBIM (arketipomagazine.it)

Le infrastrutture sono opere di grandi dimensioni, richiedono investimenti di ingenti capitali e relazioni complesse tra le varie figure che cooperano allo stesso progetto; è, quindi, necessario gestire in maniera integrata tutte le analisi e le informazioni inerenti al processo costruttivo. Alcuni operatori credono che il BIM possa essere utilizzato soltanto nel settore edile e quindi soltanto per opere di piccole dimensioni; altri ritengono, invece, che con il termine "building" ci si riferisca al processo costruttivo, e non ad una specifica tipologia di manufatto, e pertanto tale metodologia può essere applicata anche nel mondo delle infrastrutture. Vista l'importanza del ruolo delle committenze, è evidente come esista un'importante lacuna nello sviluppo di software BIM per le infrastrutture che le software-house dovrebbero affrontare. Ciò si riflette sia nella mancanza di domanda da parte delle committenze nei confronti di appaltatori e progettisti sia sul ritardo di adozione di tale metodologia nelle infrastrutture.

A tal proposito, è doveroso sottolineare come il costo di software e hardware viene riconosciuto come un problema importante da parte dei progettisti.

Un ulteriore problema per i progettisti riguarda quella che è l'interoperabilità tra i formati, dalla quale potrebbe derivare una scarsa comunicazione tra tutti i vari soggetti che lavorano al progetto. A tal proposito, va ricordato come da sempre le diverse software-house cercano di produrre il file finale nel proprio formato, causando non pochi problemi ai vari progettisti che, per diversi motivi, usano software sviluppati da software-house diverse. Per ovviare a tale problema, oggi, tutte le software-house stanno vertendo verso un unico formato: l'.*ifc* (vedi § 2.4.1).

Per le committenze, invece, l'ostacolo più importante nello sviluppo della metodologia BIM, risulta essere ancora oggi la mancanza di formazione del personale.

Le nuove aree di mercato verso i paesi esteri e l'avere documenti progettuali più accurati e una migliore comunicazione sono, invece, i due fattori che spingono i vari soggetti interessati nella progettazione verso l'adozione della metodologia BIM. Ulteriori benefici sono sia l'abilità di offrire nuovi servizi sia la riduzione dei tempi necessari alla stesura e alla progettazione di un progetto di grandi dimensioni. A tal fine, è evidente come da un lato gli appaltatori cerchino di migliorare la capacità relativa alla fabbricazione digitale per renderla un vantaggio efficace, mentre dall'altro lato le committenze sentano i benefici derivanti direttamente dal BIM (riduzione di costi e tempi di progettazione).

A tal proposito, gli autori dello Smart Market Report ^[7], pubblicato da MacGraw Hill Construction, confermano che il successo del BIM nel settore edile accresce le probabilità del suo impiego anche in ambito infrastrutturale; ciò perché, secondo gli autori dello Smart Market Report, il BIM non è un semplice modello tridimensionale, ma è un modello 3D ricco di dati di diversa natura. Tali dati sono anche:

- *parametrici*: aiutano a definire le relazioni tra gli oggetti e a mantenere i cambiamenti coerenti e coordinati;
- *regolamentati*: possono essere limitati ad esempio da normative, da criteri di progettazione e da standard aziendali;
- *scalabili*: in grado di aggregare grandi quantità di dati provenienti anche da sorgenti diverse;
- visivi: permettono di abilitare migliori analisi, simulazioni e comunicazioni.



Figura 1.12: Oggetto BIM (cadlinesw.com)

Il BIM ha gradualmente modificato il modo di progettare, costruire e gestire le infrastrutture. Tuttavia, ad oggi non è ancora disponibile in Italia, così come anche in Europa, uno stato dell'arte specificamente dedicato alla valutazione delle applicazioni infraBIM, in quanto i primi progetti sono ancora in costruzione.

^[7] Raccolta di articoli accademici, pubblicati da MacGraw Hill Construction.

Per tale motivo, l'uso del BIM per le infrastrutture risulta essere parecchio indietro rispetto al suo utilizzo su progetti di più piccole dimensioni, ma negli ultimi anni, grazie agli investimenti dei vari governi, il BIM sta trovando sempre più largo uso nella progettazione delle grandi opere. Pur non avendo ancora dati definitivi, si può notare, dai dati pubblicati dai vari governi europei, come l'infraBIM sta generando risultati positivi sia in termini economici che di tempo. Infatti, se da un lato si ha una notevole riduzione dei costi della fase progettuale, dall'altro sono diminuiti notevolmente anche i costi di tale fase.

Il BIM presenta diversi vantaggi nell'intero ciclo di vita dei progetti infrastrutturali. Vi sono diversi indicatori che permettono di analizzare questi vantaggi, alcuni di essi sono:

- ✤ qualità: percentuale di rilavorazione a costo complessivo;
- *tempistiche*: tempo, varianza e costi dovuti al tempo di arresto;
- *produttività*: sia in termini di prestazioni sia in termini di profitti;
- *sicurezza*: in termini di percentuali di errore durante la fase progettuale.

Negli ultimi anni la metodologia BIM, grazie agli ingenti investimenti delle varie software-house, Autodesk e Bentley Systems su tutte, stanno cercando di trovare soluzione per la gestione della manutenzione di tali infrastrutture. Utilizzando oggetti parametrici, tale metodologia permette di poter avere anche il controllo di alcuni parametri (sia di tipo strutturale che impiantistico), così da poter stilare e redigere un programma cronologico delle manutenzioni. A tal proposito, va sottolineato come se per la fase di progettazione delle infrastrutture la metodologia BIM risulta essere indietro (soprattutto per lo scarso sviluppo dei software), non lo è per quanto riguarda il settore del "facility management", ovvero quello che riguarda la programmazione della manutenzione dell'infrastruttura. Infatti, nel settore del facility management i software propri dell'ingegneria edile, con opportune accortezze, risultano essere adattabili alle grandi infrastrutture. Ciò, invece, non risulta possibile nel settore della progettazione, dal momento che le differenze tra la progettazione di un'opera edile e quella di un'infrastruttura, sono molto rilevanti sia in termini di normativa sia in termini di progettazione stessa.



Figura 1.13: Facility Management (associatiminnucci.com)

In futuro, sarà fondamentale determinare l'importanza del valore dell'infraBIM affinché si incoraggi un'adozione sempre più vasta di tale metodologia. Sarà altresì importante la formazione del personale affinché si possa stabilire il BIM come approccio standard del settore per la progettazione delle infrastrutture. Un ruolo importante sarà sicuramente occupato dalle committenze, visto che le stesse saranno a capo di tale svolta, in quanto chiederanno il BIM come requisito progettuale. A tal proposito, è doveroso evidenziare come un numero rilevante di committenze, appaltatori e progettisti pronti ad esprimere una convinzione condivisa sull'infraBIM nei riguardi delle autorità competenti, aumenterebbe il valore stesso di tale metodologia.

Infatti, se da una parte i progettisti migliorerebbero le funzionalità dei software, soprattutto in termini di interoperabilità, dall'altra parte le committenze, migliorerebbero le previsioni dei contratti, in termini di costi e tempi di costruzione.

L'uso della metodologia BIM applicata alle infrastrutture potrebbe, quindi, creare diverse tipologie di problemi risolvibili con la necessità di una formazione a livello settoriale. Sicuramente il problema più difficile da risolvere è quello che riguarda l'interoperabilità tra i software, vista la presenza di diverse software-house nel mercato dei software BIM.

Il vantaggio più importante, invece, oltre alla riduzione dei tempi e dei costi, è quello di tenere forte la relazione tra i progettisti e gli appaltatori in modo tale da ridurre al minimo la percentuale di errore nella fase progettuale.

SOFTWARE BIM

Software BIM

Visti gli enormi vantaggi della tecnologia BIM, è naturale conseguenza la sua sempre maggiore diffusione, tuttavia c'è da considerare che il suo utilizzo richiede un maggiore investimento e lavoro nella fase iniziale del progetto (in cui si inseriscono tutte le informazioni); in seguito, però, semplifica notevolmente il lavoro, qualora si voglia ricavare dal modello tridimensionale ad esempio una certificazione energetica e/o i calcoli strutturali.

La tecnologia BIM è utilizzata da svariati software che, da sempre, hanno voluto mantenere il file del prodotto finale nei propri formati; tuttavia, considerato che è in corso il dibattito sulla necessità di standardizzare gli oggetti BIM, è sempre più accettata l'idea di avere un unico formato di file finale.

Ad oggi, la standardizzazione dei file creati con tecnologia BIM tra i diversi software in commercio è uno dei problemi più importanti e irrisolti. Per tale motivo la metodologia BIM in un progetto può prevedere l'uso di più software. A seconda della complessità del progetto, un software può essere utilizzato in fase di "concept" per creare un modello per poi importarlo successivamente in un'applicazione BIM. Nelle fasi successive, possono essere utilizzati altri software per analizzare i dati del modello, come ad esempio per la modellazione energetica, per l'analisi delle fasi di costruzione e cantierizzazione. L'uso di un software rispetto ad un altro dipende anche dal tipo di opera da progettare (struttura o infrastruttura) e dal livello di progettazione (preliminare, definitivo o esecutivo), oltre che da tutte le altre condizioni al contorno che caratterizzano la fase di progettazione.



Figura 2.1: Tipi di software (T. Dalla Mora, F. Peron, F. Cappelletti, P. Romagnoni, P. Ruggeri, 2014, "Una panoramica sul BIM", AICARR).

Infatti, le applicazioni BIM sono state sviluppate inizialmente come strumento di progettazione parametrica "*object-base*" per creare e gestire informazioni legate alla fase di progettazione, di cantiere e di manutenzione.

Oggi, la maggior parte dei software BIM hanno anche interfacce per altre applicazioni come rendering, analisi energetica, stima dei costi, e altre. Alcune forniscono anche funzionalità multiutente che consentono a più utenti di coordinare il proprio lavoro.

È importante specificare come le diverse applicazioni sono concepite e organizzate attraverso una possibile gerarchia di termini che spiega l'uso BIM:

- BIM tool: si tratta di un software che genera uno specifico risultato; per esempio sono strumenti quelli per generazione del modello, produzione di disegni, stima dei costi, analisi energetica, rendering, programmazione e visualizzazione. Il tipo di output è spesso stand-alone, come rapporti, disegni, tuttavia, talvolta può essere esportato ad altre applicazioni di tipo tool, come ad esempio quantità takeoff, stime dei costi o nodi strutturali da applicare a dettagli costruttivi.
- BIM platform: è un'applicazione, di solito per la progettazione, che genera dati per molteplici usi. Fornisce un modello con le informazioni principali che sono caratterizzanti la piattaforma, per esempio quelle geometriche. La maggior parte delle piattaforme BIM incorpora internamente anche altre funzionalità come generazione di disegni verifica di "clash & error detection". Di norma, incorporano interfacce di altri BIM tool con vari livelli di integrazione.
- BIM environment: permette la gestione dei dati di più flussi di informazioni che integrano le varie applicazioni (strumenti e piattaforme) all'interno di un'organizzazione. Rispecchia e sostiene le politiche e le pratiche organizzandone le disposizioni e richieste. La funzione principale degli ambienti BIM è la generazione automatica e la gestione di più set di dati provenienti da strumenti BIM. Inoltre, quando si utilizzano più piattaforme, e, quindi, i modelli di dati, è necessario un altro livello di gestione dei dati e di coordinamento.

2.1 Software-House BIM

Attualmente sono diverse le software-house che si occupano della produzione e sviluppo di software BIM.

Tra le più importanti software-house, sicuramente meritano una menzione diversa le due aziende, oggi, leader nello sviluppo di software BIM: Autodesk e Bentley Systems (i cui software sono stati utilizzati per lo svolgimento di questo elaborato).

In particolare, se Autodesk è una software-house che si occupa della produzione e sviluppo di software parametrici per la gestione e progettazione sia per piccole strutture che per grandi infrastrutture, Bentley Systems negli ultimi anni si è per lo più dedicata allo sviluppo di software BIM propri della progettazione infrastrutturale (ponti e viadotti) e viaria (strade e ferrovie).

Il primo software ad utilizzare la tecnologia BIM fu *ArchiCad* della *Graphisoft* (acquisita nel 2007 da *Nemetschek*).



Figura 2.2: Logo Graphisoft ArchiCAD (Graphisoft.com)

Ciò che rende, ancora oggi, ArchiCAD un software competitivo nella progettazione in BIM è l'avere diversi tipi di collegamenti a più strumenti appartenenti a diversi domini (Tekla, Revit Structure, Fem-Design, Ecotect, Graphisoft EcoDesigner), sia in modo diretto sia attraverso lo scambio di file in formato *.ifc*.



Figura 2.3: Interfaccia Graphisoft ArchiCAD (Graphisoft.com)

2.2 Autodesk

Autodesk è un'azienda di software e di servizi rivolti alla progettazione di infrastrutture, costruzioni civili e industriali, ma anche di contenuti multimediali per l'intrattenimento, progettazione meccanica e manifatturiera e sistemi PLM (Product Lifecycle Management).



Figura 2.4: Logo Autodesk (autodesk.com)

L'azienda, oggi leader nello sviluppo di software 3D e software BIM, è stata fondata da John Walker e da altri dodici cofondatori nel 1982. Autodesk, attualmente, è divisa in quattro grandi dipartimenti rivolti ai diversi ambiti industriali di riferimento:

MSD (Manufacturing Solutions Division): che si occupa dello sviluppo di Autodesk Inventor, AutoCAD Mechanical e Autodesk Vault.

- AEC (Architecture, Engineering & Construction): che si occupa della gestione s sviluppo di AutoCAD (Architecture, MEP e Civil 3D) e di tutti i prodotti della famiglia Revit (Architecture, MEP e Structure).
- M&E (Media and Entertainment Division): si occupa della gestione e sviluppo dei software Maya e 3D Studio Max.
- PSEB (Platform Solutions & Emerging Business): si occupa dello sviluppo e gestione dei prodotti di punta dell'azienda, AutoCAD (Full e LT) e molti altri prodotti per settori emergenti.

I clienti dei settori manifatturiero, dell'architettura, dell'edilizia, dei media e dell'intrattenimento utilizzano i software Autodesk per progettare, visualizzare e simulare le loro idee prima che esse vengano realizzate.

Al giorno d'oggi, stanno riscontrando importante successo tra i clienti le diverse "App" messe a disposizione dagli sviluppatori Autodesk per i sistemi iOS e Android, rendendo più facile e veloce lo scambio di file tra i vari utenti.

Tra i software Autodesk più utilizzati vi sono sicuramente Autocad per quel che riguarda la progettazione in CAD e Revit per quel che riguarda la progettazione in BIM. Tramite lo sviluppo dei software Civil 3D, Infraworks e Naviswork, Autodesk è andata oltre la progettazione edile estendo l'uso dei propri software alla progettazione strutturale ed infrastrutturale; ad oggi sono 10 milioni che professionisti che, in ben 185 paesi, utilizzano i prodotti Autodesk ^[8].

2.2.1 Autodesk Revit

Revit è senza dubbio il software più noto e l'attuale leader di mercato BIM nei software della progettazione architettonica; è uno strumento di

^[8] Dati recepiti dal sito Autodesk.com.

progettazione BIM che permette la creazione di un modello 3D intelligente per pianificare, progettare, costruire e gestire il progetto.



Figura 2.5: Logo Autodesk Revit 2019 (Autodesk.com)

Revit è stato introdotto, per la prima volta, da Autodesk nel 2002; si tratta di una piattaforma completamente separata da AutoCAD, con una propria struttura che supporta il formato IFC di import/export.

Questo software offre una famiglia di prodotti integrati che, attualmente, include Revit Architecture, Revit Structure e Revit MEP. Se oggi Revit risulta essere il software più utilizzato nella progettazione BIM, soprattutto in ambito edile ed architettonico, lo deve soprattutto alla sua interfaccia userfriendly e ai numerosi ed efficaci strumenti di produzione di disegno. È una piattaforma forte grazie alla gamma di applicazioni di supporto e di librerie di oggetti, sviluppate sia internamente che da terzi. Sono diversi i formati supportati da questo software: DWG, DOF, DGN, SAT, DWF / DWFo, ADSK, html, OSA, gbXML, IFC, e ODBC.

La creazione di disegni è molto buona e di tipo associativo, in modo che i disegni risultino facilmente gestibili, mentre l'editing è bidirezionale, sia nel modello sia nella gestione delle schedules e dei componenti. Revit permette, inoltre, lo sviluppo di nuovi oggetti parametrici specifici e la personalizzazione degli oggetti predefiniti esistenti.

Essendo Revit un sistema "in-memory", esso rallenta in modo significativo con progetti di dimensioni maggiori ai 300 megabyte.

Un'altra grossa limitazione è, invece, rappresentata dalle non trascurabili difficoltà che si riscontrano nella progettazione delle superfici curve complesse. Tale limitazione rende, ad oggi, Revit poco adattabile alla progettazione e gestione di progetti di grandi infrastrutture, come nel caso della progettazione infrastrutture viarie (strade, ferrovie), e delle grandi strutture (ponti e tunnel).

Come ambiente BIM, Revit è in grado di trasportare tutte le informazioni relative agli oggetti; tuttavia, questa operazione avvenendo a livello di file, e non a livello di oggetto, risulta essere una limitazione nella sincronizzazione degli oggetti con differenti viste in file diversi.



Figura 2.6: Esempio di progettazione BIM di un edificio con Autodesk Revit (autodesk.com)

2.2.2 Autodesk InfraWorks

InfraWorks è il software per la progettazione preliminare delle infrastrutture viarie della software-house Autodesk.

Tra i software Autodesk per la progettazione BIM infrastrutturale, esso è quello che ha subito una evoluzione maggiore, infatti da un semplice aggregatore di dati per la creazione di modelli 3D territoriali, si sta trasformando in un vero e proprio software per la progettazione concettuale e delle analisi preliminari.



Figura 2.7: Logo Autodesk InfraWorks 2019 (autodesk.com)

È sicuramente la tecnologia più innovativa per la pianificazione territoriale, la costruzione delle città digitali, la progettazione BIM delle infrastrutture e delle reti tecnologiche.

L'interfaccia sicuramente risulta di notevole impatto già dalla prima apertura del software, infatti è del tutto innovativa rispetto ad ogni altra piattaforma. Essa permette una rapida selezione del modello che si vuole scegliere.

La funzione "*Model Builder*" permette di risalire una porzione di territorio, di massimo 200 km² e convertirla in automatico in un modello contenente la superficie del terreno, l'ortofoto, le strade e gli edifici.

Dal punto di vista delle funzionalità, Autodesk InfraWorks permette di progettare in modalità 3D, in modo semplice ed efficace, perché tiene conto del contesto territoriale ed ambientale, grazie all'ausilio della mappa Bing. All'interno di questo contesto permette di progettare in 3D, grazie a strumenti intuitivi, strade, ferrovie, ponti, edifici, acquedotti, fognature e così via, il tutto rispettando la logica dei modelli intelligenti BIM. I modelli così ottenuti possono essere sottoposti a diverse analisi, da quelle di tipo classico in ambito GIS (ad esempio le analisi di tipo query ^[9]) fino alle analisi rese possibili dal contesto 3D, come quella di visibilità e quelle relative all'illuminazione solare ed alle ombre.

La progettazione può avvenire anche attraverso la collaborazione tra più figure professionali, che possono condividere a distanza i modelli grazie ai servizi Cloud messi a disposizione da Autodesk per tutti gli utenti.

^[9] In informatica il termine query viene utilizzato per indicare l'interrogazione da parte di un utente di un database, strutturato tipicamente secondo il modello relazionale, per compiere determinate operazioni sui dati.

Inoltre, sono disponibili gli strumenti necessari per comparare tra di loro più alternative di progetto, sia dal punto di vista visuale che quantitativo, per scegliere l'alternativa più efficace, economica e con il minore impatto ambientale. Molto curata è la parte dedicata alla presentazione dei progetti a tutti i portatori di interessi: dai committenti alle autorità preposte alle autorizzazioni ed alle concessioni, fino ai cittadini coinvolti dall'infrastruttura. Infatti, è possibile presentare i progetti attraverso immagini, filmati e la pubblicazione dei modelli sul Web, permettendo anche l'aggiunta di commenti.

Autodesk InfraWorks collabora strettamente con gli altri strumenti software per la pianificazione territoriale (AutoCAD Map 3D), la preparazione dei rilievi da laser scanner (ReCap), la produzione degli esecutivi (AutoCAD Civil 3D), la progettazione architettonica e strutturale (Autodesk Revit) e la gestione del cantiere (Autodesk Navisworks), importando ed esportando i dati ed i modelli. In questo modo si inserisce perfettamente in un unico processo di progettazione BIM che parte dalle analisi territoriali e dal rilievo ed arriva alla produzione degli esecutivi ed alla gestione del cantiere.



Figura 2.8: Esempio di progettazione BIM di un'infrastruttura viaria con Autodesk InfraWorks (autodeskforum.com)

2.3 Bentley Systems

Bentley Systems è un'azienda di sviluppo di software nata per assistere i professionisti impegnati nella creazione e nella gestione delle infrastrutture nel mondo, come ponti, strade, aeroporti, grattacieli, impianti industriali, centrali elettriche e reti di servizi.



Figura 2.9: Logo Bentley Systems (bentley.com)

Bentley offre soluzioni personalizzate per l'intero ciclo di vita di un'infrastruttura, adattandole alle esigenze dei differenti professionisti (ingegneri, architetti, progettisti, appaltatori, costruttori, manager IT, proprietari, gestori ed ingegneri incaricati della manutenzione) che dovranno gestirla durante la sua intera esistenza.

Tutte le soluzioni Bentley sono costituite da applicazioni e servizi integrati basati su una piattaforma aperta e sono state studiate per garantire la mobilità delle informazioni tra team di progetto e processi dei flussi di lavoro, in modo da promuovere l'interoperabilità e la collaborazione tra i diversi team che cooperano allo stesso progetto.

Fondata nel 1984, Bentley conta oggi più di 3.500 dipendenti in più di 50 paesi, con un fatturato annuo destinato a superare i 700 milioni di dollari. Dal 2014, l'azienda ha investito più di un miliardo di dollari in ricerca, sviluppo e acquisizioni. ^[10]

Bentley si avvale di diversi strumenti per la modellazione degli edifici e permette la modellazione di superfici curve e complesse, tanto da rendere i suoi software leader nella progettazione di infrastrutture viarie.

^[10] Dati recepiti da Bentley.com.

Tra i vari software messi a disposizione da Bentley Systems, le tre applicazioni "OpenRoads" sono quelle che permettono l'elaborazione dei progetti di reti stradali. Le applicazioni OpenRoads supportano, inoltre, lo scambio di informazioni in tutto il ciclo di vita del progetto, tra tutti i partecipanti del team, per la realizzazione dello stesso. I tre applicativi OpenRoads sono:

- > OpenRoads ConceptStation. Si tratta di un'applicazione innovativa, che consente di realizzare progetti rapidi ed iterativi, concettuali e preliminari, fornendo informazioni contestuali raccolte da nuvole di punti, mesh poligonali, GIS e altre risorse.
- OpenRoads Designer. Si tratta di un'applicazione completa e pienamente funzionale per la misurazione e la progettazione di reti fognarie, installazioni sotterranee e strade, che riunisce tutte le caratteristiche precedentemente disponibili in InRoads, GEOPAK, MX e PowerCivil.
- > OpenRoads Navigator. Si tratta di un'applicazione che consente la visualizzazione della progettazione 3D e la revisione del progetto e permette di tenere traccia delle autorizzazioni e della risoluzione dei problemi, in ufficio, in cantiere o sul sito.

2.3.1 OpenRoads Concept Station

OpennRoads Concept Station è un'applicazione di Bentley Systems che consente sia di accelerare l'elaborazione dei progetti, mediante la creazione di fasi concettuali, sia di ottenere importanti miglioramenti nel processo decisionale e nell'intera fase di progettazione.



Figura 2.10: Logo OpenRoads Concept Station (bentley.com)
Questa applicazione, grazie alle sue numerose ed efficienti funzionalità per la progettazione infrastrutturale, aiuta gli ingegneri a creare modelli intelligenti nel contesto reale. Il software esplora le diverse opzioni di progettazione concettuale, grazie ai dati sul contesto reale e alle analisi dei costi, riuscendo a migliorare i risultati.

Durante lo studio di fattibilità e di progettazione preliminare, è possibile combinare l'acquisizione dei dati, il reality modeling e la modellazione concettuale, così da riuscire ad individuare costi e rischi per tutti gli elementi infrastrutturali del progetto.

OpenRoads ConceptStation consente di riunire e consolidare dati contestuali provenienti da più fonti, come dati sul terreno, immagini e informazioni geo-spaziali, per integrare il paesaggio reale nel progetto. Semplifica, inoltre, la modellazione 3D con pratiche funzionalità che producono bozze ingegneristiche e che concettualizzano rapidamente le infrastrutture di strade e ponti.

Questa applicazione riesce ad accelerare la realizzazione del progetto, passando dal modello 3D convalidato alla fase di progettazione dettagliata.

Infine, grazie alle sue diverse funzioni, OpenRoads Concept Station riesce sia a generare rapidamente più configurazioni 3D, accompagnandole con i relativi costi progettuali, sia a condividere rappresentazioni realistiche con il pubblico e le parti interessate, per ricevere feedback o pareri specialistici così da accelerare la convalida del progetto.

Tra le diverse funzionalità di questo software, troviamo:

Creazione di progetti concettuali. Questa applicazione crea una serie di scenari di progetto con i relativi costi associati permettendo ai progettisti di prendere sempre le decisioni migliori. Analizza velocemente le diverse opzioni progettuali e ottimizza la progettazione di strade e ponti. Inoltre, tramite i tabulati dello storico delle offerte pubbliche, fornisce sempre informazioni realistiche sui costi.

- Creazione di progettazioni per strade e ponti. Con questa applicazione è possibile progettare strade, rampe, ponti, barriere, e molto altro in pochissimo tempo grazie a funzionalità di progettazione intuitive e facili da usare; il tutto rispettando tutti gli standard del settore.
- Incorporazione di informazioni contestuali. Utilizzando questo software è possibile diminuire i tempi di progettazione concettuale individuando e scaricando per ogni location informazioni di contesto ricche di dati, in modo da abilitare la modellazione in un contesto reale. L'applicazione, inoltre, importa velocemente una vasta gamma di dati dal sistema GIS per creare modelli 3D intelligenti e contestualizzati.
- Rendering di qualità cinematografica in tempo reale. La progettazione risulta avere effetti grafici fotorealistici, grazie all'utilizzo della piattaforma dinamica di visualizzazione immersiva che offre luce naturale e materiali luminescenti. Il software applica la profondità all'ambiente beneficiando così dei riflessi precisi, della messa a fuoco perfetta(anti-aliasing) e dell'effetto mosso dovuto al movimento.
- Dalla progettazione concettuale al progetto dettagliato. Il passaggio dalla progettazione concettuale ottimizzata alla fase di progettazione dettagliata avviene conservando l'integrità geometrica. Il modello digitale è impiegato all'interno di OpenRoads sia per accelerare i tempi di consegna dei progetti e sia per aumentare la qualità progettuale.



Figura 2.11: Esempio di progettazione con OpenRoads Concept Station (bentley.com)

2.3.2 OpenRoads Designer

OpenRoads Designer è un software di Bentley Systems che introduce un ambiente completo per la modellazione BIM, in grado di offrire una progettazione direttamente focalizzata sulla costruzione in modo da accelerare i tempi per la realizzazione dei progetti di reti stradali e combinare i processi di progettazione e costruzione dell'opera. L'applicazione fornisce diverse funzionalità di progettazione dettagliate e complete per il rilievo, il drenaggio, le utility sotterranee e la progettazione stradale.



Figura 2.12: Logo OpenRoads Designer (bentley.com)

Il software definisce le migliori pratiche per la generazione della documentazione di progetto e garantisce lo scambio di dati durante tutta l'esecuzione e ciclo di vita dell'infrastruttura. Così come OpenRoads Concept Station, anche OpenRoads Designer consente agli utenti sia di condividere, con precisione e in tutta sicurezza, le informazioni progettuali tra più team, sia di utilizzare i servizi di catalogo per fornire elementi funzionali e di gestione che possano garantire una progettazione generativa coerente per tutto il gruppo di lavoro.

OpenRoads Designer permette di raggiungere una maggiore performance di modellazione con la produzione della documentazione progettuale incentrata direttamente sul modello. Infatti, le funzionalità messe a disposizione da OpenRoads Designer rendono questa applicazione adatta ad una progettazione definitiva, a differenza di OpenRoads Concept Station che è un software proprio della progettazione preliminare.

Sono diverse le funzioni, che rendono questo software adatto ad una progettazione definitiva. Alcune di esse sono:

- Accesso ai componenti fabbricati. Il software permette di entrare nel Component Center, una serie di servizi cloud che permettono un accesso più rapido ed un uso più efficace dei componenti fabbricati e l'organizzazione o il contenuto e gli standard specifici del progetto. Inoltre, quest'applicazione permette la condivisione delle informazioni tra i progettisti garantendo la continuità di informazione dei componenti per l'intero ciclo di vita del progetto.
- Automatizza la realizzazione dei disegni. Tramite il "Documentation Center", l'applicazione consente la realizzazione automatizzata di disegni di alta qualità, compresi i set di documentazione multidisciplinare, uniformi sull'intero progetto. Infatti, se si apportano modifiche direttamente nei fogli, OpenRoads Designer aggiorna la geometria alla fonte.
- Progettazione e analisi dei corridoi stradali. Il software usa gli strumenti di modellazione immersiva per facilitare la

creazione di modelli complessi e la gestione di tutte le informazioni presenti nel progetto. Inoltre, semplifica lo sviluppo di ogni aspetto della carreggiata, all'interno di un'unica presentazione parametrica. Ci si può spostare rapidamente lungo un corridoio in base a intervalli stabiliti, visualizzando e progettando dinamicamente tutte le componenti della carreggiata in modo sincronizzato.

- Modellazione e analisi del terreno. OpenRoads Designer genera modelli intelligenti che non contengono soltanto i dati relativi al terreno ma anche le feature delle carreggiate e del sito. Le feature possono anche essere utilizzate per distinguere visivamente la struttura, l'aspetto e la simbologia all'interno dei disegni.
- Realizzazione di analisi di progetto in tempo reale. Questo software garantisce una maggiore visibilità del progetto e il conseguimento di diversi risultati per una vasta gamma di analisi come il drenaggio, il terreno, la sicurezza, il livellamento, la visibilità del sito e molto altro ancora.
- Visualizzazione della progettazione. Con OpenRoads Designer è possibile realizzare progetti in tempo reale grazie ai modelli basati su vincoli e grazie all'interfaccia intuitiva sensibile al contesto e alla modellazione 3D dinamica. È, inoltre, possibile visualizzare la progettazione, su richiesta e in qualsiasi momento, non essendo necessarie conversioni o software speciali.
- Lavora in un ambiente personalizzato. È possibile lavorare su ogni progetto nel suo ambiente ideale grazie all'applicazione automatica delle impostazioni e degli standard richiesti.



Figura 2.13: Progettazione con OpenRoads Designer (bentley.com)

2.4 Interoperabilità

L'interoperabilità è definita come la possibilità di scambiare i dati contenuti nel modello progettuale di partenza tra diverse piattaforme software e applicativi destinati alle diverse funzionalità coinvolte nelle attività, questo non solo durante la fase di realizzazione dell'opera ma anche nell'intero suo ciclo di vita, dalla manutenzione alla dismissione.^[11]

Infatti, se tradizionalmente i software specializzati sviluppati per la gestione ed elaborazione dei dati all'interno di specifici mancavano della capacità di interagire reciprocamente, la trasversalità dell'approccio BIM richiede necessariamente la massima accessibilità di tali informazioni di progetto e di processo a tutti i soggetti coinvolti.

^[11] Definizione di interoperabilità data da STR Gruppo TeamSystem.



Figura 2.14: Interoperabilità BIM (bimmanagementstructura.it)

L'interoperabilità, e tutte le tematiche ad essa collegate, è il primo ostacolo a cui va incontro chi intende applicare la metodologia BIM in modo professionale. Infatti, la trasmissione delle informazioni tra i vari programmi e l'interazione tra i progettisti stessi risultano essere punti essenziali per l'applicazione concreta del BIM. Dal momento che le attività del settore AEC (Architecture Engineering Construction) sono di tipo collaborativo e non esiste un'applicazione software in grado di gestirle tutte, sono necessari strumenti che consentano lo scambio dei dati tra i vari professionisti e tra i vari software. L'interoperabilità del software, pertanto, identifica lo scambio continuo di dati fra le diverse applicazioni, ognuna delle quali può avere una propria struttura dati interna. Essa, secondo l'NIBS ^[12], si realizza mappando le parti della struttura dati interna di ciascuna applicazione partecipanti verso un modello di dati universale e viceversa. L'obiettivo principale dell'interoperabilità consiste nella possibilità di avere i dati giusti nel formato giusto al momento giusto, cercando di eliminare le perdite di tempo nelle fasi di creazione, editing e conversione dei dati l'intero processo di progettazione. L'interoperabilità rappresenta, pertanto, il requisito essenziale affinché il BIM venga effettivamente impiegato come metodologia e non solo come modello semplificato utilizzato durante la sola fase di

^[12] NIBS: National Institute of Building Sciences.

progettazione. Lo scambio automatico dei modelli e di altri dati tra le diverse piattaforme di software è uno dei principali cambiamenti richiesti dal settore AEC per una completa integrazione e collaborazione tra i diversi attori del processo edilizio. Il concetto di interoperabilità può anche essere espresso dalla "Curva di Patrick MacLeamy" ^[13] (Figura 2.14). Il grafico mostra la classica curva a campana del processo di progettazione tradizionale con il picco di sforzi e risorse al centro della fase di costruzione e documentazione e mostra come il BIM muove il picco di utilizzo delle risorse alla fine della fase di progettazione preliminare. Essa mostra anche che le modifiche di progettazione efficaci sono più facili e meno costosi nelle prime fasi del processo e meno efficaci e più costose in seguito. Tutto ciò significa che per definire in maniera inequivocabile le condizioni di scambio delle informazioni, sono necessari standard tecnici dettagliati, in modo tale da permettere agli utenti di trasferire i dati anche utilizzando diversi tipi di software.



Figura 2.15: Curva del processo di progettazione di MacLeamy (T. Dalla Mora, F. Peron, F. Cappelletti, P. Romagnoni, P. Ruggeri, 2014, "Una panoramica sul BIM", AICARR)

^[13] Curva di Patrick MacLeamy: curva presentata durante la conferenza AIA del 2005 proprio come tematica legata alla progettazione integrata (Integrated Process Delivery, IPD).

Questi software devono quindi contenere al loro interno tutti gli standard, e lo devono fare nascondendone la complessità all'utente e facendo in modo che essi siano messi in atto automaticamente dal sistema. Per risolvere definitivamente il problema è stato sviluppato il programma "OpenBIM" dall'associazione "buildingSMART" ^[14] in collaborazione con i principali fornitori di software per promuovere, semplificare e coordinare a livello globale il concetto di "Open BIM" nell'ambito del AEC (Architecture settore Engineering & Construction) con informazioni e materiali relativi al marchio a disposizione di tutti coloro che partecipano al programma.



Figura 2.16: Logo BuildingSmart (autodesk.com)

Si tratta di un approccio universale di collaborazione nelle fasi di progettazione, costruzione e gestione degli edifici basato su standard e flussi di lavoro aperti.

L'Open BIM porta con sé una serie di prerogative molto importanti tra cui la gestione dei dati e del modello digitale effettuata indipendentemente dal software di origine o da eventuali formati specifici, flussi di lavoro aperti e trasparenti, collaborazione digitale e integrazione del contenuto informativo in un unico database.

Poiché le attività nel settore delle costruzioni sono molteplici (impianti, strutture, energia) è chiaro che non esiste un software in grado di gestirle tutte, piuttosto sono necessari strumenti BIM uniformi che consentano ai relativi software di "leggere" il rispettivo

^[14] BuildingSMART è un'associazione mondiale che, attraverso il programma OpenBIM guida lo sviluppo di standard tecnici, strumenti e formazione riconosciuti a livello internazionale per supportare la più ampia diffusione del BIM da parte del settore Architecture Engineering & Construction (AEC) e del Facility Management (FM).

dato d'interesse.

Ecco perché, a seconda del ramo d'interesse, ci si potrebbe affidare ad un 'software principale', ad esempio per la parte di progettazione per poi ricorrere in fasi successive ad altre applicazioni per l'analisi energetica, la stima dei costi etc.

L'integrazione tra le diverse piattaforme avviene tramite il formato IFC (Industry Foundation Classes) che, ad oggi, è il principale modello di dati basato su standard tecnici e rappresenta il formato di scambio dati preferenziale per tutto il mondo della progettazione BIM. In altre parole, è necessario che i distributori di software scrivano le informazioni giuste al posto giusto così che tutti i software possano leggere le caratteristiche in modo inequivocabile. È altresì essenziale che le software-house stabiliscano il numero minimo di informazioni che un oggetto deve possedere per essere legittimamente definito BIM. Tali aspetti costituiscono una base su cui poter fondare il concetto di Open Bim in modo tale da poter superare gli ostacoli dell'interoperabilità permettendo un più rapido sviluppo della metodologia BIM in tutti i progetti.

2.4.1 Formato IFC

Normalmente un oggetto BIM viene salvato nel formato "*IFC*" (Industry Foundation Class), con estensione "*.ifc*". Questi file IFC sono ordinati come file di immagine 3D, e sono compatibili con tutti i software che usano la tecnologia BIM.

Le caratteristiche principali del formato IFC sono la esigua dimensione dei files, il contenuto tridimensionale identico all'originale e soprattutto la capacità di trasmettere ad altre piattaforme BIM le informazioni aggiuntive degli oggetti inseriti senza bisogno di ulteriori trasformazioni.

Il formato IFC è di tipo open-source ed è registrato dalla ISO e segue i requisiti ISO 16739: 2013, oltre ad essere supportato da diverse software-house, tra cui Autodesk.

La possibilità di condividere dati tramite varie applicazioni rende il formato IFC come l'equivalente architettonico di HTML: ciò può introdurre alcuni problemi legali e di proprietà, ma può anche svincolare architetti, consulenti, utenti e altri professionisti ad essere legati a un unico fornitore o piattaforma.



Figura 2.17: Gestione del progetto tramite formato IFC (bimmanagementstructura.it)

Il formato IFC rappresenta una soluzione di interoperabilità tra diverse applicazioni software che utilizzano il BIM, è quindi importante riconoscere degli standard internazionali relativi ad oggetti comunemente utilizzati nel settore edilizio. Pertanto, si noti come il formato IFC, sostenendo l'interoperabilità e i processi BIM collaborativi e collegati, svolga un ruolo di vitale importanza nella collaborazione fra i team di progetto.

2.4.2 Altri formati

Nel corso degli anni le varie software-house, come accennato precedentemente, hanno cercato di produrre il file finale con un proprio formato. Per tale motivo, ancor oggi, nella metodologia BIM troviamo altri formati oltre al più affermato e consolidato formato IFC.

Tra i più importanti e utilizzati formati troviamo:

- > Il formato gbXML (Green Building XML). È un file di tipo open-source sviluppato da "Green Building Studio Inc." per il trasferimento dei dati da un modello BIM a strumenti di analisi e simulazione energetica; questo formato quindi potenzia numerosi software di simulazione energetica disponibili sul mercato perché permette di integrare la fase di progettazione e di gestione dell'edificio e dei singoli oggetti. Infatti, consente una descrizione dettagliata della costruzione utilizzabile per la determinazione del costo di funzionamento, dell'inquinamento prodotto, del fabbisogno energetico e del comfort. Esso consente l'interoperabilità dei dati tra le applicazioni CAD 3D e modelli BIM e programmi di analisi dell'edificio (DOE-2.2, IES Virtual Environment, Energy Plus). Il formato gbXML è uno schema XML (Extensible Markup Language), che fornisce un linguaggio alternativo particolarmente adatto per l'utilizzo web. Infatti, XML è un'estensione di HTML, ossia il linguaggio utilizzato per l'invio di informazioni.
- Il formato DWG (Drawing). È un formato per i file di tipo CAD, sviluppato da Autodesk come database di definizione del disegno per AutoCAD ed altri propri programmi basati sulla medesima piattaforma. Il DWG è un file binario suddiviso in molteplici sezioni e con una codifica alquanto complessa dei dati. Il DWG non è uno standard in senso stretto. Infatti, nonostante sia largamente diffuso come formato, la proprietà esclusiva e la conseguente variabilità dello stesso al variare dei prodotti messi in commercio lo rendono uno strumento poco adatto allo scambio di dati tra CAD diversi.

Il formato DGN (Design). È il formato dei file CAD \geq supportati dai programmi delle software-house Bentley Systems, MicroStation e IGDS (Intergraph's Interactive Graphics Design System). Il formato DGN viene utilizzato in progetti di costruzione, tra cui edifici, autostrade, ponti, impianti di processo, costruzioni navali. Attualmente, il DGN è un formato in competizione con il DWG di Autodesk. La versione attualmente in uso è la DGN V8, rilasciata nel 2000 da Bentley. Tale versione, oltre ad aver introdotto funzionalità aggiuntive (come i diritti digitali e la storia di design) per ottenere un migliore supporto import/export per i file DWG di Autodesk, ha eliminato molte restrizioni sui dati delle versioni precedenti (limiti sui livelli di disegno sull'area di disegno). Pur essendo impiegato nella progettazione industriale e civile per l'ingegneria, il formato DGN non è utilizzato a livello mondiale come il formato concorrente DWG. Al contrario del DWG, il DGN è stato largamente documentato dai suoi sviluppatori, assicurando così anche la longevità delle versioni meno recenti.



Figura 2.18: Loghi formati gbXML, DWG e DGN

Un passo importante, in termini di interoperabilità, lo si è avuto nel 2008 quando le due più importanti BIM software-house, Autodesk e Bentley, hanno concordato lo scambio delle loro librerie di software. Ciò ha reso possibile la capacità di leggere e sovrascrivere direttamente i rispettivi formati DWG e DGN agli utenti delle due aziende. Inoltre, le due società intendono facilitare ancora di più l'interoperabilità del processo di lavoro tra le loro applicazioni attraverso l'uso reciproco di "API" (Application Programming Interface). ^[15]

2.5 Interoperabilità nell'infraBIM

Se l'interoperabilità nel BIM sta trovando la soluzione ai suoi problemi nella produzione dei progetti nel formato IFC, lo stesso non lo si può dire per l'infraBIM.

Infatti, ancor oggi, l'interoperabilità nell'infraBIM risulta essere un ostacolo non di poco conto. A tal proposito, va osservato che non sempre un file con estensione .dwg risulta essere leggibile e/o editabile da un altro programma che ha come prodotto finale un file .dwg. È l'esempio dei software Civil 3D e Autocad. Infatti, un file sviluppato con Civil 3D non risulta essere leggibile da Autocad, pur essendo due software della stessa software-house Autodesk. Infatti, qualora si provi ad aprire un file .dwg di Civil 3D con Autocad, in quest'ultimo si perderebbero tutti i riferimenti dei tracciati (vedi § 5.3). Per ovviare a tutti questi problemi, la BSI (Building Smart International), ha indetto il progetto "P6-IFC Alignment" che funge da precursore per i progetti "IFC-Bridge" and "IFC-Road" e che riguarda le informazioni per gli allineamenti 2D e 3D per le risorse infrastrutturali. Grazie a questo progetto buildingSMART si sta indirizzando ad includere nel Data Model standard IFC (ISO16739) anche il mondo della progettazione infrastrutturale. A tal proposito, il team del progetto buildingSMART P6, con l'ottica di rinnovare il formato LandXML, ha creato l'estensione dello standard dati IFC4 per includere le informazioni di allineamento.

In particolare, la nuova estensione IFC Alignment sarebbe:

 sostenuta da organizzazione di sviluppo di Standard, buildingSMART Internazional;

^[15] In informatica con l'acronimo API (Application Programming Interface) si indica un insieme di procedure idonee all'espletamento di un dato compito; spesso tale termine designa le librerie software di un determinato linguaggio di programmazione.

- basata su un modello UML concettuale;
- in linea con lo standard IFC esistente, riutilizzando le caratteristiche esistenti per il posizionamento, la geometria, insiemi di proprietà e la mappatura al sistema di coordinate geografiche;
- in grado di rispondere alle esigenze di scambio di informazioni di allineamento dalla pianificazione, alla progettazione, alla fase di costruzione di progetti e, infine, di asset management;
- un link con indicazioni di allineamento per altre informazioni di progetto, come sezioni e piena geometria 3D degli elementi di costruzione da realizzare da prossime release IFC.

Come riportato dagli sviluppatori della Harpaceas ^[16], i progetti di ampliamento "IFC-Bridge" e "IFC-Road" dovrebbero:

- consentire l'esecuzione di query sulle informazioni di allineamento fornendo dati quali il posizionamento, l'identificazione lineare e le stazioni lungo un allineamento;
- consentire l'accesso ai dati in sintonia con i database di asset management;
- fornire una archiviazione duratura dei modelli informativi delle infrastrutture, comprese le informazioni di allineamento;
- essere sincronizzati con gli attuali sforzi di OGC nel loro sviluppo di InfraGML;
- consentire la mappatura delle informazioni di allineamento tra IFC, InfraGML (sviluppato da OGC), e LandXML (ultima versione InfraBIM da buildingSMART Finland).

Attualmente, il formato IFC4 non risulta ancora utilizzabile nei diversi software pur essendo già stato convalidato da alcune beta di software.

^[16] Harpaceas: azienda milanese, nata nel 1990 dallo studio Finzi & Associati e dalla CEAS, che collabora e coopera per lo sviluppo dell'OpenBIM.

CASO STUDIO: DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Capitolo 3

Caso Studio: descrizione del progetto

3.1 Descrizione del progetto

Il caso studio, oggetto di questo elaborato, riguarda la progettazione di un nuovo raccordo viario. In particolare, il progetto, prevede la realizzazione di un nuovo tracciato stradale di circa 3 Km, in un'area pianeggiante poco urbanizzata posta al margine di un centro abitato. Tale collegamento ha come funzione principale quella di allontanare il traffico di attraversamento dal centro abitato. Per tale motivo, la nuova viabilità andrà a costituire una vera e propria "tangenziale di collegamento" tra le maggiori arterie della zona.

In particolare, il progetto dell'intervento, oggetto del caso studio di questo elaborato, prevede la realizzazione di un asse principale e con tre intersezioni a rotatoria situate in corrispondenza dei punti iniziale e finale del tracciato del collegamento e di un punto di intersezione tra il nuovo tracciato e la viabilità preesistente.

Come si può osservare dal progetto sviluppato in CAD riportato di seguito (Figura 3.1), per permettere il collegamento tra il nuovo tracciato stradale e la viabilità esistente circostante sono state progettate anche i prolungamenti di alcuni rami delle rotatorie, denominati di seguito come "rami secondari".



Figura 3.1: Progetto caso studio (Autodesk AutoCAD)

Come si può notare dall'immagine soprastante, in corrispondenza dell'origine del tracciato è prevista la realizzazione di una rotatoria, denominata per semplicità *"Rotatoria A"* nella quale confluiscono, oltre all'asse di nuova realizzazione i rami di un'infrastruttura viaria esistente. In corrispondenza di tale intersezione, sarà realizzato anche un ulteriore ramo della rotatoria così da permettere il collegamento del nuovo tracciato stradale con la viabilità secondaria circostante (Figura 3.2).



Figura 3.2: Particolare ramo secondario della Rotatoria A (Autodesk AutoCAD)

Come per la prima rotatoria, anche per la seconda, denominata *"Rotatoria B"*, è stata prevista anche la progettazione di un ramo di collegamento tra il tracciato stradale in progetto e la viabilità secondaria esistente (Figura 3.3).



Figura 3.3: Particolare ramo secondario della Rotatoria B (Autodesk AutoCad)

Come si può notare dalle immagini, il tracciato si sviluppa nel primo tratto iniziale con una curva di ampio raggio arrivando successivamente ad intersecare in rettifilo il tracciato di un'autostrada esistente. Pertanto, il progetto prevede anche la realizzazione di un cavalcavia in corrispondenza dell'intersezione con l'autostrada. Lo sviluppo del modo lineare fino all'intersezione tracciato prosegue in con un'infrastruttura viaria esistente, in corrispondenza della quale è prevista la realizzazione di una seconda intersezione a rotatoria (Rotatoria B). Il tracciato continua a svilupparsi, con lo stesso orientamento fino alla sua conclusione, in corrispondenza della terza intersezione a rotatoria (Rotatoria C) con un'altra strada esistente.

Oltre al cavalcavia per il passaggio del nuovo collegamento sull'autostrada esistente, è prevista la realizzazione anche di altre opere d'arte minori. In particolare, è prevista la realizzazione di sottopassi ad uso ciclo-pedonale e di tombini per il mantenimento della continuità dei canali presenti nel territorio circostante.

3.2 Caratteristiche geometriche del tracciato principale

Il progetto prevede la costruzione dell'intero tracciato stradale interamente in rilevato. Come da normativa, l'altezza di tale rilevato deve risultare tale da garantire l'inserimento dei tubi per il mantenimento del reticolo irriguo all'interno del corpo stradale stesso. Il progetto prevede la realizzazione di una strada di tipo F1; in particolare, la sezione tipologica prevede la costruzione di una piattaforma di 9,00 metri di larghezza, costituita da una corsia per senso di marcia con adiacente banchina. La sezione presenta una corsia di marcia di larghezza pari a 3.50 m e una banchina di larghezza pari a 1.00 m così come previsto da DM 6792 del 05/11/2001^[17]. Come si evince dalle tavole delle sezioni tipologiche ricostruire in CAD (Figura 3.4), il tracciato si sviluppa in rilevato con pendenza 2/3 o su opera d'arte.



Figura 3.4: Sezione tipo del rilevato (Autodesk Autocad)

^[17] DM 6792 del 05/11/2001: Decreto ministeriale contenente le norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.

Dalle sezioni tipologiche si nota che nel progetto è anche prevista anche la realizzazione di arginelli di larghezza pari a 1.05 m per lo smaltimento delle acque fluviali (Figura 3.5).



Figura 3.5: Particolare arginello (Autocad)

3.3 Caratteristiche geometriche delle opere minori

In prossimità delle opere d'arte (cavalcavia e sottopassi), la sezione trasversale mantiene le stesse dimensioni della sezione in rilevato. In prossimità delle opere d'arte, la sezione sarà completata con marciapiedi laterali di larghezza pari a 1.50 m con le sole funzioni di porta-barriera e di manutenzione (Figura 3.6).



Figura 3.6: Sezione tipo in presenza di opere d'arte (Relazione tecnico stradale del progetto)



Figura 3.7: Particolare del cavalcavia autostradale (Autocad)

Per quanto riguarda i rami della viabilità secondaria (rami secondari delle rotatorie A e B) la sezione stradale (Figura 3.9) prevista è invece di tipo "F-2 locale".

In particolare, la sezione tipologica prevede una corsia per senso di marcia di larghezza pari a 2.5 m e una banchina in destra di larghezza pari a 0.50 m.



Figura 3.8: Sezione tipo della viabilità secondaria (Relazione tecnico stradale del progetto)

Per le rotatorie, la sezione tipologica (Figura 3.10) prevede la realizzazione di una corsia null'anello circolatorio di larghezza pari a 6 m (come indicato DM 1699 del 19/04/2006) e di una banchina interna di 0.50 m e di una banchina esterna pari a 1 m.

Per quanto riguarda le dimensioni degli elementi marginali, queste sono analoghe a quelle della sezione stradale corrente. Invece, per quanto riguarda il diametro delle rotatorie questo è pari a 67 m nella rotatoria A mentre risulta essere 61 m il diametro delle rotatorie B e C.



Figura 3.9: Sezione tipologica: Rotatoria A (Autodesk Autocad)



Figura 3.10: Particolare rotatoria B (Autocad)

Per quanto concerne la pista ciclabile (Figura 3.11) è stata prevista una sezione di larghezza complessiva pari a 3.0 m, che prevede la presenza di due corsie, una per senso di marcia, di larghezza pari a 1.5 m come previsto dalla normativa vigente.



Figura 3.11: Sezione tipo della pista ciclo-pedonale (Relazione tecnico stradale del progetto)

MODELLAZIONE INFRABIM PRELIMINARE

Modellazione infraBIM preliminare

Nel capitolo seguente verrà descritta la procedura applicata ai software utilizzati, descritti nei capitoli precedenti, volta ad ottenere un percorso utile all'applicazione della metodologia BIM per la progettazione delle infrastrutture.

In particolare, sarà presentato in modo dettagliato il procedimento utilizzato con i diversi software per la progettazione preliminare di un'infrastruttura viaria partendo da un progetto esistente sviluppato con software CAD.

Il lavoro è stato svolto utilizzando i software delle due più importanti software-house oggi presenti nel mercato dell'infraBIM: OpenRoads Concept Station per Benntley Systems e Infraworks per Autodesk.

Ai fini di un'accurata e dettagliata analisi di interoperabilità tra i due software, si è deciso di seguire lo stesso iter progettuale per ambedue le modellazioni.

Una volta conclusa la fase di modellazione preliminare, tramite la successiva analisi di interoperabilità sviluppata, si è scelto il modello che è risultato essere il più affidabile e conforme per una successiva modellazione definitiva. Successivamente, dopo aver scelto il modello preliminare, si è proceduto con una modellazione definitiva, in modo da cercare di sopperire a tutte le limitazioni della precedente modellazione. Come si può notare nelle pagine successive, la procedura utilizzata ha mostrato diverse criticità, talvolta relative alla modellazione stessa dei diversi elementi infrastrutturali (sezioni tipologiche, opere d'arte minori, etc.).

Le criticità di modellazione citate sono attribuibili soprattutto alle diverse limitazioni dei software che tutt'ora risultano non superate. Allo stato attuale, come si vedrà di seguito, gli ostacoli più importanti risultano essere l'assenza della normativa italiana per Infraworks e le limitazioni di modellazione, in termini di strumenti di progettazione e di grafica, per OpenRoads Concept Station.

4.1 Modellazione in OpenRoads Concept Station

Di seguito si riporta la descrizione della procedura utilizzata con il software infraBIM OpenRoads Concept Station.

Come molti software BIM per le infrastrutture, anche OpenRoads Concept Station lavora in "real time". Infatti, questo software permette di progettare una nuova infrastruttura stradale e/o ferroviaria su una mappa Bing in continuo aggiornamento.

Il software presenta un'interfaccia molto semplice e di facile lettura e comprensione.



Figura 4.1: Schermata iniziale (OpenRoads Concept Station)

4.1.1 Download del modello

Una volta avviato il software, il comando *Name* permette di individuare rapidamente il sito del territorio da scaricare e successivamente editare.



Figura 4.2: Individuazione sito di interesse (OpenRoads Concept Station)

Successivamente, il software dà la possibilità di scegliere quali elementi importare (terreno, strutture, strade, elementi idrologici). Per non appesantire, il file si è deciso di non importare gli elementi idrologici.



Figura 4.3: Download degli elementi di interesse (OpenRoads Concept Station)

4.1.2 Modellazione del profilo plano-altimetrico

Eseguite tutte le operazioni preliminari per la selezione del sito e l'importazione del territorio, si è proceduto con l'apertura del modello. Come si può notare dall'immagine seguente (Figura 4.4) il software nella sua schermata iniziale mostra due toolbar: una verticale in alto a sinistra e una orizzontale in alto a destra. In particolare, la prima è una toolbar di modellazione nella quale sono presenti diversi tool (*Road Placement, Marking, Furniture, Structure, Measure, Surface Area*), la seconda invece è una toolbar di visualizzazione. Infatti, tramite quest'ultima è possibile cambiare le varie tipologie di visualizzazione (*Home View, Camera Orientation, Toggle Camera*).



Figura 4.4: Interfaccia iniziale (OpenRoads Concept Station)

Per la progettazione di una nuova infrastruttura con OpenRoads Concept Station è indispensabile la definizione delle sezioni delle infrastrutture. In particolare, la strada da progettare è di categoria F e pertanto, tramite lo strumento *Template*, partendo dalla sezione di una strada di categoria F (Rural Two Lanes), è stata definita la sezione della strada oggetto della progettazione (Figura 4.5).



Figura 4.5: Edit della sezione del ramo principale (OpenRoads Concept Station)

Come si può osservare dall'immagine soprastante (Figura 4.5), la sezione definita ha le seguenti caratteristiche:

- ≻ Corsia da 3,5 m;
- Banchina da 1,0 m;
- Arginello da 1,05 m;
- Pendenza trasversale della pavimentazione del 2,5 %;
- Pendenza scarpate in rilevato pari a 2/3;
- Spessore layers di pavimentazione (fondazione, base, binder e usura) pari a 470 mm.

Una volta settate tutte le componenti della sezione, tramite il comando *Road* della sezione *Road Placement*, si è proceduto con la rappresentazione della strada.

Per fare ciò si è tenuto conto dell'andamento definito nello stralcio planimetrico.



Figura 4.6: Sviluppo del ramo principale di progetto (OpenRoads Concept Station)

Per una più dettagliata e accurata correlazione con il progetto CAD si è proceduto ad una verifica altimetrica.

Una volta definito il progetto planimetrico, OpenRoads Concept Station definisce automaticamente anche il progetto altimetrico. Quest'ultimo è editabile attraverso l'inserimento e/o l'eliminazione dei vertici altimetrici tramite il comando *Insert PVI-Delete PVI* (Figura 4.7) attivabile con un click col tasto destro del mouse sul profilo altimetrico.



Figura 4.7: Comando Insert PVI/Delete PVI (OpenRoads Concept Station)

Per una più accurata correlazione con il progetto sviluppato in CAD, si è proceduto all'inserimento di diversi vertici altimetrici così da poter ricostruire lo stesso profilo altimetrico anche con OpenRoads Concept Station.


Figura 4.8: Profilo altimetrico del ramo principale (OpenRoads Concept Station)

4.1.3 Modellazione delle opere minori

Una volta definito il tracciato plano-altimetrico, si è passati alla progettazione delle opere d': sottopassi e cavalcavia. In particolare, poiché il software non è in grado di riconoscere i vari oggetti con i vari attributi si è proceduto prima alla definizione della sezione in cavalcavia, attraverso il comando *Bridge* nella sezione *Template* (Figura 4.9) e successivamente alla modellazione della stessa tramite il comando *Bridge* nella sezione *Structure* (Figura 4.10).



Figura 4.9: Comando Bridge (OpenRoads Concept Station).



Figura 4.10: Edit del template ponte (OpenRoads Concept Station)

Successivamente si è proceduto alla progettazione delle piste ciclopedonali. In particolare, tramite il comando *Bike Path* del tool *Template* si è definita la sezione (Figura 4.11) e poi la si è modellata tramite il comando Road (scegliendo *Bike Path* dalla libreria presente) della sezione *Road Placement* (Figura 4.12).



Figura 4.11: Edit template Bike path (OpenRoads Concept Station)



Figura 4.12: Comando Bike path (OpenRoads Concept Station)

Di seguito si riporta un particolare del sottopasso ciclopedonale definitivo (Figura 4.13).

Figura 4.13: Particolare sottopasso ciclopedonale (OpenRoads Concept Station)

Per quanto riguarda il cavalcavia autostradale si è prima proceduto alla rappresentazione del cavalcavia tramite la funzione *Bridge* con l'inserimento dei due piloni, e successivamente si è proceduto alla definizione e rappresentazione della sezione autostradale riportata di seguito (Figura 4.14).



Figura 4.14: Edit template Autostrada del sole (OpenRoads Concept Station)

Di seguito si riporta il particolare della rappresentazione del cavalcavia autostradale.



Figura 4.15: Particolare cavalcavia autostradale (OpenRoads Concept Station)

In questo contesto, particolare utilità trova la funzione *Bridge Clearence* del tool *Measure*, che permette di vedere in modo pratico lo spazio libero tra le due infrastrutture, in questo caso *"Autostrada"* e *"Cavalcavia"*, e se questo rispetta il valore desiderato.



Figura 4.16: Comando Bridge Clearence (OpenRoads Concept Station)

La normativa impone uno spazio libero minimo tra due infrastrutture per il passaggio dei veicoli di 5,20 m. Come si può vedere dalle immagini seguenti, la *clearence* in un primo momento non rispettava la verifica. Lavorando con la disposizione dei vertici altimetrici si è riusciti a garantire la *clearence* di 5,20 m, come previsto da normativa.



Figura 4.17: Particolare clearence del cavalcavia autostradale (OpenRoads Concept Station)

Come già detto precedentemente, OpenRoads Concept Station è dotato di diverse funzioni che permettono l'inserimento di diversi elementi infrastrutturali.

Ad esempio, nella toolbar *Structure* è possibile inserire diverse opere d'arte minori come tombini, tunnel e rampe di accesso e persino l'hyperloop^[18]. In questo progetto è stato utilizzato il comando *Culvert* (Figura 4.18) del tool *Structure* per la modellazione di un tombino (Figura 4.19).



Figura 4.18: Comando Culvert (OpenRoads Concept Station)

^[18] Hyperloop: ipotesi di tecnologia futuribile per il trasporto ad alata velocità di merci e passeggeri all'interno di tubi a bassa pressione in cui le capsule sono spinte da motori lineari a induzione e compressori d'aria.



Figura 4.19: Particolare tombino (OpenRoads Concept Station)

4.1.4 Modellazione delle intersezioni a rotatoria

Come ultima fase di modellazione, si è proceduto con la progettazione delle intersezioni a rotatoria presenti in progetto. Anche in questa fase si è andati in contro quella che risulta essere una delle limitazioni più importanti di OpenRoads Concept Station: la mancata definizione degli oggetti già esistenti. Infatti, il software pur scaricando tutte le infrastrutture viarie e gli edifici, non riconosce le loro caratteristiche e i loro attributi. Ciò significa che tali elementi, edifici e infrastrutture viarie, pur essendo selezionabili non risultano essere editabili. Per tale motivo, come visto già precedentemente per i due sottopassi ciclopedonali e per il cavalcavia autostradale, si sono dapprima cancellate le infrastrutture esistenti che confluiscono nell' intersezione, e poi si è proceduto alla progettazione delle stesse utilizzando la stessa sezione del ramo principale con l'accortezza di ridurre la velocità di progetto a 40 km/h, trattandosi di strade secondarie.



Figura 4.20: Inserimento rami secondari (OpenRoads Concept Station)

Successivamente, tramite il comando *Roundabouts* della sezione *Road Placement* (Figura 4.21) si è proceduto all'inserimento delle tre rotatorie. In particolare, come previsto da progetto si è scelto un diametro di 67 m per la rotatoria A (Figura 4.22) e un diametro di 61 m per le rotatorie B e C (4.23).



Figura 4.21: Comando Roundabouts (OpenRoads Concept Station)



Figura 4.22: Particolare rotatoria A di progetto (OpenRoads Concept Station)



Figura 4.23: Particolare rotatorie B e C di progetto (OpenRoads Concept Station)

4.2 Modellazione in Autodesk Infraworks

In questo paragrafo verrà descritta la procedura utilizzata con il software Autodesk Infraworks 2020 per la ricostruzione del progetto del caso studio descritto nel capitolo precedente.

Come OpenRoads Concept Station, anche Infraworks utilizza la mappa Bing in continuo aggiornamento, permettendo di lavorare anche con questo software in modalità "real time".

Autodesk Infraworks presenta un'interfaccia grafica semplice e molto intuitiva ricca di molteplici funzioni sia di progettazione sia di rendering.



Figura 4.24: Schermata iniziale (Autodesk Infraworks)

4.2.1 Download del modello

Una volta avviato il programma si è svolta la procedura di download del progetto. Se questa, come visto precedentemente, con OpenRoads Concept Station avveniva in modo diretto, lo stesso non avviene in Autodesk Infraworks. In particolare, con il comando *Model Builder* (Figura 4.25), si è proceduto con la selezione del territorio di progetto ed una volta geolocalizzato il sito di interesse (Figura 4.27) si è avviata la procedura di download del progetto.



Figura 4.25 Comando Model Builder (Autodesk Infraworks)



Figura 4.26: Selezione del sito di progetto con il comando Model Builder (Autodesk Infraworks)



Figura 4.27: Geo-localizzazione del sito di progetto (Autodesk Infrawork)

Tale procedura non avviene in modo istantaneo bensì occorrono diversi minuti prima di poter ottenere il modello. Infatti, avviata la procedura di download, questa viene inviata al server Autodesk e solo dopo un avviso ricevuto per via e-mail è possibile utilizzare il modello desiderato (Figura 4.28).



Figura 4.28: Procedura di download del modello (Autodesk Infraworks)



Figura 4.29: Schermata iniziale (Autodesk Infraworks)

Una volta ricevuta la mail da Autodesk con l'avviso dell'avvenuto download del modello, rinominato come *"Progetto_infraBIM_tesi"*, questo risulterà visibile al riavvio del software (Figura 4.29). Tutto ciò significa che il download del modello da parte di Autodesk è avvenuto con successo e si può pertanto procedere con l'apertura dello stesso.

4.2.2 Modellazione del profilo plano-altimetrico

Dopo aver riavviato nuovamente il programma si è proceduto con l'apertura del modello precedentemente creato e scaricato. Una volta aperto il modello, esso si presenta con un'interfaccia intuitiva e di facile comprensione (Figura 4.30).



Figura 4.30: Schermata iniziale modello (Autodesk Infraworks)

In alto a destra è presente l'unica barra di comando del software contenente tutte le funzioni suddivise in sette sezioni (Figura 4.30).



Figura 4.31: Barra dei comandi (Autodesk Infraworks)

Una volta aperto il modello scaricato, si è proceduto con la definizione del tracciato planimetrico. Per fare ciò ci si è serviti del comando *Strade a componenti* della sezione *Progetta sezioni stradali* (Figura 4.32).



Figura 4.32: Comando Strade a componenti (Autodesk Infraworks)

Come mostra l'immagine seguente (Figura 4.33), questo comando permette di scegliere il metodo di creazione (Basato su *vertice planimetrico* o su *elemento*), il tipo di sezione e i vari attributi.



Figura 4.33: Attributi del comando Strade a componenti (Autodesk Infraworks)

Durante questa prima fase di progettazione, ci si accorge subito del più grande problema presente in Autodesk Infrawork: la scelta delle sezioni tipo è legata alla normativa che si utilizza.

Infatti, in Autodesk Infraworks non è presente il *Country Kit Italia* ^[19], e ciò risulta una grande limitazione per la progettazione sia delle sezioni tipologiche desiderate sia delle rotatorie vista la diversa classificazione e dimensioni delle stesse tra la normativa italiana e quelle degli altri Paesi. Tutto ciò si traduce in una problematica di non poca importanza nella progettazione delle strade.

Per tale motivo, se si fosse scelto direttamente la sezione tipo di progetto, due corsie con banchina (*Two Lanes Shoulder* in Infraworks), non si sarebbe potuta collegare la rotatoria allo sviluppo planimetrico della strada.



Figura 4.34: Particolare collegamento rotatoria sviluppo planimetrico nella modalità Two Lanes Shoulder (Autodesk Infraworks)

Come si può vedere dall'immagine soprastante (Figura 4.34), utilizzando la sezione tipo di progetto (Due corsie da 3,5 m con banchine esterne da

^[19] Country Kit Italia: libreria di Autodesk contenente la normativa italiana sulle strade. Allo stato attuale, sono presenti solo i Country Kit per Austria, Francia, Germania, Norvegia, Svezia, UK (English).

1,0 m) e la tipologia di rotatoria da progetto (Extraurbana con diametro 67 m per la rotatoria A e 61m per le rotatorie B e C), non si riesce ad ottenere il collegamento desiderato.

Dopo svariate prove, per ovviare a questa importante problematica, si è deciso di eseguire lo sviluppo planimetrico del ramo principale e il successivo collegamento con le rotatorie utilizzando una sezione tipo senza banchine, aggiungendo quest'ultime come componenti stradali in un secondo momento.

In particolare, la scelta della sezione tipo è ricaduta sulla tipologia *Two Lanes* (Figura 4.35), mentre per quanto concerne il metodo di creazione, ai fini di una maggiore precisione, si è deciso di utilizzare quello basato sull'inserimento dei vertici planimetrici.



Figura 4.35: Comando Two Lanes (Autodesk Infraworks)

La mancanza del *Country Kit Italia*, come già accennato precedentemente, si ripercuote anche nelle dimensioni della sezione tipologica. Infatti, dopo svariati tentativi si è deciso di usare il *Country Kit UK (English)* e per tale motivo tramite il comando *Mostra vista sezione trasversale* (Figura 4.36), attivabile cliccando con il tasto destro del mouse in un punto qualsiasi del profilo planimetrico, si può notare come le dimensioni di corsia e banchina non risultano uguali a quelle della sezione tipo presenti di progetto.



Figura 4.36: Comando Mostra vista sezione trasversale (Autodesk Infraworks)



Figura 4.37: Strada extraurbana di tipo locale della normativa UK (Autodesk Infraworks)

Esse, infatti rispecchiano le dimensioni di una strada extraurbana di tipo locale della normativa UK, con corsia da 3,6 m e banchina da 1,5 m (Figura 4.37) e pertanto diverse dalle dimensioni di una strada di categoria F-1, con corsia da 3,50 m e banchina da 1,0 m, della normativa italiana (Figura 4.38).



Figura 4.38: Strada Categoria F1 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prot. n. 6792)

Come detto precedentemente, in Autodesk Infraworks si è deciso di riprodurre il tracciato stradale con il posizionamento dei singoli vertici planimetrici.

Successivamente, cliccando con il tasto destro sul vertice planimetrico, con il comando *Converti geometria* (Figura 4.39), è possibile modificare la geometria del vertice planimetrico a seconda che ci si riferisca ad una transizione (clotoide) o ad una curva circolare.



Figura 4.39: Comando Converti geometria (Autodesk Infraworks)

Di seguito si riporta l'immagine contenete il tracciato planimetrico realizzato con Autodesk Infraworks (Figura 4.40).



Figura 4.40: Sviluppo planimetrico del progetto (Autodesk Infraworks)

Una volta determinato lo sviluppo planimetrico del tracciato stradale si è proceduto con la definizione del profilo altimetrico. A differenza di quanto visto nel paragrafo precedente con OpenRoads Concept Station, in Autodesk Infraworks il profilo altimetrico non è direttamente visibile nella schermata principale ma lo si deve rendere visibile tramite il comando *Mostra vista profilo* (Figura 4.41) attivabile cliccando col tasto destro del mouse in un punto qualsiasi dello sviluppo planimetrico.



Figura 4.41: Comando Mostra vista profilo (Autodesk Infraworks)

Autodesk Infraworks, come Openroad Concept Station, permette di editare il profilo altimetrico inserendo e/o eliminando vertici altimetrici tramite il comando *Aggiungi vertice altimetrico* (Figura 4.42) attivabile cliccando col tasto destro del mouse in un punto del profilo altimetrico.



Figura 4.42: Comando Aggiungi vertice altimetrico (Autodesk Infraworks)

Questo software permette anche di scegliere la geometria della curva altimetrica.

Infatti, cliccando col tasto destro sul vertice altimetrico, tramite l'apposito comando *Converti geometria* è possibile scegliere tra una curva parabolica simmetrica, curva parabolica asimmetrica o una curva circolare (Figura 4.43).



Figura 4.43: Comando Converti geometria (Autodesk Infraworks)

Per quanto riguarda il profilo altimetrico del tracciato stradale modellato, anche Autodesk Infraworks permette la modellazione dei vertici altimetrici. Infatti, facendo affidamento al profilo altimetrico del progetto sviluppato in CAD, si è proceduto all'inserimento di diversi vertici altimetrici in modo tale da ricostruire lo stesso profilo altimetrico anche con Autodesk Infraworks.

In particolare, ai fini di una maggiore precisione e corrispondenza con quanto sviluppato sia con OpenRoads Concept Station sia nel progetto in CAD si è deciso di lavorare utilizzando delle curve circolari. Di seguito viene riportato il profilo altimetrico del tratto 1 del ramo principale del progetto oggetto del caso studio presente in questo elaborato (Figura 4.44).



Figura 4.44: Profilo altimetrico del tratto 1 (Autodesk Infraworks)

Una volta definito il profilo plano-altimetrico, si è proceduto con la progettazione delle opere minori (i due sottopassi ciclopedonali e il cavalcavia autostradale).

Per la definizione di queste opere minori, a differenza di OpenRoads Concept Station, Autodesk Infraworks riesce a riconoscere i vari oggetti con i vari attributi. Ciò permette di relazionare il tratto di strada progettato con le infrastrutture già presenti nel territorio circostante. Pertanto, non vi è la necessità di sviluppare anche le infrastrutture che intercettano il tracciato stradale in progettazione. Ciò, oltre ad a ridurre i tempi di progettazione, permette di ottenere una maggiore precisione nelle intersezioni, dato che le posizioni delle varie infrastrutture e strutture presenti nel territorio sono aggiornate in tempo reale con la mappa Bing con la quale si lavora.

4.2.3 Modellazione delle opere minori

Come OpenRoads Concept Station, anche Autodesk Infraworks consente la modellazione di diverse strutture (ponti e tunnel).

Per quanto concerne la definizione dei sottopassi ciclopedonali, è stato utilizzato il comando *Aggiungi struttura (Ponte/Tunnel)* (Figura 4.45) che si attiva cliccando con il tasto destro del mouse in un punto qualsiasi del profilo planimetrico.



Figura 4.45: Comando Aggiungi struttura (Autodesk Infraworks)

Selezionata la tipologia di struttura da inserire, nel nostro caso *ponte*, si è proceduto con l'inserimento della stessa individuando il punto iniziale e quello finale con un click sinistro del mouse nei punti desiderati del profilo planimetrico (Figura 4.46).



Figura 4.46: Inserimento ponte (Autodesk Infraworks)

Di seguito si riporta il particolare del primo sottopasso ciclopedonale realizzato con Autodesk Infraworks (Figura 4.47).



Figura 4.47: Particolare sottopasso ciclopedonale (Autodesk Infraworks)

Per quanto riguarda la modellazione del cavalcavia autostradale presente in progetto, si è proceduto all'inserimento del ponte nelle stesse modalità viste per i due sottopassi ciclopedonali. Trattandosi di un cavalcavia autostradale di modeste dimensioni è necessario l'inserimento dei piloni di sostegno. Pertanto, cercando di rimanere quanto più possibile coerenti con quanto presente nel progetto sviluppato in CAD, si è proceduto con l'inserimento delle pile del ponte. Per fare ciò è stato utilizzato il comando *Aggiungi pilone* (Figura 4.48) che si attiva cliccando con il tasto destro del mouse sul ponte.



Figura 4.48: Comando Aggiungi pilone (Autodesk Infraworks)

Di seguito si riporta il particolare del cavalcavia autostradale modellato in Autodesk Infraworks (Figura 4.49).



Figura 4.49: Particolare cavalcavia autostradale (Autodesk Infraworks)

Come OpenRoads Concept Station, anche Autodesk Infraworks permette la modellazione delle opere d'arte minori. In questo caso però, nonostante l'ampia libreria di oggetti presente in Autodesk Infraworks, non è presente l'oggetto "tombino", come visto invece in OpenRoads Concept Station. Ciò significa che Autodesk Infraworks, nonostante consenta lo studio e la modellazione di numerose opere idrauliche come condotte e tubature varie, non prevede la modellazione dei tombini in una progettazione infraBIM preliminare.

4.2.4 Modellazione delle intersezioni a rotatoria

Per quanto riguarda la modellazione delle intersezioni a rotatoria, a differenza di quanto fatto in OpenRoads Concept Station, in Autodesk Infraworks non è stato necessario modellare anche i rami secondari poiché questo software, riconoscendo le infrastrutture viarie con tutti i loro attributi, riesce a intersecare lo sviluppo planimetrico modellato con i tracciati stradali esistenti presenti nel modello scaricato. Una volta modellato il profilo planimetrico il software in automatico modella l'intersezione come un'intersezione a raso (Figura 4.50).



Figura 4.50: Modellazione automatica di un'intersezione del software (Autodesk Infraworks)

Successivamente cliccando col tasto destro del mouse sull'intersezione, tramite il comando *Converti in rotatoria* (Figura 4.51), si è proceduto con la conversione da intersezione a T ad intersezione a rotatoria.



Figura 4.51: Comando Converti in rotatoria.

Una volta convertita l'intersezione a T in un'intersezione a rotatoria, si apre una finestra di dialogo che permette di editare i vari attributi della rotatoria. In particolare, si è deciso di utilizzare una rotatoria di tipo *FHWA 2010: Rural Single Lane Road*.

Immetti un nome Strada 1 > Rotatoria 5 Tipo di incrocio Rotatoria Origine standard FHWA 2010 Standard FHWA 2010: Rural Single Lane R Geometri: FHWA 2000: Urban Double Lane FHWA 2000: Urban Double Lane
Strada 1 > Rotatoria 5 Tipo Tipo di incrocio Rotatoria Origine standard FHWA 2010: Rural Single Lane R Geometri: HWA 2000: Urban Double Lane
Tipo di incrocio Rotatoria Origine standard Standard FHWA 2010: Rural Single Lane R Geometrit HWA 2000: Urban Double Lane
Tipo di incrocio Rotatoria Origine standard Standard FHWA 2010: Rural Single Lane R Geometric FHWA 2000: Urban Double Lane
Rotatoria FHWA 2010 Standard FHWA 2010 Standard FHWA 2010: Rural Single Lane R Geometrix • FHWA 2000: Urban Double Lane HWA 2000: Urban Double Lane • FHWA 2000: Urban Double Lane
Origine standard FHWA 2010 Standard FHWA 2010: Rural Single Lane R Geometrix FHWA 2000: Urban Double Lane HWA 2000: Urban Double Lane FHWA 2000: Urban Double Lane
Standard FHWA 2010: Rural Single Lane R Geometri: FHWA 2000: Urban Double Lane FHWA 2000: Urban Double Lane
Geometri: FHWA 2000: Urban Double Lane FHWA 2000: Urban Double Lane
the second se
Scostamento C. FHWA 2000: Orban Single Lane F
Diametro cerchio FHWA 2010: Mini Roundabout
Larghezza bar di PHWA 2010 Rural Double Lane 8
Diametro iso 📕 FHWA 2010: Rural Single Lane Ro
Bracci FHWA 2010: Triple Lane Koundal
Durata
Data creazione
Data completamento
Avanzate 🔨
ID 5
Origine dati Oggetto/i disegnato/i

Figura 4.52: Tipologia di rotatoria (Autodesk Infraworks)

In particolare, come da progetto, si è usato un diametro di 67 m per la modellazione della rotatoria A (Figura 4.53) e un diametro di 61 m per la modellazione delle rotatorie B e C (Figura 4.54).



Figura 4.53: Particolare rotatoria A (Autodesk Infraworks)



Figura 4.54: Particolare rotatorie B e C (Autodesk Infraworks)

ANALISI E RISULTATI DELLA MODELLAZIONE INFRABIM PRELIMINARE

Capitolo 5

Analisi e risultati della modellazione infraBIM preliminare

Conclusa la fase di modellazione preliminare, prima con OpenRoads Concept Station e poi con Autodesk Infraworks, è stata impostata un'analisi dei modelli realizzati. In particolare, si è deciso di sviluppare un benchmark tra i due modelli creati per un livello di progettazione preliminare, considerando tutti gli strumenti di modellazione principali dei due software.

Successivamente, grazie ai risultati del benchmark, si è scelto il modello preliminare che, allo stato attuale, meglio si presta per una prosecuzione della progettazione ad un livello di dettaglio superiore.

5.1 Modellazione in OpenRoads Concept Station

Il modello realizzato in OpenRoads Concept Station risulta essere un modello, in formato DGN, che permette l'analisi e lo studio preliminare di un'infrastruttura viaria e di tutti i suoi elementi costituenti.

La possibilità di editare completamente le sezioni tipologiche dell'infrastruttura è sicuramente uno dei punti di forza di questo software. Infatti, come visto nel capitolo precedente (vedi § 4.1.2), lo sviluppo del profilo plano-altimetrico risulta indipendente dalla presenza delle normative all'interno del software. Ciò risulta essere veramente importante per un software infraBIM, perché permette di lavorare in maniera svincolata dalla normativa lasciando libertà all'utente di adattare le sezioni, in funzione delle esigenze progettuali. Di conseguenza è possibile modificare gli elementi secondo quanto richiesto dalle varie normative dei paesi di destinazione dell'opera.

OpenRoads Concept Station risulta essere anche un software che si presta molto bene alla progettazione e modellazione delle opere d'arte minori. La presenza di un'ampia libreria di elementi infrastrutturali e strutturali permette la modellazione di qualsiasi opera puntuale come tombini, viadotti, ponti ma anche gallerie o sottopassi.Nonostante una toolbar ricca di strumenti di progettazione, per quanto riguarda gli arredi urbani in questo software è presente una ridotta libreria che consente solo l'inserimento di pali di illuminazione, panchine e/o segnaletica orizzontale e verticale, tramite i tool Furniture e Marking presenti nella toolbar (Figura 5.1).



Figura 5.1: Comandi Furniture e Marking (OpenRoads Concept Station)

Per tale motivo, questo software risulta essere poco adatto allo sviluppo di un successivo progetto di *rendering*. Al giorno d'oggi, questo potrebbe risultare un ostacolo importante, vista la continua evoluzione del mondo rendering anche nel settore AEC (Architecture Engineering Construction). Infatti, riuscire ad ottenere una buona resa grafica già nella fase di progettazione preliminare potrebbe avere un effetto positivo e convincente anche sulla committenza che potrebbe risultare maggiormente indotta nell'affidare la realizzazione dell'opera.

A conferma di quanto appena detto, come si può notare dalle immagini del modello realizzato (Allegato 1), questo software risulta avere una qualità grafica ridotta, nonostante lavori con una mappa Bing in real time.

OpenRoads Concept Station permette anche una valutazione preliminare del computo metrico dell'infrastruttura. In particolare, con il comando *Quantities and Costs* (Figura 5.2) permette di avere una stima sia sulle quantità di materiale in scavo e rilevato sia una valutazione economica preliminare sul costo dell'intera infrastruttura.

V 🖪 🛢 🖉 🕼 🗛	- Constructions			
	Concept estimated cost: \$7,175,61			0 á
Category		Cost	So	Source
Earthwork.			\$0 De	Design
Parement			\$5,067,161 Dr	Drsige
Structure			\$0 De	Design
Rearing the			\$0 Da	Design
Dainage			\$410,541 41	Alberro
Deorkal			953,622 /40	Albearce

Figura 5.2: Comando Quantities and Costs (OpenRoads Concept Station)

Inoltre, con il software di Bentley Systems vi è la possibilità di poter esportare il computo metrico visionato in formato *.xls* tramite il comando *export to .xls* (Figura 5.3).

C Detailed C	omera a Quantities and Cos	t Report	na jiwa ku 100 kipale					44 - 9 ×
Linguy		340			giantly.	ani a	40	
Falses K	00.607	Acril 4 lycourted				2673.8 11	347.25	55,962,151
1878139						×.	811	k85.54
BAJAA						8	1	PC 5.5
hrodalia kono						3	205	51,023,340
Intercontent								2112.13
Sconsured Markinso							2.15	5853
								Leen wills.

Figura 5.3: Comando Export to XLS (OpenRoads Concept Station)

Come mostra l'immagine seguente (Figura 5.4), nel file in formato *.xls* esportato da OpenRoads Concept Station, sono presenti i vari elementi (pavimentazioni, segnaletica, elementi idraulici ed elettrici) presenti nell'infrastruttura viaria modellata precedentemente con i rispettivi volumi e costi.

	А	В	С	D	E	F	G
1	Category	Code	Item	Quantity	Unit	Rate	Cost
2	Pavement	CO-027	Asphalt - All layers combined	20473.85	m ³	247.25	\$5,062,161
3	Drainage				%	8.11	\$410,541
4	Electrical				%	1	\$50,622
5	Incidental Items				%	20.5	\$1,037,743
6	Traffic Control				%	3.42	\$173,126
7	Environmental				%	6.57	\$332,584
8	Signing and Marking				%	2.15	\$108,836
9							

Figura 5.4: Export in formato .xls del computo metrico (OpenRoads Concept Station)

Sicuramente, l'ostacolo più importante legato all'utilizzo di OpenRooads Concept Station in progettazione preliminare di una tipo infrastrutturale risulta essere il formato di salvataggio dei suoi file finali. Infatti, questo software, come la quasi totalità dei software di Bentley Systems, salva i file in formato .dgn. Ciò rende difficile, se non addirittura impossibile, sia l'interoperabilità con altri formati sia lo scambio di file con altri progettisti che non usano questo software. Al giorno d'oggi vi sono diversi software, come ad esempio Bentley *PowerCivil V8i*, che permettono di aprire i file in formato .dgn e salvarli successivamente in formato .dwg senza perdita di dati.

5.2 Modellazione in Autodesk Infraworks

Il modello sviluppato con Autodesk Infraworks è un modello in formato *.sqlite* che permette la gestione e la modellazione preliminare di infrastrutture viarie e/o la loro renderizzazione.

Come visto nel capitolo precedente (vedi § 4.2) l'ostacolo più importante nell'utilizzo di questo software risulta essere l'assenza di molti Country Kit (normative di progettazione). L'assenza del Country Kit diventa ancora più importante se si considera che con Autodesk Infraworks non è possibile editare liberamente le sezioni tipologiche. Pertanto, se non si dispone del country kit del paese in cui si progetta ci si trova in difficoltà con la modellazione delle infrastrutture viarie, poiché queste risultano essere legate alla normativa del singolo Paese.

Quanto detto finora significa che con questo software non è sempre possibile modellare infrastrutture viarie secondo gli standard del Paese specifico. Pertanto, per ovviare a questo problema occorre adeguarsi a quelle che sono le possibilità fornite dal software o dal country kit che si decide usare. Allo stato attuale, i country kit disponibili sono limitati e sono solo per: Austria, Francia, Germania, Norvegia, Svezia, UK.

Per quanto riguarda il progetto oggetto del caso studio di questo elaborato, si è deciso di usare il Country Kit UK, con opportune accortezze. Da ciò si evince che nonostante risulti essere un ostacolo importante quello dell'assenza della normativa lo si può superare.

Se dal punto di vista della modellazione delle sezioni Autodesk Infraworks presenta il suo più grande limite, per quanto riguarda il rendering risulta sicuramente più sviluppato. Sin dalla sua origine, Autodesk ha dedicato ingenti risorse sia economiche che umane allo sviluppo del rendering con l'istituzione del dipartimento "Media and Entertainment".

Autodesk Infraworks lavora in real time con la mappa Bing come OpenRoads Concept Station; a differenza di quest'ultimo il software di Autodesk risulta tuttavia avere una notevole qualità grafica. Inoltre, Autodesk Infraworks dispone di una più ampia libreria di arredo urbano. Oltre alla possibilità di inserire panchine, pali di illuminazione di vario tipo e segnaletica stradale tramite il tool *Arredo Urbano* (Figura 5.3) è anche possibile inserire molti altri elementi (veicoli, vegetazione di svariati tipi, coperture, edifici, ponticelli pedonali e piccole costruzioni di ogni genere).



Figura 5.5: Comando Arredo urbano (Autodesk Infraworks)

In termini di rendering, Autodesk Infraworks permette di sviluppare diversi studi e analisi.

In particolare, il comdando *Crea e tieni presentazioni di progetti di infrastrutture* nella toolbar dà la possibilità sia di creare degli screenshot del progetto tramite il comando *Crea istantanea* (Figura 5.4) sia di creare dei video di presentazione tramite il comando *Creazione storyboard* (Figura 5.5).



Figura 5.6: Comando Crea istantanea (Autodesk Infraworks)



Figura 5.7: Comando Crea storyboard (Autodesk Infraworks)

Inoltre, con il comando *Sole e cielo* (Figura 5.6) è possibile cambiare le condizioni climatiche e di luce solare all'interno del progetto. Ciò risulta particolarmente utile sia per la valutazione delle zone di ombra che possono creare i vari edifici sull'infrastruttura modellata sia per l'impianto di illuminazione da realizzare in fase di costruzione.



Figura 5.8: Comando Sole e cielo (Autodesk Infraworks)

Trova particolare utilità anche in Autodesk Infraworks la possibilità di avere un primo computo metrico dell'infrastruttura. Infatti, attivando il comando *Tabella dati* dalla toolbar, è possibile aprire la scheda riepilogativa della sezione tipologica del tratto planimetrico selezionato (Figura 5.7).



Figura 5.9: Comando Tabella dati e scheda riepiloga (Autodesk Infraworks)

comando Quantità di materiale dalla scheda Attivando il precedentemente aperta, Autodesk Infraworks permette di vedere ed esportare in un file .csv le quantità di materiale in scavo e rilevato della tratto planimetrico selezionato in una tabella riepilogativa di facile lettura (Figura 5.8). In particolare, in questa scheda riassuntiva è possibile visualizzare la progressiva iniziale e finale del tratto selezionato, le lunghezze, aree ed i rispettivi volumi delle varie componenti che caratterizzano l'infrastruttura viaria (Corsia, banchina).



Figura 5.10: Scheda riepilogativa della quantità di materiale (Autodesk Infraworks)
Il grande vantaggio che offre Autodesk Infraworks, oltre al rendering, è senza dubbio la possibilità di salvare in formato SQLite^[20]. Il formato .sqlite, consentendo la gestione e archviazione di dati in formato .ifc, permette, seppur con qualche défaillance, lo scambio di file tra i software diversi. Infatti, il formato .ifc è un particolare formato di dati che consente l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati o informazioni. Si tratta di un formato file aperto, neutrale, non controllato da singoli produttori software, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari utenti. Un ulteriore vantaggio che offre Autodesk, con il suo software di modellazione preliminare Infraworks, è quello di avere sia la possibilità di salvare i file in un cloud personale sia la possibilità di rendere pubblico il proprio file agli altri utenti. Tutto ciò significa che il progettista oltre a lavorare allo stesso progetto da postazioni di lavoro diverse può anche adare la possibilità ad altri utenti di modificare il file, una volta reso pubblico. Questo è un ulteriore passo in avanti di Autodesk nell'interoperabilità e nel libero scambio di file tra i suoi utenti.

5.3 Benchmark dei modelli infraBIM sviluppati

Conclusa la fase di modellazione preliminare con i due software Openroads Concept Station e Autodesk Infraworks si è deciso di sviluppare un benchmark sia tra le due software-house sia tra i due software utilizzati per lo sviluppo dei modelli realizzati in fase preliminare. In particolare, per la realizzazione di questo benchmark si

^[20] SQLite: è un sistema di gestione di database relazionali senza server a dominio pubblico (DBMS) per molteplici piattaforme, usate sia in modo integrato che da sole (filetypeadvisor.com).

è dato particolare peso a quelli che risultano essere gli elementi e le funzioni cardine di questi due software, ovvero:

- Interfaccia grafica. Valutata in termini di comprensione del software da parte di un utente principiante.
- Progettazione degli elementi planimetrici e altimetrici. Valutata sia in termini di strumenti sia in termini di modellazione dei vari elementi planimetrici (Curve, clotoidi e rettifili) e altimetrici (Inserimento di vertici altimetrici, curve altimetriche paraboliche e/o circolari).
- Progettazione delle opere d'arte. Valutata sia in termini di strumenti sia in termini di modellazione delle varie opere d'arte che possono essere presenti in un'infrastruttura viaria (Ponti, viadotti, tombini, cavalcavia, sottopassi, etc.).
- Gestione dei file. Valutata come la possibilità di poter gestire lo stesso file da postazioni di lavoro differenti e di conseguenza anche da utenti diversi.
- Interscambio dei formati. Valutato come la possibilità di poter scambiare il file sia con software della stessa software-house ma anche con programmi di diverse software-house.

Dall'esperienza di progettazione preliminare si è visto che le due software-house, Bentley Systems e Autodesk risultano equivalenti per quanto riguarda l'interfaccia mentre risulta nettamente migliore Autodesk sia per la gestione dei file sia per quanto riguarda l'interscambio dei formati. Ciò è sicuramente dovuto oltre che al diverso formato utilizzato dalle due software-house (formato .dgn per Bentley Systems e formato .dwg per Autodesk) anche alla mancata collaborazione, fino al giorno d'oggi, di Bentley Systems al programma "OpenBIM" dell'associazione "buildingSMART" (vedi § 2.4). Di seguito, invece, si riporta il benchmark sviluppato tra i due software utilizzati in fase di progettazione preliminare: OpenRoads Concept Station e Autodesk Infraworks (Tabella 5.1).

Tabella 5.1: Benchmark tra i due software di progettazione preliminare: OpenRoads Concept Station (Bentley Systems) e Infraworks (Autodesk)

BENCHMARK TRA SOFTWARE PER LA PROGETTAZIONE PRELIMINARE



Come si può vedere dall'immagine i due software risultano essere equivalenti solo nella valutazione del computo metrico. Infatti, se con OpenRoads Concept Station risulta più facile la modellazione delle sezioni tipologiche non avendo alcun legame con le normative, Autodesk Infraworks risulta migliore per quello che concerne la gestione dei file e il loro scambio. Inoltre, come già detto precedentemente, Autodesk Infraworks risulta anche essere un software sviluppato per una possibile renderizzazione del progetto.

Dai risultati ottenuti dai due benchmark sviluppati, si è deciso di proseguire la modellazione definitiva utilizzando i programmi della software-house Autodesk. In particolare, si è deciso di utilizzare il software Autodesk Civil 3D nella versione 2020.

5.4 Autodesk Civil 3D

Autodesk Civil 3D è la soluzione per l'ingegneria civile che supporta la metodologia BIM per la software-house Autodesk.



Figura 5.11: Logo Autodesk Civil 3D 2020 (Autodesk.com)

Specializzato nella progettazione di infrastrutture, fornisce potenti funzionalità per la modellazione dinamica di strade, ferrovie, scarpate, scavi, condotte e reti in pressione, secondo gli standard normativi, oltre a permettere la produzione accurata e completa della documentazione di progetto.

Questo software, include svariati strumenti di analisi e verifica dei modelli e può essere completato da numerose estensioni per aumentare la produttività nella modellazione di ponti, creazione di layout ferroviari, gestione dei dati geotecnici, simulazione di alluvioni e gestione di acque meteoriche.

Per tale motivo, Autodesk Civil 3D si rivela un prodotto estremamente valido per tutte le esigenze di progettazione e gestione nel settore dell'ingegneria civile. È, inoltre, possibile collegare in modo dinamico superfici, sezioni trasversali, profili e molti altri elementi, rendendo più veloce e semplice valutare diverse alternative, prendere decisioni rapide e produrre planimetrie aggiornate. Questo software riesce ad integrare l'intero processo di progettazione: dal rilievo iniziale alla produzione delle planimetrie esecutive, fino alla creazione di scarpate e alla preparazione dell'area di cantiere.

Le sue versioni più recenti permettono di creare delle vere e proprie "relazioni intelligenti" tra gli oggetti di progettazione quali punti, superfici, strade. Ciò significa che se una parte del modello viene modificata tutte le altre parti ad esso associate vengono aggiornate in modo dinamico e immediato. Ad esempio, se si modifica lo sviluppo planimetrico, i profili, il modello stradale, le sezioni trasversali e il disegno finale vengono aggiornati automaticamente.

Sicuramente, le varie funzionalità di collaborazione e di interoperabilità con altri software (Revit, Infraworks, etc.) di cui è dotato questo software risultano essere fondamentali sia per una migliore coordinazione del team di progettazione sia per il superamento del workflow^[21] delle infrastrutture civili.

^[21] Workflow: con questo termine si indica la gestione dei processi lavorativi attraverso la creazione di modelli al fine di raggiungere specifici obiettivi (/brainlead.it).

MODELLAZIONE INFRABIM PER UN LIVELLO DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Capitolo 6

Modellazione infraBIM per un livello di progettazione definitiva

Conclusa la modellazione preliminare e sviluppato il benchmark tra le due software-house di cui sono stati utilizzati i software si è proceduto con l'applicazione della modellazione BIM nella fase di progettazione definitiva. Come visto nel capitolo precedente e dall'analisi del benchmark sviluppato per confrontare i programmi delle due softwarehouse, Autodesk è risultata essere quella che, allo stato attuale, risponde in maniera migliore per l'applicazione della metodologia BIM ad un livello di progettazione preliminare.

Nel capitolo seguente verrà descritta la procedura applicata con il software Autodesk Civil 3D volta ad ottenere un percorso utile all'applicazione della metodologia BIM per il passaggio ad un livello di progettazione più dettagliato come quello definitivo/esecutivo. A tal proposito si è deciso di sviluppare la modellazione partendo dal modello generato precedentemente con Autodesk Infraworks (vedi § 4.2).

6.1 Modellazione BIM con Civil 3D

In questo paragrafo si riporta la descrizione della procedura utilizzata con il software infraBIM Autodesk Civil 3D nella versione 2020, per la modellazione a livello definitivo.

Questo software permette sia la progettazione di una nuova infrastruttura stradale e/o ferroviaria sia la modifica di elementi infrastrutturali importati da altri software. Il software presenta un'interfaccia grafica semplice e intuitiva ricca di molteplici funzioni di progettazione. Inoltre, come si può vedere dall'immagine successiva (Figura 6.1) l'interfaccia di Autodesk Civil 3D ricorda molto quella del software CAD più utilizzato di sempre Autodesk AutoCAD. Di quest'ultimo infatti presenta le stesse tool di elementi base, che è possibile richiamare con le medesime icone e comandi.



Figura 6.1: Interfaccia iniziale (Autodesk Civil 3D)

La toolbar principale di Autodesk Civil 3D, rispetto ad Autodesk AutoCAD, presenta diversi strumenti propri della progettazione infrastrutturale (Figura 6.2).

💦 🛋 🗁 🖽 🖪	🗄 🖶 🛧 • 🔶 • 🌞 o	ivil 3D	+ +		Disegno1.dwg
cao Inizio Inseris	ci Annota Modifica /	Analizza Vista	Gestisci Output	Rilievo Fe	rrovia Trasparente I
🔨 😼	🛷 Punti -	📑 Particella 🔹	😁 Tracciato	,- 🌸-	<u>14</u> -
Area strumenti	🏕 Superfici 🔹	Linea caratte	ristica 🔹 🕍 Profilo 🤹	· 📲 -	-5
	하 Poligonale *	式 Scarpata 🔹	🗽 Modella	tore - 🎵 -	<u>ist</u> •
Tavolozze 👻	Crea dati di profili terreno 🔻		Crea progetto 🔫		Viste profilo e sezione
Inizia	Disegno1 × +				

Figura 6.2: Strumenti di progettazione infrastrutturale (Autodesk Civil 3D)

6.1.1 Download Country Kit Italia

La software-house Autodesk dà la possibilità di poter inserire la normativa del Paese in cui si progetta. Pertanto, dal sito *Autodesk.com*, una volta inserite le proprie credenziali, è stato possibile procedere con il download del Country Kit Italia (Figura 6.3).

Kit F	Kit Paese 2020						
	Kit Paese Italia per Autodesk® Civil 3D® 2020 (msi)						
	Note di rilascio per Autodesk® Civil 3D® 2020 Country Kits (htm)						
Þ	Documentazione Kit Paese 2020 - Italia (italiano) (pdf)						

Figura 6.3: Download Country Kit Italia (Autodesk.com)

L'inserimento del Country Kit Italia risulta essere fondamentale, perché in questo modo Autodesk permette di superare il limite dovuto all'assenza della normativa italiana presente nella precedente modellazione in Infraworks. Una volta scaricato il Country Kit, è possibile visualizzare il suo corretto inserimento all'interno del software tramite il comando *Riquadro degli strumenti* che si attiva dal tool *Area strumenti* (Figura 6.4).



Figura 6.4: Comando Riquadro degli strumenti (Autodesk Civil 3D)

6.1.2 Import del modello di Autodesk Infraworks

Una volta eseguito il download del Country Kit, si è svolta la procedura di import del modello preliminare precedentemente realizzato con Autodesk Infraworks.

Nelle versioni più recenti, Autodesk Civil 3D dà la possibilità ai suoi utenti di poter importare il modello in modo diretto senza la necessità di passare da altri software e/o di convertire il file in altri formati. Questo risulta essere sicuramente un passo in avanti della software-house in termini di interoperabilità e libero scambio di file.

In particolare, è il comando *Infrawork* del tool *Inserisci* (Figura 6.5), che permette l'import diretto del modello precedentemente realizzato.



Figura 6.5: Comando Infraworks (Autodesk Civil 3D)

Una volta attivato il comando, stato file è selezionato il "Progetto preliminare", precedentemente salvato Autodesk in Infraworks, per l'importazione in Autodesk Civil 3D. Durante questa fase sono state settate anche le impostazioni del sistema di riferimento per poter importare le coordinate del terreno.

In particolare, per la georeferenziazione di questo progetto sono state scelte le coordinate del sistema di riferimento UTM84-32N^[22] (Figura 6.6).

 $^{^{[22]}}$ UTM84-32N: Codifica di Autodesk Civil 3D per riferir
si al sistema di riferimento WGS 84.

Il WGS84 (World Geodetic System 1984) è un sistema di coordinate geografiche geodetico, mondiale, basato su un ellissoide di riferimento elaborato nel 1984. Esso costituisce un modello matematico della Terra da un punto di vista geometrico, geodetico e gravitazionale, costruito sulla base delle misure e delle conoscenze scientifiche e tecnologiche disponibili al 1984.

Apri modello di InfraWorks 🛛 🗙
Modello InfraWorks
_A\Desktop\Angelo18_07\Infraworks\Progetto_preliminare.sqlite
Sistema di coordinate
Sistema di coordinate modello InfraWorks:
DBCS: LL84
UCS: LL84
Sistema di coordinate Carta di Civil 3D:
UTM84-32N
Imposta un sistema di coordinate
Il sistema di coordinate della Carta è compatibile con il sistema di coordinate del modello di InfraWorks.
•
Area di selezione
Estensioni del modello InfraWorks
Utilizzare l'opzione "Area di
contenente gli oggetti
desiderati.
O Area di interesse
Seleziona area
Impostazioni oggetto
C:\ProgramData\Autodesk\C3D 2020\ita\Data\InfraWorks Object
All Objects.xml
Gruppo di selezione
Affina gruppo di selezione
Apri modello Annulla Guida

Figura 6.6: Scelta del modello da importare (Autodesk Civil 3D)

Una volta settate tutte le impostazioni, si è proceduto con l'apertura del modello. In esso sono visibili tutti gli elementi infrastrutturali realizzati precedentemente nel modello preliminare (Figura 6.7).



Figura 6.7: Modello scaricato (Autodesk Civil 3D)

In modo particolare, Autodesk Civil 3D riconosce tutti gli attributi (progressive, quote, diametri, numero di corsie, etc.) dell'infrastruttura precedentemente modellata con Autodesk Infraworks (Figura 6.8).



Figura 6.8: Particolare modello scaricato (Autodesk Civil 3D)

Come si nota dalle immagini soprastanti, il software assegna in automatico dei *layers* di colore diverso per i vari elementi dell'infrastruttura.

6.2 Modellazione profilo planimetrico

Una volta importato il modello da Autodesk Infraworks, è stata condotta l'analisi dei vari elementi in modo tale da apportare modifiche qualora necessario.

Nel modello importato in Autodesk Civil 3D sono presenti tutti gli errori geometrici dovuti alla mancanza del Country Kit Italia nella precedente fase di progettazione preliminare. In accordo alla normativa italiana, "Decreto 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali (GU n.170 del 24-7-2006)", si è deciso di sviluppare la progettazione planimetrica definitiva per elementi: archi e nodi (Figura 6.9).



Figura 6.9: Classificazione archi e nodi (Decreto ministeriale 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali (GU n.170 del 24-7-2006)).

6.2.1 Modellazione archi

Come visto precedentemente (vedi § 4.2.2), nella modellazione preliminare con Autodesk Infraworks, non avendo a disposizione il Country Kit Italia, è stata utilizzato il Country Kit UK (English). Ciò ha comportato l'utilizzo di sezioni tipologiche proprie della normativa UK che risultano essere diverse da quelle descritte ed imposte dalla normativa italiana.

Avendo a disposizione il Country Kit Italia all'intero di Autodesk Civil 3D, si è deciso di modellare le sezioni tipologiche al fine di poter compensare e correggere la modellazione delle stesse in fase preliminare.

In accordo con DM 6792 del 05/11/2001 (*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*), per il tracciato in progetto si è ricostruita la sezione tipologica di una strada extraurbana locale di categoria F1 (Figura 6.10).



Figura 6.10: Strada Categoria F1 (Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti prot. n. 6792)

La modellazione della sezione tipologica è stata realizzata con il comando *Crea sezione tipo* del tool *Crea progetto* (Figura 6.11).



Figura 6.11: Comando Crea sezione tipo (Autodesk Civil 3D)

Una volta attivato il comando, la presenza del Country Kit Italia, permette l'inserimento immediato, con le caratteristiche standard, della sezione tipo relativa alla categoria di strada da modellare. In particolare, si è scelto di utilizzare una strada a doppia falda in unica careggiata, mentre come sezione tipologica è stata scelta quella di una strada di Categoria F_1 extraurbana (Figura 6.12).

Crea sezione tipo X	20C2	<
Nome: ramo_principale	Cat. A - extraurbane	2
Descrizione:	A(E)-2x(3c+em)	
^	A(E)-2x(2c+em+Sserv_2c)	
~	e e Gat. B - extraurbane	
Tipo di sezione tipo:	B(E)-2x(2c)	
Strada a doppia falda, unica carreggiata $\qquad \qquad \lor$	B(E)-2x(3c)	rties
Stile sezione tipo:	B(E)-2x(2c+Sserv_2c)	Prope
🔒 Standard 🗸 🗸 🔽	B(E)-2x(2c+Sserv_1c)	
Stile serie codici:	eventer Cat. C - extraurbane	
🗄 Standard 🗸 🧖 🗖	C1(E)-2x(1c)	
Layer sezione tipo:	-95. C2(E)-2x(1c)	
0	Cat. F - extraurbane	
	5 5 5 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	
OK Annulla Guida	≝ F1(E)-2x(1c)	L

Figura 6.12: Scelta sezione tipo (Autodesk Civil 3D)

Una volta scelta la sezione tipo, sono stati settati tutti i suoi parametri in modo da renderla quanto più conforme possibile a quella realizzata in CAD.



Figura 6.13: Settaggio dei parametri della sezione tipo (Autodesk Civil 3D)

Successivamente, si è assegnata la stessa all'asse planimetrico importato da Autodesk Infraworks tramite il comando *Modellatore* del tool *Crea progetto* (Figura 6.14).



Figura 6.14: Comando modellatore (Autodesk Civil 3D)

Con questa procedura è stata assegnata la sezione tipo di una strada di categoria F1 a tutto l'asse planimetrico modellato in fase preliminare con Autodesk Infraworks e importato in Autodesk Civil 3D. Così facendo si va in contro al problema della presenza di eventuali allargamenti in curva (allargamenti per visibilità). Infatti, con il comando *Modellatore*, il software assegna la sezione scelta all'intero asse planimetrico non considerando gli eventuali allargamenti previsti per le successive verifiche di visibilità. Già in questa fase, è possibile prevedere degli allargamenti per l'iscrizione dei veicoli in curva. In particolare, partendo dall'asse planimetrico importato da Autodesk Infraworks, per risolvere il problema della geometria della sezione è possibile creare dei tracciati di scostamento tramite il comando *Crea tracciato di scostamento* presente nel tool *Crea progetto* (Figura 6.15).



Figura 6.15: Crea tracciato di scostamento (Autodesk Civil 3D)

Una volta attivato il comando sono state settate le impostazioni per la realizzazione dei tracciati di scostamento, in accordo alle caratteristiche geometriche imposte dalla normativa italiana. Essendo una strada di categoria F, partendo dall'asse planimetrico si è impostato uno scostamento di 3,5 m da sinistra e da destra. Inoltre, in previsione degli eventuali allargamenti in curva è stato imposto uno scostamento relativo all'allargamento in curva per l'iscrizione dei veicoli (Figura 6.16).

racciato a scostamento da:		Tracciato a scostamento da:			
"⊃ 227	~ 🖬	TD 227 ~			
Modello nome scostamenti:		Modello nome scostamenti:			
<[Nome di tracciato principale(CF	P)]>-<[Lato]>-<[Distanza di	<[Nome di tracciato principale(C	P)]>-<[Lato]>-<[Distanza di		
Intervallo progressive		Intervallo progressive			
🗹 Da inizio	🖂 A fine	🖂 Da inizio	A fine		
0+000.00m	2+429.60m	0+000.00m	2+429.60m		
N. di scostamenti a sinistra:	N. di scostamenti a destra:	N. di scostamenti a sinistra:	N. di scostamenti a destra:		
1	1	1	1		
Scostamento incrementale a sinistra:	Scostamento incrementale a destra:	Scostamento incrementale a sinistra:	Scostamento incrementale a destra:		
		A Destruction of the second	3.500m		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata:	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di allargamento Aggiungi allargamento attorn Specifica allargamento attrav	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve erso standard di prog.		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: Stile tracciato:	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di allargamento Aggiungi allargamento attorn Specifica allargamento attrav File dei criteri di progettacione	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve erso standard di prog. tracciato principale:		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: (Nessuno> Stile tracciato: () () () () () () () () () ()	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di ellargamento Aggiungi allargamento attorn Dispecifica allargamento attrav Pille dei criteri di progettactore Proprietà	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve erso standard di prog tracciato principale: Valore		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: (a) <nessuno> Stile tracciato: (a) Officiet Layer tracciato:</nessuno>	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di ellargamento ⊘ Aggiungi ellargamento attorn ⊘ Specifica ellargamento attrav Pile dei criteri di progettazione Proprietà Metodo di ellargamento	3.500m Crea profilo sostamento o alle curve ereso standard di prog. tracciato principale Valore		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: Stile tracciato: C-ROAD	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di allargamento Aggiungi allargamento attorn Specifica allargamento attrav File dei criteri di progettacione Proprietà Metodo di allargamento Allargamento da applicare a	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve erso standard di prog. tracciato principale: Valore Solo interno		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: Stile tracciato: Criteris Layer tracciato: C-ROAD Serie di etichette tracciato:	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di allargamento Aggiungi allargamento attorn Specifica allargamento attrav Filie dei criteri di progettacione Proprietà Metodo di allargamento Allarga	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve erso standard di prog. tracciato principale: Valore Solo interno		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: Criteri di allargamento Area delimitata: Creaciato: C-ROAD Serie di etichette tracciato: C-ROAD Serie di etichette tracciato: C-ROAD	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di ellargamento Aggiungi allargamento attorn Specifica allargamento attore Pible dei criteri di progettacione Proprietà Metodo di allargamento Allargamento Allargamento da applicare a Tabelle roggio minimo © Specifica l'allargamento man	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve erso standard di prog tracciato principale: Valore Solo interno ualmente		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: Stile tracciato: C-ROAD Serie di etichette tracciato: Serie di etichette tracciato: Serie di etichette tracciato:	3.500m Crea profilo scostamento Crea profi	3.500m Generale Criteri di ellargamento Aggiungi allargamento attorn Specifica allargamento attore Pible dei criteri di progettacione Proprietà Metodo di allargamento Allargamento Allargamento Allargamento antobellargagi innime Especifica l'allargamento man Aumento Iarghezza: 1.000m	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve ereso standard di prog t tracciato principale Valore Solo interno unghezza transizone: 20.000m		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata:	3.500m Crea profilo scottamento	3.500m Generale Criteri di allargamento Aggiungi allargamento attrav File dei criteri di progettazione File	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve ereso standard di prog. tracciato principale: Valore Solo interno ualmente Lunghezza transzione; 20.000m progettazione		
3.500m Generale Criteri di allargamento Area delimitata: Criteri di allargamento Area delimitata: Criteri di ettericato: C-ROAD Serie di ettericetta tracciato: CRI Labels	3.500m Crea profilo scostamento	3.500m Generale Criteri di allargamento Aggiungi allargamento attorn Specifica allargamento attoru Filie dei criteri di progettacione Froprietà Metodo di allargamento Allargamento da applicare a Tabella raggio minmo Specifica l'allargamento man Aumento Specifica l'allargamento Specifica l	3.500m Crea profilo scostamento o alle curve erso standard di prog. tracciato principale: tracciato principale: Solo interno ualments Lunghezza transizione: 20.000m progettazione		

Figura 6.16: Settaggio impostazioni per i tracciati di scostamento (Autodesk Civil 3D)

6.2.2 Modellazione nodi

Una volta creati i tracciati di scostamento rispetto all'asse planimetrico, ci si è concentrati sulla modellazione dei nodi, ed in particolare delle intersezioni a rotatoria. Queste, infatti, non avendo usato il Country Kit Italia in Autodesk Infraworks nella fase di progettazione preliminare, non risultano conformi a quelle previste dalla normativa italiana. In particolare, il D.M. del 19 aprile 2006 classifica le rotatorie in base al diametro della circonferenza (Figura 6.17).

4.5 Intersezioni a rotatoria

4.5.1 Tipologie

Si considerano tre tipologie fondamentali di rotatorie in base al diametro della circonferenza esterna (limite della corona rotatoria, in riferimento alla Figura 10):

- rotatorie convenzionali con diametro esterno compreso tra 40 e 50 m;

- rotatorie compatte con diametro esterno compreso tra 25 e 40 m;
- mini rotatorie con diametro esterno compreso tra 14 e 25 m.

Per sistemazioni con "circolazione rotatoria", che non rientrano nelle tipologie su esposte, il dimensionamento e la composizione geometrica debbono essere definiti con il principio dei tronchi di scambio tra due bracci contigui. In questi casi le immissioni devono essere organizzate con appositi dispositivi.

Un ulteriore elemento distintivo tra le tre tipologie fondamentali di attrezzatura rotatoria è rappresentato dalla sistemazione dell'isola circolare centrale, che può essere resa in parte transitabile per le manovre dei veicoli pesanti, nel caso di mini-rotatorie con diametro esterno compreso fra 25 e 18 m, mentre lo diventa completamente per quelle con diametro compreso fra 18 e 14 m; le rotatorie compatte sono invece caratterizzate da bordure non sormontabili dell'isola centrale.

Figura 6.17: Classificazione rotatorie (Decreto ministeriale 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali (GU n.170 del 24-7-2006)).

Dovendo progettare rotatorie con diametri di 67 m e 61 m si è nella tipologia di intersezioni con "circolazione rotatoria" (Figura 6.17).

Per tale motivo, si è deciso in un primo momento di eliminare le tre rotatorie importate dal modello preliminare di Auotdesk Infraworks e di realizzarle ex novo in Autodesk Civil 3D impostando i parametri delle rotatorie come da progetto e da normativa.

La modellazione delle rotatorie in Autdesk Civil 3D avvine tramite il comando *Crea rotatoria* del tool *Crea progetto* (Figura 6.18), con il quale è possibile, una volta scelta la tipologia di rotatoria, settare tutti i parametri.



Figura 6.18: Comando Crea rotatoria (Autodesk Civil 3D)

Il Country Kit Italia in Autodesk Civil 3D per quanto concerne l'inserimento delle rotatorie contiene al suo interno il D.M 19/04/2006, ma solo in senso stretto: permette l'inserimento delle sole tre tipologie di rotatorie riconosciute dalla normativa senza prevedere quelle che sono le "sistemazioni con circolazione rotatoria" (Figura 6.19).



Figura 6.19: Rotatorie del D.M. 19/04/2006 presenti nel Country Kit Italia (Autodesk Civil 3D)

Ciò significa che Autodesk Civil 3D non consente la modellazione di rotatorie che non rientrino in queste tipologie con il D.M. 19/04/2006 del Country Kit Italia.

All'interno del Country Kit Italia sono però presenti anche delle normative regionali che permettono l'inserimento di rotatorie con caratteristiche e parametri diversi da quelli previsti dal D.M. 19/04/2006. In particolare, all'interno del Country Kit Italia sono presenti oltre al D.M. 19/04/2006 anche "Linee Guida per la progettazione e la verifica delle intersezioni a rotatoria-Provincia di Padova" e "Zone di Intersezione-Linee Guida Regione Lombardia".

Pertanto, avendo un diametro rispettivamente di 67 m per la rotatoria A e di 61 m per le rotatorie B e C, si è deciso di usare, partendo dal *"Italian Junction Design Standards"*, la *Grande rotatoria a singola* corsia in ingresso (D 50-70 m) all'interno del kit "Zone di Intersezione – Linee Guida Regione Lombardia" (Figura 6.20).



Figura 6.20: Scelta del tipo di rotatoria (Autodesk Civil 3D)

Selezionata il tipo di rotatoria, sono stati poi settati tutti i parametri delle rotatorie in accordo con quanto riportato nel progetto sviluppato in CAD.

Dal momento che l'impostazione dei parametri della rotatoria non risulta essere libero ma vincolato, non è stato possibile settare tutti i valori delle rotatorie come da progetto. In particolare, il valore del diametro del cerchio inscritto risulta essere vincolato sia al valore del diametro dell'isola centrale sia al valore della larghezza della banchina interna sormontabile.

Per tale motivo, per quanto riguarda la rotatoria C si è deciso di mantenere un diametro di 61 m per il cerchio inscritto e un diametro di 46 m dell'isola centrale come da progetto mentre è stato impostato un valore di larghezza della banchina interna sormontabile pari a 0,5 m a fronte dell'assenza di banchina sormontabile prevista in progetto (Figura 6.21).

Dettagli nuova rotatoria				
Generale				
Nome	Rotatoria C			
Descrizione				
Note				
Calcola quote altimetriche	V			
Standard utilizzato	Grande Rotat	toria a singola	corsia in ingr	
		Min	Max	
Diametro cerchio inscritto	61.0	50.0	70.0	
Diametro isola centrale	46.0	32.0	50.0	
Larghezza banchina interna sormontabile	0.5	0.0	0.0	
Corone giratorie	1 v	1	1]
Aspetto				
Stile di disegno	Light Colours	for Dark Back	arounds 🗸	
			,	
Superficie				
Superficie esistente	(Non definito)		~	
Superficie finale	(Non definito)		~	
Proietta piano su superficie finale				
_				
	OK	Annulla	?	

Figura 6.21: Settaggio dei parametri della rotatoria C (Autodesk Civil 3D)

Una volta definiti tutti i parametri della rotatoria sono stati selezionati i rami d'ingresso e uscita. Una volta selezionato il ramo si apre una finestra di dialogo che permette il settaggio dei parametri per le corsie di ingresso e uscita. Come da progetto, è stata impostata un'unica corsia di ingresso ed uscita con una larghezza di 3,50 m per la corsia d'ingresso e una larghezza di 4,5 m per la corsia d'uscita (Figura 6.22).

Nuovo braccio				
Generale				
Nome	Braccio 1 - 23	32		
Descrizione				^
				~
Note				^
Usa quota altimetrica di	Profilo: 232			
Ramo in ingresso della strada				
Scostamento tracciato	0.0			
		Min	Max	
Larghezza spazio centrale	0.0			
Ingresso: Corsie	1 v			7
Larghezza corsia	3.75	3.5	4.5	
Uscita: Corsie	1 ~			
Larghezza corsia	4.5	4.5	5.5	

Figura 6.22: Settaggio dei parametri per i rami delle rotatorie (Autodesk Civil 3D)

Di seguito si riporta il particolare della rotatoria C realizzata con Autodesk Civil 3D (Figura 6.23).



Figura 6.23: Particolare rotatoria C (Autodesk Civil 3D)

Per poter modellare una rotatoria come da progetto, considerando le possibili deroghe ricevute dagli enti pubblici, Autodesk Civil 3D permette la modellazione della rotatoria senza dover scegliere tra le tipologie disponibili nei vari Country Kit. Ovviamente, questa procedura oltre a richiedere dei tempi di progettazione più lunghi risulta essere anche meno automatizzata della precedente. In particolare, si è prima proceduto con la realizzazione di un cerchio di diametro pari a quello della rotatoria tramite il comando *Cerchio* (Figura 6.24).



Figura 6.24: Comando Cerchio (Autodesk Civil 3D)

Successivamente, tramite il comando *Crea tracciato da oggetto* è stato modellato un tracciato partendo dal cerchio realizzato in precedenza (Figura 6.25).



Figura 6.25: Comando Crea tracciato da oggetti (Autodesk Civil 3D)



Figura 6.26: Tracciato circolare realizzato (Autodesk Civil 3D)

Successivamente, in relazione alla sezione tipo di una strada di categoria F2 presente nel Country Kit Italia, sono state modellate le sezioni tipo delle rotatorie inserendo i parametri propri delle rotatorie come da progetto e normativa. In particolare, si è realizzata una sezione tipo con una corsia dell'anello di circolazione di 6,00 m, una banchina esterna di 1,0 m ed una banchina interna pari a 0,5 m (Figura 6.27).



Figura 6.27: Sezione tipo rotatoria (Autodesk Civil 3D)

Una volta modellata la sezione tipo si è proceduto con la definizione del profilo altimetrico tramite i comandi *Crea profilo superficie* e *Disegna nella vista profilo* (Figura 6.28).

👫 Particella 🝷	🐮 Tracciato 👻 🐗 🔹 🔛	Crea profilo de superficie	×
⊅ Linea caratteristica + Scarpata + Crea pi	Profilo • 👫 • 🥣	Tracoato: □ Relationa Intervalo progressive Tracoato: ↓ W Science, Ground ↓ Attra / proposed_ Ground ↓ Attra / proposed_ Ground ↓ Attra / proposed_ Ground	
getto_definitivo_civil3D* 🗙	Strumenti di creazione profilo	Inizio: Fine: 0+000.00m 0+191.59m	
[Wireframe 2D]	Crea profilo di adattamento	De campionare: 0+000.00m 0+191.59m Agglu Agglu	ngi>>
	Crea profilo da file	Elenco profil: Nome Descritorie Tipo Origine dati Scostam Modalità Layer Stile Progressiva	Quo
	Profilo rapido	AW_EM Ma Columbu Colore Source Colline State	im 38.4
	Crea profilo sovrapposto		
	Crea profilo da modellatore	< Rinuovi Disegna nella vista profilo OK Annulla :	> ?

Figura 6.28: Comandi Crea profilo superficie e Disegna nella vista profilo (Autodesk Civil 3D)



Figura 6.29: Profilo rotatoria (Autodesk Civil 3D)

Successivamente, tramite il comando Modellatore (Figura 6.30) si è proceduto ad associare la sezione tipo e il profilo al tracciato circolare precedentemente realizzato.



Figura 6.30: Comando Modellatore (Autodesk Civil 3D)



Figura 6.31: Particolare Modellatore rotatoria C (Autodesk Civil 3D)

Infine, tramite il comando *Calcola/modifica sopraelevazione*, si è proceduto con l'assegnazione della sopraelevazione (Figura 6.32).



Figura 6.32: Comando Calcola/modifica sopraelevazione

:s::	* + 🗙 🍝 🚳 ·	∽ ∂								Z 2
e Curva	a di sopraelevazione	Progressiva	Progressiv	Lungh	Sovrap	Banchina esterna si	Corsia esterna sinist	Corsia esterna destra	Banchina esterna d	
	Curva.1									
e e	- Regione di transizione in i	-0+038.50	0+011.00*	49.500m						
	😑 Rampa di rotazione a f	-0+038.50)3	-0+022.0	16.500m						
	— Termina sezione in	-0+038.50 🖧				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	
	Colmo stradale a li	-0+022.00 🆓				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	
	Scorrimento	-0+022.00 🐴	0+011.00	33.000m						
	Colmo stradale a li	-0+022.00)}				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	
	 Curva iniziale 	0+000.00m 🖧								
ic i	Inizia sopraelevazio	0+011.00m 🐴				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	
t é	Regione di transizione in u	0+180.59m 🖏	0+230.09	49.500m						
	Scorrimento	0+180.59m 🖏	0+213.59*	33.000m						
	 Termina sopraeleva 	0+180.59m 🖏				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	
	Curva finale	0+191.59m 🖏								
	Colmo stradale a li	0+213.59m 🖏				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	
	🚊 Rampa di rotazione a f	0+213.59m 🖏	0+230.09 "-N	16.500m						
	Colmo stradale a li	0+213.59m 🖧				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	
	Inizia sezione in ret	0+230.09m 🖏				2.00%	-2.00%	-2.00%	-2.00%	

Figura 6.33: Parametri di sopraelevazione (Autodesk Civil 3D)

In particolare, è stata assegnata una pendenza pari al 2% nel rispetto sia di quanto definito nel progetto precedentemente realizzato in CAD sia della normativa. Di seguito si riporta un particolare 2D e 3D della rotatoria realizzata secondo la procedura appena descritta con Autodesk Civil 3D (Figure 6.34 e 6.35). In particolare, nel particolare 3D è possibile vedere l'intersezione della piattaforma stradale con la superficie terreno.



Figura 6.34: Particolare 2D della rotatoria C (Autodesk Civil 3D)



Figura 6.35: Particolare 3D della rotatoria C (Autodesk Civil 3D)

6.3 Benchmark tra modellazione in fase preliminare e fase definitiva

Conclusa la fase di progettazione definitiva è stato sviluppato un benchmark "verticale", per poter meglio definire le potenzialità e le lacune nel passaggio da una progettazione preliminare ad una definitiva con i programmi messi a disposizione dalla software-house Autodesk. Nel passaggio dalla progettazione preliminare a quella definitiva si evince come nel passaggio da Infraworks a Civil 3D Autodesk garantisce un perfetto interscambio dei file. In particolare, risulta molto utile la georeferenziazione del progetto e l'importazione del DTM (Digital Terrain Model) generato mediante di curve di livello. Inoltre, Autodesk Civil 3D riesce a riproporre l'intero solido stradale con tutte le sue informazioni parametriche realizzato precedentemente in fase di progettazione preliminare con Autodesk Infraworks.

Tabella 6.1: Benchmark verticale nel passaggio da Autodesk Infraworks ad Autodesk Civil 3D



BENCHMARK VERTICALE

Per completezza e coerenza con il lavoro svolto in fase di progettazione definitiva è stato sviluppato un ulteriore benchmark tra quanto realizzato in fase preliminare con Autodesk Infraworks e quanto realizzato in fase di progettazione definitiva con Autodesk Civil 3D per l'elemento rotatoria (Tabella 6.2).

Tabella 6.2: Benchmark per l'elemento rotatoria modellato con Autodesk Civil 3D



ROTATORIA

Come si nota dalla tabella soprastante, pur risultando facilmente editabile la rotatoria risulta troppo vincolata dal Country Kit. In particolare, in Italia le rotatorie con diametri maggiori di 45 m vengono progettate come intersezioni a raso con sistemazione circolatoria come da normativa (Decreto ministeriale 19 aprile 2006, Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali) e tale esposto manca nel Country Kit. Per tale motivo, allo stato attuale, a causa della mancanza di adattabilità con la normativa non è possibile progettare a livello definitivo una rotatoria con diametro maggiore di 45 m in modo automatizzato con Autodesk Civil 3D. Tuttavia, è possibile modellare la rotatoria andando a trattare singolarmente i vari elementi che la costituiscono.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente elaborato di tesi nasce con lo scopo di presentare i contenuti propri della progettazione preliminare e definitiva basate sulla metodologia BIM.

L'applicazione della metodologia ad un caso studio reale ha, inoltre, permesso di riscontrare e risolvere problemi pratici dovuti all'adozione della metodologia BIM in una realtà lavorativa che preveda la progettazione di un'infrastruttura viaria.

La tesi è stata sviluppata in più fasi, ognuna delle quali con un preciso obiettivo e con una analisi critica dei risultati ottenuti. In tal modo, è stato possibile definire un vero e proprio impianto metodologico per la progettazione preliminare e definitiva di un'infrastruttura viaria utilizzando la metodologia BIM.

Partendo dalle informazioni del progetto sviluppato in CAD sono stati prodotti i modelli BIM raggiungendo un grado di dettaglio elevato sia a livello geometrico sia a livello di informazioni parametriche.

In tal modo, è stato possibile sviluppare sia un benchmark tra i software (OpenRoads Concept Station e Autodesk Infraworks) utilizzati per la progettazione preliminare di un'infrastruttura viaria.

Dall'analisi del benchmark sviluppato e per gli scopi prefissi, si evince che i software Autodesk risultano essere più adatti ad una progettazione preliminare e definitiva infrastrutturale. Ciò è stato determinato in funzione della loro semplice e intuitiva interfaccia ed alla possibilità di scambiare in modo agevole i loro file (in formato .*dwg* o .*ifc*) con altri programmi,

anche di software-house diverse. Al contrario, Bentley Systems, non utilizzando il formato .*dwg* e/o .*ifc*, risulta essere un "sistema chiuso" tanto da non riuscire a garantire lo scambio di file diretto con programmi di altre software-house.

Per tale motivo, l'utilizzo di diversi software rende chiaro che allo stato attuale non è possibile trattare l'argomento BIM senza l'introduzione del concetto di interoperabilità. Con il termine interoperabilità, nella metodologia BIM, si intende il modo di trasmettere dati nelle diverse fasi di un iter progettuale senza la perdita di informazioni.

Per quanto concerne la fase di modellazione è risultata sicuramente la fase più complessa da portare avanti. Una delle cause più importanti va sicuramente ricercata nella poca adattabilità in termini di normativa che hanno i software.

In conclusione, si può affermare che la metodologia BIM in ambito infrastrutturale, ed in particolare nell'ambito della progettazione di infrastrutture viarie, può essere considerata un'ottima metodologia in grado sia di ridurre le tempistiche di progettazione sia di migliorare la qualità stessa della progettazione sia essa preliminare, definitiva o esecutiva. Per tale motivo, in prospettiva futura risulta molto importante una migliore implementazione dei software soprattutto in termini adattabilità delle normative vigenti.

I limiti riscontrati saranno oggetto di ricerche e sviluppi futuri. Infatti, il fine ultimo del progetto di ricerca di cui fa parte questa tesi sarà quello di raggiungere un processo perfettamente informatizzato e interoperabile per ciò che concerne la progettazione in BIM di un'infrastruttura viaria.
BIBLIOGRAFIA

Bibliografia

Autodesk, A new road for infrastructure projects: Infraworks 360 helps David Evans and Associates plan, sign and comunicate, Infrastructure projects, Portaldn, 2015.

Autodesk, *BIM for Infrastructure: A vehicle for business transformation*, 2012.

Autodesk, Bringing trasportation plans to life: multiconsult AS uses Infraworks foe early planning and visualization of trasportation and infrastructure project, Norway, 2015.

Autodesk, Implementazione del BIM per le infrastrutture: guida alle fasi essenziali, 2015.

Azhar S., Khalfan M., Maqsood, *Building information Modeling (BIM): Now and Beyond*, Australasian Journal of Construction Economics and Building, 2012.

Dalla Mora T., Peron F., Cappelletti F., Romagnoni P., Ruggeri P., Una panoramica sul building information modelling (BIM), Aicarr, Milano, 2014.

Dell'Acqua G., *I-BIM Infrastructure – Building Information Modeling:* stato dell'arte, Napoli, 2016.

Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K., *Il BIM guida completa al Building Information Modeling per committenti, architetti, ingegneri, gestori immobiliari e imprese*, Hoepli, Milano, 2016.

Esposito T. Mauro R., *Fondamenti di infrastrutture viarie: la geometria stradale*, Hevelius, Benevento, 2003.

Hardin B., McCool D., *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*, Wiley, Indianapolis, 2015.

Lombardo S., La direzione dei lavori e la nuova pratica amministrativa e contabile nella esecuzione delle opere pubbliche, Dario Flaccovio Editore, 2016.

Osello A., Ugliotti F. M., *BIM Building Information Modelling Conoscere, digitalizzare, condividere: il caso studio della città di Torino,* Gangemi Editore, Roma, 2017.

Osello A., *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Flaccovio Dario Editore, Torino, 2012.

Osello A., Davardoust S., *The centrality of representation with BIM*, Disegnarecon, Torino, 2016.

Rocca M., Foietta P., *Le infrastrutture al tempo della crisi*, SottoSopraedizioni, Torino, 2013.

Santagata F. A. et al, *Strade teoria e tecnica delle costruzioni stradali vol. 1- progettazione*, Pearson, 2016.

Santagata F. A. et al, Strade teoria e tecnica delle costruzioni stradali vol. 2- costruzione, gestione e manutenzione, Pearson, 2016.

Young Jr. N. W., Jones S. A., Bernstein H. M., Gudgel J. E., *Building Information Modeling: Transforming design and construction to achieve greater industry productivity*, Mc Grow Hill Construction, New York, 2009.

SITOGRAFIA

Sitografia

http://ajccarrieres.com/au-fait-le-bim-cest-quoi/

http://au.autodesk.com/

http://biblus.acca.it/bim-e-ifc-linteroperabilita-tra-i-software-e-il-

buildingsmart-international/

http://biblus.acca.it/bim-e-modello-virtuale-delledificio/

http://biblus.acca.it

http://bim.acca.it/bim-in-europa/

http://forums.autodesk.com/

https://harpaceas.it/

https://www.buildingsmart.org/

https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Level_of_detail_for_BIM

https://www.edilportale.com/news/2017/10/progettazione/bim-lo-stato-

 $dell-arte-in-italia-e-in-europa_60616_17.html$

https://www.enerplan.it/azienda/profilo/bim/

https://www.lavoripubblici.it/news/2019/01/LAVORI-PUBBLICI/21396/Codice-dei-contratti-Obbligo-del-BIM-dall-1-1-2019per-importi-superiori-a-100-milioni-di-euro

RINGRAZIAMENTI

Tra tutte le parti di questo elaborato, sicuramente questa che mi accingo a scrivere è la più faticosa, non tanto per i concetti, quanto per la difficoltà nel riuscire a ringraziare tutte le persone che mi sono state vicine in questo tortuoso percorso universitario.

Innanzitutto, vorrei ringraziare i miei relatori, il *Prof. Ing. Orazio Baglieri* e la *Prof.ssa Ing. Anna Osello* che mi hanno permesso di realizzare questo elaborato, affrontando il tema della progettazione in BIM nell'ambito infrastrutturale.

Un sincero ringraziamento va alla mia correlatrice, l'*Ing. Anna Viola*, per la sua preziosa pazienza durante tutto il lungo periodo di svolgimento della tesi: la mia gratitudine non sarà mai abbastanza.

Un doveroso ringraziamento va a tutti i componenti del fantastico team *"drawing TO the future"* della *Prof.ssa Ing. Anna Osello* per avermi accolto in laboratorio e per aver sempre risolto tutti i miei infiniti dubbi durante questi mesi di tesi.

Il ringraziamento più importante va ai miei genitori, *Pippo* e *Giacoma*, che con i loro sacrifici mi hanno permesso di raggiungere questo fantastico traguardo e a mia sorella *Concetta* (il mio orgoglio più grande) che, nonostante la distanza, non mi ha mai fatto mancare il suo sostegno e la sua presenza.

Un ringraziamento particolare va a tutti coloro che mi hanno accolto in quella che per me, in questi anni, è stata la mia seconda "famiglia": il gruppo "*TuttoPolito*". In particolare, ci tengo a ringraziare Nanni (per le sue preziose "sentenze"), Davide (il mio amico Ccane), Benedetto (la Zecca Rossa), Andrea (il pitbull perennemente nervoso), Davide (il BDM), Antonio (fedelissimo compagno di squadra di beach-volley) e Stefano (meglio noto come Fanni).

Un ringraziamento va anche ai miei colleghi Aldo e Luigi, con i quali ho instaurato un rapporto d'amicizia e affetto basato sulla lealtà e rispetto reciproco.

Ci tengo, inoltre, a ringraziare i miei "amici di una vita" (Filippo, Gabriele, Loris, Mario, Nico, Salvatore, Vittorio, Danilo) che, insieme alla mia amica milanese Lorena e alle "new-entry" (Gianvito e Nicolò) mi hanno sempre sopportato e supportato.

Un sincero ringraziamento va alle persone incontrate nella mia precedente esperienza universitaria di Catania e con le quali abbiamo sempre mantenuto vivo il rapporto di amicizia che ancora oggi ci lega: la mia vicina e avvocatessa Carmen, il mio coinquilino Marco, Jenifer, Andrea, Federica, Tiziana e i miei colleghi Damiano e Danilo.

Un ringraziamento speciale va a tutte quelle persone (come la mia madrina Giacoma, il mio padrino Stefano e i miei vicini di casa) che nonostante la distanza non mi hanno mai fatto mancare il loro affetto e la loro stima.

Un ultimo ringraziamento va a tutte le persone che, nel bene e nel male, ho incontrato fino ad ora: è anche grazie a loro se ho raggiunto questo prestigioso traguardo.

Grazie!