

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

La digitalizzazione delle infrastrutture esistenti con metodologia BIM: il caso del ponte Franco Balbis



Relatore:

(Firma del relatore)

Prof. Ing. Orazio Baglieri

.....

Correlatori:

(Firma dei correlatori)

Prof.ssa Ing. Anna Osello

.....

Ing. Anna Viola

.....

Candidato:

(Firma del candidato)

Simona Masciarelli

.....

25 marzo 2020

*A mio padre e mia madre,
per avermi insegnato a gioire della vita
e ad affrontarla con umiltà e determinazione.*

Abstract

La metodologia BIM (Building Information Modeling) è spesso associata alla sola attività di progettazione e viene trascurato il valore che essa assume quando è applicata all'ambito del costruito.

In Italia, la digitalizzazione del patrimonio esistente risulta di fondamentale importanza specialmente per quelle opere di cui si hanno ancora a disposizione solamente elaborati progettuali cartacei.

L'obiettivo è quello di impiegare la metodologia BIM per documentare opportunamente i manufatti presenti sul territorio e disporre di strumenti che possano portarne ad una conoscenza approfondita.

La presente tesi si concentra su questo aspetto particolare della creazione di modelli digitali con la metodologia BIM per una corretta gestione dei beni esistenti.

In particolare, è stato scelto un caso studio appartenente alla categoria dei ponti presente all'interno dell'archivio storico della società Porcheddu del Politecnico di Torino. Il ponte in questione verrà riprodotto in formato digitale realizzandone il modello con un software BIM a partire dai disegni cartacei reperiti in archivio. Il modello sarà in grado di riprodurre la geometria di tutte le parti strutturali che compongono l'opera e verranno utilizzati altri strumenti per collocare l'infrastruttura all'interno del contesto territoriale a cui appartiene.

Successivamente, verrà elaborato un database informatizzato contenente i dati identificativi dell'infrastruttura e delle sue condizioni di deterioramento. Il database sarà creato a partire dagli strumenti messi a disposizione dai software BIM e fornirà un mezzo tramite il quale tenere traccia dello stato di fatto, delle modifiche e degli interventi che si susseguono nel tempo sul manufatto e tramite il quale sarà possibile garantirne la salvaguardia e la tutela.

Abstract

The BIM (Building Information Modelling) methodology is often only associated with the design phase and the value it assumes when applied to the built environment is neglected.

With regards to Italian context, the digitalization of the existing heritage is essential especially for those buildings of which only paper-based design works are still available.

Also, the goal is to use BIM methodology to properly document the artefacts present on the territory and have tools that can lead to a full knowledge of theme.

This thesis focuses on this latter aspect of the creation of digital models with BIM methodology for the proper management of the existing assets. In order to do this, a case study belonging to the category of bridges and present inside the historical archive of the Porcheddu company of the Polytechnic of Turin is chosen. This bridge will be reproduced in digital format by making a model with a BIM software from the paper drawings found in the archive. The model will be able to reproduce the geometry of all the structural parts that make up the infrastructure and other tools will be used to place it within the spatial context to which it belongs.

Later, a database of the infrastructure, containing identification and deterioration conditions data will be also developed. This will be created by using BIM software tools and will provide a means through which keep tracking of the actual, the modifications and the measures that are successive in time on manufactured and through which will be possible to guarantee the safeguard and the protection of it.

Indice

Indice	i
Indice delle figure.....	v
Introduzione	3
1 Metodologia BIM.....	9
1.1 Cos'è il BIM	9
1.1.1 Il passaggio dal CAD al BIM.....	14
1.1.2 Origini e sviluppi del BIM	18
1.1.3 Il BIM in Europa e nel mondo.....	21
1.1.4 Il BIM in Italia.....	23
1.2 L'InfraBIM.....	25
1.2.1 Generalità	25
1.2.2 Tipologie di infrastrutture.....	27
1.2.3 Evoluzione scientifica dell'InfraBIM.....	31
2 Software BIM.....	37
2.1 Software Autodesk	40
2.1.1 Autodesk Revit.....	41
2.2 Software Bentley Systems	43
2.2.1 OpenRoads ConceptStation.....	45
2.2.2 OpenRoads Designer	47
2.3 Interoperabilità e formati	49
3 Caso studio: il ponte Franco Balbis.....	59

3.1	Storia.....	59
3.2	Scheda tecnica.....	61
3.3	Archivio Porcheddu.....	62
3.4	Interventi di manutenzione Città Metropolitana di Torino.....	63
3.5	Ispezione in situ del Ponte	69
4	Modellazione del caso studio: metodologia e codifica.....	75
4.1	Modellazione in Autodesk Revit.....	78
4.1.1	Collegamento del file Autocad	79
4.1.2	Creazione dei livelli e delle griglie.....	80
4.1.3	Modellazione dei pilastri.....	82
4.1.4	Modellazione delle travi e del riempimento impalcato.....	83
4.1.5	Modellazione delle fondazioni.....	85
4.1.6	Modellazione delle Spalle e delle Pile	86
4.1.7	Modellazione delle volte.....	89
4.1.8	Modellazione della pavimentazione e dei parapetti ..	90
4.2	Importazione del terreno	94
4.2.1	Il passaggio da Civil 3D a Revit	95
4.2.2	Modellazione in OpenRoads Concept Station	97
4.2.3	Modellazione in OpenRoads Designer.....	99
4.3	Classificazione Omniclass degli elementi in Revit.....	101
5	Analisi e descrizione dei metodi utilizzati per valutare lo stato di degrado del ponte.....	105
5.1	I quaderni tecnici dell'Anas per la salvaguardia delle infrastrutture	107
5.1.1	Quaderno tecnico Volume V.....	108
5.1.2	Il Quaderno tecnico Volume I.....	112

5.2	Le ispezioni visive e il Metodo della Valutazione Numerica (MVN).....	113
5.2.1	Le schede di valutazione ispettiva e i relativi difetti	115
5.2.2	Indagini successive alle ispezioni visive	117
6	Applicazione dei parametri al modello BIM.....	121
6.1	Creazione dei parametri condivisi e di progetto	121
6.2	Assegnazione dei valori ai parametri della pavimentazione e della struttura.....	125
6.3	Creazione di abachi	127
6.4	Il passaggio da Revit ad Excel e viceversa	129
7	Creazione del database informatizzato	135
7.1	Creazione di filtri di vista nel modello	135
7.2	Creazione di script di Dynamo.....	139
	Conclusioni e sviluppi futuri	147
	Bibliografia	151
	Sitografia	155
	Ringraziamenti.....	159

Indice delle figure

Figura 1.1-La metodologia BIM gestisce l'intero ciclo di vita di un'opera (BIM_Assobim_web).....	10
Figura 1.2- Tre campi interconnessi dell'attività BIM (Bim framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, Bilal Succar, University of Newcastle, Australia)	11
Figura 1.3 -Le 7 dimensioni del BIM secondo la norma UNI 11337 (Progettiamobim.com)	12
Figura 1.4-BIM Level of Development (AIA 2013)	14
Figura 1.5-Schema concettuale: dal passato al futuro- dal disegno al BIM (Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti-Anna Osello,2012)	16
Figura 1.6-Il BIM come attività di gruppo basata su un linguaggio comune (Il Bim e il cantiere, Carmine Volpe)	17
Figura 1.7- Sistema di progettazione BIM (Antonio Salzano, PHD, Università Federico II di Napoli).....	18
Figura 1.8-Charles Eastman (Georgia Tech School of Architecture website).....	19
Figura 1.9- Gerarchia figure professionali nel campo BIM (Gianpietro Ragona,Architetto-sito web).....	21
Figura 1.10- Logo Associazione EU BIM Task Group (www.eubim.eu)	22
Figura 1.11- Sistema di progettazione BIM (Antonio Salzano, PHD,Università Federico II di Napoli).....	23
Figura 1.12- Bozza Decreto BIM, giugno 2017.....	25

Figura 1.13- Utilizzo del BIM su progetti di infrastrutture di trasporto pari o superiori al 50% (The Business value of BIM for infrastructure 2017, Dodge Data & Analytics)	27
Figura 1.14- Infrastruttura a rete (Sir, Agenzia d'informazione).....	30
Figura 1.15- Infrastruttura puntuale (Azienda Ospedaliera di Pistoia, Google immagini)	30
Figura 1.16- Allegato al DEF, 2017- Obiettivi, strategie e linee d'azione	31
Figura 1.17- Il Building Information Modeling e l'innovazione digitale nelle costruzioni (AssoBIM).....	32
<i>Figura 2.1- Logo Graphisoft (www.graphisoft.it)</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2.2- Generazione del modello federato (Graphisoft company) ...</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2.3- Software maggiormente utilizzati nel mercato</i>	<i>39</i>
Figura 2.4- Logo Autodesk (www.Autodesk.com).....	40
Figura 2.5- Logo Autodesk Revit (www.Autodesk.com).....	41
Figura 2.6- Esempio di progettazione con interfaccia Revit (Edil portale.com).....	43
Figura 2.7- Logo Bentley Systems (www.Bentley.com)	44
Figura 2.8- Logo OpenRoads ConceptStation (www.Bentley.com).....	45
Figura 2.9- Esempio di interfaccia grafica OpenRoads ConceptStation (Bentley product)	47
Figura 2.10- Logo OpenRoads Designer (Bentley.com).....	47
Figura 2.11- Esempio di interfaccia grafica OpenRoads Designer (Bentley product)	49
Figura 2.12- Interoperabilità tra i progettisti (building smart 2014) ..	50
Figura 2.13- Logo BuildingSMART (buildingsmart.org)	51
Figura 2.14- L'interoperabilità tra i software richiede un modello aperto per tutti i dati degli edifici e un'interfaccia per ogni applicazione utilizzata (Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, Anna Osello 2012).....	52
Figura 2.15- Manuale per lo standard IFC per Revit	53

Figura 2.16- Logo formato .dwg.....	54
Figura 2.17- Logo formato .dng.....	54
Figura 2.18- Logo formato .dxf.....	55
Figura 3.1- Ponte Franco Balbis.....	62
Figura 3.2- Espulsione del copriferro causata dal rigonfiamento di un'armatura ossidata	64
Figura 3.3- Affioramento di macchie di ruggine	65
Figura 3.4- Fessurazioni parallele alle barre di armatura.....	65
Figura 3.5- Segni di scorrimento tra trave longitudinale e setto frontale della pila	67
Figura 3.6- Dissesti del parapetto in corrispondenza delle lesioni del timpano.....	68
Figura 3.7- Sbrecciature per compressione del coronamento in pietra	68
Figura 3.8- Particolare di arcata privo di rivestimento e con armature a vista.....	70
Figura 3.9- Particolare con macchie di umidità diffusa.....	71
Figura 3.10- Buche e rattoppi diffusi sulla pavimentazione	71
Figura 3.11- Fessurazioni ramificate sulla pavimentazione	72
Figura 4.1- 1/2 sezione longitudinale del ponte Franco Balbis (Archivio Porcheddu- Politecnico di Torino).....	76
Figura 4.2- Pianta dell'impalcato realizzata con Autodesk Autocad 2019	78
Figura 4.3- Posizionamento dei livelli di riferimento	81
Figura 4.4- Creazione delle griglie	81
Figura 4.5- Modellazione dei pilastri strutturali	83
Figura 4.6- 1/2 Pianta dell'impalcato dopo la modellazione di travi e pavimenti di riempimento.....	84
Figura 4.7- Modellazione delle fondazioni.....	86
Figura 4.8- Particolare modellazione della pila come massa locale.....	88
Figura 4.9- Particolare modellazione delle spalle e delle pile come masse locali.....	89

Figura 4.10- Modellazione delle volte e troncamento dei pilastri sulla struttura curva.....	90
Figura 4.11- Modellazione della pavimentazione in Revit.....	92
Figura 4.12- Modellazione completa vista 1	93
Figura 4.13- Modellazione completa vista 2	94
Figura 4.14- Creazione della superficie topografica dal DTM collegato in Revit	96
Figura 4.15- Posizionamento del modello alla giusta quota del terreno	97
Figura 4.16- Modello del ponte in OpenRoads Concept Station	99
Figura 4.17- Visualizzazione dell'asse del ponte nel file contenete il terreno su Designer	100
Figura 4.18- Visualizzazione dell'asse del ponte nel file contenete il terreno su Autocad.....	101
Figura 5.1- Curva di decadimento degli indicatori di stato della pavimentazione (Quaderni tecnici ANAS Volume V- www.stradeanas.it)	108
Figura 5.2- Esempio di scheda di ispezione numerica (www.cias-italia.it)	117
Figura 5.3- Processo di ispezione delle opere infrastrutturali (www.cias-italia.it)	118
Figura 6.1- Gruppo parametri condivisi per la pavimentazione.....	122
Figura 6.2- Gruppo parametri condivisi per la struttura	123
Figura 6.3- Definizione dei parametri di progetto.....	124
Figura 6.4- Creare un abaco delle quantità.....	127
Figura 6.5- Abaco su Revit, esempio di abaco della pavimentazione .	129
Figura 6.6- Esportazione/importazione di un abaco da Revit ad Excel e viceversa.....	130
Figura 6.7- Esempio esportazione abaco su Excel.....	131
Figura 6.8- Esempio esportazione abaco su Excel.....	131
Figura 7.1- Creazione di un filtro per la pavimentazione.....	136

Figura 7.2- Attribuzione del colore al filtro di vista per ogni parametro	137
Figura 7.3- Esempio di vista 3D dopo l'applicazione del filtro alla vista 3D buche	137
Figura 7.4- Attribuzione del colore al filtro di vista per il parametro	139
Figura 7.5- Esempio di vista 3D dopo l'applicazione del filtro alla vista 3D degrado struttura.....	139
Figura 7.6- Workflow di modellazione e gestione dati.....	140
Figura 7.7- Script di Dynamo per scrittura dei risultati in un foglio Excel	141
Figura 7.8- Particolare dello script di Python.....	142
Figura 7.9- Risultato dell'esportazione.....	142
Figura 7.10- Script per l'impostazione dei parametri.....	143
Figura 7.11- Risultato dello script di impostazione dei parametri di progetto	144
Figura 7.12- Script per l'impostazione del colore al valore del parametro	144

INTRODUZIONE

Introduzione

Il processo costruttivo di un edificio o di un'infrastruttura necessita l'interazione e la coordinazione di diverse figure nonché di diverse tecnologie e metodologie. Tale coordinazione è fondamentale per garantire la qualità del progetto e per rendere più rapidi i tempi di sviluppo. La nascita del BIM (Building Information Modelling) ha rivoluzionato il settore AEC (Architecture, Engineering and Construction) in quanto ha permesso di racchiudere in un unico modello digitale tutte le informazioni necessarie alla realizzazione e alla manutenzione di un'opera edilizia o infrastrutturale, risultando quindi un ottimo strumento di coordinamento.

I vantaggi che si possono riscontrare nell'utilizzo del BIM sono dunque molteplici rispetto alla tradizionale progettazione CAD 2D in quanto il modello BIM consente la rappresentazione di oggetti parametrici in 3D e questo comporta una notevole riduzione del tempo di progetto e del margine di errore nella realizzazione degli elementi.

Gli oggetti definiti 'intelligenti' sono in grado di immagazzinare dati per permettere lo scambio tra le diverse discipline coinvolte nel processo progettuale e per definire la geometria e il materiale costituente di ogni elemento.

In principio la metodologia BIM è stata adottata soprattutto nella progettazione edilizia, ma le prospettive future mirano al suo utilizzo anche nel campo delle opere civili ed in particolare per le infrastrutture esistenti. Le infrastrutture sono delle opere complesse e di grandi dimensioni per cui il BIM si propone come strumento efficiente nella

gestione integrata di tutte le informazioni riguardanti il loro processo di costruzione e di gestione.

L'evoluzione del BIM nel settore di opere infrastrutturali ha coinvolto tutte le organizzazioni interne ed esterne ad esse quali progettisti, imprese, produttori di componenti, gestori e tanti altri.

Risulta fondamentale dunque che tutte le figure coinvolte nel procedimento siano in grado di apportare modifiche e di contribuire ad arricchire il modello con le risorse di propria competenza; da qui nasce il concetto di interoperabilità cioè la possibilità di scambiare dati tra i vari enti utilizzando particolari estensioni di file.

La rivoluzione BIM ha permesso di considerare l'intero ciclo di vita di un'infrastruttura che va dalla sua progettazione, all'esercizio e alla successiva manutenzione e diviene sempre più importante l'adozione di tale metodologia per lo studio dello stato di fatto delle opere infrastrutturali esistenti. Il BIM infatti, non è solo associato all'attività di progettazione e costruzione di nuove opere ma assume un grande valore quando è applicato all'ambito del costruito. Conoscere il costruito ed in particolare disporre di strumenti digitali per analizzarlo, è fondamentale per garantire la salvaguardia e la conservazione delle opere.

Proprio in quest'ottica si colloca il lavoro svolto nel seguente elaborato di tesi dal titolo "La digitalizzazione delle infrastrutture esistenti con metodologia BIM: il caso del ponte Franco Balbis".

In prima battuta si è partiti dal modellare l'infrastruttura oggetto di interesse utilizzando uno tra i software maggiormente sviluppati presenti nel mercato per la progettazione BIM. La modellazione ha riguardato le parti strutturali del ponte che sono state riprodotte facendo riferimento alle dimensioni e alla geometria indicate negli elaborati grafici cartacei reperiti in archivio tra i documenti della società costruttrice.

Successivamente si è passati alla definizione di parametri atti a caratterizzare l'infrastruttura. Tali parametri sono principalmente rappresentativi dello stato di degrado degli elementi costruttivi costituenti l'opera. A ciascun parametro è stato assegnato un valore e sono stati poi ideati degli strumenti tramite i quali è possibile immagazzinare e gestire le informazioni in maniera rapida creando un database informatizzato dell'infrastruttura.

L'obiettivo dunque, è quello di digitalizzare con la metodologia BIM un'infrastruttura viaria esistente e di elaborare un insieme di dati e parametri che serviranno a valutarne lo stato di fatto e a documentare la storia degli interventi effettuati su di essa.

Il risultato finale consente di creare un database descrittivo che sarà a disposizione delle imprese e degli enti gestori per garantire protezione e tutela all'infrastruttura.

METODOLOGIA BIM

Metodologia BIM

1.1 Cos'è il BIM

“Il BIM (Building Information Modelling) è un insieme interconnesso di procedure e tecnologie che generano una metodologia per gestire la progettazione essenziale dell’opera e i dati di progetto in formato digitale durante tutto il ciclo di vita dell’opera”^[1].

La metodologia consente di suddividere la vita di un manufatto in fasi che serviranno per gestire la temporalità di un progetto. Il vantaggio è quello di introdurre nel modello tutte le varianti progettuali in modo che il processo edilizio sia caratterizzato da una costante comunicazione tra le figure coinvolte nella realizzazione delle stesse. Tali figure sono ad esempio la committenza, il progettista, le imprese, la direzione lavori e il coordinatore per la sicurezza

^[1] H. Penttilä, Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression, 2006.



Figura 1.1-La metodologia BIM gestisce l'intero ciclo di vita di un'opera (BIM_Assobim_web)

La struttura BIM è multidimensionale e comprende al suo interno diversi campi di attività tra di loro connessi: Tecnologia, Processo e Politica. Ciascun campo contiene a sua volta due sottocampi formati dai “giocatori” e dai “prodotti finali”.

Il campo BIM legato alla Tecnologia raggruppa tutti i soggetti specializzati nello sviluppo di software e prodotti che serviranno per incrementare l'efficienza del processo.

Il campo BIM legato al Processo raggruppa tutti i soggetti che si occupano di progettare, costruire, usare, gestire e mantenere le strutture. Questi soggetti sono ingegneri, architetti, impiantisti, imprese ecc. ecc.

Infine, il campo BIM legato alla Politica raggruppa tutti i soggetti che si preoccupano di formare i professionisti, supportare la ricerca e minimizzare i conflitti all'interno del settore costruttivo.

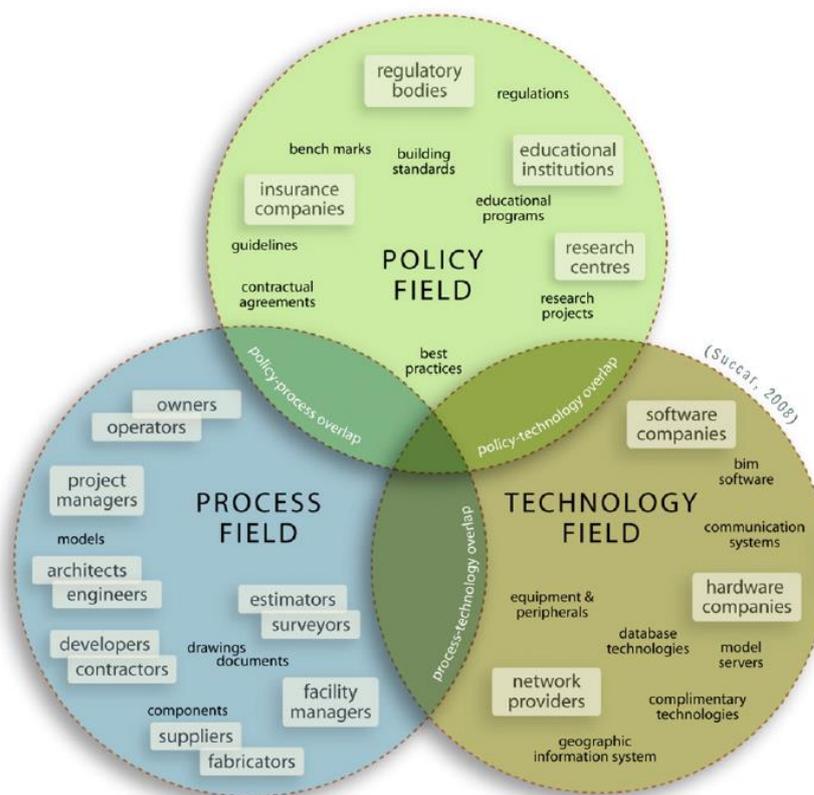


Figura 1.2- Tre campi interconnessi dell'attività BIM (Bim framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, Bilal Succar, University of Newcastle, Australia)

Il BIM non porta quindi alla realizzazione del solo modello tridimensionale per la descrizione geometrica dell'opera, ma permette anche un ampliamento del concetto di 'dimensione' del progetto.

A tal proposito, la norma *UNI 11337* ^[2] adotta una classificazione per la metodologia che prevede la definizione di 7 dimensioni, ciascuna delle quali ha la funzione di esprimere altri aspetti della progettazione.

^[2] Norma Italiana sulla gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni con il BIM.



Figura 1.3 -Le 7 dimensioni del BIM secondo la norma UNI 11337 (Progettiamobim.com)

- **Progettazione 3D:** è la restituzione tridimensionale del manufatto che permette la visualizzazione dell'oggetto edilizio in tutte le sue fasi di vita.
- **Progettazione 4D:** riguarda le modalità di gestione della programmazione temporale. Con la progettazione 4D si definisce una sorta di cronoprogramma dei lavori associati al modello per ridurre le interferenze durante le fasi di sviluppo del progetto.
- **Progettazione 5D:** è legata alle modalità di gestione informativa economica. Consente di stimare i costi di realizzazione e di valutare, sulla base della progettazione 4D, come si evolvono i costi nel tempo. Comprende i computi, gli estimi e le valutazioni.
- **Progettazione 6D:** è legata alle modalità di gestione informativa dell'opera. Consente la gestione del patrimonio costruito avendo a disposizione una quantità elevata di informazioni utili per la manutenzione del manufatto durante tutto il suo esercizio.
- **Progettazione 7D:** è legata alle modalità di gestione delle esternalità. Il modello BIM permette di dialogare direttamente con i programmi di analisi energetica senza perdita di informazioni così da aggiornare in maniera continua le stime energetiche e rendere migliori i processi e le prestazioni delle

strutture rispetto alle precedenti fasi. Comprende dunque, aspetti di sostenibilità sociale, economica ed ambientale.

All'interno dell'approccio BIM, è possibile definire i LOD (Level of Detail/Development) che indicano in maniera precisa il livello di approfondimento delle varie informazioni contenute nel modello.

I LOD rappresentano un punto di riferimento per tutti i soggetti coinvolti nella progettazione in quanto permettono di elaborare il modello seguendo un certo livello di dettaglio delle informazioni non solo geometrico ma anche semantico.

La definizione di ogni singolo LOD per ciascun elemento viene affrontato seguendo due differenti riferimenti normativi.

Il primo è quello Italiano della norma *UNI 11337-4 2017* in cui LOD sta ad indicare il "livello di dettaglio" del progetto.

Il secondo è quello Statunitense "*G202-2013, Building Information Modeling Protocol*", pubblicato dall'AIA (American Institute of Architects) ^[3] in cui si usa la definizione "livello di sviluppo" al posto di "livello di dettaglio". Il LOD infatti indicherebbe il livello di sviluppo del modello digitale ed in base allo stato di avanzamento del progetto, gli oggetti avranno una geometria e dei dati più o meno dettagliati a seconda delle esigenze di calcolo o fabbricazione.

Secondo quest'ultima definizione, l'AIA distingue cinque livelli di sviluppo ottenibili attraverso la redazione di un modello per edifici o per infrastrutture:

- LOD 100: è la rappresentazione concettuale dell'elemento che viene modellato come simbolo o come ingombro tridimensionale generico

^[3] L'AIA è l'associazione degli architetti degli Stati Uniti che offre ausilio all'istruzione e alla riqualificazione professionale per sostenere la professione di architetto e migliorarne la sua immagine pubblica.

- LOD 200: l'elemento è rappresentato dentro modelli generici tridimensionali e ciascun elemento è dotato di dimensioni, forma e altre informazioni del tutto approssimate
- LOD 300: è legato alla progettazione esecutiva. Ogni elemento inserito nel modello avrà delle dimensioni, una forma, una posizione e un orientamento specifici
- LOD 400: è legato alla progettazione costruttiva. Ogni elemento inserito nel modello avrà dimensioni, forma, posizione e orientamento specifici e sarà dotato di dettagli relativi alla fabbricazione, l'assemblaggio e l'installazione
- LOD 5: è legato all'As Built (come realizzato). Ogni elemento inserito nel modello è la rappresentazione reale e verificata di ciò che è presente in cantiere in termini di forma, dimensioni, posizione e orientamento.

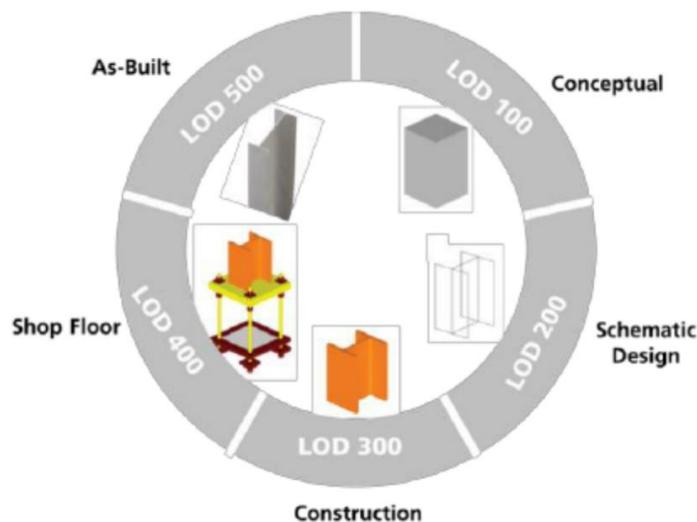


Figura 1.4-BIM Level of Development (AIA 2013)

1.1.1 Il passaggio dal CAD al BIM

Il CAD (Computer Aided Design), cioè la progettazione assistita dal calcolatore, consente di riprodurre oggetti bidimensionali e semplici oggetti tridimensionali con i normali strumenti grafici quali linee,

tratteggi, superfici, solidi ecc. ecc., generando innumerevoli vantaggi agli utenti che ne fanno uso.

L'introduzione del disegno CAD è stata una rivoluzione per il mondo delle costruzioni in quanto ha consentito di digitalizzare le fasi di disegno così da abbandonare la tecnica del disegno tradizionale.

La rappresentazione del progetto risulta essere infatti più speditiva nonostante la complessità degli elementi rappresentati e facilmente modificabile anche per aggiornamenti successivi.

Oggi però, risulta sempre maggiore la propensione che i progettisti hanno nei confronti della metodologia BIM. Tale approccio è completamente nuovo e ragiona in termini differenti rispetto alla tecnica CAD.

Per rappresentare un oggetto sia esso ad esempio una finestra o una porta, la tecnica CAD necessita di una grande quantità di linee e polilinee di definizione.

All'interno di un software BIM invece, l'elemento porta o finestra è già presente come oggetto parametrico ed è possibile ottenere con pochi passaggi il particolare costruttivo che si vuole rappresentare.

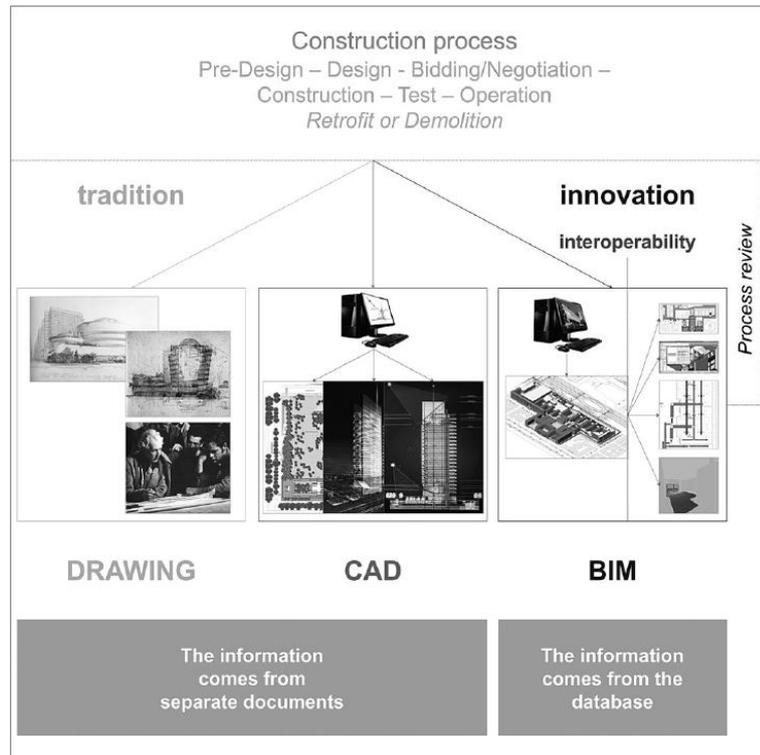


Figura 1.5-Schema concettuale: dal passato al futuro- dal disegno al BIM (Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti-Anna Osello,2012)

La chiave per comprendere come il BIM differisca dal tradizionale disegno 2D e 3D sta nel concetto di oggetto parametrico. Un oggetto parametrico è dotato di una serie di definizioni geometriche editabili ed integrate tra loro, alle quali sono associate delle regole. Inoltre, ad ogni cambiamento effettuato sul modello, corrisponde un uguale cambiamento nella totalità dei dati ad esso associato e viceversa.

La metodologia BIM è in grado dunque di supportare e migliorare la progettazione e tutto ciò si deve all'adozione della rappresentazione 3D parametrica.

I vantaggi ad essa correlati sono dovuti ad una maggiore rapidità ed efficienza dei processi, ad un controllo dei costi nell'intero ciclo di vita dell'opera e ad un'informazione costante circa i dati che costituiscono l'opera.

A tal proposito, la modellazione BIM si pone degli obiettivi da raggiungere e tenta di perseguire un valore aggiunto nel progetto; di seguito vengono elencati alcuni di tali obiettivi:

- Ridurre i tempi connessi alla progettazione
- Aumentare la produttività del team in cui si lavora
- Aumentare la qualità degli elaborati riducendo gli errori
- Ridurre le incongruenze tra i livelli progettuali
- Ridurre i tempi connessi alle modifiche sul progetto
- Creare un database dell'opera così da ottenere dati utili alla manutenzione della stessa

Per poter garantire il raggiungimento di tutti questi obiettivi è necessario che vi sia una collaborazione tra i software e tra i professionisti coinvolti nel processo che fanno capo alle diverse discipline. Nasce dunque il concetto di interoperabilità, che identifica lo scambio continuo dei dati tra i vari sistemi utilizzati dal team di progettazione in modo da ottenere il file nel formato corretto.



Figura 1.6-Il BIM come attività di gruppo basata su un linguaggio comune (Il Bim e il cantiere, Carmine Volpe)

La buildingSMART^[4] ha sviluppato il formato IFC (Industry Foundation Classes), che consente agli operatori di standardizzare la modellazione delle opere e garantisce l'interoperabilità del BIM.

^[4] La BuildingSMART è un'organizzazione internazionale che promuove lo scambio di informazioni tra le applicazioni software nel settore delle costruzioni.

È possibile lavorare in modo interoperabile su diversi fronti coinvolti nella progettazione: quello architettonico, strutturale, impiantistico ed energetico.

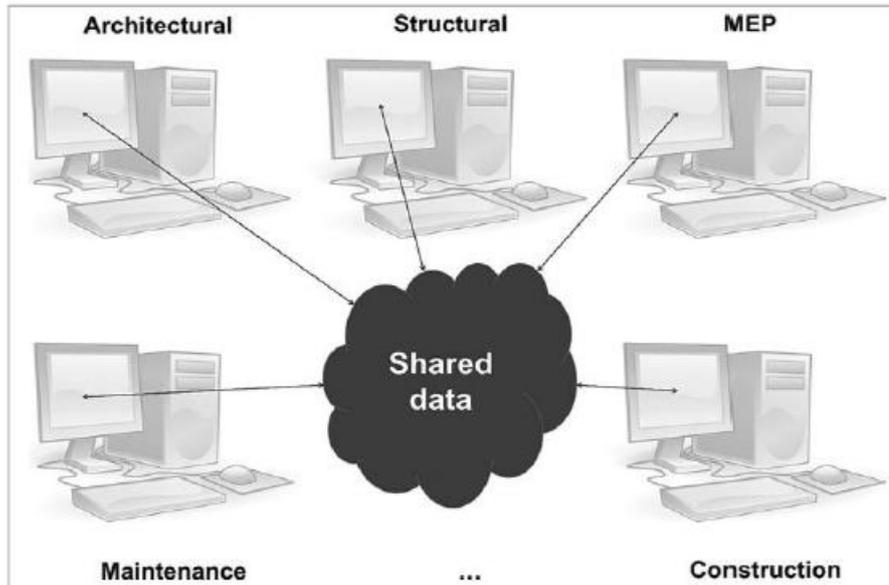


Figura 1.7- Sistema di progettazione BIM (Antonio Salzano, PHD, Università Federico II di Napoli)

Il concetto di interoperabilità è dunque il requisito fondamentale nella progettazione parametrica affinché il BIM venga usato come metodologia e non solo come modello semplificato per la fase di progetto.

1.1.2 Origini e sviluppi del BIM

In letteratura si è soliti attribuire la paternità del BIM a Jerry Laiserin anche se tale riconoscimento viene smentito da egli stesso in quanto si definisce colui che ha contribuito alla diffusione e alla promozione della metodologia e non l'ideatore.

La nascita della metodologia BIM si deve al professor Charles Eastman dell'istituto di tecnologia in Georgia, definito come il padre concettuale del BIM.

A partire dalla prima metà degli anni '70, egli avvia una ricerca per sviluppare i primi modelli solidi e parametrici per l'industria delle

costruzioni. Tale ricerca porta ad un nuovo e rivoluzionario sistema basato sulle analisi quantitative chiamato BDS: Building Description System.



Figura 1.8-Charles Eastman (Georgia Tech School of Architecture website)

Tuttavia, sarà necessario aspettare il 1986 per assistere alla diffusione dei primi sistemi informatici commerciali della metodologia che porterà alla nascita di ArchiCAD di Graphisoft, azienda ungherese che fornisce software per l'industria delle costruzioni.

Grazie all'utilizzo di tale strumento, l'utente può realizzare oggetti 2D e 3D a cui sono applicati dei parametri e ciò risulta una vera rivoluzione per tutto il settore rispetto ai programmi CAD sviluppatasi negli anni '80.

L'acronimo BIM che oggi si utilizza, venne coniato nel 2002.

Successivamente, a partire dal 2003, si assiste ad un suo esponenziale sviluppo quando Lairesin organizza un dibattito sul BIM tra Autodesk e Bentley.

Oggi l'acronimo BIM assume differenti significati in ambito internazionale in base ai diversi ambienti del processo edilizio. Alcune definizioni della sigla sono:

- **Building Information Modeling:** il BIM inteso come metodologia che consente di realizzare un modello accurato, virtuale e digitale dell'edificio che può essere condiviso da tutti gli

attori della progettazione. Al termine della realizzazione tale modello contiene una geometria precisa e dei dati rilevanti atti a supportare la costruzione e tutte le attività ad essa legate.

- **Building Information Model:** il BIM inteso come rappresentazione digitale per fornire le caratteristiche fisiche e funzionali di un singolo servizio associato ad una particolare disciplina. In questo caso si fa riferimento all'oggetto che costituisce una risorsa condivisa per l'intera struttura e che sarà da guida per il ciclo di vita della struttura stessa.
- **Beyond Information Model:** il BIM è inteso come un sistema rivoluzionario basato sull'informazione e che promuove l'innovazione. Esso è in grado di migliorare il modo in cui i progetti vengono modellati e costruiti.

Le potenzialità offerte dal BIM sono molteplici e si accrescono sempre di più con il tempo.

A tal proposito, nel mercato professionale si stanno diffondendo delle nuove figure professionali che risultano molto ricercate dalle aziende. Le principali sono tre ed hanno diverse competenze in grado di gestire la metodologia BIM:

- **BIM Manager:** ha il compito di gestire il modello BIM aggiornandolo sulla base di tutte le discipline coinvolte e coordinando il lavoro delle altre figure attive.
- **BIM Specialist:** utilizza i software BIM per la creazione del progetto e lo sviluppo del modello 3D. Modifica il modello durante le fasi di progettazione se necessario. Il BIM Specialist è un operatore specializzato che si occupa di una disciplina precisa nella progettazione (strutturale, architettonica, impiantistica ecc. ecc.)
- **BIM Coordinator:** è colui che si preoccupa di coordinare i BIM Specialist coinvolti nel progetto al fine di garantire l'applicazione degli standard di progettazione e dei metodi concordati.

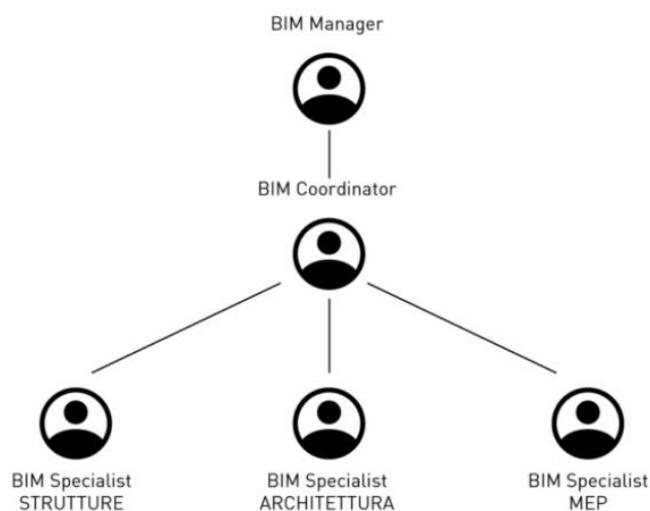


Figura 1.9- Gerarchia figure professionali nel campo BIM (Gianpietro Ragona, Architetto-sito web)

I nuovi software BIM-oriented puntano sul miglioramento del concetto di interoperabilità già discusso in precedenza, in quanto il BIM si propone come strumento digitale in grado di aiutare tutti nella progettazione e gestione edilizia.

L'uso del BIM diventerà dunque ancora più marcato offrendo una visualizzazione dettagliata di ciascuna parte della costruzione.

1.1.3 Il BIM in Europa e nel mondo

A livello internazionale, gli standard open BIM sono sviluppati da varie associazioni tra cui la BuildingSMART che opera in USA, Canada, Corea, Australia, Spagna, Svezia, Inghilterra, Italia ecc. ecc.

La Francia e la Germania hanno creato gruppi di lavoro governativi per tentare di inserire il BIM all'interno della progettazione nazionale e promuoverne lo sviluppo.

Nel regno unito la "EUBIM Task Group", organizzazione a livello governativo, è stata incaricata di realizzare un manuale (Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector) che contenesse le principali linee guida per la

realizzazione di opere pubbliche e che fosse di supporto ai professionisti nel passaggio a questo nuovo approccio di progettazione.



Figura 1.10- Logo Associazione EU BIM Task Group (www.eubim.eu)

L'obiettivo del gruppo è quello di promuovere l'adozione della metodologia BIM anche per le opere pubbliche migliorando così gli investimenti dei vari paesi.

In Inghilterra infatti, il Governo aveva ordinato l'uso del *BIM Level 2* su tutti i progetti costruttivi entro il 2016 in modo da stimare una riduzione dei tempi e dei costi di costruzione intorno al 20%.

La nuova strategia inglese partita nel 2015 e chiamata '*Digital Built Britain*' *Level 3*, prevede l'adozione del BIM in modo da digitalizzare l'ambiente costruito ed ottenere una riduzione dei costi di costruzione del 33% entro il 2025.

Negli Stati Uniti uno tra i documenti di maggiore importanza è la "*Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Document*", protocollo guida per il corretto utilizzo del BIM nelle opere civili. Anche negli USA, le istituzioni tendono ad incentivare l'utilizzo della metodologia creando delle apposite norme per migliorare i processi di progettazione.

Dunque, Paesi come l'Inghilterra, i Paesi Bassi, la Danimarca, la Finlandia e la Norvegia richiedono già l'utilizzo del BIM anche nel caso di progetti finanziati da enti pubblici. Soprattutto la Finlandia è oramai leader sul tema BIM in cui la metodologia è passata dall'essere sperimentazione ad essere una realtà.

I paesi che hanno adottato il BIM più di recente sono ad esempio l'Australia, il Brasile, il Giappone, la Corea e la Nuova Zelanda. Questi

paesi hanno introdotto delle norme riguardanti lo sviluppo del metodo ed hanno quantificato il guadagno ricavato dall'utilizzo del BIM per la progettazione.

Di seguito viene illustrato in un'immagine, il trend internazionale di sviluppo del BIM dal 2013 al 2015 in diversi Paesi.

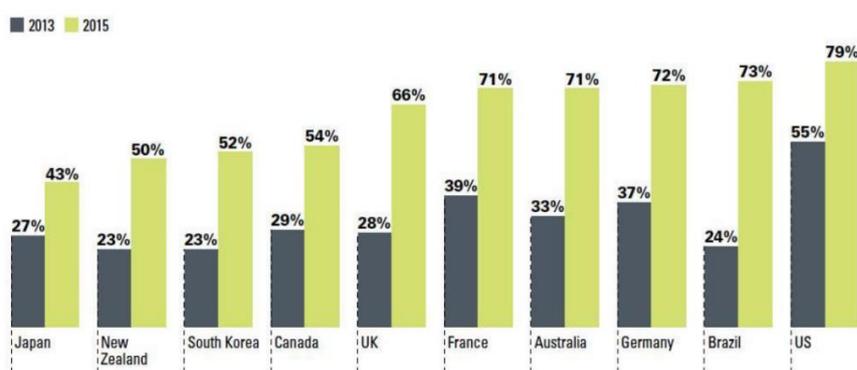


Figura 1.11- Sistema di progettazione BIM (Antonio Salzano, PHD, Università Federico II di Napoli)

1.1.4 Il BIM in Italia

Il BIM nello scenario nazionale, si sviluppa in maniera progressiva grazie all'adozione da parte del Governo di alcune direttive che invogliano i progettisti e le aziende ad utilizzarne il metodo.

Nel 2014, si ha una prima spinta nei confronti dell'approccio BIM grazie alla *'Direttiva Europea in materia di appalti pubblici'* del 15 gennaio. Tale direttiva invita gli stati membri dell'UE all'uso del BIM per tutti i progetti a finanziamento pubblico.

Successivamente viene approvato il *'Decreto Legislativo del 18 aprile 2016 nel Nuovo Codice dei Contratti Pubblici'*. In particolare, si riportano di seguito due commi dell'articolo maggiormente esplicativo che affronta il tema della metodologia BIM.

Il primo è il *comma 1 dell'articolo 23* del suddetto decreto; riguarda i livelli di progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi e cita quanto segue: *"La progettazione in materia di lavori pubblici si articola, secondo tre livelli di successivi approfondimenti*

tecnici, in progetto di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo e progetto esecutivo ed è intesa ad assicurare: [...]

h) la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture”.

Il secondo è il *comma 13* dello stesso articolo e riporta:

“Le stazioni appaltanti possono richiedere per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici di cui al comma 1, lettera h)”.

Dal 1° Gennaio del 2019, tale Decreto è diventato obbligatorio. Si richiede infatti di adottare obbligatoriamente la metodologia BIM nelle gare edilizie per opere pubbliche il cui costo sia superiore ai 100 milioni di euro.

A seconda dell'importo dell'opera, di seguito viene specificato il limite temporale entro il quale il BIM diventerà obbligatorio negli appalti pubblici.

- Dal 1° gennaio 2020: per lavori di importo pari o superiore a 50 milioni di euro
- Dal 1° gennaio 2021: per lavori di importo pari o superiore a 15 milioni di euro
- Dal 1° gennaio 2022: per lavori di importo pari o superiore a 5,2 milioni di euro (articolo 35 del codice dei contratti pubblici)
- Dal 1° gennaio 2023: per lavori di importo pari o superiore a 1 milione di euro
- Dal 1° gennaio 2025: per lavori di importo inferiore a 1 milione di euro.

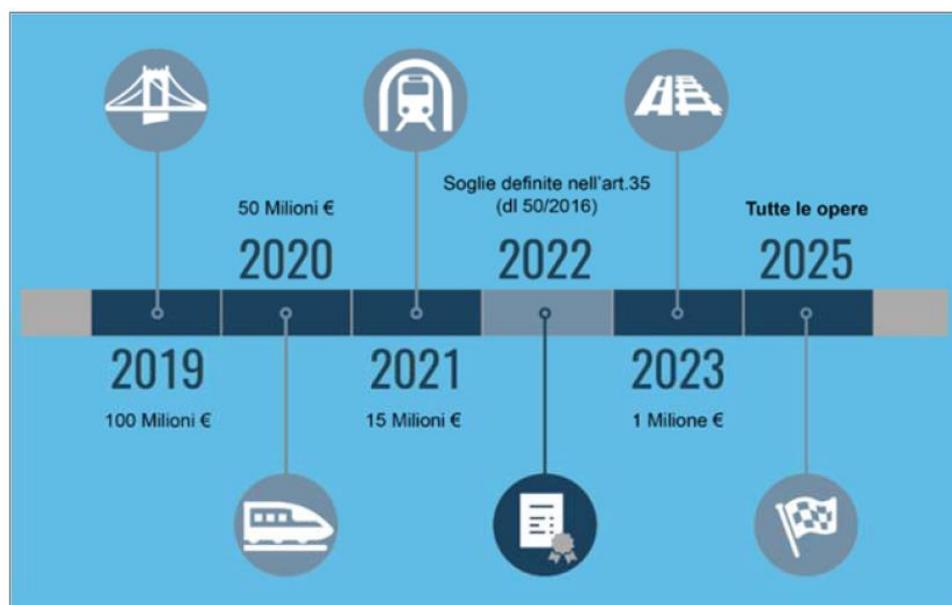


Figura 1.12- Bozza Decreto BIM, giugno 2017

Il Decreto fornisce dunque delle indicazioni circa le modalità e le tempistiche in vigore per l'utilizzo di strumenti elettronici di modellazione sia in campo edilizio che in campo infrastrutturale.

1.2 L'InfraBIM

1.2.1 Generalità

“*InfraBIM*”^[5] è l'acronimo attraverso il quale si identifica l'utilizzo della metodologia BIM per le infrastrutture.

Il termine viene usato per distinguerlo dal BIM tradizionale che si occupa delle opere edili puntuali e combina l'aspetto dell'innovazione associato al BIM con quello dell'interoperabilità tra i dati e le persone per applicarlo al campo delle infrastrutture.

Grazie alla proposta del *'Decreto Legislativo del 18 aprile 2016'* nel *'Nuovo Codice dei Contratti Pubblici'* di cui si è parlato in precedenza, il BIM si è concretizzato nel nostro paese specie per la costruzione di opere infrastrutturali molto grandi. Infatti, è stato introdotto in campo

^[5] InfraBIM: il BIM per le infrastrutture, Osello A., Fonsati A., Rapetti N., 2019.

ferroviario per la prima volta da Ferrovie dello Stato come requisito per la partecipazione alle gare di appalto nel territorio dell'Emilia, da RFI e da Italferr per ulteriori gare sul territorio nazionale.

La BBT SE ha introdotto le “*Specifiche BIM*” per la galleria di base del Brennero, mentre ANAS ha pubblicato il “*Capitolato Speciale BIM*”. Ad oggi, anche molte aziende Italiane di grandi dimensioni adottano la metodologia BIM per gestire le fasi di progettazione.

L'introduzione del BIM nelle infrastrutture ha rivoluzionato prima di tutto la strumentazione utilizzata ed ha generato un cambiamento anche in termini di processo; si assiste infatti ad un mutamento dei rapporti tra i soggetti coinvolti nello svolgimento. Anche in questo caso alla base dell'InfraBIM è fondamentale il concetto di interoperabilità già introdotto nei paragrafi precedenti e di cui si discuterà meglio nel seguito.

Nonostante ciò, ad oggi in Italia non è ancora disponibile uno stato dell'arte che analizzi le applicazioni InfraBIM e il metodo non è ampiamente diffuso come nel settore edilizio.

L'utilizzo del BIM per le infrastrutture nello scenario mondiale ed europeo è invece diverso. Diversi studi evidenziano come molte aziende e professionisti lo utilizzino per la creazione dei loro modelli e come questo verrà impiegato sempre maggiormente con il passare degli anni grazie all'implementazione degli strumenti.

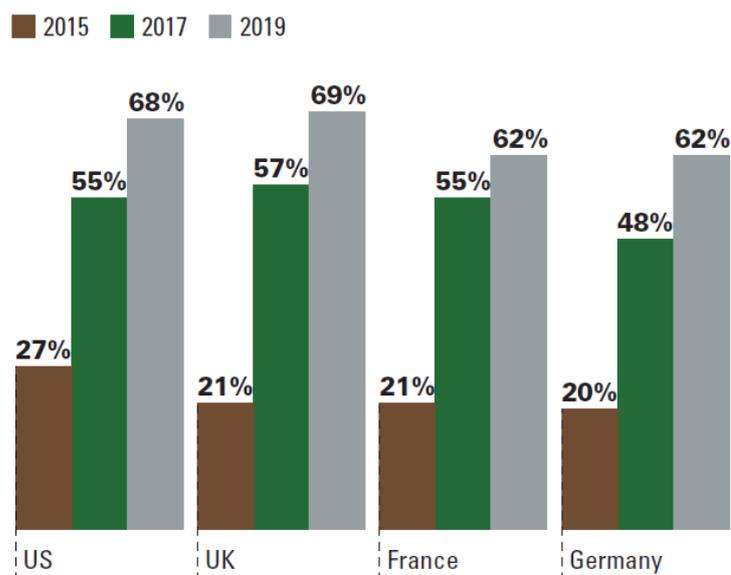


Figura 1.13- Utilizzo del BIM su progetti di infrastrutture di trasporto pari o superiori al 50%
(The Business value of BIM for infrastructure 2017, Dodge Data & Analytics)

Secondo una ricerca condotta dall'azienda americana *Dodge Data & Analytics*, gli utenti considerano il BIM uno strumento vantaggioso nella realizzazione dei progetti.

Tale ricerca è stata realizzata su un campione di popolazione comprendente ingegneri, proprietari ed aziende, selezionato in diversi Paesi quali gli Stati Uniti, la Gran Bretagna, la Francia e la Germania. I vantaggi che gli utenti riscontrano sono molteplici come ad esempio una riduzione degli errori nei modelli, una maggiore previsione dei costi, una migliore comprensione d'insieme del progetto, un miglioramento della programmazione e un'ottimizzazione della progettazione.

1.2.2 Tipologie di infrastrutture

Il termine *'infrastruttura'* indica un insieme di impianti e costruzioni che, pur non producendo reddito, rendono possibile lo sviluppo economico e sociale di un paese (ad esempio scuole, ospedali ecc. ecc.) e

consentono l'efficienza di un servizio (ad esempio strade, ferrovie ecc. ecc.) [6].

Numerosi studi hanno riconosciuto il forte legame che c'è tra la presenza di infrastrutture in una determinata area geografica e lo sviluppo economico della stessa. “*La produttività, i redditi e l'occupazione regionale sono funzione crescente della dotazione di infrastrutture*” [7].

Sulla base di questo ‘ruolo’ economico che ricopre un'infrastruttura, le classificazioni presenti in letteratura sono svariate.

Niles. M. Hansen, caratterizza le infrastrutture in due categorie principali:

- **Infrastrutture economiche:** sono quelle che supportano ed incrementano le attività produttive, e quindi essenziali per il funzionamento del sistema economico. Tra queste ci sono le strade, le autostrade, gli aeroporti, il trasporto navale, gli acquedotti, le reti fognarie, le reti elettriche ecc. ecc.
- **Infrastrutture sociali:** sono quelle che incidono sulle condizioni di vita della socialità come ad esempio sulla salute o sull'istruzione. Accrescono il benessere collettivo ed indirettamente hanno un'influenza positiva anche sulla produttività complessiva della popolazione. Tra le infrastrutture sociali abbiamo le scuole, gli ospedali, gli impianti sportivi, le aree verdi, le strutture di assistenza ecc. ecc.

Una seconda classificazione si deve ad Aschauer (1989), che introduce il concetto di capitale pubblico e suddivide le infrastrutture da un punto di vista sempre economico in:

- **Core Infrastructure:** sono quelle correlate al processo produttivo quali strade, ferrovie, aeroporti e le altre linee di trasporto
- **Non-Core Infrastructure:** sono una componente residuale.

[6] Definizione: *Garzanti Linguistica online*.

[7] *Biehl, 1991*.

Di Palma, Mazziotta e Rosa (1998) distinguono le infrastrutture in due tipologie:

- **Materiali:** sono le reti di trasporto, le reti di distribuzione dell'acqua e le reti di energia
- **Immateriali:** sono le strutture per lo sviluppo, l'innovazione e la formazione.

Infine, l'ultima classificazione è quella di Biehl (1991) che considera:

- **Infrastrutture a rete:** sono quelle presenti in maniera diffusa sull'area considerata. Hanno un elevato grado di indivisibilità e polivalenza e sono costituite da punti interconnessi; il loro grado di importanza dipende dal numero di utenti e luoghi che sono collegati alla rete stessa. Ne fanno parte reti stradali, ferroviarie, vie d'acqua, reti di comunicazione ecc. ecc.
- **Infrastrutture puntuali:** sono ad esempio le scuole e gli ospedali ed il loro grado di importanza è funzione dell'unità singola che rappresentano.

Le infrastrutture di trasporto, già citate in precedenza, vengono progettate, costruite e pianificate per concorrere a realizzare un sistema di trasporto per la collettività al fine di migliorare gli spostamenti. Le principali sono:

- **Infrastrutture stradali:** comprendono le reti autostradali e le reti stradali urbane ed extraurbane presenti nel territorio
- **Infrastrutture ferroviarie:** comprendono le reti ferroviarie nazionali, regionali e le reti metropolitane
- **Infrastrutture aeroportuali:** comprendono gli aeroporti e le reti portuali per il trasporto marittimo.



Figura 1.14- Infrastruttura a rete (Sir, Agenzia d'informazione)



Figura 1.15- Infrastruttura puntuale (Azienda Ospedaliera di Pistoia, Google immagini)

A livello nazionale, *l'Allegato al Documento di Economia e Finanza del 2017* annuncia l'impegno del Governo a promuovere lo sviluppo delle infrastrutture per soddisfare la domanda di mobilità della collettività e delle merci e per incrementare lo sviluppo economico del Paese.

Gli obiettivi, le strategie e le linee d'azione vengono evidenziati nell'immagine seguente.

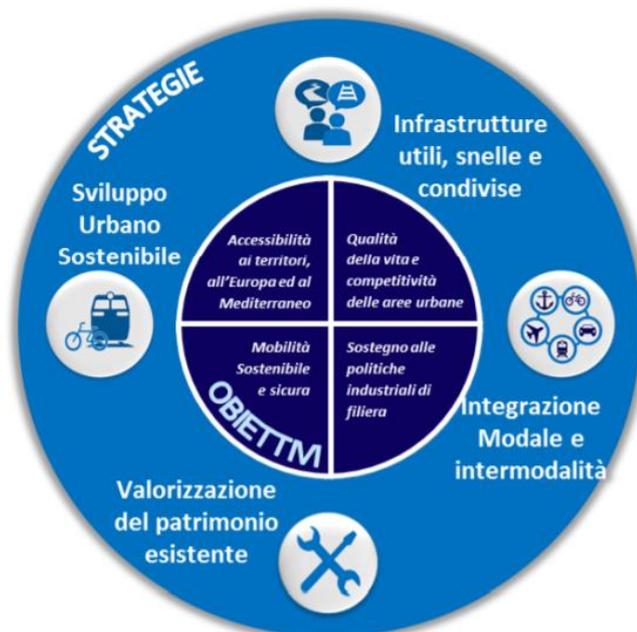


Figura 1.16- Allegato al DEF, 2017- Obiettivi, strategie e linee d'azione

1.2.3 Evoluzione scientifica dell'InfraBIM

Il BIM abbraccia diversi settori nel campo delle costruzioni per cui è importante generare un modello di validità generale che contenga informazioni di natura geometrica e semantica facilmente condivisibili. A tal proposito il formato IFC, già citato in precedenza, consente di standardizzare la modellazione garantendo l'interoperabilità del BIM nel campo edilizio.

Il formato IFC può essere utilizzato anche nei modelli InfraBIM, riproducendo gli elementi che compongono le opere infrastrutturali mediante l'uso di componenti edili.

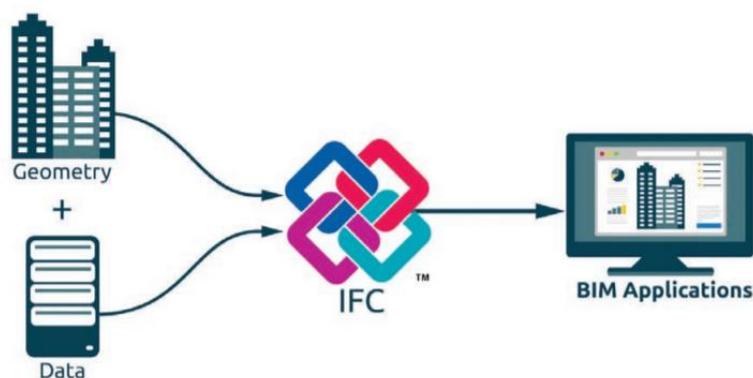


Figura 1.17- Il Building Information Modeling e l'innovazione digitale nelle costruzioni (AssoBIM)

Nel seguente elaborato di tesi, si è voluto riprodurre un ponte utilizzando uno tra i software BIM maggiormente diffusi per l'edilizia. In questo caso molti degli elementi edili presenti nella libreria del software sono stati adattati alla rappresentazione corrente. Questo approccio presenta però delle criticità legate al fatto che le informazioni di natura semantica contenute in tali elementi non sono compatibili con quelle degli elementi infrastrutturali.

La mancata interoperabilità nel processo di progettazione può comportare un aumento dei tempi e dei costi notevole per gli utenti. Nonostante esistano numerosi formati per la conversione dei dati BIM quali DXF, DWF, DWT, DWG ecc. ecc., l'IFC ad oggi è quello maggiormente adottato ma bisogna comunque contestualizzarne l'utilizzo. Il formato è adatto allo scambio di dati relativi alle proprietà e alla geometria 3D degli oggetti ma comporta ad esempio una perdita delle informazioni dal punto di vista grafico.

Durante la fase di modellazione è importante specificare anche il tipo di "InfraBIM use" che si sta adoperando.

Il termine indica "uno dei modi di utilizzare il BIM durante il ciclo di vita di un'opera per il raggiungimento di uno o più obiettivi" e venne introdotto per la prima volta da Kreider et al. negli USA riferendosi non al campo infrastrutturale ma al campo edile.

Esempi di “InfraBIM uses” sono le analisi strutturali, la programmazione 4D, la stima dei costi 5D, il controllo del progetto ecc. ecc. Ciascun “InfraBIM uses” è poi associato ad una fase di vita dell’opera come ad esempio la concezione preliminare, la fase esecutiva e la costruzione.

L’InfraBIM può essere utilizzato anche ai fini manutentivi e gestionali di un’infrastruttura e non per forza ai soli fini costruttivi.

Il gestore dell’infrastruttura avrà a disposizione il prototipo dell’opera definito in progetto ed il rilievo del costruito, per cui effettuerà degli aggiornamenti sul modello progettuale sulla base di quanto rilevato in situ. Dunque, l’ente che si occupa del monitoraggio sarà in grado di:

- valutare eventuali incongruenze tra il modello progettato e quello realizzato
- conoscere il periodo di vita residua di ciascun elemento dell’opera
- aggiornare il modello sulla base degli interventi modificativi effettuati dopo la messa in esercizio dell’infrastruttura.

Appare chiaro come le potenzialità dell’InfraBIM non si limitino al solo aspetto progettuale ma consentano anche la corretta gestione dell’infrastruttura per tutto il suo ciclo di vita.

Nel nostro Paese, su questa linea si stanno sviluppando numerosi studi e progetti mirati al recupero del patrimonio infrastrutturale esistente. L’obiettivo è quello di fornire all’ente pubblico un quadro completo e chiaro che metta in evidenza gli interventi prioritari da eseguire e che sia in grado di dare indicazioni sulla corretta allocazione delle risorse finanziarie per il ripristino delle opere.

SOFTWARE BIM

Software BIM

Il BIM si sta diffondendo in maniera esponenziale nel settore delle costruzioni grazie agli innumerevoli vantaggi che il progettista ne ricava dalla sua applicazione.

La metodologia consente una maggiore efficienza e produttività in quanto risulta uno strumento di progettazione collaborativo.

Dal momento che le attività nel settore delle costruzioni sono molteplici e vanno dagli impianti, alle strutture, all'energia, non esiste un software che è in grado di gestirle tutte contemporaneamente.

Tra i primi software ad utilizzare la tecnologia BIM c'è ArchiCAD di Graphisoft come è stato già accennato in precedenza.



Figura 2.1- Logo Graphisoft (www.graphisoft.it)

Il software consente di avere dentro un unico modello digitale tutte le informazioni relative alla creazione di un edificio virtuale.

Ogni professionista che partecipa ad un progetto BIM svilupperà la parte di modellazione di sua competenza con il proprio software di BIM Authoring. Tale software se ne ha la capacità, può gestire la progettazione a 360° integrando tutte le informazioni delle altre discipline e generando in questo modo il così detto modello federato.

Il modello federato è in grado di svolgere funzioni di coordinamento per la gestione complessiva del progetto e la verifica di eventuali interferenze.

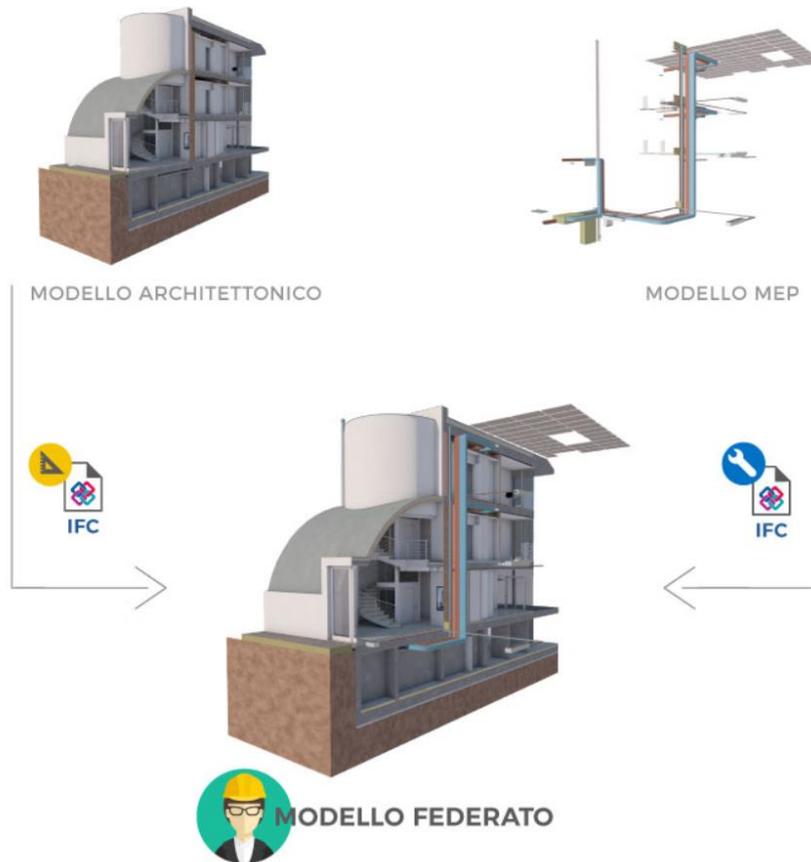


Figura 2.2- Generazione del modello federato (Graphisoft company)

Risulta dunque necessario l'utilizzo di uno strumento 'principale' che sia in grado di creare il modello progettuale e successivamente ricorrere ad altre applicazioni per le fasi successive della progettazione quali l'analisi energetica, la stima dei costi ecc. ecc.

Le diverse applicazioni sono organizzate seguendo una gerarchia che spiega l'utilizzo del BIM:

- **BIM tool:** sono quegli strumenti che permettono ad esempio la generazione del modello, la creazione dei disegni, la stima dei costi ecc., cioè tutti quei software che danno vita ad un risultato specifico

- **BIM platform:** è un'applicazione in grado di fornire un modello in cui le informazioni principali (ad esempio quelle geometriche), caratterizzano la piattaforma stessa
- **BIM environment:** consente di gestire la totalità delle informazioni provenienti dall'integrazione delle varie applicazioni.

L'ambiente BIM si propone di svolgere un'attività informativa maggiore che arricchisce il semplice modello dotandolo ad esempio anche di immagini, link e video.

Le software-house disponibili sul mercato sono svariate ed ogni anno la NBS pubblica la National BIM Report, cioè un articolo in cui si raccolgono dei dati e si effettuano dei sondaggi volti a capire quale sia il livello di adozione del BIM tra i progettisti e quali software tra quelli disponibili siano i più utilizzati.

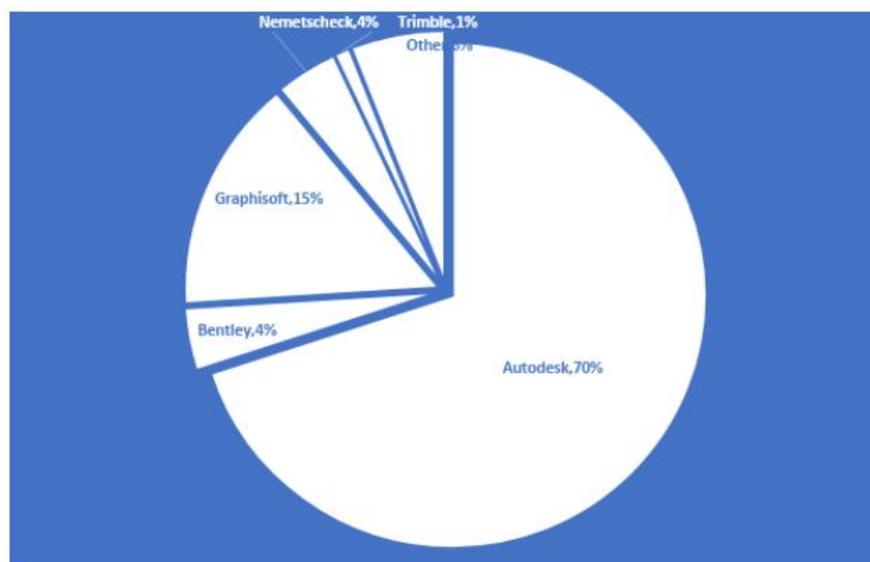


Figura 2.3- Software maggiormente utilizzati nel mercato

Dal grafico si evince come la software-house che ha maggiore successo nel mercato sia Autodesk seguita da Graphisoft e Bentley.

Il grafico evidenzia inoltre le popolarità delle società di software BIM sulla base degli strumenti di supporto che queste sono in grado di fornire ai progettisti e alle aziende.

2.1 Software Autodesk

Autodesk Inc. è un'azienda leader nella creazione di software e servizi per la progettazione di infrastrutture, opere civili, industriali ma anche di contenuti multimediali per l'intrattenimento.



Figura 2.4- Logo Autodesk (www.Autodesk.com)

La sua attività comincia nel 1982 ^[8] con l'immissione nel mercato del software AutoCAD per poi proseguire con un'ampia gamma di prodotti 3D per il mercato globale.

La clientela Autodesk è molto varia ed abbraccia numerosi settori quali quello manifatturiero, dell'edilizia, dell'architettura e dell'intrattenimento, compresi alcuni vincitori dei premi Oscar per i migliori effetti visivi che utilizzano i software Autodesk per simulare le loro idee prima che vengano create. Dunque, l'azienda è in grado di fornire ai grandi distretti una serie di strumenti e programmi volti a supportare le seguenti discipline:

- **AEC (Architecture, Engineering and Construction):** che comprende tutti i potenti strumenti BIM per i progetti di ingegneria, architettura e costruzioni. Tra questi ci sono AutoCAD, Revit, Civil 3D, Infraworks, Navisworks e 3ds Max
- **PDM (Product Design and Manufacturing):** comprende tutti i software professionali per lo sviluppo dei prodotti e la pianificazione della produzione. Gli strumenti inclusi sono AutoCAD, Inventor, Fusion 360, Vault e molti altri

^[8] AutodeskCompany, Autodesk.it

- **ME (Media and Entertainment):** è formato da tutti gli strumenti creativi end-to-end per la creazione di contenuti di intrattenimento. I software che ne fanno parte sono Maya, 3ds Max, e Arnold che è un software capace di ottimizzare le funzionalità di animazione e rendering per gli artisti.

L'azienda ha anche sviluppato delle App per i sistemi operativi più diffusi (iOS ed Android) in modo da rendere la progettazione facilmente accessibile a tutti gli utenti come ad esempio progettisti, dilettanti, studenti e chiunque sia appassionato al mondo della creazione e voglia condividere le proprie idee con l'ambiente che lo circonda.

In Italia, l'attività e la diffusione di Autodesk, cominciò intorno al 1991 nelle sedi di Milano e Roma. Oggi gode di ottima notorietà e nelle sue aziende conta un numero elevato di dipendenti distribuiti su tutto il territorio nazionale.

Le aspettative per il futuro prevedono una crescita nei maggiori mercati internazionali.

2.1.1 Autodesk Revit

Autodesk Revit è ad oggi il software più noto ed utilizzato nel mercato BIM per la progettazione architettonica.



Figura 2.5- Logo Autodesk Revit (www.Autodesk.com)

Il software presenta numerosi punti di forza grazie al fatto che è molto intuitivo, di facile apprendimento e che è dotato di alcune applicazioni di supporto e di una vasta libreria di oggetti che può essere implementata anche da soggetti terzi.

Autodesk Revit venne creato nel 2000 dalla *Revit Technologies Inc.* dando vita ad uno strumento del tutto diverso da AutoCAD e che presenta una struttura propria molto innovativa. Nel 2002 venne poi acquistato dall'azienda Autodesk che oggi offre sviluppi ed aggiornamenti del software.

La prima versione, in ordine temporale, è stata ideata nel 2000; con il passare degli anni il software è stato migliorato ed aggiornato fino ad ottenere l'ultima versione che è attualmente quella del 2020.

Revit consente di creare degli oggetti parametrici personalizzati o di personalizzare elementi già presenti nella libreria.

Il software offre una serie di programmi integrati per migliorare le fasi di disegno e per supportare le varie figure coinvolte nella progettazione come:

- **Revit Architecture:** per gli architetti e i progettisti edili
- **Revit Structure:** per gli ingegneri strutturali
- **Revit MEP:** per ingegneri meccanici, elettrici ed impiantisti.

Revit consente l'interoperabilità tra i vari software e supporta il formato IFC import/export ed altri formati di file come: DWG, DGN, DWF. In quanto software altamente intelligente, incentiva la multi-interdisciplinarietà verso la collaborazione di più utenti e più figure professionali.

Le funzionalità del software BIM sono diverse:

- Ottenere una percezione quanto più possibile fedele alla realtà
- Sviluppare modelli 3D precisi che sarebbe impossibile ottenere con il solo disegno manuale
- Gestire le fasi temporali del processo costruttivo in quanto il prodotto presenta al suo interno la presenza di una quarta dimensione.

Revit presenta però anche delle criticità legate al fatto che è un sistema in memory, capace di rallentare il processo di modellazione quando le dimensioni dei file superano i 300 megabyte. Ulteriori restrizioni sono

presenti per l'imposizione di regole parametriche che caratterizzano gli oggetti e per la definizione di superfici curve complesse. Inoltre, la carenza di librerie apposite per le infrastrutture ne limita l'uso non solo dal punto di vista geometrico, in quanto risultano difficili da modellare, ma anche dal punto di vista delle caratteristiche informative che vi si possono attribuire (categorie, parametri, ecc. ecc.). Tali limitazioni risultano molto importanti nella progettazione di infrastrutture viarie come strade e ferrovie e di opere strutturali di grandi dimensioni come ponti e viadotti.

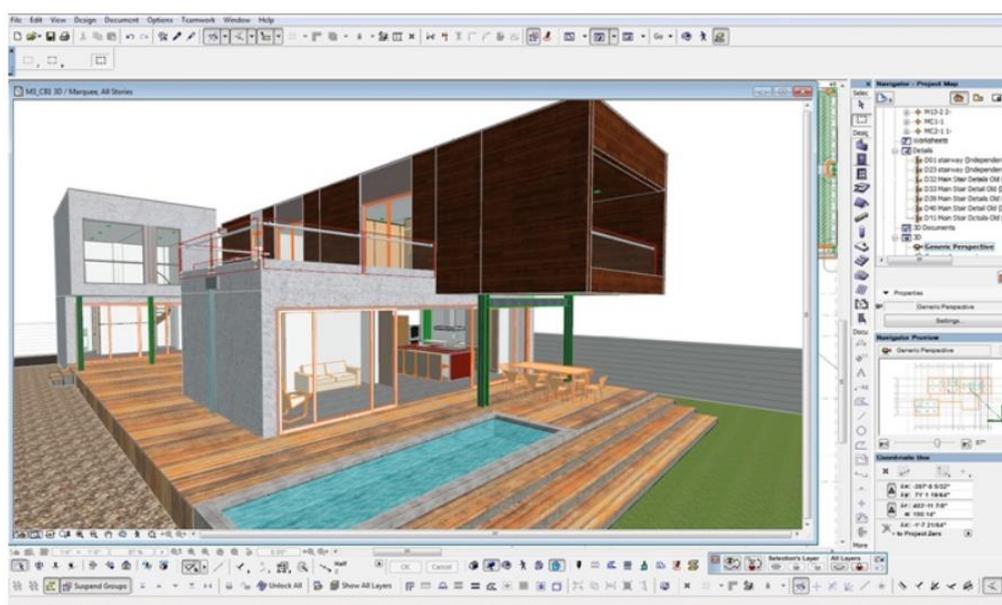


Figura 2.6- Esempio di progettazione con interfaccia Revit (Edil portale.com)

2.2 Software Bentley Systems

Bentley Systems, fondata nel 1984 ^[9], è un'azienda che si propone di sviluppare software per assistere i professionisti nella progettazione e gestione delle infrastrutture quali ponti, strade, aeroporti, grattacieli e impianti industriali.

Le soluzioni proposte dall'azienda sono diverse e personalizzate a seconda delle esigenze dei professionisti (ingegneri, architetti,

^[9] About us, Bentley.com

progettisti, costruttori) per consentire la corretta gestione dell'intero ciclo di vita di un'infrastruttura.

I software Bentley sono studiati per garantire la mobilità delle informazioni tra i gruppi di progetto e dei flussi di lavoro, in modo da incentivare l'interoperabilità e la collaborazione tra i gruppi stessi.



Figura 2.7- Logo Bentley Systems (www.Bentley.com)

L'impegno di Bentley è quello di fornire non solo strumenti per la progettazione, ma anche di garantire assistenza agli utilizzatori 24 ore su 24, 7 giorni su 7. L'azienda inoltre si propone di offrire opportunità di formazione continua mediante corsi, seminari online e programmi accademici.

Ad oggi l'azienda conta circa 3000 dipendenti in 45 paesi diversi ed ha investito più di un miliardo di dollari in ricerca e sviluppo dal 2014 in poi.

La gamma di prodotti offerti da Bentley è molto ampia e comprende software per l'edilizia e software per le infrastrutture.

AECOsim Building Designer è un software pluridisciplinare di progettazione edilizia per edifici di qualsiasi forma o dimensione. Tale strumento mette a disposizione le recenti innovazioni nel campo della modellazione BIM per realizzare edifici sicuri in tempi rapidi.

Le funzionalità del software sono collegate alla garanzia di collaborazione tra i team multidisciplinari, alla progettazione dettagliata di impianti e strutture e alla creazione di documentazioni e report finali.

Il pacchetto software per la progettazione di infrastrutture civili e reti stradali è invece **OpenRoads**. Il programma è utilizzato per la maggior

parte in dipartimenti dei Trasporti Statunitensi, Canadesi e in gran parte delle aziende di progettazione Americane più prestigiose.

Tramite il programma è possibile sviluppare il progetto di reti stradali e garantire lo scambio di informazioni durante tutto il ciclo di vita della realizzazione. Le applicazioni Open Roads sono tre:

- **OpenRoads ConceptStation:** consente la realizzazione di progetti rapidi, concettuali e preliminari fornendo un inquadramento contestuale dell'opera da realizzare
- **OpenRoads Designer:** è l'applicazione completa e funzionale per progettare reti stradali e fognarie, riunendo tutte le caratteristiche disponibili in altri software quali InRoads, GEOPAK, MX e PowerCivil
- **OpenRoads Navigator:** consente la visualizzazione del progetto 3D e la revisione dello stesso. Permette di monitorare le autorizzazioni e la risoluzione dei problemi sia in ufficio che in cantiere.

2.2.1 OpenRoads ConceptStation

Con OpenRoads ConceptStation i professionisti dell'ingegneria stradale possono creare in poche ore progetti di ponti e strade in maniera concettuale. È possibile creare modelli digitali intelligenti contestualizzati nell'ambiente reale.



Figura 2.8- Logo OpenRoads ConceptStation (www.Bentley.com)

Il software è anche in grado di combinare gli strumenti di disegno ingegneristici alla fase di computazione dei costi così da accelerare il percorso decisionale nelle fasi preliminari e fornire diverse soluzioni durante la pianificazione. In questo modo si ha una stima delle spese di progetto che si aggiornano in automatico non appena si aggiunge un ulteriore componente nel modello.

Grazie all'ampia offerta di elementi di disegno presenti, il progettista è in grado di riprodurre in pochi passaggi strade, incroci, rotatorie, ponti, guardrail, illuminazione stradale e tanto altro. Per quanto riguarda la progettazione dei ponti è possibile con pochi passi impostare il numero di campate, la tipologia di pile, di spalle e la classificazione.

All'interno del software sono presenti diverse tipologie di strade nel rispetto degli standard AASHTO (classe, velocità di progetto e raggio di curvatura predefinito) e questo aspetto si può considerare una criticità del software, in quanto ad oggi non è ancora possibile integrare la normativa italiana per la progettazione all'interno del programma. Dunque, gli elementi verranno realizzati adattando la normativa americana agli standard italiani.

Il profilo altimetrico dei tracciati è gestito grazie alla presenza di un'apposita schermata a video che consente di modificare le livellette nel rispetto dei limiti normativi.

Il programma include *GeoCoordination Services* per aiutare a trovare, scaricare ed importare dati geospaziali e trasformarli in modelli 3D.

Il motore *LumenRT* incorporato nel programma consente la visualizzazione del modello 3D in un contesto arricchito da dettagli realistici quali la presenza di veicoli, corsi d'acqua, alberi e pedoni.

Dopo aver salvato i dati, OpenRoads ConceptStation crea direttamente un file .alg, .ird, .itl e .rwk per fornire la geometria, i modelli e le sopraelevazioni da esportare nel software successivo per la fase di progettazione dettagliata.



Figura 2.9- Esempio di interfaccia grafica OpenRoads ConceptStation (Bentley product)

2.2.2 OpenRoads Designer

OpenRoads Designer è uno strumento di progettazione versatile per professionisti che vogliono realizzare opere di ingegneria civile, indipendentemente dalle dimensioni e in ogni sua fase.



Figura 2.10- Logo OpenRoads Designer (Bentley.com)

Le attività che il software è in grado di svolgere sono descritte di seguito.

- **Funzionalità CAD integrate:** il programma consente ad esempio di lavorare con file di riferimento, di creare e modificare elementi CAD, di supportare la cronologia di progetto
- **Modellazione realistica:** importa i dati delle nuvole di punti, unisce automaticamente le superfici e ne aggiorna i dati in caso di modifica

- **Modellazione del terreno:** crea modelli di terreno intelligenti da numerose origini di importazione, gestisce grandi dataset LIDAR
- **Modellazione:** modifica dinamicamente i progetti aggiornandoli in base all'intervento effettuato, crea report del modello, controlla la sopraelevazione e la creazione dei corridoi stradali
- **Progettazione geometrica dinamica:** supporta molteplici geometrie per il tracciamento altimetrico, crea altimetria e planimetria, crea curve altimetriche circolari, paraboliche, con arco e corda. Supporta le geometrie complesse e diversi tipi di spirale
- **Librerie di modelli:** supporta modelli di superfici e lineari, crea componenti per oggetti reali quali cordoli, muri e fossati
- **Modellazione di corpi stradali:** raccorda la geometria orizzontale e verticale con la topografia 3D e le sezioni classiche
- **Pubblicazioni:** esporta PDF, assi di tracciato e altre informazioni di progettazione
- **Interoperabilità:** gestisce più formati per le diverse operazioni ed in particolare è idoneo a supportare i flussi di lavoro BIM. Il software infatti, esporta prodotti digitali, incluso IFC, per ottenere un risultato efficiente e ricco di dati. Tale aspetto verrà approfondito successivamente nei paragrafi seguenti.

Il programma offre quindi una serie di funzionalità legate alla modellazione dei corridoi, al rilevamento topografico, al drenaggio ed ai sottoservizi per consentire di migliorare la progettazione.

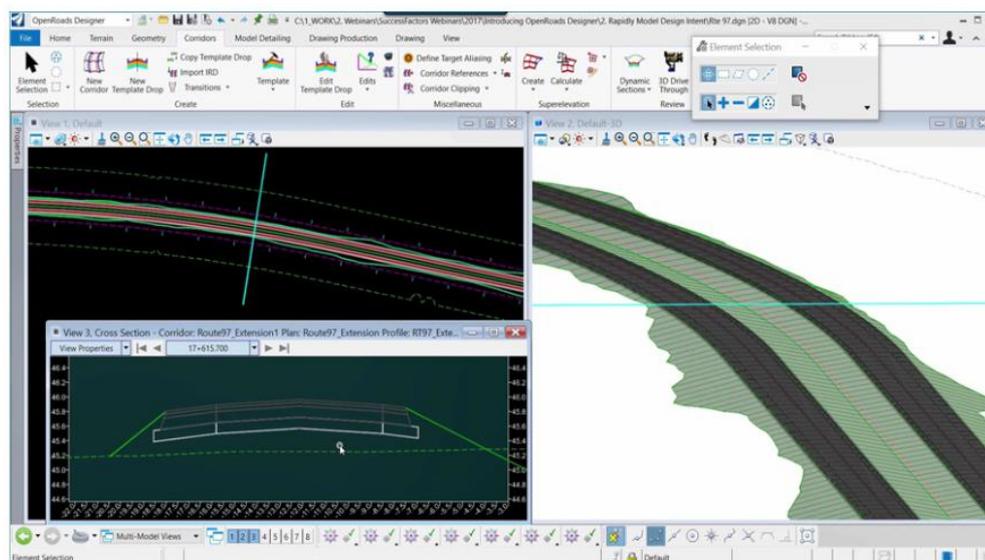


Figura 2.11- Esempio di interfaccia grafica OpenRoads Designer (Bentley product)

2.3 Interoperabilità e formati

Il concetto di interoperabilità è uno degli aspetti più importanti che caratterizzano il BIM e si definisce come la capacità di trasferire dati tra applicazioni diverse e, nel caso di più applicazioni, è la capacità di contribuire congiuntamente al lavoro finale.

I progettisti dovranno essere in grado di scambiare questi dati afferenti alle diverse discipline, sia in fase di progettazione dell'opera sia nell'arco del suo ciclo di vita. L'approccio BIM si basa proprio su questo concetto e necessita la massima accessibilità delle informazioni a tutti i soggetti coinvolti.

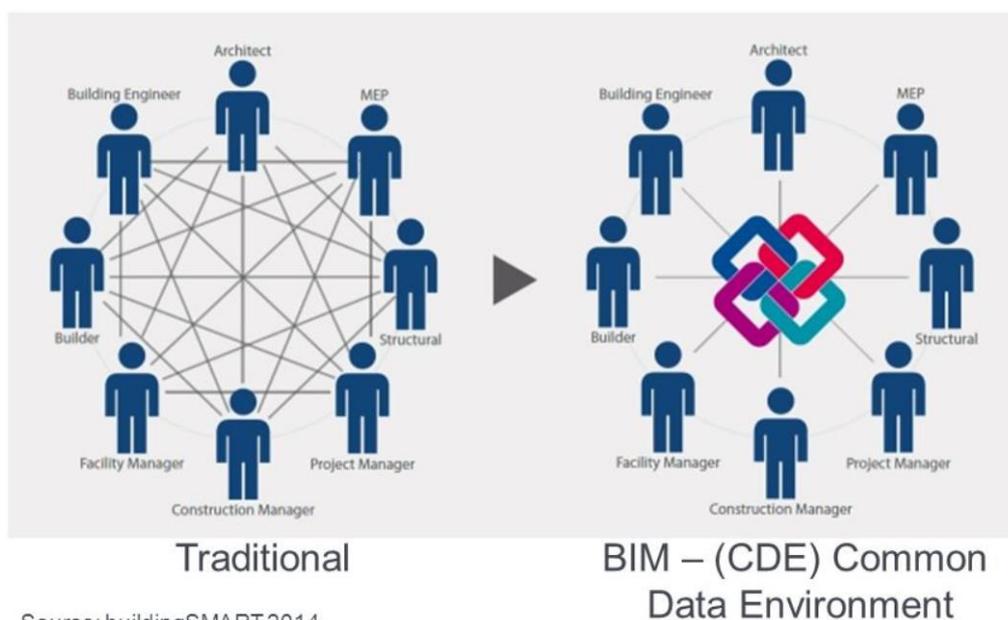


Figura 2.12- Interoperabilità tra i progettisti (building smart 2014)

Grazie all'introduzione di questa metodologia, gli enti e i progettisti non dovranno scambiare e richiedere dati da altri membri coinvolti nella progettazione ma avranno a disposizione un unico modello arricchito di tutte le informazioni necessarie allo sviluppo e alla successiva costruzione e manutenzione dell'opera.

Elemento complementare all'approccio 'BIM oriented', è l'ambiente di condivisione dati denominato CDE (Common Data Environment) nelle norme inglesi. Esso è articolato in quattro aree (Work in Progress, Shared, Published Documentation e Archive), all'interno delle quali si evolvono i processi di condivisione.

Il CDE viene citato anche nel decreto BIM Italiano ^[10]; viene definito come una piattaforma di condivisione, archiviazione e gestione dei dati di progetto e rappresenta uno degli elementi centrali del processo di digitalizzazione del settore delle costruzioni.

In tale piattaforma, sono contenute tutte le informazioni relative all'opera e sono elencate nel dettaglio tutte le caratteristiche in termini di accessibilità, nei limiti propri dei diversi ruoli e figure coinvolte

^[10] Decreto BIM, DM 560 del 1° dicembre 2017.

all'interno del processo, tracciabilità dei flussi informativi relativi al processo, supporto delle diverse tipologie e formati di dati e relativa elaborazione.

Il flusso dei dati è regimentato da regole predefinite che segnano le modalità operative che i partecipanti al progetto concordano di seguire facendo riferimento anche agli obiettivi espressi dal committente.

Attualmente, lo scambio di dati tra due applicazioni avviene in quattro modi principali:

- Diretto: collegamenti proprietari (coperti da copyright) tra specifici sistemi BIM
- Formati di scambio proprietari: focalizzati sulla geometria
- Formati modello di scambio di dati di standard pubblici (IFC)
- Formati di scambio basati su XML.

La chiave essenziale per l'accessibilità è l'**IFC** (Industry Foundation Classes), formato standardizzato di interscambio di informazioni, che venne creato dalla BuildingSMART e che oggi viene utilizzato dalla maggior parte dei software di progettazione.

La BuildingSMART è nata nel 1995 ed è un organismo industriale mondiale che guida la trasformazione digitale nel settore delle costruzioni.

L'azienda si impegna a fornire elementi migliorati tramite la creazione di standard aperti e internazionali per infrastrutture e edifici. I membri della società lavorano dunque per trasformare la progettazione, la costruzione e la manutenzione delle risorse costruite.



Figura 2.13- Logo BuildingSMART (buildingsmart.org)

Poiché i tradizionali formati quali .dwg, .dxf, .pdf, che si riscontrano nei normali metodi di condivisione delle informazioni, non

trasferiscono adeguati livelli di intelligenza degli oggetti da un modello all'altro, occorre guardare a nuovi formati dei dati che consentano uno scambio più intelligente.

Il formato IFC permette al progettista la fruizione di tutti i dati contenuti nel progetto e gli permette di relazionarli con le altre piattaforme software utilizzate per valutare altri aspetti dell'opera a seconda del campo di azione. È un sistema di classificazione riferito non solo alle componenti fisiche del manufatto o loro attributi, ma anche alle componenti astratte.

L'IFC è aperto e pubblico ed è supportato dalla maggior parte delle software house che condividono l'approccio BIM (Autodesk, Graphisoft, Nemetschek).

Il formato è diventato a norma ISO (ISO 16739:2013) a partire dalla versione IFC4. Infatti, le versioni vengono continuamente aggiornate e sviluppate dalla buildingSMART.

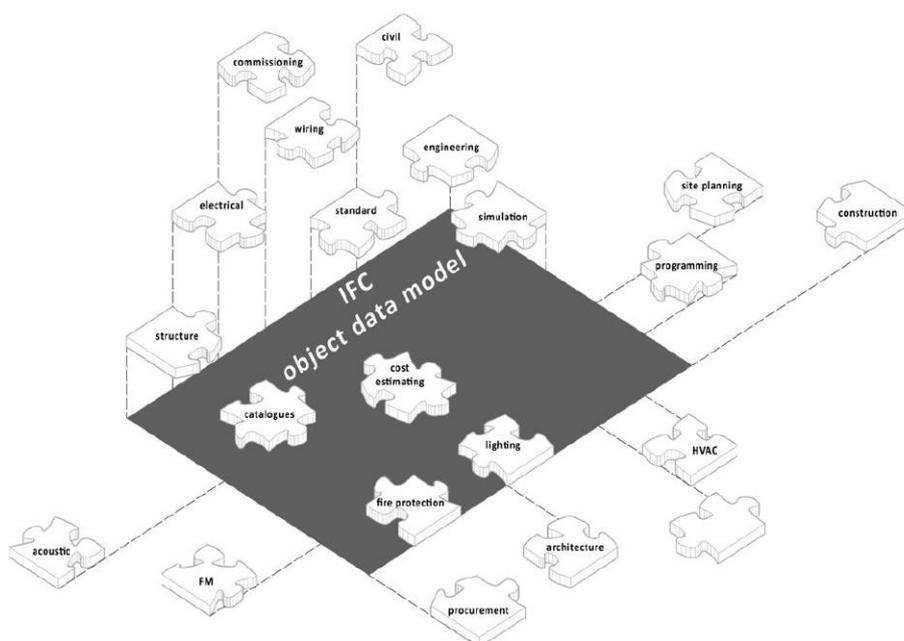


Figura 2.14- L'interoperabilità tra i software richiede un modello aperto per tutti i dati degli edifici e un'interfaccia per ogni applicazione utilizzata (Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti, Anna Osello 2012)

Il “*Manuale per lo standard IFC per Revit 2018*”, raggruppa le versioni correnti IFC in:

- IFC4: è quello che offre possibilità avanzate ma non è ancora ampiamente supportato
- IFC2x3: è attualmente il formato più supportato e stabile
- IFC2x2: consigliato se il destinatario del file non dispone di un software che supporta il formato IFC2x3 e IFC4.

I formati IFC creano un modello di edificio basato su una struttura predefinita che costruisce il modello in modo logico. Una volta salvato, il file IFC dispone in ordine gerarchico le unità in base al loro tipo.

IFC - Vista della struttura

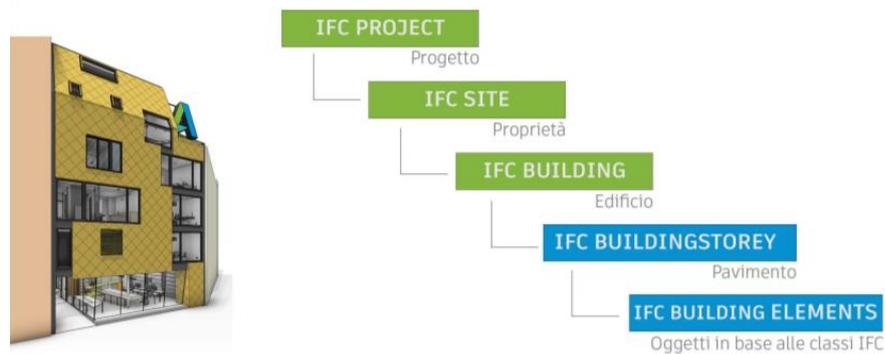


Figura 2.15- Manuale per lo standard IFC per Revit

Ad oggi molti sforzi sono dedicati alla definizione degli standard e dei protocolli che riguardano il settore delle costruzioni. Numerose aziende e associazioni si impegnano nell'attività di ricerca e sviluppo della metodologia BIM per garantire ai progettisti una completa integrazione e collaborazione nel settore edilizio.

Le software house presenti sul mercato hanno sviluppato negli anni altri strumenti di progettazione ed hanno così imposto l'uso del loro formato per il file finale che risulta diverso rispetto al tradizionale ed affermato formato IFC. Tra questi troviamo ad esempio il **Formato .dwg**. Fu usato da Autodesk nel 1982 con l'uscita della prima versione del software AutoCAD. Il .dwg si è imposto da allora come uno 'standard' e non c'è ad

oggi un software CAD che non sia in grado di recepire un file con questo formato sebbene bisogna fare attenzione alla tipologia di versione che si sta utilizzando. Le versioni dei file .dwg infatti, sono diverse e vengono aggiornate con il passare degli anni. Il .dwg non è altro che un file binario definito come un database di disegni 2D e 3D che contiene al suo interno progetti, dati geometrici, mappe e foto.



Figura 2.16- Logo formato .dwg

Un altro formato è quello **.dgn**. È un formato CAD 2D e 3D utilizzato dall'applicazione Microstation di Bentley. Al contrario di quanto visto per il .dwg, il .dgn è stabile e di questo ne esistono solamente due principali versioni. La prima la "V7 DGN" è stata lanciata intorno al 1980 e la seconda è la "V8 DGN" e risale al 2000. Il formato non è molto diffuso come il concorrente .dwg ma è comunque largamente impiegato.



Figura 2.17- Logo formato .dgn

Il *Drawing Exchange Format* o formato **.dxf** è un formato di interscambio CAD in 2D sviluppato da Autodesk e introdotto sul mercato nel 1982 per consentire l'interscambio di file tra Autocad e altri software. Negli anni l'interoperabilità raggiunta tra i vari programmi ha portato alla riduzione di utilizzo del file .dxf.



Figura 2.18- Logo formato .dxf

Il formato di file **.gbXML** (Green Building XML) è stato sviluppato per consentire lo scambio di dati tra i software BIM di modellazione e le piattaforme che si occupano di simulazione energetica. È dunque un formato che contiene informazioni circa le proprietà termo-fisiche degli edifici.

A luglio del 2008 durante una conferenza stampa Autodesk e Bentley, i due fornitori di software maggiormente diffusi a livello mondiale, hanno stipulato un accordo per incrementare l'interoperabilità e la capacità di scambiare librerie e formati di file.

Il concetto di interoperabilità e il formato IFC ad esso legato, sono ormai largamente diffusi nel mondo BIM. Grazie alle azioni di sviluppo e di ricerca, gli operatori sono riusciti a superare gli ostacoli legati al mancato scambio di informazioni tra software che rallentava la fase di progettazione delle opere.

Lo stesso però non si può dire per il settore delle infrastrutture e quindi dell'InfraBIM, in cui i problemi legati all'interoperabilità sono spesso causa di mancata elaborazione dei progetti con tale metodologia. Ad oggi infatti, sebbene due software siano in grado di dare vita ad un file finale con lo stesso formato, non è detto che quello elaborato da uno sia leggibile nell'altro che supporta lo stesso formato.

Per ovviare a tale problema, la buildingSMART sta elaborando una nuova versione del formato IFC standardizzato, in cui saranno incluse alcune delle informazioni relative alla progettazione infrastrutturale.

Recentemente sono stati condotti numerosi studi di ricerca per tentare di elaborare modelli di progettazione infrastrutturale basati sul sistema

IFC. Per fare ciò, è necessario seguire uno schema costituito da differenti fasi che tiene conto dell'evoluzione dell'infrastruttura che si sta modellando.

- **Fase 1, Gerarchia delle classi concettuali:** questa fase prevede la realizzazione di un modello gerarchico per classi del tutto teorico. Gli elementi che compongono le infrastrutture sono definiti in maniera standardizzata e si evidenziano anche delle relazioni gerarchiche con gli altri elementi del modello
- **Fase 2, Modello di dati geometrico:** è la fase necessaria alla definizione delle coordinate bidimensionali o tridimensionali degli elementi del modello. Sulla base di queste coordinate sarà possibile individuare forma, dimensione e localizzazione delle entità senza far riferimento ad alcuna informazione relativa al materiale e allo spessore.
- **Fase 3, Modello di dati semantico:** in questo caso il modello viene arricchito attribuendo agli elementi delle informazioni non di tipo geometrico ma di tipo semantico.

CASO STUDIO: IL PONTE FRANCO
BALBIS

Caso studio: il ponte Franco Balbis

3.1 Storia

La storia del Ponte Franco Balbis un tempo chiamato Ponte Vittorio Emanuele III, risale a moltissimi anni fa.

A partire dal 1911 esisteva già un attraversamento in legno nei pressi del borgo del “Pilonetto” (tratto di corso Moncalieri in prossimità del fiume Po), costruito in occasione dell’esposizione per il cinquantenario dell’Unità d’Italia.

Il ponte, a sette campate, era lungo 110 metri e doveva essere realizzato con caratteristiche di robustezza tali da consentire in un secondo momento anche il passaggio carraio.

Nel 1914 l’opera, considerata altamente robusta, venne aperta al transito di una linea tranviaria ma dopo alcuni anni cominciò a mostrare segni di deterioramento a causa dell’eccessivo carico che la struttura non riusciva a supportare.

Sebbene vennero effettuati numerosi interventi di ripristino e manutenzione, nel 1921 il ponte venne dichiarato insicuro nei confronti del traffico veicolare e tranviario per cui ritornò in quell’anno stesso alla sola circolazione pedonale.

Nel frattempo, le regioni di Nizza e Lingotto erano nel bel mezzo del processo di industrializzazione per cui diveniva fondamentale realizzare un collegamento diretto tra queste ed il trafficato Corso Moncalieri in direzione di Genova.

Alla fine del 1924, l'amministrazione comunale prese coscienza di questa situazione e stanziò un primo fondo per la costruzione di un nuovo ponte di cui si ebbe la redazione di un progetto di massima l'anno successivo. Il nuovo ponte (ubicato in prossimità del prolungamento di Corso Bramante) doveva tenere conto della presenza del cavalcavia ferroviario in costruzione su Corso Bramante che avrebbe convogliato il traffico veicolare proveniente da Borgo San Paolo sul ponte stesso.

L'appalto per la realizzazione dell'opera fu bandito il 3 giugno del 1925 e prevedeva la partecipazione di numerose ditte italiane in grado di eseguire costruzioni in cemento armato.

A vincere la gara fu l'impresa Porcheddu, azienda molto nota all'epoca, che presentò tre proposte suggerite da tre architetti differenti sulla base di un'unica struttura i cui calcoli furono effettuati dall'ingegner Mario Dezzutti.

Dopo numerose valutazioni, la commissione scelse la soluzione proposta da un giovane architetto Italiano: Giuseppe Pagano.

Lo stile privilegiato dal giovane artista era quello basato sulla concezione di un castigato razionalismo, "antidecorativo" ed "antiretorico".

Il ponte doveva essere realizzato in modo da garantire la linearità del disegno, per cui fronte e parapetto dovevano costituire un'unica superficie animata solamente dalla sporgenza dei terrazzini.

La monotonia lungo la bianca linea di coronamento del parapetto sarebbe stata interrotta dalla ringhiera dei terrazzini realizzata con l'utilizzo di motivi geometrici.

La conclusione dei lavori si ebbe verso la fine del 1927 ma l'inaugurazione avvenne nel 1928 per l'Esposizione Nazionale del decennale di Vittorio Veneto. Il ponte rimane oggi l'unica traccia dell'evento in quanto tutti i padiglioni costruiti per l'occasione furono demoliti subito dopo.

Come accennato all'inizio, il nome primordiale del ponte fu dedicato al re Vittorio Emanuele III, per poi essere cambiato a seguito della caduta della monarchia.

Nel 1945 il ponte venne dedicato a Franco Balbis, medaglia d'oro per essersi distinto nei combattimenti militari, caduto per la libertà.

Ad oggi il ponte costituisce un elemento di raccordo fondamentale in una delle aree maggiormente trafficate di Torino.

3.2 Scheda tecnica

Il ponte Franco Balbis è stato realizzato in cemento armato e si compone di tre arcate policentriche uguali fra loro. Ogni campata del ponte è costituita da una volta, collegata mediante pilastri alla soletta di sostegno del piano stradale.

La lunghezza totale dell'opera è di 147 metri e la larghezza è di 20 metri (la carreggiata è larga 14 metri). Ogni arcata ha una luce di 38 metri.

La struttura del ponte venne realizzata dall'impresa Porcheddu in cemento armato mentre il paramento esterno ed i parapetti furono ricoperti di pietra artificiale a base di graniglia di marmo verde. Il coronamento dei parapetti è invece in Calcare di Nabresina.

Sono presenti anche dei motivi decorativi come ad esempio lesene e terrazzini semiesagonali che sovrastano i rostri e le spalle, e stemmi in chiave di ogni arcata.



Figura 3.1- Ponte Franco Balbis

3.3 Archivio Porcheddu

Nel presente elaborato di tesi si è voluto riprodurre tramite l'utilizzo della metodologia BIM il suddetto ponte Franco Balbis, di cui si avevano a disposizione i disegni cartacei conservati nell'archivio Porcheddu del Politecnico di Torino del dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica (DISEG).

L'archivio complessivo si compone di circa 385 dossier (102 conservati a Torino) comprendenti disegni, fogli di calcolo, relazioni tecniche e tutto ciò che testimonia l'attività dell'impresa nella realizzazione di molteplici opere diverse per tipologia e dimensione a partire dal 1895 circa.

Giovanni Antonio Porcheddu fu un ingegnere Italiano conosciuto per l'attività svolta dalla sua impresa, che ha diffuso la nuova tecnica del calcestruzzo armato "Sistema Hennebique" in Italia nel 1900.

Il "Sistema Hennebique" è relativo al conglomerato cementizio armato con profilati di ferro disposti e rafforzati con delle staffe. La tecnica si definisce "cemento armato" e venne ideata e brevettata nel 1892 dall'ingegnere francese François Hennebique.

A Porcheddu si deve la concessione esclusiva per l'applicazione del brevetto in Italia nello stesso anno in cui venne ideato.

Si trattava di un metodo innovativo per i tempi tanto che fu oggetto di numerose critiche e perplessità da parte di altri progettisti contemporanei, ma che l'ingegnere si propose di portare avanti nonostante tutto.

I risultati ottenuti con l'utilizzo di tale tecnica furono sensazionali.

L'impresa costruì numerose opere a Torino e in diverse città d'Italia; tra queste la più importante fu il ponte del risorgimento a Roma tra il 1909 e il 1911 sul Tevere.

Tra gli altri lavori più significativi si ricordano ad esempio i silos granari del porto di Genova, il ponte Duca degli abruzzesi sulla Dora a Torino ecc. ecc.

3.4 Interventi di manutenzione Città Metropolitana di Torino

Il ponte Balbis è localizzato in ambiente urbano per cui la gestione è affidata a Città Metropolitana di Torino ^[11] che si preoccupa di programmare eventuali interventi di miglioramento.

A tal proposito nel novembre del 2003 la divisione infrastrutture e mobilità settore ponti e vie d'acqua, ordinò una serie di interventi di manutenzione straordinaria per alcuni ponti della città e tra questi era presente anche il ponte Balbis.

La documentazione presentata da Città Metropolitana consisteva in tre elaborati principali tra cui il rilievo strutturale, la relazione di calcolo dopo l'intervento in progetto e l'analisi della situazione strutturale (a quel tempo attuale) del ponte.

All'interno del documento del rilievo strutturale, l'Ufficio Tecnico Comunale forniva diverse informazioni come ad esempio gli elaborati grafici di rilievo (piante, prospetti, sezioni longitudinali e trasversali), la scheda del ponte, la scheda di controllo delle strutture, le indagini sui

^[11] Comune di Torino

materiali e gli altri dati ricavati da sopralluoghi diretti che furono effettuati tra luglio e ottobre del 2003.

Le indagini effettuate evidenziarono delle situazioni di dissesto strutturale tra di loro indipendenti.

La prima era una diffusa situazione di corrosione delle armature metalliche, con conseguente rigonfiamento delle barre corrose, fessurazione ed in qualche caso espulsione del copriferro. La corrosione interessava tutta la struttura dell'impalcato cioè pilastrini, travi longitudinali e trasversali e soletta. Le volte portanti invece erano esenti dalla problematica. La presenza del fenomeno era evidente sia maniera diretta, in quelle zone in cui le barre ossidate ed il successivo rigonfiamento avevano portato all'espulsione del copriferro, sia in maniera indiretta a seguito della comparsa di macchie di ruggine e di fessurazioni con andamento parallelo alle barre dovuto ad un fenomeno di rigonfiamento delle barre ossidate la cui entità però non era ancora in grado di provocare il distacco del copriferro.



Figura 3.2- Espulsione del copriferro causata dal rigonfiamento di un'armatura ossidata



Figura 3.3- Affioramento di macchie di ruggine



Figura 3.4-Fessurazioni parallele alle barre di armatura

Tale situazione di dissesto strutturale era stata confermata anche dai risultati delle misure del grado di alcalinità del calcestruzzo mediante reazione della fenolftaleina. Nel fascicolo ‘Indagini sui materiali’ infatti, erano riportati valori di pH inferiori a 9 per gli elementi dell’impalcato per profondità superiori al copriferro delle armature e addirittura per la totalità dello spessore in alcuni pilastri. Per quanto riguardava invece le volte portanti, i valori rispecchiavano quanto dedotto dalle ispezioni visive con valori di pH inferiori a 9 solamente nella zona compresa tra 0,5 e 1 cm. Il fenomeno che avveniva era quello della carbonatazione che consiste nella penetrazione dell’anidride carbonica dell’aria all’interno del calcestruzzo attraverso i suoi micropori e al successivo innescarsi di reazioni chimiche con l’idrossido di calcio presente nella pasta

cementizia. Tali reazioni producono un abbassamento del pH del materiale che va al di sotto del valore soglia (pH=9) che garantisce la passivazione e la protezione delle armature. Vi sono poi altri fattori che incidono sullo sviluppo della corrosione come ad esempio la presenza di umidità e di ossigeno. Questi elementi erano presenti entrambi all'interno dell'ambiente del ponte Balbis e questo spiegava ai tecnici come il fenomeno di ossidazione era iniziato ed aveva incrementato la sua velocità di sviluppo a causa della formazione di fessurazioni che favorivano l'ingresso di agenti aggressivi. L'ispezione aveva anche evidenziato come alcuni pilastrini avessero già subito interventi di riparazione e protezione superficiale ma che questo non li aveva resi esenti dalla corrosione in atto sulla struttura.

La seconda situazione di dissesto strutturale riguardava la plasticizzazione del ferro di armatura e la disgregazione del calcestruzzo delle travi longitudinali di impalcato in prossimità dei giunti in soletta presenti alle estremità della campata centrale, lesioni passanti nei timpani e nella soletta dei marciapiedi in prossimità delle pile della campata centrale. La relazione fornita riporta che al momento della costruzione erano stati predisposti due giunti nell'impalcato, situati in corrispondenza delle pile adiacenti alla campata centrale. Nel corso delle ispezioni però venne accertato come in realtà tali giunti riguardassero esclusivamente la soletta dell'impalcato interrotta completamente. Il giunto non interessava invece le travi longitudinali le quali risultavano continue per tutta la lunghezza dell'impalcato e che erano solidali ai setti longitudinali della pila. Le travi poste in corrispondenza dell'interruzione della soletta erano profondamente dissestate con fenomeno di disgregamento evidente del calcestruzzo e probabile snervamento delle armature. Altre ispezioni mostravano poi segni di scorrimento tra le travi longitudinali ed i setti della pila ad essi paralleli e frontali su cui si appoggiano, e fenomeni di mutuo movimento tra la soletta e il setto frontale della pila molto evidenti in corrispondenza del

cunicolo impianti sottostante ai marciapiedi. Le lesioni proseguivano poi nel timpano con andamento circa verticale.



Figura 3.5- Segni di scorrimento tra trave longitudinale e setto frontale della pila

A tale quadro si aggiungevano alcuni dissesti di minore entità ed importanza che, pur avendo origine strutturale, interessavano elementi non portanti quali il parapetto in calcestruzzo armato ed il suo coronamento in pietra. Le finiture del ponte erano soggette a lesioni e sconnessioni in corrispondenza del parapetto e del suo rivestimento, a sbrecciatura per compressione del coronamento e a lesioni nella pavimentazione stradale.

Per quanto riguarda le numerose lesioni e sconnessioni esse erano una conseguenza dei movimenti dell'impalcato dovuti sia al ritiro ed alle deformazioni termiche, sia alla viscosità del calcestruzzo sotto i carichi permanenti. Le sbrecciature degli angoli del coronamento dipendevano dall'assunzione di compressioni per collaborazione del parapetto stesso con l'impalcato e dalla perfetta lavorazione delle pietre stesse che ai tempi furono poste a diretto contatto tra loro senza l'interposizione di giunti di malta la cui deformabilità avrebbe smorzato le compressioni.



Figura 3.6- Dissesti del parapetto in corrispondenza delle lesioni del timpano



Figura 3.7- Sbrecciature per compressione del coronamento in pietra

Infine, furono riscontrate anche numerose lesioni nella pavimentazione stradale da attribuire alle interruzioni della soletta realizzate all'atto della costruzione con funzione di giunti di dilatazione. Poiché nella pavimentazione non furono predisposti giunti, queste interruzioni si traducevano all'estradosso in fessure trasversali che interessavano tutta la carreggiata.

L'intervento in progetto si preoccupava dunque di eliminare le anomalie esistenti nell'impalcato del ponte che riguardava i giunti parziali di dilatazione. Con l'intervento i giunti vennero regolarizzati e resi efficaci. Inoltre, vennero ripristinati i parapetti, il coronamento esterno ed anche la pavimentazione.

All'interno del documento contenente l'analisi strutturale della situazione allora attuale dell'infrastruttura, viene presentato il modello di calcolo adottato.

In particolare, era stato costruito un modello di calcolo agli elementi finiti (F.E.M.) partendo dalla geometria del progetto originale. Tale modello conteneva al suo interno elementi di tipo lastra-piastra (SHELL) ed elementi di tipo trave (BEAM) andando così a formare un sistema di elementi e nodi. I valori delle caratteristiche meccaniche dei materiali assunti nell'analisi erano stati dedotti principalmente dai risultati delle prove effettuate sui provini dei materiali. Per riprodurre il processo di formazione delle fessure era stata creata una sequenza di modelli la cui non linearità meccanica era presa in considerazione tramite il cambiamento delle condizioni cinematiche. Partendo dunque dalla situazione zero in cui il ponte non presentava fessure si arrivava alla situazione finale, e allora attuale, in cui le fessure presenti sui timpani raggiungevano un punto stabile. Le analisi effettuate avevano consentito di individuare le cause delle fessurazioni nel contemporaneo effetto del ritiro e del peso proprio della struttura.

Infine, all'interno del documento contenente la relazione di calcolo dopo l'intervento effettuato sulla struttura, è possibile notare come le anomalie esistenti nell'impalcato del ponte al momento dell'ispezione venivano eliminate. I giunti di dilatazione parziali posti alle estremità della campata centrale venivano regolarizzati e resi efficaci con conseguente riduzione degli stati tensionali dovuti alle deformazioni impresse.

3.5 Ispezione in situ del Ponte

Per prendere maggiore consapevolezza della struttura e della conformazione del ponte Balbis, è stato svolto un sopralluogo e sono state scattate delle fotografie che testimoniano lo stato attuale dell'infrastruttura.

Nel caso particolare del presente elaborato di tesi, non è stato possibile accedere alla struttura interna del ponte per cui le fotografie sono state scattate solamente alla parte esterna dell'opera ed in corrispondenza di punti facilmente raggiungibili. Il ponte infatti, può essere percorso a piedi grazie alla presenza dei marciapiedi posti ai lati della carreggiata e può essere osservato anche dal basso grazie della presenza degli accessi laterali che portano ai piedi delle spalle esterne del ponte vicino al fiume. L'ispezione effettuata ha permesso di valutare come il ponte si presenti complessivamente in buono stato dall'esterno.

Il rivestimento in pietra viene a mancare in alcune parti della struttura, in particolare nelle arcate laterali in cui le armature risultano esposte all'aria e molto probabilmente soggette anche a corrosione.



Figura 3.8- Particolare di arcata privo di rivestimento e con armature a vista

Numerose macchie di umidità affiorano dalla superficie dell'opera e si estendono lungo le arcate e lungo il rivestimento tra un'arcata e la successiva.



Figura 3.9- Particolare con macchie di umidità diffusa

Per quanto riguarda i parapetti, essi risultano complessivamente in buono stato e non particolarmente danneggiati.

La pavimentazione della carreggiata presenta numerosi difetti superficiali tra cui buche e rattoppi nella parte centrale e fessurazioni a ragnatela diffuse lungo tutto lo sviluppo dell'infrastruttura e particolarmente visibili nella zona adiacente i marciapiedi.



Figura 3.10- Buche e rattoppi diffusi sulla pavimentazione



Figura 3.11- Fessurazioni ramificate sulla pavimentazione

Infine, le ringhiere metalliche poste a protezione dei marciapiedi sono complessivamente in buono stato così come la pavimentazione dei marciapiedi stessi.

**MODELLAZIONE DEL CASO STUDIO:
METODOLOGIA E CODIFICA**

Modellazione del caso studio: metodologia e codifica

Il seguente capitolo contiene una descrizione dettagliata della procedura con cui si è realizzato il modello del ponte Balbis utilizzando la metodologia BIM.

È importante specificare che per la modellazione, si è partiti dai disegni cartacei messi a disposizione dall'archivio Porcheddu del Politecnico di Torino.

I disegni fanno riferimento al progetto esecutivo e contengono quasi tutte le informazioni necessarie alla realizzazione del modello. Tra questi disegni ci sono la pianta dell'impalcato, i prospetti, le sezioni, la distinta delle armature e alcuni prospetti dei dettagli costruttivi riguardanti il rivestimento in pietra del ponte.

Gli elaborati grafici non sono consultabili al di fuori dell'archivio per cui è stato necessario digitalizzarli in modo da averli a disposizione come supporto alla modellazione.

Sono stati fotografati con strumenti professionali che ne hanno consentito la successiva digitalizzazione e fruizione ottenendo così delle fotografie ad alta risoluzione.

Tutto ciò ha permesso di riprodurre la struttura del ponte ed alcuni suoi dettagli partendo dai semplici disegni cartacei.

Il seguente elaborato di tesi mette a disposizione dunque, una versione digitalizzata del ponte Franco Balbis realizzata con la metodologia BIM

inquadramento generale, ed OpenRoads Designer per il coordinamento tra planimetria ed altimetria.

Un ulteriore passaggio è stato effettuato avvalendosi del software Autodesk Civil 3D. In questo modo sono stati aggirati gli ostacoli legati alla mancata lettura di particolari formati di file tra i programmi in uso di cui si discuterà dopo nel dettaglio. Così facendo, è stato anche possibile testare l'interoperabilità tra i software di diverse software house.

Il passaggio antecedente alla modellazione con la tecnica BIM è stato quello di riprodurre la pianta dell'impalcato del ponte su Autocad.

La versione utilizzata è quella di Autodesk AutoCAD 2019 per studenti. Tale espediente è stato introdotto per semplificare l'inizio della modellazione in modo da potere individuare la corretta posizione delle travi e dei pilastri e da potere riprodurre con le giuste dimensioni gli spazi presenti all'interno dell'impalcato strutturale.

Per semplificare ulteriormente il processo, la rappresentazione in 2D è stata realizzata solamente per metà dell'impalcato in quanto gli elaborati progettuali evidenziavano la perfetta simmetria della struttura in ogni sua parte.

L'unità di misura nel software è stata settata in metri.

Per prima cosa si è partiti dal contornare l'impalcato con i bordi esterni. Successivamente sono stati disegnati gli spessori delle travi e tramite la ripetizione degli interassi, sono stati collocati correttamente i pilastri.

Alla fine della costruzione di metà del modello in 2D, è stato possibile ottenere la pianta completa dell'impalcato del ponte utilizzando il comando 'Specchia' di Autocad secondo l'asse di simmetria trasversale all'opera. Lo stesso comando è presente anche nel software Revit per cui allo stesso modo, una volta completata la costruzione di metà del modello 3D, l'elemento è stato specchiato avvalendosi del suddetto comando.

Si riporta di seguito il risultato finale.

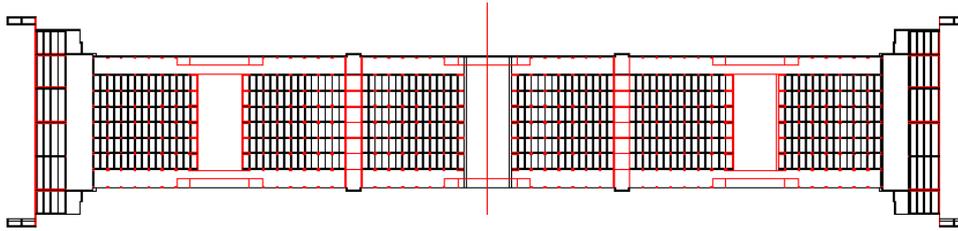


Figura 4.2- Pianta dell'impalcato realizzata con Autodesk Autocad 2019

4.1 Modellazione in Autodesk Revit

Per la modellazione con la metodologia BIM è stata utilizzata la versione per studenti di Autodesk Revit 2020.

Quando si apre la schermata iniziale del software, bisogna selezionare l'opzione Nuovo e scegliere 'modello strutturale' nel menù a tendina del file modello e successivamente cliccare su crea nuovo 'Progetto'.

A questo punto il software è pronto per essere utilizzato.

Per prima cosa bisogna impostare correttamente l'unità di misura del disegno che si vuole realizzare. Nel caso specifico per la lunghezza si è scelto di utilizzare i metri.

Revit contiene al suo interno delle Famiglie, cioè una raccolta di tutti gli elementi e i dati che è possibile inserire in un progetto 3D.

Il software è dotato essenzialmente di tre tipi di famiglie che sono: famiglie locali, famiglie caricabili e famiglie di sistema.

Le famiglie locali sono costituite da elementi unici creati quando è necessario disporre di un componente specifico in un progetto corrente.

In Revit la creazione di un elemento locale comporta la generazione di una famiglia che contiene un unico tipo di famiglia.

Le famiglie caricabili sono utilizzate per creare componenti di costruzione o di sistema che verrebbero normalmente acquistati e installati all'interno o all'esterno dell'edificio come elementi di arredo o apparecchi idraulici. Tali famiglie hanno una natura altamente

personalizzabile e sono create in file esterni e importate o caricate nei progetti.

Le famiglie di sistema sono costituite da componenti di base da assemblare successivamente e da alcune impostazioni di sistema che influiscono sull'ambiente di progetto come livelli o griglie.

Nell'elaborato di tesi si è fatto uso delle sole famiglie di sistema che contengono tipi di famiglie utilizzati per creare gli elementi essenziali degli edifici quali muri, pavimenti, pilastri, travi ecc. ecc.

Le famiglie di sistema sono predefinite in Revit; vengono salvate in progetti e non possono essere caricate in altri progetti o modelli da file esterni. Non è possibile creare, modificare o eliminare le famiglie di sistema ma è possibile duplicarle e modificare i tipi all'interno delle famiglie di sistema per crearne altri personalizzati.

Come già accennato, anche in questo caso la modellazione è stata condotta solo per metà della struttura.

Al termine della realizzazione, il risultato ottenuto è stato specchiato tramite il comando Specchia di Revit secondo l'asse di simmetria della struttura così da ottenere il modello tridimensionale parametrico finale.

4.1.1 Collegamento del file Autocad

Una volta creato il nuovo file, è stata collegata in Revit la pianta dell'impalcato che era stata precedentemente realizzata su Autocad in formato .dwg.

Il collegamento di un file CAD all'interno di Revit è uno strumento molto importante che testimonia le funzionalità di integrazione delle modifiche nel software.

Quando si collega un file, Revit è in grado di recuperare e visualizzare la versione salvata e aggiornata del file collegato ad ogni riapertura del modello.

Per collegare il file è stato sufficiente andare sulla scheda Inserisci, gruppo Collega e selezionare Collega CAD.

In questo modo la pianta dell'impalcato è stata visualizzata su Revit ed è stato possibile proseguire con la modellazione.

4.1.2 Creazione dei livelli e delle griglie

I livelli e le griglie sono piani circoscritti che consentono di definire il contesto del progetto.

Per quanto riguarda i livelli, essi sono utili alla definizione del modello tridimensionale in quanto danno indicazioni circa l'elevazione in quota di ciascuna parte dell'opera.

Nel caso in esame i livelli inseriti sono stati inizialmente sei, a cui sono stati aggiunti altri in fase di sviluppo per collocare gli elementi di dettaglio.

A ciascuno dei sei livelli è stato possibile assegnare un valore di quota specifico ed un nome:

- Impalcato (quota 228,84 metri)
- Strutturale (quota 228,55 metri)
- Inizio arco (quota 220,55)
- Fine pila (quota 218,65)
- Inizio pila (quota 213,10)
- Fondazioni (quota 205,60).

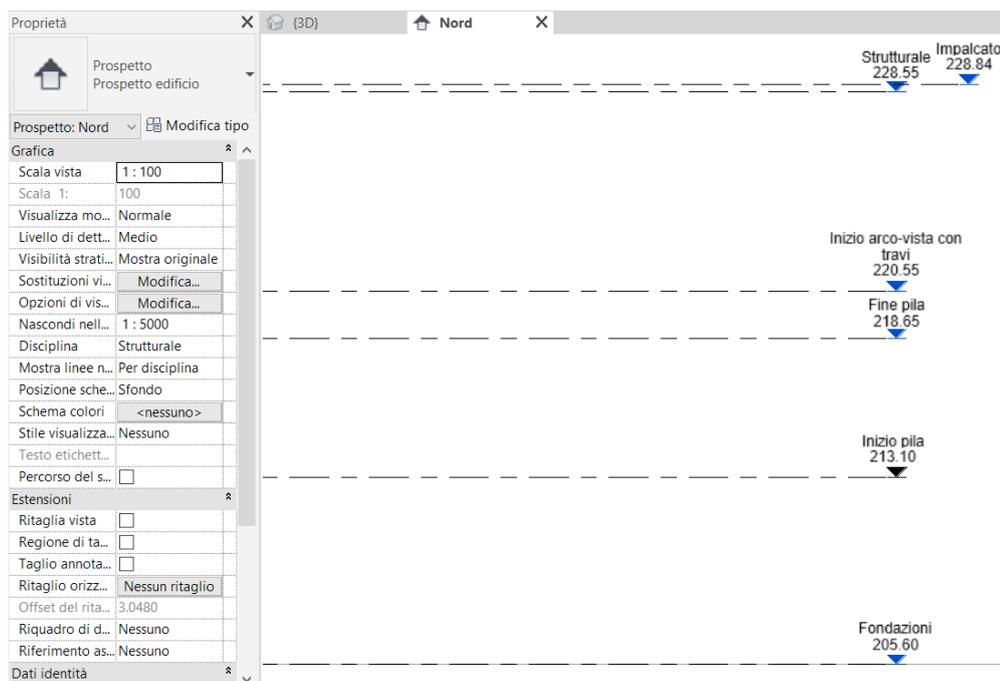


Figura 4.3- Posizionamento dei livelli di riferimento

Le griglie sono elementi di annotazione che semplificano l'organizzazione del progetto. In particolare, queste sono state posizionate in corrispondenza delle rette passanti per i centri dei pilastri visibili nel collegamento del file CAD in modo da facilitare successivamente l'aggiunta dei pilastri lungo le linee della griglia e così da ottimizzare la pianificazione del layout dell'opera.

In Revit le singole griglie vengono numerate automaticamente per avere un riferimento nelle diverse viste.

Per evitare confusione nella visualizzazione, le etichette contenenti la numerazione delle griglie sono state nascoste nella vista riportata di seguito.

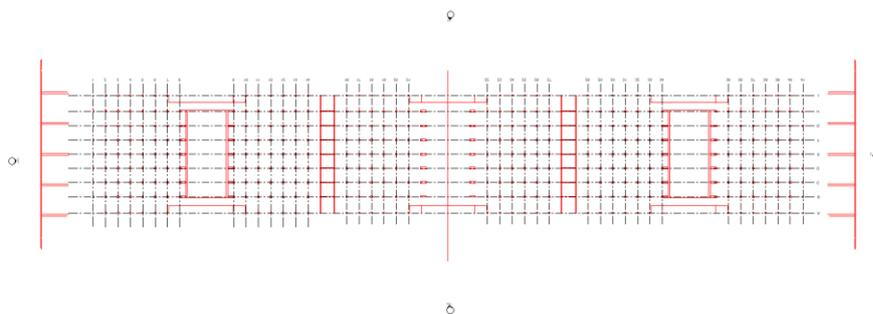


Figura 4.4- Creazione delle griglie

4.1.3 Modellazione dei pilastri

Una volta disegnati i livelli e le griglie, è possibile utilizzarli come riferimento insieme alla pianta dell'impalcato collegata per poter proseguire con la modellazione dei pilastri.

I pilastri presenti all'interno dell'opera infrastrutturale sono all'incirca 378 e sono tutti di forma quadrata con dimensioni pari a 280x280 millimetri.

La libreria di Revit contiene al suo interno la famiglia di sistema Colonna Strutturale, in cui ciascun elemento è dotato di forma e dimensioni precise (tipo) per cui è stato necessario adattare tali elementi al caso studio. Nel caso specifico, il nuovo tipo di Colonna Strutturale è stato chiamato "Pilastro 28x28cm".

Creata il tipo bisognava collocarlo all'interno del modello e per facilitare l'operazione si è scelto di posizionare i pilastri all'intersezione delle linee che costituiscono il grigliato. A questo punto i pilastri erano presenti all'interno del modello secondo lo schema della pianta dell'impalcato, ed inizialmente sono stati collocati al livello "Fondazioni". Successivamente, si è scelto il livello 'Inizio arco' come vincolo per la base della colonna e il livello 'Strutturale' come vincolo per la parte superiore della colonna. In questo modo i pilastri risulteranno 'sospesi' nel modello fino a quando non verranno create le pile e le arcate che taglieranno i pilastri fino alla loro all'intersezione.

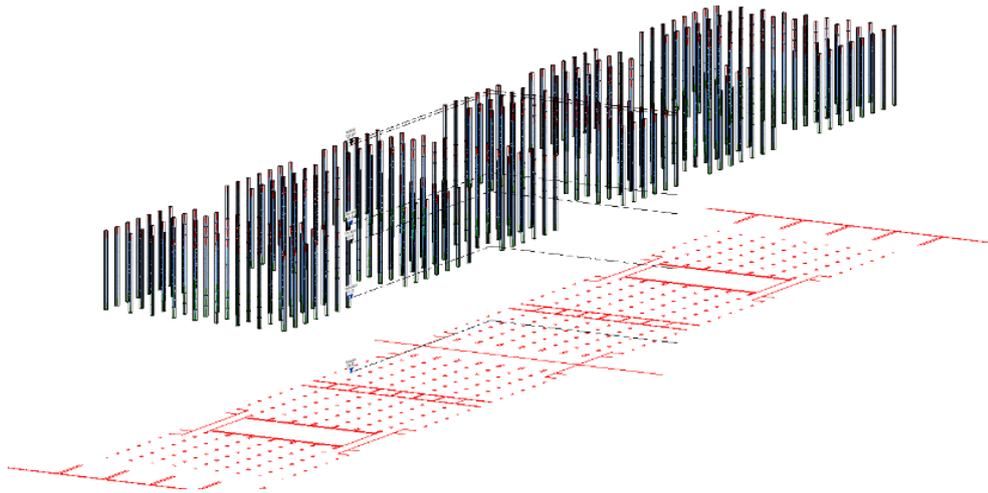


Figura 4.5- Modellazione dei pilastri strutturali

4.1.4 Modellazione delle travi e del riempimento impalcato

La modellazione delle travi e del riempimento è lo step finale per completare la forma della pianta dell'impalcato.

Anche in questo caso sono state utilizzate delle famiglie di sistema ed in particolare quella delle Travi Strutturali e quella dei Pavimenti Strutturali.

Iniziamo analizzando le diverse tipologie di travi strutturali rettangolari in calcestruzzo presenti nell'opera:

- Trave 12x47 cm
- Trave 14x47 cm
- Trave 16x50 cm
- Trave 18.5x50 cm
- Trave 18x47 cm
- Trave 23x47 cm
- Trave 28x16 cm
- Trave 28x18 cm
- Trave 28x47 cm
- Trave 28x50 cm
- Trave 30x60 cm

- Trave 40x80 cm

Ogni tipo di trave è stato editato secondo le esigenze del progetto e rinominato sulla base delle dimensioni dei dodici tipi di trave presenti nella struttura.

Nel caso specifico, le travi sono state disegnate al livello della pianta delle fondazioni e poi tramite un comando di Revit è stato possibile cambiare il livello di riferimento per le travi che è stato settato sul Livello Strutturale.

Per quanto riguarda il riempimento della pianta di impalcato, esso è stato realizzato utilizzando la famiglia di sistema Pavimento strutturale. Il tipo di pavimento scelto per il progetto è stato rinominato 'Pavimento generico 300 mm per impalcato'.

L'inserimento del pavimento strutturale è avvenuto aprendo la vista Fondazioni in cui tramite lo strumento linea di contorno e le operazioni di copia e incolla, è stato possibile disegnare il pavimento di riempimento tra le travi e i pilastri dell'impalcato. A questo punto come per le travi, è stato cambiato il livello di riferimento del pavimento in modo da portarlo alla stessa elevazione delle travi.

Di seguito viene mostrata una vista di metà pianta dell'impalcato che rappresenta il risultato ottenuto dopo la modellazione di travi e pavimenti di riempimento.

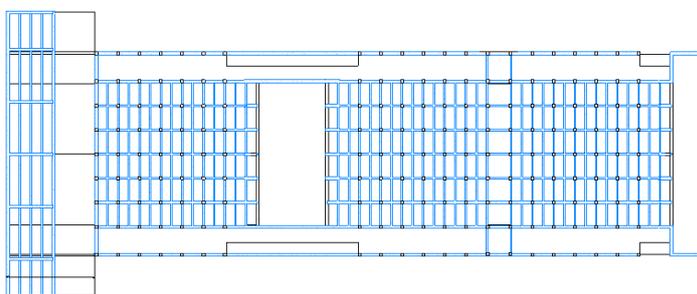


Figura 4.6- 1/2 Pianta dell'impalcato dopo la modellazione di travi e pavimenti di riempimento

4.1.5 Modellazione delle fondazioni

Una volta conclusa la pianta dell'impalcato è stato possibile passare alla valutazione delle fondazioni.

I disegni progettuali messi a disposizione dall'archivio, non forniscono delle informazioni dettagliate circa le dimensioni o la forma delle fondazioni strutturali presenti nel progetto.

Per questo motivo, sulla base dei pochi dati disponibili le fondazioni sono state comunque modellate per ottenere una maggiore completezza del modello, ma in maniera approssimata rispetto al resto della struttura.

Per disegnare le fondazioni è stata scelta la famiglia Plinto, ed è stato duplicato uno tra i tipi presenti nell'elenco della stessa. Questa operazione è stata ripetuta tre volte per riprodurre la disposizione degli elementi secondo l'estensione dell'opera e a ciascun tipo è stato poi assegnato un nome e delle dimensioni seppur approssimate.

È importante inoltre segnalare come una delle strutture di fondazione presenti nel modello (quella relativa alla spalla del ponte di colore più chiaro nel disegno che viene riportato di seguito), sia stata modellata non come fondazione ma come Massa in quanto la geometria della sezione risultava molto complessa e poco chiara dai disegni originali.

Un'ultima considerazione riguardo le fondazioni va fatta a proposito di una delle sezioni longitudinali del ponte rinvenuta tra i disegni. L'elaborato grafico evidenzia come nelle parti esterne del ponte, che non competono alla pianta dell'impalcato e che si appoggiano sul terrapieno della sponda del fiume Po, siano presenti dei pali e non dei plinti di fondazione. L'immagine non dà indicazioni circa le dimensioni o la quota alla quale tali pali sono collocati ma ne indica solamente la presenza a testimonianza del fatto che forse le fondazioni non erano di competenza progettuale dell'impresa e sono state in seguito realizzate da terzi.

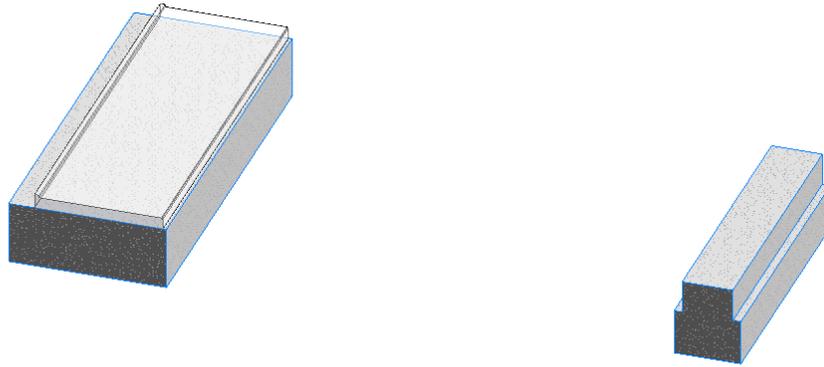


Figura 4.7- Modellazione delle fondazioni

4.1.6 Modellazione delle Spalle e delle Pile

La fase successiva del lavoro è stata dedicata alla modellazione delle spalle e delle pile costituenti la struttura.

Innanzitutto, è bene dare una definizione precisa dei seguenti elementi strutturali che danno vita all'opera.

La spalla è quell'elemento che costituisce la struttura di sostegno terminale dell'arcata del ponte e del terrapieno laterale.

La pila viene definita come quel componente strutturale intermedio che contribuisce a garantire un sostegno tra due arcate consecutive.

Entrambi gli elementi strutturali del ponte sono stati modellati in Revit utilizzando lo strumento Massa Locale.

Le Masse Locali vengono impiegate per forme di massa specifiche per il contesto del progetto corrente; tali masse non potranno essere riutilizzate in altri progetti.

Questi elementi sono molto utili quando ci si trova nelle fasi iniziali della progettazione poiché permettono di dare forma a diverse idee e soluzioni ed eseguire analisi preliminari in un ambiente di progettazione concettuale. Quando il progetto sarà maturo, le forme potranno essere manipolate e utilizzate come base per creare componenti architettonici dettagliati.

Nel caso specifico dell'elaborato di tesi l'elemento Massa Locale è stato introdotto al fine di aggirare gli ostacoli legati alla definizione della

complessa geometria degli elementi strutturali. Infatti, come già discusso in precedenza Revit è un software di modellazione parametrica particolarmente efficiente per la progettazione edilizia ma non altrettanto per quella infrastrutturale. Gli elementi architettonici e strutturali che sono presenti come famiglie in Revit non sempre sono sufficienti per modellare un'opera infrastrutturale specie quando questa presenta delle geometrie articolate come quelle del ponte in esame.

Per questo motivo si è scelto di usare lo strumento Massa Locale nella progettazione, che si è rivelato particolarmente utile nel caso della definizione della pila del ponte. La famiglia di masse locali è stata rinominata come 'Pila'.

Una volta creata la massa è stato necessario modellarla nell'apposito ambiente di progettazione concettuale in cui è stato possibile realizzare le forme desiderate grazie agli strumenti disponibili nel gruppo Disegna (linee o forme).

In particolare, la pila presente in progetto presenta una sezione cava per cui inizialmente è stata realizzata una sezione di Solido (piena) e successivamente creando la sezione di Vuoto è stata sottratta la parte che costituisce la cavità dell'elemento.

Di seguito viene mostrata una rappresentazione del risultato finale.

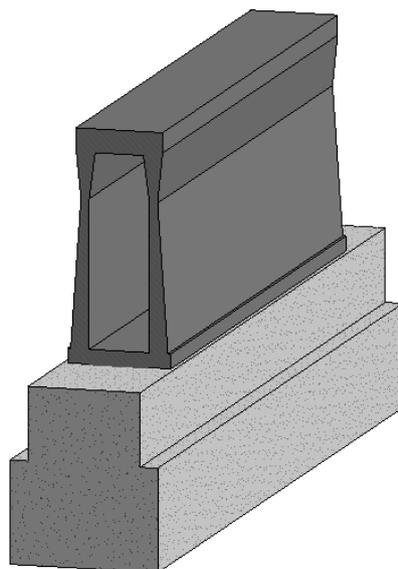


Figura 4.8- Particolare modellazione della pila come massa locale

Per quanto riguarda la spalla del ponte, essa è stata modellata grazie all'utilizzo di due masse locali differenti a causa della complessità geometrica. Le due masse sono state create svolgendo i medesimi passaggi precedenti e sono state rinominate rispettivamente come 'Spalla 1' e 'Spalla 2'.

La prima è una massa solida completamente piena che presenta una forma trapezoidale ed ha uno spessore di circa 4.50 metri che va a restringersi leggermente nella parte sommitale.

La seconda invece ha una forma del tipo ad L, con uno spessore molto piccolo e su cui poggiano delle travi disposte longitudinalmente secondo due file che si collegano dall'altra estremità alla massa trapezoidale.

L'immagine sottostante fornisce una visione complessiva del prodotto finale ottenuto modellando gli elementi appena descritti.

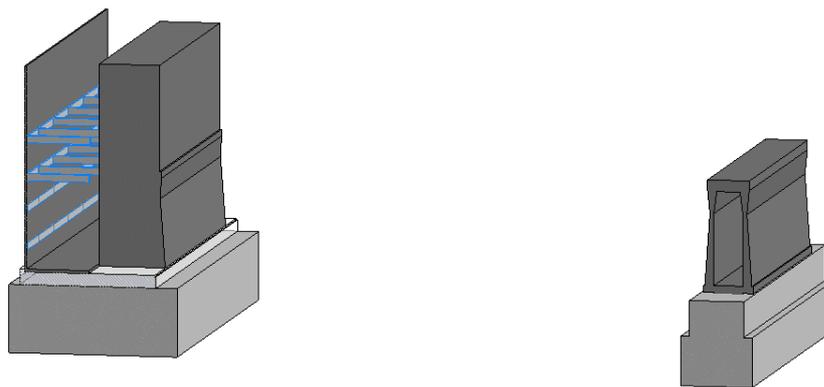


Figura 4.9- Particolare modellazione delle spalle e delle pile come masse locali

4.1.7 Modellazione delle volte

Sebbene Revit sia uno strumento molto potente anche per la progettazione di edifici con forme complesse, non esiste una famiglia specifica in grado di rappresentare in maniera diretta una volta sia essa la più lineare possibile.

Per questo motivo è stato necessario trovare una strategia alternativa per rappresentare il solido tridimensionale.

In particolare, si è scelto di utilizzare la famiglia Trave strutturale dal momento che nel caso in esame la volta è un arco con forma regolare.

Il procedimento adottato si è rivelato di facile attuazione e abbastanza speditivo.

Per disegnare la volta è stato necessario duplicare un tipo di Trave tra quelli esistenti rinominandolo ‘ Trave rettangolare per arco ’.

Per estendere l’arco lungo tutta la larghezza del ponte, è stata scelta una sezione di base della trave curva di 20.30 metri ed un’altezza di 0.47 metri.

Infine, per ultimare questa fase della modellazione è stato necessario troncare i pilastri strutturali creati in precedenza lungo tutto lo sviluppo dell’arco. Selezionando l’arco come piano di riferimento, i pilastri sono stati opportunamente tagliati alla base in modo da adagiarsi perfettamente alla struttura curva.

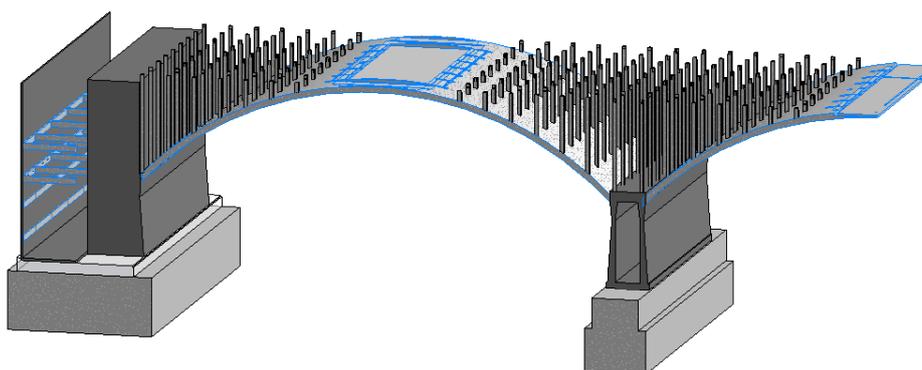


Figura 4.10- Modellazione delle volte e troncamento dei pilastri sulla struttura curva

4.1.8 Modellazione della pavimentazione e dei parapetti

Nel capitolo 3 precedentemente introdotto nel presente documento, si è parlato del fatto che il progetto originario del ponte Balbis prevedesse la predisposizione dell'opera al passaggio di una linea tranviaria.

Effettivamente all'interno dei disegni dell'archivio Porcheddu è stata rinvenuta una sezione trasversale della pavimentazione della carreggiata in cui è evidente la presenza di tale linea.

Ad oggi è possibile constatare come in realtà la vecchia configurazione stradale è stata abbandonata per consentire solamente il traffico veicolare e quello pedonale laterale. In particolare, a seguito del sopralluogo effettuato per valutare lo stato attuale del ponte è stato possibile notare come la carreggiata sia suddivisa in una singola corsia in un senso di marcia e due corsie per il senso opposto; tale scelta è probabilmente scaturita dal forte afflusso di traffico in una direzione rispetto all'altra.

Nel corso della creazione del modello, si è scelto di far fede alla configurazione attuale della carreggiata e quindi di non considerare l'eventuale presenza della linea tranviaria.

L'elaborato grafico della sezione trasversale della carreggiata è stato in grado di fornire dettagli precisi circa la pendenza della pavimentazione e queste informazioni sono state recepite nel modello.

Grazie alla famiglia di sistema Pavimenti strutturali si è generata la pavimentazione. Una volta disegnata la pavimentazione in pianta infatti, tramite Revit è stato possibile assegnare la pendenza corretta alla pavimentazione basandosi sulle variazioni di quota in corso nello sviluppo del disegno.

Tuttavia, non sono state rinvenute nei disegni delle informazioni riguardanti i singoli strati che costituiscono lo spessore totale per cui la pavimentazione è stata generata come un unico blocco. Il pavimento strutturale così creato è stato rinominato 'Pavimentazione' e a questo è stato assegnato uno spessore di 14 cm come da elaborato progettuale.

Dai disegni a disposizione è emerso come l'inclinazione della pavimentazione sia stata data a partire dal centro esatto della carreggiata, cosa che è stata in seguito confermata dall'ispezione visiva nel corso del sopralluogo.

Allo stesso modo si è proceduto per modellare la pavimentazione dei marciapiedi che presentano in questo caso una pendenza unica convergente verso il centro della carreggiata.

I marciapiedi sono leggermente sopraelevati rispetto alla parte della strada destinata alla circolazione veicolare e questo è dovuto ad un vincolo normativo ^[12] circa la progettazione dei ponti destinati anche al transito pedonale. Infatti, per garantire la sicurezza dei pedoni, i marciapiedi devono essere posti in un piano opportunamente separato rispetto a quello in cui si muovono i veicoli e devono inoltre essere protetti da una ringhiera di sicurezza.

Successivamente si è passati alla modellazione del riempimento. Al di sotto della pavimentazione bisognava inserire un riempimento che la

^[12] Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade – Roma, 5 Novembre 2001

seguisse con la stessa inclinazione e che terminasse con spessore praticamente nullo. In questo caso non è stato possibile creare il riempimento con la famiglia di pavimenti strutturali poiché per definizione di pavimento stesso, esso non può avere spessore nullo.

Per ovviare al problema il riempimento è stato generato utilizzando una Massa locale che è stata in grado di colmare esattamente lo spazio vuoto tra la pavimentazione e l'impalcato strutturale.

Alla stessa maniera è stato modellato anche il riempimento presente al di sotto del marciapiede poiché in questo caso la geometria era piuttosto complessa per essere rappresentata con una normale famiglia di sistema.

Di seguito viene mostrato il risultato della modellazione completa della pavimentazione.

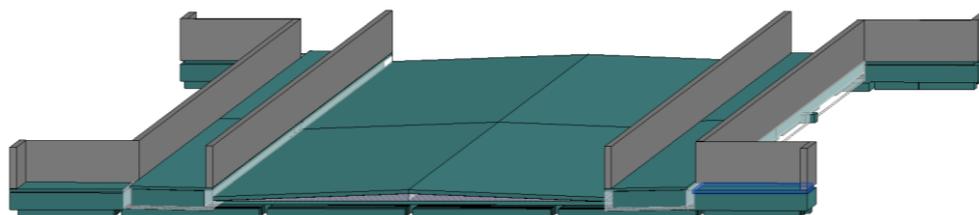


Figura 4.11- Modellazione della pavimentazione in Revit

Infine, sono stati aggiunti nel modello i parapetti esterni al ponte e quelli di protezione del marciapiede. Le poche indicazioni sulla presenza di tali elementi sono state trovate all'interno della tavola della sezione trasversale della carreggiata.

È importante chiarire che nel disegno era indicata solamente l'altezza dei parapetti ed in particolare tale dato era riferito solamente agli elementi esterni presenti sul bordo del ponte.

Per quanto riguarda i parapetti posizionati in corrispondenza delle banchine posti a protezione del marciapiede, nei disegni non viene data alcuna indicazione. Infatti, nel modello sono stati inseriti solamente per rendere quanto più possibile reale la rappresentazione in quanto ad ora

sono presenti dei parapetti metallici lungo tutto lo sviluppo longitudinale della strada.

La riproduzione dei parapetti è stata effettuata in Revit grazie all'utilizzo della famiglia di sistema Muro strutturale. Di questa famiglia ne è stato duplicato e rinominato un tipo con il nome di 'Parapetto'.

Sebbene il sopralluogo abbia evidenziato come le protezioni lungo il marciapiede siano costituite da una ringhiera di ferro decorata, nel modello non è stato possibile raggiungere un livello di dettaglio tale per cui si è utilizzato un muro pieno in calcestruzzo. Tale scelta è giustificata ancora una volta dal fatto che lo scopo dell'elaborato non è raggiungere un grado di rappresentazione eccellente ma creare uno strumento metodologico con funzione di supporto agli utenti che lo utilizzano.

Con tale operazione si è conclusa la fase di modellazione del ponte oggetto di studio per questa tesi. Nelle immagini seguenti vengono proposte delle viste che mostrano il risultato assemblato e completo di tutti gli elementi di cui si è discusso fino ad ora.

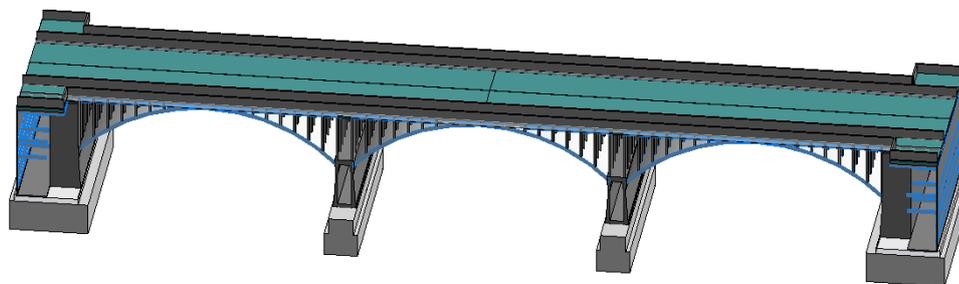


Figura 4.12- Modellazione completa vista 1

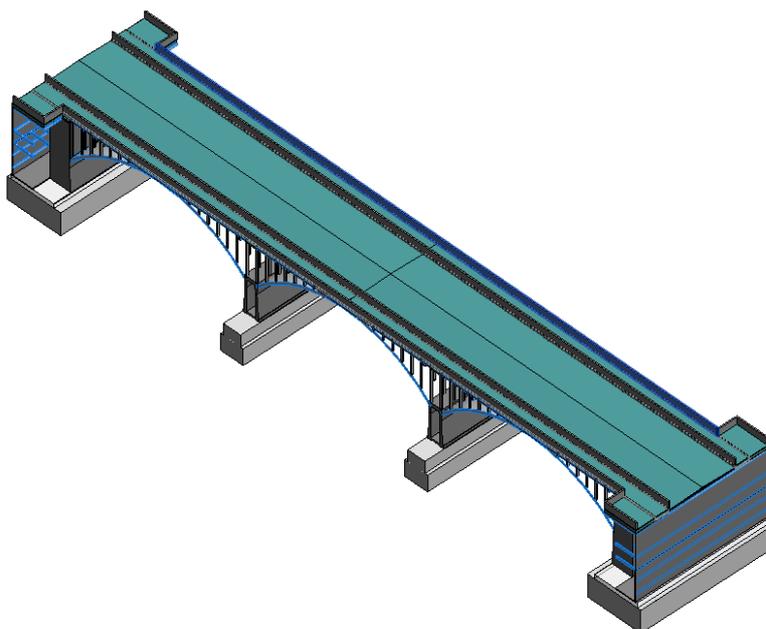


Figura 4.13- Modellazione completa vista 2

4.2 Importazione del terreno

Il presente elaborato di tesi è stato sviluppato avendo a disposizione solo documenti ed elaborati grafici cartacei. In archivio infatti, non erano presenti file digitali o cartografie che permettessero di localizzare correttamente l'infrastruttura.

Per rendere il modello completamente attendibile era necessario inserirlo all'interno del contesto di cui questo fa parte e per fare ciò si è pensato di rivolgersi al LARTU (Laboratorio di Analisi e Rappresentazioni Territoriali e Urbane) del Politecnico di Torino presso la sede del Castello del Valentino.

Il LARTU è un laboratorio che nacque nel 1989 per svolgere un'attività di supporto alla ricerca e alla didattica degli studenti e che effettua un servizio di consultazione e prestito della cartografia della città di Torino sia su supporto cartaceo che informatizzato.

In questo modo è stato possibile ricevere la cartografia, ed in particolare il foglio numero 91 dell'archivio digitale in cui si colloca il ponte Balbis, e il DTM dello stesso foglio. Il DTM (Digital Terrain Model) è il modello

digitale del terreno ottenuto tramite interpolazione dei punti quotati; è costituito dalle curve di livello in cui è possibile individuare l'andamento del terreno eliminando tutti gli edifici e la vegetazione.

Per quanto riguarda il foglio cartografico, questo è stato ricevuto in scala al 2000 ed in formato .dwg. Tale foglio è stato aperto in Autocad in modo da delimitare maggiormente il contorno inquadrando solamente la zona attorno al ponte e così da rendere più leggero il file che sarà poi collegato in Revit.

Il DTM invece, è stato ricevuto sottoforma di nove file in formato .ASC in scala al 10000 che ricoprivano l'intera cartografia del foglio precedente. Anche in questo caso, si è scelto di mantenere solamente quei file che contornassero la zona attorno al ponte per non appesantire il modello.

4.2.1 Il passaggio da Civil 3D a Revit

L'utilizzo del software Autodesk Civil 3D è stato necessario per aggirare gli ostacoli legati al mancato supporto di alcuni formati di file tra i software utilizzati.

Il problema è scaturito dal fatto che il DTM a disposizione presentava il formato .ASC non supportato da Revit. Per questo motivo è stato scelto uno tra i file .ASC del DTM (quello che ricopriva perfettamente la zona circostante al ponte) ed è stato caricato su Civil 3D. Una volta visualizzato il file su Civil, è stato possibile salvarlo in formato .dwg.

A questo punto sia la cartografia che il DTM sono stati visualizzati all'interno di un file .dwg supportato da Revit è stato possibile proseguire con le operazioni successive.

In Revit è stato collegato il DTM ed è stata generata la superficie topografica con l'apposito comando. In questo modo è stato possibile visualizzare nel modello la superficie topografica di riferimento per il progetto.

Una ulteriore operazione è stata quella di semplificare la superficie topografica appena creata per tentare di migliorare le prestazioni del sistema poiché la superficie presentava un elevato numero di punti.

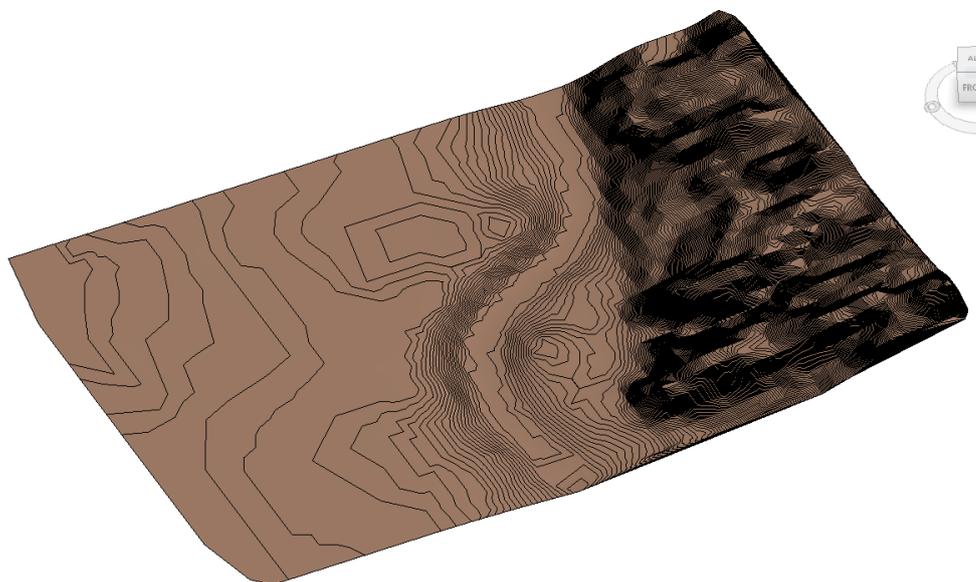


Figura 4.14- Creazione della superficie topografica dal DTM collegato in Revit

La cartografia è stata inserita nel software e tramite il supporto fornito dalla mappa, il modello tridimensionale è stato opportunamente spostato in modo da essere collocato nella posizione planimetrica esatta. Anche il DTM è stato correttamente spostato valutando i rapporti di scala che intercorrevano tra di esso e la rappresentazione planimetrica in modo da farli combaciare in pianta.

È importante dire che i modelli in Revit presentano due orientamenti nord: il nord reale e il nord di progetto.

Il nord di progetto è riferito ad un sistema di coordinate convenzionali ed orienta l'asse predominante della geometria di costruzione con la parte superiore dell'area di disegno per facilitare il posizionamento nel corso della realizzazione. Il nord reale è la direzione effettiva del nord in base alle condizioni del sito.

Bisognava dunque orientare il progetto secondo il nord reale in modo da soddisfare i requisiti effettivi dell'opera e per fare ciò è stato utilizzato lo strumento Ruota nord reale.

Il modello finale è risultato quindi essere disposto correttamente dal punto di vista della posizione planimetrica e dell'orientamento geografico.

L'ultima operazione che bisognava effettuare era quella di disporre il modello del ponte alla giusta quota.

Per fare ciò è stato necessario per prima cosa controllare quale fosse la quota del punto più basso del terreno avvalendosi della visualizzazione su Autocad, e successivamente creare un livello di riferimento in corrispondenza di quella quota su Revit in modo da spostare il punto più basso del terreno esattamente sul livello creato nella vista in prospettiva.



Figura 4.15- Posizionamento del modello alla giusta quota del terreno

4.2.2 Modellazione in OpenRoads Concept Station

Come è stato accennato all'inizio, i disegni cartacei non danno alcuna informazione circa la posizione planimetrica ed altimetrica dell'infrastruttura. Per questo motivo è possibile che il procedimento descritto fino ad ora sul posizionamento dell'opera nel contesto territoriale possa presentare degli errori, dal momento che non esiste un documento ufficiale in cui verificare il risultato.

Tuttavia, nel seguente elaborato di tesi è stata svolta una procedura alternativa in modo da ottenere un secondo risultato che potesse essere confrontato con quello ottenuto dal primo processo.

A tal proposito, il ponte è stato modellato all'interno del software OpenRoads Concept Station.

OpenRoads Concept Station consente di ottenere una visualizzazione concettuale ed un inquadramento territoriale del progetto grazie al sistema di GeoCordination Services di cui si è parlato in precedenza.

Quando il programma viene avviato, è possibile digitare la località nella quale si vuole collocare l'infrastruttura in modo che la rappresentazione tridimensionale della mappa del territorio venga visualizzata sulla schermata del software.

Successivamente tramite lo strumento Templates, selezionando la categoria Roads e scegliendo la configurazione stradale dotata di corsie di marcia e marciapiedi laterali, è stato disegnato l'asse stradale che attraversa il fiume in prossimità della reale posizione del ponte.

Una volta creato l'asse stradale, è stato possibile procedere con l'inserimento del ponte tramite l'apposito comando. In questo modo il software crea automaticamente il ponte le cui proprietà potranno essere successivamente editate impostando ad esempio il numero di arcate, il numero e la tipologia di pile, la distanza tra una pila e l'altra ecc. ecc. Per completezza del modello sono stati disegnati anche i due assi stradali presenti in prossimità del ponte.

Il programma consente inoltre di modificare l'andamento altimetrico del modello grazie ad un'apposita finestra che appare non appena si seleziona l'asse stradale.

La finestra contiene due profili altimetrici differenti. Il primo è rappresentato in verde ed indica l'andamento del terreno, il secondo in bianco indica invece l'andamento del nostro progetto. Tramite la finestra è possibile controllare come varia la quota del progetto e del terreno grazie ad una scala di riferimento in metri posta a sinistra, in funzione della progressiva di sviluppo che è posta invece in basso. Selezionando l'andamento altimetrico del progetto è possibile cambiare i valori delle livellette e modificare la forma del profilo semplicemente spostando a video i vertici delle curve.

In questo modo è stato possibile confrontare i valori di quota del terreno visibili nel modello su Concept con il valore di quota dei punti della superficie topografica in Revit. I valori altimetrici sono risultati molto simili tra loro ma non perfettamente coincidenti e questo è dovuto al fatto che in Concept non è possibile collocare in maniera esatta un'infrastruttura già esistente in quanto è un software utilizzato principalmente per fornire una modellazione concettuale nelle fasi preliminari di progettazione.

Il procedimento utilizzato si è rivelato comunque un metodo di confronto valido ed ha fornito un risultato molto simile a quello ottenuto in precedenza.

Di seguito viene riportato il risultato della modellazione in OpenRoads Concept Station.



Figura 4.16- Modello del ponte in OpenRoads Concept Station

4.2.3 Modellazione in OpenRoads Designer

Al termine della modellazione con OpenRoads Concept Station, il software elabora un file .tin contenente il terreno ed un file .alg che contiene il tracciato con gli assi stradali. A partire dal file .alg è stato possibile utilizzare il software OpenRoads Designer come strumento di confronto per valutare la corretta disposizione planimetrica del progetto.

Innanzitutto, è stato creato un nuovo file su Designer ed è stato poi importato il file .dwg del DTM in cui ricadeva il ponte. Dopo, tramite la sezione Create è stato possibile per il software acquisire il terreno appena importato. Terminata questa operazione il file è stato salvato in un'apposita cartella secondo il formato predefinito dal software che è il formato .dgn.

Successivamente è stato necessario creare un ulteriore file in Designer nel quale è stato attaccato il file appena creato contenente il terreno in formato .dgn. Tramite la scheda Geometry, Import/export, è stato poi importato il tracciato .alg contenente gli assi stradali precedentemente creati in Concept Station. In questo modo gli assi sono stati correttamente visualizzati all'interno del terreno.

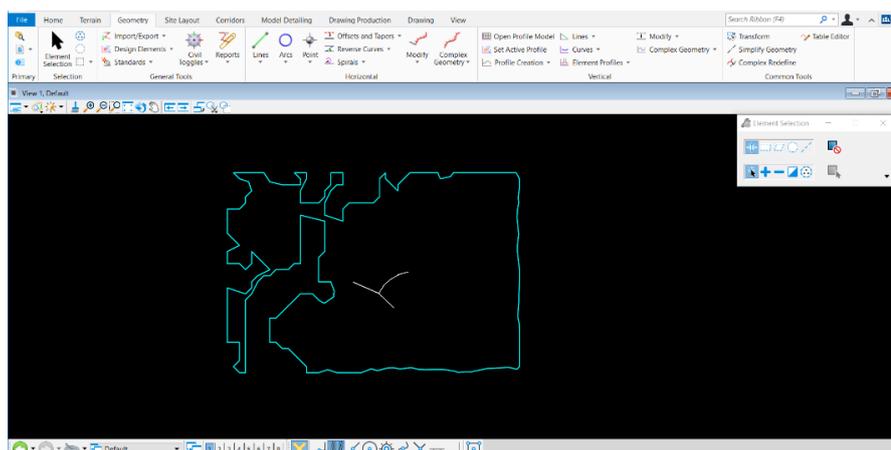


Figura 4.17- Visualizzazione dell'asse del ponte nel file contenete il terreno su Designer

Confrontando tale risultato con quello del paragrafo precedente, è stato possibile vedere come effettivamente la posizione planimetrica del ponte sia molto simile a quella ottenuta prima su Autocad.



Figura 4.18- Visualizzazione dell'asse del ponte nel file contenente il terreno su Autocad

4.3 Classificazione Omniclass degli elementi in Revit

I sistemi di classificazione predefiniti supportati da Autodesk Revit sono diversi e vengono utilizzati allo scopo di aiutare la gestione della classificazione/codifica dell'ambiente costruito.

Tra i sistemi internazionali di classificazione ci sono ad esempio Uniclass, Omniclass, Uniformat e MasterFormat che consentono la corretta identificazione tra gli utenti degli oggetti e delle relative proprietà attraverso una codifica.

Il sistema *Omiclass Construction Classification System* è originario del nord America ed è stato introdotto per consentire l'organizzazione, l'ordinamento e il recupero delle informazioni sul prodotto per tutti gli oggetti del modello durante tutto il ciclo di vita del progetto. Esso incorpora al suo interno altri sistemi di classificazione come ad esempio quello Uniformat.

Omiclass è costituito da 15 tabelle ognuna delle quali rappresenta una diversa sfaccettatura di informazioni sulla struttura. Ogni tabella può essere utilizzata in maniera indipendente per classificare un particolare tipo di dato oppure è possibile combinare le voci di una tabella con quelle di un'altra per identificare oggetti più complessi.

Ogni elemento dotato di codifica Omniclass sarà indentificato da una dicitura e da un codice.

Il sistema di classificazione Omniclass prende spunto dalla norma ISO 12006-2 per dare forma alle tabelle concettuali e di definizione degli elementi. La norma ISO dunque non fornisce le tabelle ma funge da guida per la loro creazione suggerendo i criteri da utilizzare per ogni caso specifico.

Nel presente elaborato di tesi, è stata utilizzata la classificazione Omniclass per gli elementi, seppur in maniera generica, in modo da fornire un'identità ed un riconoscimento ad ogni dato presente nel modello.

La classificazione ha permesso di ottenere anche un abaco degli elementi strutturali che costituiscono il modello in cui per ciascun componente è stato indicato il Titolo Omniclass e il Numero Omniclass. Ad esempio, per i pilastri strutturali il Titolo Omniclass è identificato come Columns e il Numero Omniclass è 23.25.30.11.14.11.

**ANALISI E DESCRIZIONE DEI METODI
UTILIZZATI PER VALUTARE LO STATO DI
DEGRADO DEL PONTE**

Analisi e descrizione dei metodi utilizzati per valutare lo stato di degrado del ponte

Il problema della sicurezza delle infrastrutture è oggi uno dei temi maggiormente discussi nel mondo dell'ingegneria e delle costruzioni del nostro paese.

I recenti e frequenti crolli che hanno interessato l'Italia sono oggetto di dibattito politico per cercare di capire a chi addossare la colpa di tutto ciò. Le cause sono da attribuire a diversi fattori tra cui ad esempio la sismicità del territorio ma il problema è soprattutto legato allo scarso controllo e manutenzione delle opere, alla mancata conoscenza del costruito e dei materiali usati e a volte a carenze nella realizzazione e/o progettazione.

La durabilità delle infrastrutture può essere garantita grazie ad un continuo processo di sorveglianza e manutenzione che comporta però un notevole impegno dal punto di vista tecnico ed economico per il paese. La manutenzione va programmata adeguatamente in modo da assicurare che gli interventi ritenuti necessari per la struttura siano realizzati con la massima economia e che siano efficaci per la salvaguardia dell'opera.

Un'opera d'arte come un ponte o un viadotto ha una funzione sociale ed acquisisce dunque una valenza strategica. Per questo motivo il controllo delle opere d'arte dovrebbe avvenire in maniera periodica e costante per

salvaguardare le strutture da qualunque situazione di dissesto o di pericolo.

Ad oggi, si fa sempre più grande l'esigenza di avere a disposizione degli strumenti e dei modelli informatizzati delle infrastrutture esistenti che consentano una rapida analisi delle stesse. Infatti, avendo a disposizione un modello realizzato con la metodologia BIM si otterrebbero numerosi vantaggi dal punto di vista della gestione della banca dati relativi all'opera.

Nel seguente capitolo verranno esposte alcune delle procedure che è possibile eseguire nel corso delle ispezioni delle infrastrutture. L'obiettivo è quello di spiegare il processo secondo il quale gli operatori sono in grado di fornire delle informazioni sintetiche circa lo stato di degrado delle opere.

Tramite l'utilizzo di parametri numerici è possibile individuare le situazioni più a rischio e stabilire le priorità e le urgenze di intervento. In questo modo sarà possibile poi ottenere una stima dei costi di intervento e programmare in che modo allocare le risorse a disposizione. Inizialmente verranno effettuate delle analisi visive sulla struttura volte ad individuare le condizioni generali dell'opera e i difetti che la contraddistinguono. Successivamente sarà necessario svolgere delle indagini sperimentali sull'intera struttura e delle verifiche sulle caratteristiche meccaniche dei materiali di cui è costituita.

I risultati ottenuti dalle ispezioni visive e dalle indagini sperimentali verranno utilizzati per stabilire come intervenire e come investire sulla struttura in termini di tempo e di risorse finanziarie.

Nell'elaborato di tesi, i metodi che verranno discussi di seguito sono stati utilizzati solamente per dare forma ad un database che contenga le informazioni relative alla struttura. Tali informazioni hanno una valenza puramente metodologica e sono state introdotte per sviluppare un modello informatizzato; nel momento in cui si volesse svolgere un intervento di recupero sulla struttura o si volesse valutare il suo stato di

fatto, i parametri inseriti all'interno possono essere editati facilmente e ciò consentirebbe una rapida gestione dei risultati avendo a disposizione svariati strumenti per l'immagazzinamento dei dati e il loro scambio.

Dunque, ciò che si vuole sottolineare è l'importanza del processo di digitalizzazione soprattutto per le opere realizzate in passato e come tale processo sia fondamentale per garantire una corretta presa di coscienza dello stato di fatto del costruito.

5.1 I quaderni tecnici dell'Anas per la salvaguardia delle infrastrutture

L'ANAS (Associazione Nazionale Autonoma delle Strade) è un'impresa industriale formata da ingegneri, architetti e molte altre figure che si occupa di costruire le strade del territorio nazionale e di gestirle per mantenerle sempre efficienti nel corso del loro utilizzo.

ANAS si impegna ad incrementare i livelli di sicurezza della rete stradale attraverso l'efficacia degli interventi di manutenzione programmata e la realizzazione di nuove soluzioni a tutela degli utenti. In questo contesto si inquadra la pubblicazione dei Quaderni tecnici, uno strumento utile per i professionisti che si occupano della progettazione, direzione lavori e collaudo degli interventi di manutenzione programmata.

All'interno dei Quaderni tecnici vengono esplicate le modalità progettuali più frequenti sulla rete stradale e sulle infrastrutture che vengono costantemente approfondite e studiate. Esistono diversi Quaderni tecnici che riguardano ad esempio le caratteristiche meccaniche dei materiali quali calcestruzzo e acciaio, gli interventi di ripristino dei cordoli e delle barriere di sicurezza, gli interventi di ripristino in galleria, la manutenzione della pavimentazione stradale, ecc. ecc.

Nel caso particolare, ci si è soffermati su due dei Quaderni tecnici messi a disposizione dal sito dell'ANAS e che sono di seguito esposti.

5.1.1 Quaderno tecnico Volume V

Il primo è il *Quaderno tecnico Volume V n.17* che analizza le pavimentazioni e che costituisce un prontuario per la progettazione, esecuzione ed il collaudo dei lavori sul piano viabile delle infrastrutture. Nel corso del tempo, le pavimentazioni subiscono un progressivo degrado delle caratteristiche superficiali quali aderenza e regolarità nelle prime fasi di esercizio, e delle caratteristiche strutturali di portanza con il procedere dell'esercizio. Tali fenomeni di degrado si devono principalmente ai carichi di traffico ed agli agenti atmosferici che ne compromettono la funzionalità.

La manutenzione delle infrastrutture viarie è l'obiettivo fondamentale per il gestore che si preoccupa di garantire la sicurezza della circolazione stradale e di limitare i casi di incidentalità. A tal proposito, è necessario accertare le condizioni delle strade ed il soddisfacimento dei requisiti funzionali e strutturali richiesti dal Capitolato, pianificando con cura gli interventi manutentivi. Ovviamente tutto ciò deve essere svolto in modo da rientrare all'interno di certi limiti economici così da individuare il tempo ottimale di intervento per minimizzare i costi e massimizzare i benefici tecnici.

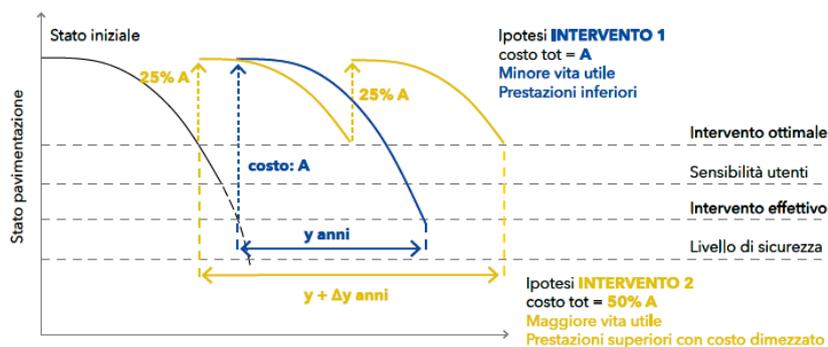


Figura 5.1- Curva di decadimento degli indicatori di stato della pavimentazione (Quaderni tecnici ANAS Volume V- www.stradeanas.it)

Per valutare l'evoluzione del degrado ed individuare così la priorità di intervento e le soluzioni tecniche adeguate, è necessario per prima cosa avere una conoscenza dettagliata dello stato attuale delle pavimentazioni e delle tipologie di degrado che possono presentarsi nel corso del tempo. A questo proposito, vengono pianificate delle ispezioni periodiche sulla pavimentazione per valutare le principali tipologie e cause di ammaloramento.

I dissesti tipici delle pavimentazioni flessibili possono essere classificati in macrocategorie come ad esempio le fessurazioni che possono essere di diverse tipologie a seconda della conformazione e delle cause che le provocano, le distorsioni che riguardano l'alterazione della regolarità della pavimentazione, le pelature e gli sgranamenti come buche o disgregazioni ed infine i rappezzi.

È possibile distinguere i dissesti anche in superficiali e strutturali.

Per quanto riguarda quelli superficiali, sono relativi al manto di usura e incidono principalmente sul contatto ruota-pavimentazione. I dissesti strutturali invece sono quelli che coinvolgono l'intera sovrastruttura e comportano un degrado complessivo della pavimentazione che non sarà più in grado di assorbire i carichi veicolari.

Gli ammaloramenti presenti sulla pavimentazione possono essere valutati in primo luogo attraverso una valutazione visiva, siano essi superficiali o strutturali. L'analisi visiva consente di identificare il degrado della pavimentazione solamente quando esso è molto avanzato, mentre per tutti gli altri casi è preferibile eseguire rilievi strumentali che consentono di tener d'occhio e di preservare la pavimentazione da eventuali difetti non ancora manifestatisi.

Una volta che il problema è stato identificato, per stabilire quale sia l'intervento manutentivo più appropriato è bene eseguire dei carotaggi e dei prelievi di materiale dalla pavimentazione per valutare la profondità delle fessure o la percentuale di bitume, e prove strumentali in sito come ad esempio prove di aderenza e portanza.

Dunque, per progettare adeguatamente gli interventi di manutenzione bisogna individuare correttamente il tipo di dissesto e la causa che lo ha generato tramite ispezioni visive e il calcolo di indici di degrado, e tramite attività sperimentali.

Nel seguente elaborato di tesi, si è fatto uso dei Quaderni tecnici dell'ANAS per classificare le tipologie di difetti presenti sulla pavimentazione del ponte oggetto di studio e per attribuire loro un giudizio seppur in modo molto approssimato. In particolare, i dissesti analizzati sono quelli elencati in precedenza e dei quali viene fornita una descrizione più dettagliata di seguito.

Le fessure ramificate, chiamate anche fessure “a pelle di cocodrillo”, sono una serie di fessure longitudinali e trasversali interconnesse che comportano risalita di materiale fino dagli strati più profondi con distacchi e disgregazioni del manto stradale. Il giudizio attribuito a tali difetti può essere BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO o PESSIMO a seconda del grado di interconnessione delle fessure (con poche o tante interconnessioni), e del grado di estensione e diffusione di tali fessure sulla superficie totale della pavimentazione. Le principali cause di tali dissesti sono dovute a fenomeni di fatica causati dal traffico dei veicoli. Le fessurazioni per fatica possono essere del tipo “bottom-up” o “top-down”. Le prime si sviluppano dal basso verso l'alto a seguito di tensioni cicliche di trazione e compressione negli strati bassi della sovrastruttura che si riflettono successivamente negli strati superficiali della pavimentazione in maniera diffusa. Le seconde invece si sviluppano nella sommità e si propagano verso gli strati più profondi a causa di sforzi di trazione. Sono tipiche di quelle pavimentazioni il cui supporto per lo strato di usura è molto rigido e si manifestano al bordo della zona di impronta degli pneumatici.

Le distorsioni sono delle aree localizzate con quota inferiore a quella circostante o con depressione superficiale in cui è possibile che avvengano fenomeni di ristagno di acqua. Tra le distorsioni troviamo le

ormaie, le depressioni o i cedimenti che si sviluppano in senso longitudinale al piano viabile ed in corrispondenza delle fasce occupate dalle ruote dei veicoli pesanti. Anche in questo caso è possibile attribuire un giudizio BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO o PESSIMO sulla base dell'estensione e della profondità media del difetto sulla pavimentazione. Le cause principali sono ad esempio miscele bituminose altamente deformabili, cedimenti degli strati inferiori o nel caso delle ormaie, l'effetto combinato di temperature di esercizio elevate e traffico veicolare.

Le pelature sono dei distacchi o consumi localizzati di blocchi di tappeto con formazione di aree depresse i cui bordi non sono ben definiti. Gli sgranamenti invece si manifestano come una progressiva disgregazione della superficie dovuta al distacco degli inerti. Il giudizio BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO o PESSIMO dipende dall'estensione del difetto e dalla profondità media come nel caso delle distorsioni, mentre le cause sono di diversa origine ed imputabili principalmente a miscele di scarsa qualità o alla nascita di sforzi tangenziali per il transito dei veicoli.

Le buche sono delle cavità della pavimentazione con conseguente distacco e perdita di materiale. In questo caso il giudizio BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO o PESSIMO dipende dalla profondità media e dal diametro medio della buca sull'estensione della pavimentazione. Le cause di tale difetto sono da identificarsi nell'evoluzione di altri dissesti a seguito dell'azione del traffico e dell'acqua che penetra nel corpo stradale.

Infine, i rappezzi ammalorati riguardano una parte limitata di pavimentazione che ha già subito degli interventi di riparazione in precedenza con sostituzione degli strati più superficiali e che mostra nuovamente fenomeni di degrado nonostante l'intervento. Il loro giudizio sarà anche questa volta pari a BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO o PESSIMO in base alla loro estensione sulla superficie e al grado di qualità del difetto stesso (da non deteriorati a fortemente deteriorati).

Le cause sono dovute ad interventi di manutenzione approssimata volti ad aggirare il problema senza in realtà risolverlo in maniera duratura. Tutti i difetti ed i relativi giudizi per la pavimentazione di cui si è parlato fino ad ora, verranno utilizzati nei capitoli seguenti ed applicati al caso studio dell'elaborato di tesi.

5.1.2 Il Quaderno tecnico Volume I

Il secondo *Quaderno tecnico* di cui si è fatto uso è il *Volume I n.3* riguardante la definizione del piano delle indagini per ponti e viadotti in cemento armato ordinario e precompresso.

Come già evidenziato in precedenza, nelle strutture esistenti è cruciale la conoscenza della struttura che va dalla sua geometria ai materiali che la costituiscono. All'interno del gruppo di strutture esistenti le situazioni riscontrabili sono le più svariate ed è dunque impossibile prevedere regole specifiche per tutti i casi.

Per prima cosa sarà dunque necessario effettuare un'analisi storico-critica, una ispezione visiva ed un rilievo geometrico strutturale.

Successivamente sarà possibile passare alla definizione del piano delle indagini sulla struttura. Tale piano dovrà documentare le carenze strutturali riscontrate, risolte e/o persistenti, indicare le eventuali conseguenti limitazioni all'uso della costruzione e conoscere le caratteristiche meccaniche dei materiali e il loro livello di degrado. Le modalità di analisi di interventi da effettuarsi su strutture esistenti sono dipendenti dalla completezza e dall'affidabilità delle informazioni disponibili.

Nel corso dell'analisi storico-critica, sarà necessario reperire la documentazione di progetto comprendente gli elaborati grafici, i calcoli strutturali e tutti i documenti necessari come riporta la NTC18 §8.5.1.

Durante l'ispezione visiva, verranno rilevati i dissesti in atto o stabilizzati, i quadri fessurativi e i meccanismi di danno, lo stato di degrado degli elementi strutturali che costituiscono l'opera. Alcuni degli

aspetti fondamentali da indagare per il calcestruzzo sono ad esempio: le macchie di umidità attiva e passiva, il dilavamento/ammaloramento del calcestruzzo, i vespai, il distacco del copriferro, le lesioni e le fessurazioni ecc. ecc.

Per quanto riguarda il rilievo geometrico-strutturale, esso è fondamentale per fornire la geometria complessiva dell'opera e dei singoli elementi strutturali interessati dall'intervento. In particolare, esso dovrà contenere tutte le informazioni necessarie al progettista per la stima della sicurezza dell'infrastruttura e di ogni sua parte allo stato attuale.

Una volta che queste operazioni preliminari saranno concluse, allora si procederà con il piano delle indagini.

5.2 Le ispezioni visive e il Metodo della Valutazione Numerica (MVN)

Le ispezioni visive nelle infrastrutture costituiscono un passo fondamentale da effettuare per programmare gli interventi sulla struttura. Tali ispezioni costituiscono il fulcro di tutte le operazioni successive utili per la gestione del patrimonio.

Durante tali ispezioni verranno individuate le cause di degrado e i relativi difetti presenti sulla struttura e, a seguito dei risultati ottenuti dalle analisi, verrà stabilito se effettuare ulteriori sopralluoghi con esperti qualificati o prove sperimentali sul manufatto e sui materiali che lo costituiscono.

I fattori che costituiscono la maggiore causa di degrado per le strutture come ponti e viadotti sono ad esempio l'ambiente climatico aggressivo, il carico indotto dal traffico veicolare, gli urti occasionali e gli effetti prodotti dall'errato smaltimento delle acque meteoriche.

Sulla base dei riferimenti normativi presenti, gli uffici tecnici e le amministrazioni proprietarie o i gestori delle infrastrutture stradali

devono garantire un controllo periodico delle condizioni statiche e di conservazione dei ponti tramite ispezioni la cui frequenza è proporzionata all'importanza dell'opera infrastrutturale.

I controlli visivi permetteranno di stilare una lista degli interventi di ripristino dell'opera che verranno eseguiti a costi bassi. Se tali interventi non saranno sufficienti ad eliminare i problemi, allora verranno programmati delle azioni di manutenzione straordinaria volte a correggere i difetti.

All'interno delle ispezioni visive si colloca un metodo che è stato utilizzato nel seguente elaborato di tesi per sviluppare il database informativo del ponte Balbis e che si propone come strumento integrativo ai quaderni tecnici ANAS introdotti in precedenza.

Tale metodo è il metodo della valutazione numerica che è stato sviluppato e migliorato negli anni grazie alla collaborazione di numerosi ed illustri professori universitari e professionisti del settore riuniti nell'associazione culturale riconosciuta C.I.A.S. Italia.

Il C.I.A.S., Centro Internazionale di Aggiornamento Sperimentale-Scientifico, è un'organizzazione senza scopi di lucro che svolge un'attività di divulgazione scientifica e di sviluppo sperimentale nel settore strutturale e geotecnico dell'ingegneria civile.

Tra gli obiettivi istituzionali del C.I.A.S ci sono ad esempio quello di organizzare corsi di aggiornamento professionali per tecnici del settore pubblico e privato, organizzare convegni ed incontri sulle tematiche in via di sviluppo in Italia e all'estero, promuovere l'attività di ricerca sperimentale supportando numerosi laureandi con borse di studio e in generale favorire il processo di collaborazione internazionale nel campo della sperimentazione.

La procedura consente di avere una visione d'insieme di tutti gli elementi che costituiscono la struttura e fa in modo da ricavare una manutenzione programmata attraverso una gestione automatizzata del

processo. Per prima cosa sarà necessario censire le opere e successivamente, verrà effettuata l'ispezione visiva primaria.

Il Metodo della valutazione numerica consente di giungere alla classificazione numerica delle opere tramite la determinazione di indici di degrado.

Inizialmente viene effettuata una prima ispezione dell'opera, definita ispezione primaria che verrà utilizzata come elemento di confronto per le indagini successive per analizzare lo stato complessivo dell'opera considerando anche gli eventuali interventi di miglioramento effettuati sulla stessa.

La prima ispezione deve tenere conto di tutte le condizioni di degrado in atto sulla struttura e scattare una sorta di fotografia istantanea descrittiva dei fenomeni di dissesto cui l'opera è sottoposta. Nei casi più semplici, sarà possibile programmare un intervento di eliminazione rapida delle cause che determinano i difetti sulla struttura mentre in quelli più complessi, la sola ispezione visiva non è sufficiente per cui bisognerà eseguire delle indagini sperimentali più dettagliate.

L'operatore addetto all'ispezione visiva sarà equipaggiato con strumenti abbastanza semplici ma efficaci che consentono una raccolta completa delle informazioni della struttura che sta analizzando.

5.2.1 Le schede di valutazione ispettiva e i relativi difetti

Tra gli strumenti di cui l'operatore deve essere necessariamente fornito nel corso del sopralluogo troviamo le schede di valutazione ispettiva.

All'interno delle schede, il tecnico riporta in maniera precisa tutti i tipi di degrado riscontrabili sulla struttura e lo fa distinguendoli per elemento strutturale e per tipo di materiale costituente. Alla fine dell'ispezione, le schede di valutazione forniranno un numero finale rappresentativo dello stato di danneggiamento complessivo dell'opera.

Ovviamente se il numero ottenuto avrà un valore elevato, la condizione generale cui la struttura è soggetta sarà più dannosa.

Le schede di valutazione ispettiva sono predisposte per elementi strutturali quali spalle, pile, giunti, piedritti, archi, travi e traversi, solette ed elementi accessori e a loro volta sono suddivise a seconda del materiale costituente sia esso calcestruzzo, muratura, acciaio o legno. Ogni scheda riporta tutti i difetti che è possibile rilevare su quel tipo di elemento strutturale che è costituito da quel materiale. Nella prima colonna della scheda è presente la descrizione del difetto, nella seconda colonna viene posta una spunta se quel difetto è stato oggetto di ricerca, nella terza vengono indicati i valori dei pesi G e nella quarta e quinta colonna i valori dei coefficienti k1 e k2.

Il coefficiente G è un valore compreso tra 1 e 5 ed è valutato sulla base del peso che il difetto assume rispetto alla gravità derivante da svariate considerazioni come ad esempio il fatto che esso possa costituire un pericolo per la struttura, possa ridurre la sua capacità portante, possa indurre l'insorgere di altri difetti oppure necessiti di un'ingente somma di denaro per il ripristino.

Il coefficiente k1 è il coefficiente di estensione ed assume valori uguali a 0,2, 0,5 o 1. Quando k1 è uguale a 0,2 vuol dire che il difetto analizzato è presente sulla struttura ma interessa una minima zona. Quando k1 è uguale a 0,5 allora il difetto interessa la zona di competenza della struttura compresa tra il 30 ed il 70%, mentre quando è uguale a 1 si assume che esso si estenda per tutta la zona di competenza.

Il coefficiente k2 è il coefficiente di intensità ed analogamente a k1, assume valori pari a 0,2, 0,5 o 1 sulla base dell'intensità del difetto.

Una volta stabiliti i valori dei tre coefficienti G, k1 e k2 è possibile calcolare il valore della *Difettosità Relativa* (DR) che indica lo stato di degrado totale del singolo elemento strutturale.

$$DR = \sum (G * k1 * k2)$$

Al termine dell'ispezione visiva sarà possibile valutare anche il valore della *Difettosità Assoluta* (DA) che rappresenta un indice di degrado complessivo della struttura poiché tiene conto della sommatoria dei difetti e del numero N dei singoli elementi strutturali che la costituiscono.

$$DR = \sum (N * G * k_1 * k_2)$$

Scheda Ispezione Ponti											
3 Pile		N° _____ Posizione _____		Materiale: calcestruzzo							
Struttura: _____		Località: _____		km: _____		Ispettore: _____		data: / / _____			
N°	Descrizione difetto	voto	G	Estensione K ₁			Intensità K ₂			N° Foto	Note
				0,2	0,5	1	0,2	0,5	1		
1.1)	Macchie di umidità passiva	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.2)	Macchie di umidità attiva	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.3)	Cis dilavato / ammolorato	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.4)	Vespai	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.5)	Distacco del copriferro	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.6)	Armatura ossidata	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.13)	Lesioni a ragnatela modeste	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.14)	Fessure orizzontali	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.15)	Fessure verticali	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.16)	Fessure diagonali	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.20)	Staffe scoperte / ossidate	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.21)	Lesioni attacco pilastri	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.23)	Armatura verticale deformata	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.25)	Riprese successive deteriorate	<input type="checkbox"/>	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.29)	Danni da urto	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
1.30)	Danni causati dagli app. d'appog.	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.1)	Fuori piombo	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.2)	Scalzamento	<input type="checkbox"/>	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.5)	Difetti d'appoggio in neoprene	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.6)	Difetti pendoli	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.7)	Difetti carrelli	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5.8)	Difetti d'appoggio compositi	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Figura 5.2- Esempio di scheda di ispezione numerica (www.cias-italia.it)

Il metodo della valutazione numerica e le schede di valutazione ispettive verranno utilizzati nei capitoli successivi per sviluppare un modello che sia in grado di gestire l'infrastruttura oggetto di studio per questa tesi.

5.2.2 Indagini successive alle ispezioni visive

Il metodo della valutazione numerica ed i relativi risultati consentono di programmare degli interventi di manutenzione volti ad eliminare le cause del degrado sulla struttura nel caso in cui i difetti presenti non costituiscano un rischio importante per la stessa.

In alcuni casi, la presenza di alcuni difetti comporta un rischio strutturale notevole per l'opera per cui è opportuno spingersi oltre la

semplice ispezione visiva e programmare indagini sperimentali e verifiche volte a scorgere ogni origine e conseguenza dei fenomeni che vengono osservati sulla struttura.

Una volta ricavate le informazioni preliminari da un'attenta ispezione visiva dell'infrastruttura, si potrà procedere ad una diagnosi più precisa e dettagliata.

Le indagini sperimentali che è possibile svolgere in sito sono diverse. Alcune consentono di conoscere le caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti ed altre sono condotte al fine di valutare il comportamento d'insieme della struttura. Una volta ricavati i risultati sperimentali, sarà possibile elaborare un modello numerico per ottenere i valori delle tensioni e delle deformazioni sulla struttura e programmare in seguito gli interventi di recupero da svolgere.

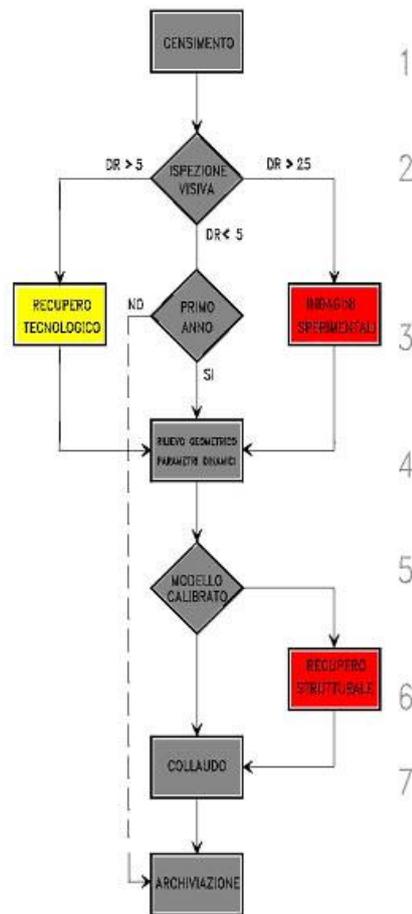


Figura 5.3- Processo di ispezione delle opere infrastrutturali (www.cias-italia.it)

**APPLICAZIONE DEI PARAMETRI AL
MODELLO BIM**

Applicazione dei parametri al modello BIM

Il metodo della valutazione numerica e i quaderni tecnici dell'ANAS sono stati presi come riferimento per estrapolare dei parametri di degrado che consentano una corretta valutazione dello stato attuale dell'opera. Anche in questo caso viene ribadito come la valenza dell'elaborato di tesi sia di tipo metodologico per cui i parametri scelti, seppur derivanti da metodi realmente esistenti, sono stati utilizzati per consentire lo sviluppo di uno strumento che potrà essere facilmente impiegato in seguito dai gestori dell'infrastruttura cambiando la tipologia di parametri sulla base delle esigenze.

I valori assegnati a ciascun parametro della struttura e della pavimentazione sono stati selezionati in maniera approssimata in quanto non sono state eseguite delle indagini sperimentali sui materiali che costituiscono l'opera, per cui il risultato è del tutto ipotetico e ancora una volta metodologico a testimonianza del fatto che nel caso in cui si disponesse di risultati sperimentali esatti, sarebbe possibile utilizzare il modello informatizzato creato come base per una corretta e rapida valutazione dello stato di fatto dell'infrastruttura.

6.1 Creazione dei parametri condivisi e di progetto

Per prima cosa sono stati creati i parametri condivisi dal modello su Revit. I parametri condivisi sono utilizzabili in più famiglie e progetti e

vengono memorizzati in un file indipendente da qualsiasi file di famiglia o progetto di Revit.

Successivamente sono stati aggiunti i gruppi desiderati al file di parametri condivisi ed i parametri specifici per ciascun gruppo.

In particolare, i gruppi creati sono stati quelli della pavimentazione e della struttura. Per ciascun gruppo sono stati inseriti i parametri di riferimento selezionati sulla base dei metodi descritti in precedenza.

Per il gruppo della pavimentazione i parametri selezionati sono stati le Buche, le Distorsioni (ormai), le Fessurazioni ramificate, le Pelature e sgranamenti, i Rappezzati ammalorati e altri due parametri aggiunti indipendentemente dal metodo proposto dai Quaderni tecnici di ANAS che sono stati utili per definire l'entità di ciascun difetto e che sono stati rinominati rispettivamente come Area danneggiata e Spessore danneggiato.

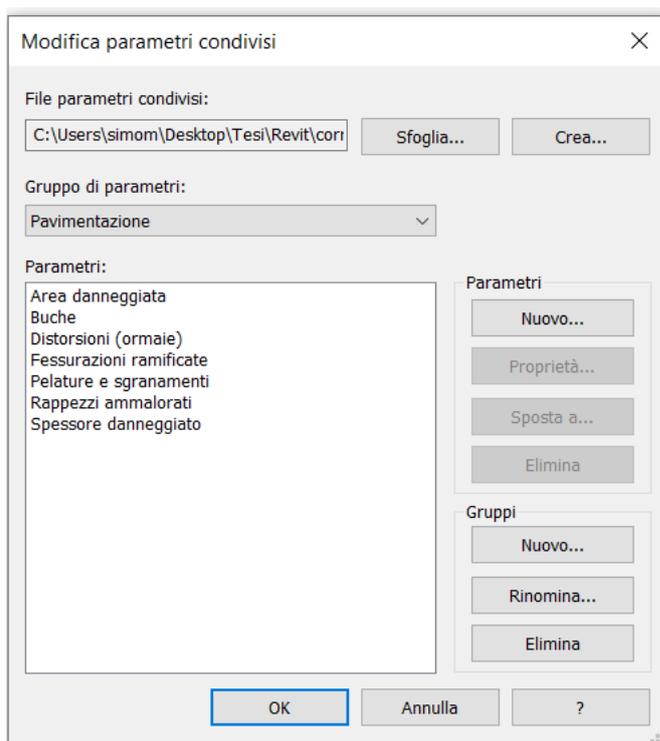


Figura 6.1- Gruppo parametri condivisi per la pavimentazione

Il gruppo di parametri relativo alla struttura è risultato il più numeroso. Sulla base delle indicazioni fornite dai Quaderni tecnici di ANAS e dal

Metodo della valutazione numerica, i parametri facilmente individuabili durante un'ispezione visiva su un'infrastruttura sono svariati e caratteristici di ciascun elemento strutturale. Nel caso specifico, l'obiettivo è quello di creare un modello informatizzato per la struttura per cui sono stati selezionati solamente alcuni dei parametri elencati nei metodi precedenti ed in particolare ci si è soffermati su quelli che, a seguito del sopralluogo svolto nel corso del lavoro di redazione dell'elaborato, risultavano facilmente individuabili sulla struttura ed effettivamente indicativi di una situazione di dissesto sulla stessa. Ogni parametro è stato ripetuto tre volte in modo da poter attribuire a ciascuno il valore del peso G, del coefficiente di estensione k1 e del coefficiente di intensità k2. Tra i parametri condivisi della struttura è stato aggiunto anche quello della difettosità relativa DR.

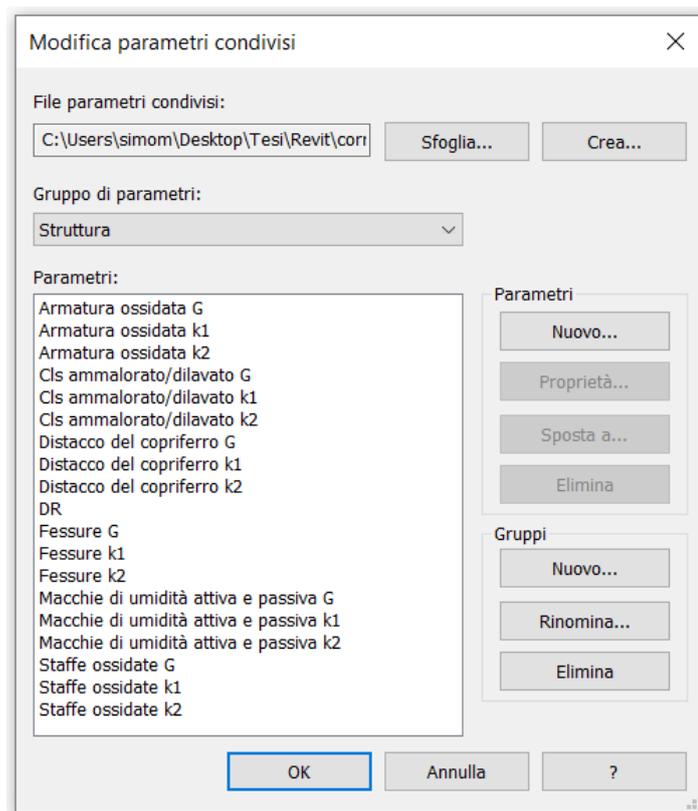


Figura 6.2- Gruppo parametri condivisi per la struttura

Una volta creati i parametri condivisi, è stato possibile passare alla definizione dei parametri di progetto.

I parametri di progetto altro non sono che contenitori di informazioni definiti e quindi aggiunti a più categorie di elementi in un progetto. Tali parametri sono specifici per il progetto e possono essere inclusi in un abaco su Revit nel momento in cui vengono associati ai parametri condivisi.

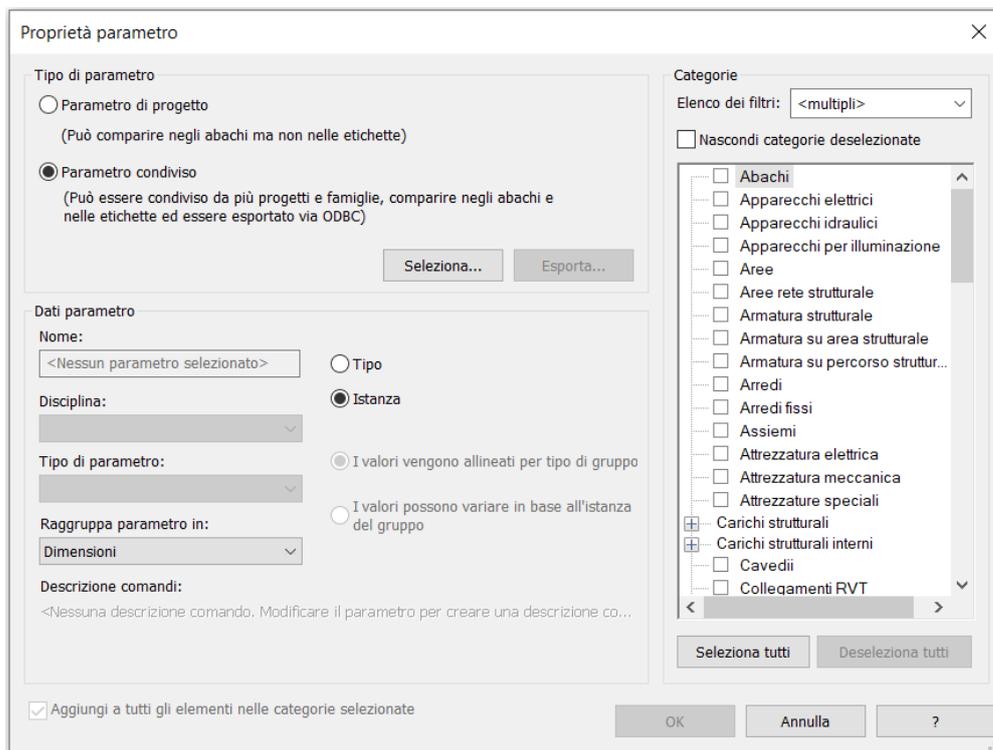


Figura 6.3- Definizione dei parametri di progetto

In Tipo di parametro è stata scelta l'opzione parametro condiviso e cliccando su seleziona sono stati aggiunti i parametri condivisi precedentemente creati a ciascuna categoria di elementi dell'opera. Ad esempio, per la pavimentazione i parametri di progetto sono stati creati selezionando i parametri condivisi (Buche, Distorsioni, Rappazzi ecc. ecc.) ed aggiungendoli alla categoria dei Pavimenti.

In Dati parametro è possibile scegliere tra tipo e istanza. Nel caso in cui si scegliesse tipo, il parametro verrà mostrato all'interno delle proprietà del tipo ed avrà un valore uguale per tutti gli elementi di quel tipo. Nel

caso specifico è stata scelta l'opzione istanza in modo tale che il parametro di progetto sia mostrato tra le proprietà dell'elemento e possa essere caratterizzato da un valore differente a seconda degli elementi selezionati anche se appartenenti allo stesso tipo.

6.2 Assegnazione dei valori ai parametri della pavimentazione e della struttura

Per quanto riguarda la pavimentazione dell'opera, il giudizio da assegnare a ciascun parametro di danneggiamento è pari a BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO o PESSIMO il cui esito è dipendente dai fattori che sono stati precedentemente discussi. A tal proposito sono stati inseriti arbitrariamente i parametri di area danneggiata e spessore danneggiato. Ricavando infatti i loro valori da indagini sperimentali sulla pavimentazione, sarebbe possibile impostare su un foglio di calcolo Excel una formula che consenta di stimare lo stato di fatto del manto stradale poiché ANAS fornisce i criteri con i quali attribuire il giudizio sulla base dell'estensione del difetto sull'area della pavimentazione, della sua profondità o del suo diametro.

Nel caso specifico, il foglio di calcolo Excel è stato impostato in modo da assegnare un giudizio tramite la formula PIÙ.SE. Ad esempio, per quanto riguarda le fessurazioni ramificate si è scelto il valore BUONO quando l'area danneggiata sul tratto di pavimentazione considerata è inferiore al 20% di quella totale, MEDIOCRE quando quella danneggiata è maggiore o uguale al 20% e minore del 30% di quella totale, CATTIVO quando è maggiore o uguale al 30% e minore del 50% dell'area totale e PESSIMO quando l'area danneggiata risulta maggiore o uguale del 50% di quella totale. La stessa formula ma con intervalli differenti è stata impostata per gli altri parametri considerando però lo spessore danneggiato e assumendo come valori limite per gli intervalli

le profondità medie e i diametri medi dei difetti che vengono forniti da ANAS nei quaderni tecnici.

I valori assegnati all'area danneggiata e allo spessore danneggiato sono ipotetici poiché non si disponeva di risultati sperimentali per cui i giudizi risultanti sono altrettanto ipotetici. L'obiettivo del presente lavoro è quello di creare un foglio automatizzato che consenta la valutazione dell'infrastruttura cambiando i valori sulla base dei risultati sperimentali e i limiti sulla base dei metodi che vengono utilizzati per le analisi. L'aver introdotto dei valori ipotetici è risultato necessario per poter svolgere tutte le attività successive di immagazzinamento dati. Quello che è stato riprodotto è comunque uno strumento di ispezione rapida per la struttura che può essere facilmente adattato al caso specifico nel momento in cui si disponga dei valori reali.

Per quanto riguarda la struttura, a ciascun parametro è stato assegnato un valore per il peso G e per i coefficienti k_1 e k_2 .

In particolare, il valore del peso G è stabilito dal Metodo della valutazione numerica che fornisce un elenco tabellato sulla base della rilevanza che il difetto assume nei confronti della sicurezza della struttura ed in base al materiale di cui è costituito l'elemento. Ai coefficienti k_1 e k_2 il valore viene assegnato dall'operatore che effettua un'attenta analisi dell'opera.

Anche in questo caso, i valori dei coefficienti k_1 e k_2 sono stati inseriti in maniera arbitraria per consentire la definizione del modello informatizzato e per proseguire con le operazioni successive.

Tra i parametri condivisi della struttura figura anche quello rinominato DR che rappresenta la difettosità relativa. Il valore di questo parametro è dipendente dalla sommatoria di tutti i difetti presenti sui singoli elementi ed è stato aggiunto per dare una misura del degrado localizzato su ciascuno di essi.

6.3 Creazione di abachi

Dopo aver creato i parametri di progetto, averli assegnati a ciascuna categoria e aver stabilito i valori da attribuire a ciascun parametro seppure in maniera teorica, è stato possibile proseguire con la definizione degli abachi delle quantità.

L'abaco è una vista 'alternativa' all'interno di Revit che consente di raccogliere e visualizzare le proprietà degli elementi in una tabella. All'interno dell'abaco, l'utente sarà in grado di conoscere tutte le istanze del tipo di elemento che è presente nell'abaco oppure scegliere di vederne solamente alcune a seconda delle esigenze.

Una volta che l'abaco è stato creato, verranno visualizzati tutti i campi che è possibile aggiungere all'abaco sulla base della categoria selezionata.

All'interno del presente elaborato, sono stati creati tre abachi fondamentali per inserire i parametri creati in precedenza.

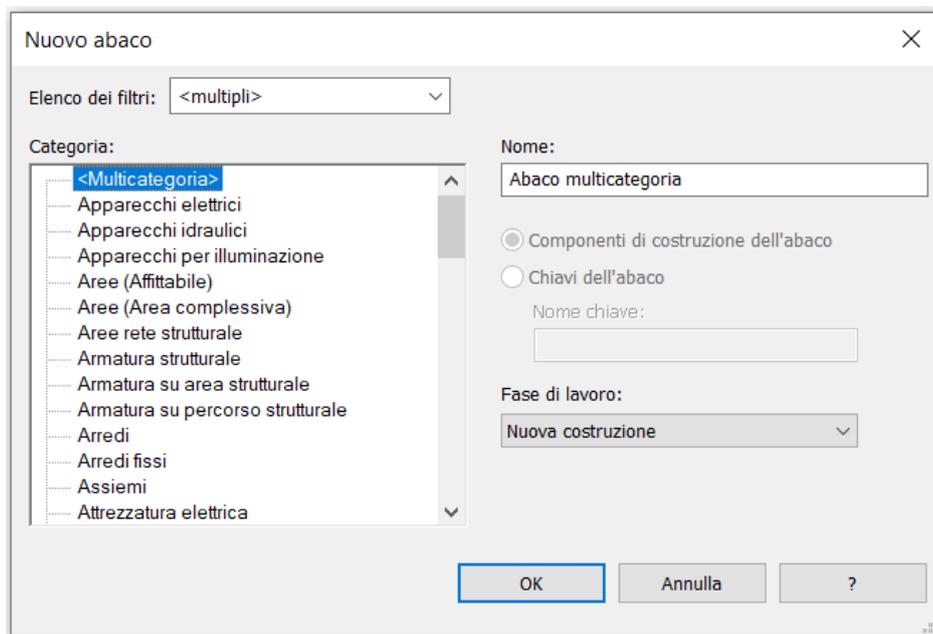


Figura 6.4- Creare un abaco delle quantità

Il primo è l'abaco della 'Pavimentazione' creato come abaco dei pavimenti. I campi inseriti in tale abaco sono stati il tipo di pavimento, lo spessore di default che distingue insieme al campo di tipo se la pavimentazione in oggetto è quella della carreggiata o del marciapiede, l'area, e i parametri condivisi di cui si è discusso in precedenza quali l'area danneggiata, lo spessore danneggiato, le buche, le fessurazioni, le distorsioni, le pelature e i rappezzati. All'interno di questo abaco, è stato necessario inserire un filtro in modo da nascondere i pavimenti che sono stati creati nelle fasi preliminari della modellazione per realizzare l'impalcato. Essendo un abaco dei pavimenti, vengono mostrati al suo interno tutti i pavimenti del progetto per cui con l'opzione filtro per spessore di default, sono stati elencati nell'abaco solo i pavimenti riguardanti la pavimentazione della carreggiata e dei marciapiedi.

Il secondo abaco è stato rinominato come abaco delle 'Arcate' e al suo interno sono mostrate le arcate del ponte oggetto di studio. Come è stato già spiegato nel capitolo della modellazione, le arcate sono state modellate come elemento trave per cui anche in questo caso è stato necessario inserire un filtro in modo da nascondere tutte le travi utilizzate per definire l'impalcato. All'interno dell'abaco è presente il campo di tipo, il campo del Titolo OmniClass degli elementi e tutti i parametri condivisi relativi al danneggiamento del gruppo struttura di cui si è parlato prima. È importante inoltre specificare che nella tabella il parametro condiviso DR della difettosità relativa, può anche essere inserito come parametro calcolato e come campo di abaco. Un parametro calcolato è tale per cui è possibile inserire una formula di calcolo per il suo valore sulla base delle variabili presenti nell'abaco. Una volta che a tutti i parametri è stato assegnato un valore preciso, allora Revit calcolerà automaticamente la difettosità relativa DR.

Il terzo abaco è quello delle 'Pile e delle Spalle'. Questi elementi sono stati realizzati tramite delle masse locali, per cui l'abaco è un abaco delle masse. Al suo interno compaiono i campi di famiglia, del Titolo

OmniClass e tutti i parametri condivisi del gruppo struttura. Anche in questo caso, il parametro condiviso DR può essere aggiunto come campo di abaco definito tramite una formula e quindi come parametro calcolato come nel caso precedente, in modo da ricavare automaticamente il numero desiderato.

<PAVIMENTAZIONE>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Tipo	Spessore di default	Area	Area danneggiata	Spessore danneggiato	Distorsioni (ormae)	Buche	Pelature e sgranamenti	Rappezzi ammalorati	Fessurazioni ramificate
Pavimentazione	0.14	483 m²	280	0.05	BUONO	BUONO	BUONO	PESSIMO	PESSIMO
Pavimentazione	0.14	483 m²	100	0.001	BUONO	BUONO	BUONO	MEDIOCRE	MEDIOCRE
Pavimentazione	0.14	483 m²	300	0.12	BUONO	BUONO	BUONO	PESSIMO	PESSIMO
Pavimentazione	0.14	483 m²	4	0.12	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
Pavimentazione marciapiede	0.10	204 m²	20	0.1	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
Pavimentazione marciapiede	0.10	204 m²	40	0.03	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
Pavimentazione marciapiede	0.10	29 m²	1	0.04	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
Pavimentazione marciapiede	0.10	204 m²	100	0.1	BUONO	BUONO	BUONO	CATTIVO	CATTIVO
Pavimentazione marciapiede	0.10	204 m²	50	0.1	BUONO	BUONO	BUONO	MEDIOCRE	MEDIOCRE
Pavimentazione marciapiede	0.10	29 m²	2	0.05	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
Pavimentazione marciapiede	0.10	29 m²	2	0.07	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
Pavimentazione marciapiede	0.10	29 m²	2	0.09	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO

Figura 6.5- Abaco su Revit, esempio di abaco della pavimentazione

6.4 Il passaggio da Revit ad Excel e viceversa

Per agevolare le fasi della progettazione è molto utile poter importare ed esportare i dati contenuti negli abachi di Revit all'interno di fogli di calcolo Excel e viceversa.

Excel è un potente strumento di calcolo automatico e per questo motivo è spesso utilizzato per velocizzare le operazioni matematiche che in Revit richiederebbero un tempo maggiore.

Nel corso della redazione dell'elaborato, le operazioni di export/import tra Revit ed Excel sono risultate fondamentali. Questa operazione si è resa necessaria per accelerare alcuni processi e per riprodurre in maniera realistica ciò che potrebbe accadere durante le fasi di progettazione e studio di un'infrastruttura. Ad oggi infatti, la metodologia BIM per la gestione del costruito è sempre più in via di sviluppo ma molto spesso i progettisti si interfacciano con aziende o imprese in cui l'utilizzo dell'approccio è ancora non del tutto avviato e si ricorre a strumenti di gestione dei dati classici. Da qui la necessità di realizzare un modello che sia quanto più possibile in grado di comunicare con tutte le figure coinvolte nel processo costruttivo e manutentivo e in

particolare che sia in grado di interfacciarsi con software di calcolo come Excel che in moltissimi casi agevola i lunghi processi di immagazzinamento e gestione dei dati di un'infrastruttura o di un processo.

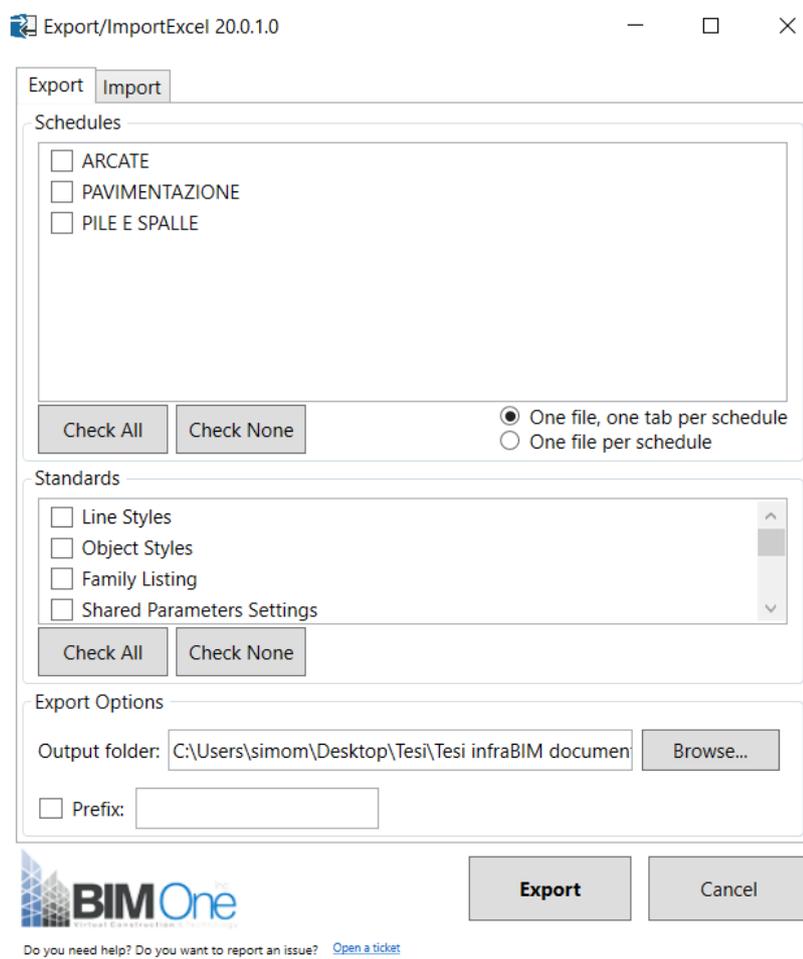


Figura 6.6- Esportazione/importazione di un abaco da Revit ad Excel e viceversa

Una volta esportati gli abachi da Revit ad Excel, è possibile inserire all'interno le formule necessarie per l'attribuzione del giudizio a ciascun parametro o compilare a mano le varie celle sulla base delle ispezioni visive effettuate.

Quando tutti i fogli di calcolo saranno compilati, allora sarà possibile procedere importando nuovamente il foglio di calcolo Excel su Revit così che i valori per ciascun parametro compaiano non solo all'interno

dell'abaco ma risultino visualizzabili anche all'interno delle proprietà di istanza di ciascun elemento del modello.

Nel caso in cui si rendesse necessario il cambiamento di alcuni numeri per determinati parametri, la modifica può essere facilmente effettuata all'interno dell'abaco di Revit selezionando e editando la cella corrispondente.

Tipo	Spessore di default	Area	Area danneggiata	Spessore danneggiato	Distorsioni (ormaie)
Pavimentazione	0,14	483,389 m ²	280		0,05 BUONO
Pavimentazione	0,14	483,389 m ²	100		0,001 BUONO
Pavimentazione	0,14	483,389 m ²	300		0,12 BUONO
Pavimentazione	0,14	483,389 m ²	4		0,12 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	204,234 m ²	20		0,1 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	204,234 m ²	40		0,03 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	28,548 m ²	1		0,04 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	204,234 m ²	100		0,1 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	204,234 m ²	50		0,1 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	28,548 m ²	2		0,05 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	28,548 m ²	2		0,07 BUONO
Pavimentazione marciapiede	0,1	28,548 m ²	2		0,09 BUONO

Figura 6.7- Esempio esportazione abaco su Excel

Buche	Fessurazioni ramificate	Pelature e sgranamenti	Rappezzi ammalorati
BUONO	PESSIMO	BUONO	PESSIMO
BUONO	MEDIOCRE	BUONO	MEDIOCRE
BUONO	PESSIMO	BUONO	PESSIMO
BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
BUONO	CATTIVO	BUONO	CATTIVO
BUONO	MEDIOCRE	BUONO	MEDIOCRE
BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
BUONO	BUONO	BUONO	BUONO

Figura 6.8- Esempio esportazione abaco su Excel

**CREAZIONE DEL DATABASE
INFORMATIZZATO**

Creazione del database informatizzato

7.1 Creazione di filtri di vista nel modello

I parametri condivisi e quelli di progetto sono stati inseriti all'interno del modello per personalizzarlo e adattarlo al caso studio. L'obiettivo è quello di procedere allo sviluppo di uno strumento che inquadri le condizioni della struttura in maniera sintetica e diretta.

All'interno del progetto sono stati creati dei filtri della vista basati su delle regole in modo da identificare graficamente gli elementi in relazione ai valori assunti dai parametri.

Generando un nuovo filtro, è possibile scegliere le categorie alle quali lo si vuole applicare per poi procedere con la definizione delle regole e dei gruppi di regole di filtraggio che identificano le categorie selezionate in base ai relativi valori dei parametri.

Nel caso specifico, sono stati introdotti dei gruppi di regole per filtrare gli elementi della pavimentazione e della struttura.

Per quanto riguarda la pavimentazione, sono stati creati quattro filtri differenti per ciascun parametro di degrado, uno per ogni giudizio che l'elemento di pavimentazione può assumere. Ad esempio, per il difetto Buche, sono stati creati quattro filtri diversi e per ciascuno è stato aggiunto un gruppo di regole avente come valore il corrispettivo di BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO e PESSIMO.

Il procedimento è stato ripetuto poi per ogni parametro assegnando sempre la stessa regola di filtraggio alla categoria dei pavimenti e facendo clic su applica.

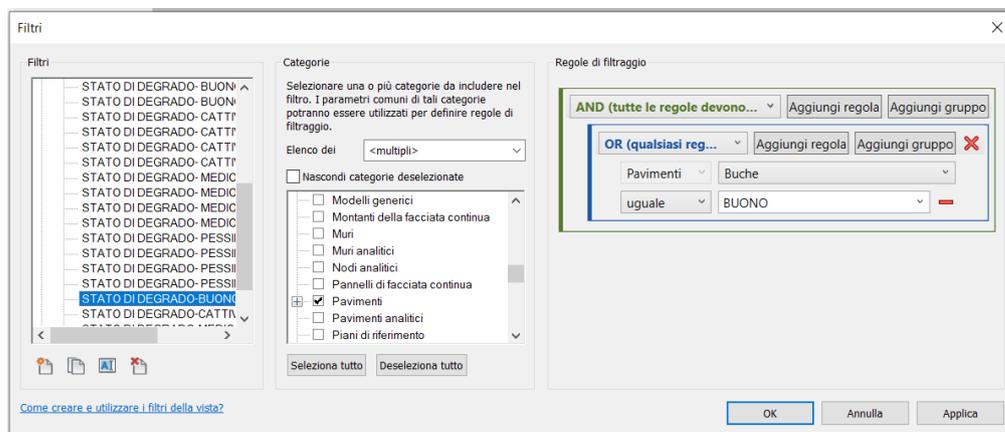


Figura 7.1- Creazione di un filtro per la pavimentazione

Una volta creati i filtri per ciascun parametro, è stato necessario applicarli alle relative viste in modo da cambiare la visibilità degli elementi identificati dal filtro.

Per evitare di fare confusione all'interno delle viste ed avere una visione chiara dei difetti, le viste 3D dell'infrastruttura sono state duplicate in modo da ottenere una vista tridimensionale per ciascuno dei parametri rappresentanti il dissesto della pavimentazione. Sono state create perciò cinque viste rinominate rispettivamente come '3D Buche', '3D Fessurazioni', '3D Distorsioni', '3D Pelature' e '3D Rappezzi'.

A questo punto facendo clic su Visibilità/Grafica, nella sezione Filtri è stato possibile aggiungere i filtri appena creati per ciascun difetto tramite la finestra di dialogo Aggiungi filtri che ne elenca quelli esistenti, ed applicarli alla vista corrente selezionata.

I filtri esistenti per ciascun difetto sono quattro (uno per giudizio) e a ognuno è stato assegnato un colore dalla sezione Motivi che lo rende facilmente distinguibile nella vista tridimensionale. Per garantire una facile individuazione del difetto, i colori selezionati sono stati quelli pantoni e in particolare al giudizio BUONO è stato assegnato il colore

verde, al giudizio MEDIOCRE il colore giallo, a quello CATTIVO l'arancione e al giudizio PESSIMO il colore rosso.

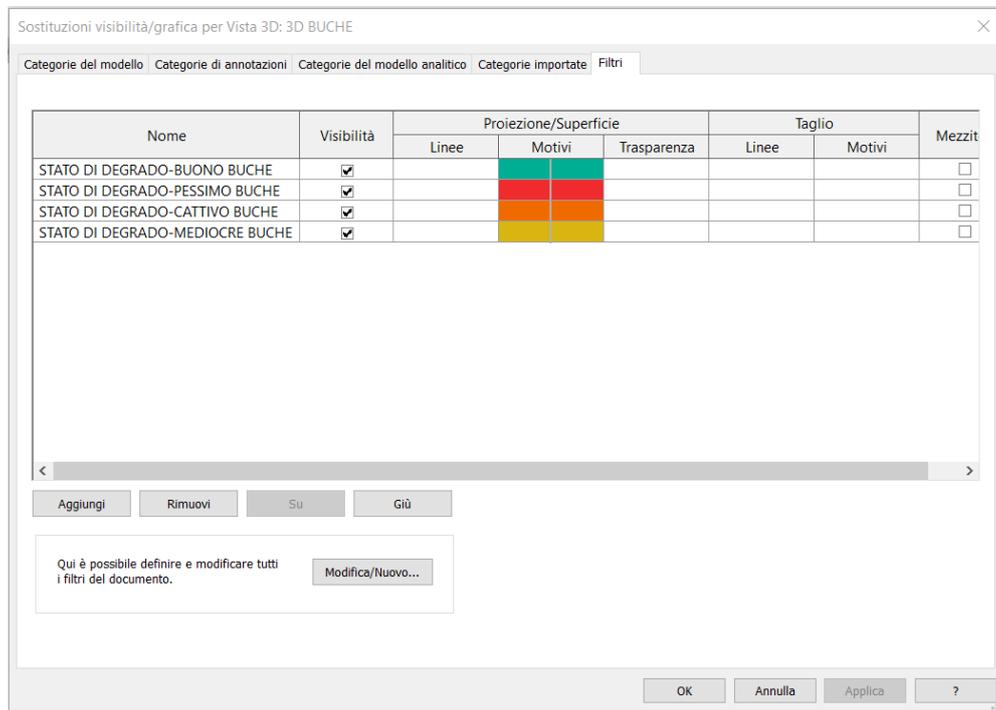


Figura 7.2- Attribuzione del colore al filtro di vista per ogni parametro

Quando i filtri vengono applicati alla vista tridimensionale, allora sugli elementi della pavimentazione verrà visualizzato un colore identificativo dello stato di degrado di quell'elemento sulla base di quanto riportato negli abachi che sono stati creati in precedenza.

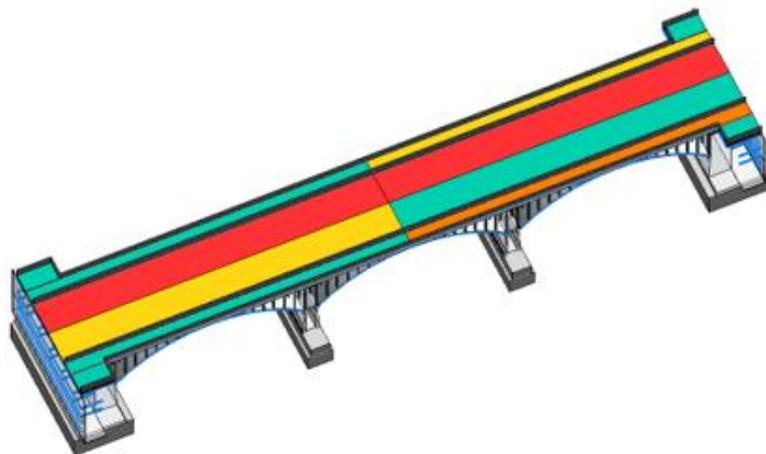


Figura 7.3- Esempio di vista 3D dopo l'applicazione del filtro alla vista 3D buche

Lo stesso procedimento è stato adottato per visualizzare graficamente il degrado esistente sulle parti strutturali maggiormente significative dell'opera.

I filtri sono stati creati allo stesso modo di quelli della pavimentazione e sono stati rinominati rispettivamente come DR per pile, spalle e archi e applicati alle categorie del telaio strutturale e delle masse locali. In questo caso si è scelto di identificare il dissesto sulla struttura tramite l'utilizzo di due gruppi di regole, uno per ciascun filtro. Il primo gruppo considera gli elementi delle categorie selezionate come buoni quando il valore del parametro di difettosità relativa DR è minore di un valore soglia (che potrà essere definito a piacimento sulla base delle analisi effettuate sulla struttura), mentre per tutti gli elementi per cui DR è maggiore o uguale al valore soglia allora la regola del filtro attribuisce il giudizio di pessimo. La scelta del valore limite che separa il campo strutturalmente buono da quello pessimo è stata arbitraria e potrà essere cambiata in qualsiasi momento qualora si dovesse adottare un criterio differente.

Dopo aver creato i filtri, è stato necessario applicarli ad una vista per segnalare gli elementi danneggiati e questo è stato possibile tramite l'inserimento di un colore dalla sezione Motivi.

Per il filtro che identifica gli elementi quali spalle, pile e arcate come buoni è stato utilizzato il colore blu mentre per gli stessi elementi che presentano un giudizio pessimo è stato scelto il colore magenta.

La vista tridimensionale dell'opera è stata duplicata e rinominata come '3D degrado struttura' e a tale vista sono stati applicati i filtri creati. Gli elementi strutturali assumeranno il colore blu o magenta sulla base del valore attribuito alla difettosità relativa che compare negli abachi precedentemente creati per ogni elemento della struttura.

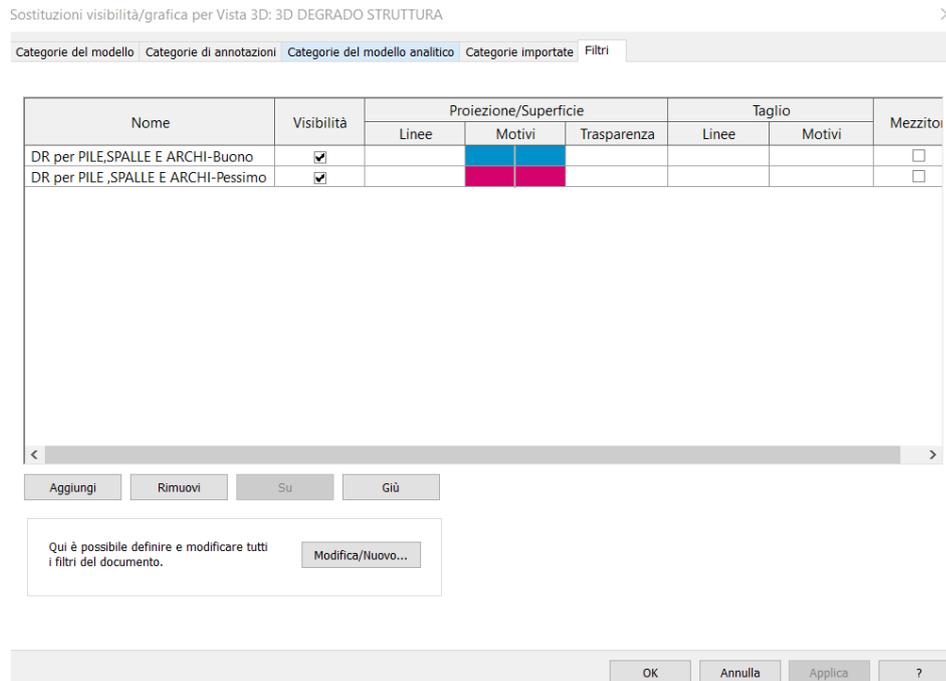


Figura 7.4- Attribuzione del colore al filtro di vista per il parametro

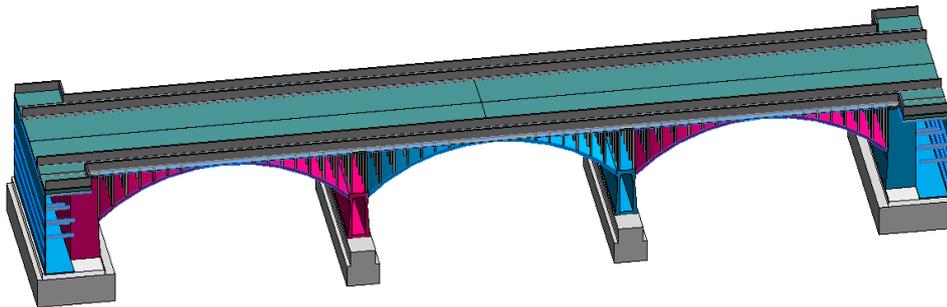


Figura 7.5- Esempio di vista 3D dopo l'applicazione del filtro alla vista 3D degrado struttura

7.2 Creazione di script di Dynamo

Per agevolare il processo di gestione ed immagazzinamento dei dati, sono stati creati degli script su Dynamo. Dynamo è un'interfaccia di programmazione grafica presente all'interno del software Revit e che con le sue funzioni consente di automatizzare attività ripetitive e semplificare i flussi di lavoro BIM in un modello di Revit. I vantaggi offerti da Dynamo sono molteplici e per questo motivo viene utilizzato

per coordinare la modellazione parametrica alla programmazione visuale.

Nell'elaborato di tesi si è scelto di utilizzare Dynamo in modo da fornire uno strumento di gestione delle informazioni alternativo più rapido. Dunque, le operazioni effettuate in precedenza sono state riprodotte tramite degli script e questo per ottenere un mezzo che possa essere facilmente accessibile a tutti in tempi rapidi.

Nel corso dell'analisi di una struttura, le figure coinvolte sono differenti e il modo migliore per accelerare i tempi e ottimizzare gli interventi è sicuramente quello di disporre di un modello che possa essere gestito tramite più software in quanto non tutti sono in grado di manipolare gli stessi programmi e gli stessi strumenti.

All'interno di Dynamo sono presenti dei blocchi prestabiliti chiamati nodi che vengono utilizzati come elementi di input e che collegati gli uni agli altri permettono di ottenere l'output desiderato. I nodi riguardano diversi elementi e funzioni di Revit e permettono anche di esportare o importare i risultati in fogli di calcolo Excel o in liste opportunamente definite.



Figura 7.6- Workflow di modellazione e gestione dati

Il primo script ha riguardato l'esportazione dei dati presenti all'interno di Revit in un foglio di calcolo Excel. In particolare, si è scelto di fare riferimento ai parametri della pavimentazione e ai relativi valori al fine di ottenere un report descrittivo della situazione di degrado per ciascuna tipologia di difetto.

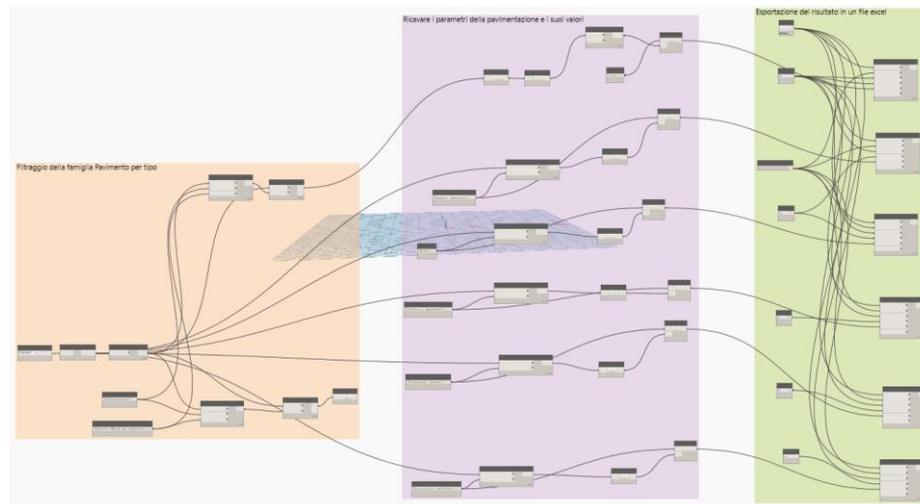


Figura 7.7- Script di Dynamo per scrittura dei risultati in un foglio Excel

Il primo blocco arancione è stato elaborato in modo da filtrare all'interno della categoria dei pavimenti, quella relativa al tipo 'Pavimentazione' escludendo così il pavimento dell'impalcato.

Il secondo blocco, quello lilla, contiene il nodo `Element.GetValueByName` che consente di visualizzare in una lista i valori corrispondenti assunti dal parametro selezionato. In questo caso, è stato necessario ricorrere ad uno script di Python in modo da eliminare le celle vuote nella lista derivanti dal fatto che i valori sono assegnati solamente ai parametri del tipo pavimentazione mentre quelli relativi all'impalcato figurano come celle vuote.

```

Python Script
6
7 # I valori di immissione per questo nodo verranno memorizzati come elenco
  nelle variabili IN.
8 dataEnteringNode = IN
9
10 # Posizionare il codice sotto questa riga
11 list = IN[0]
12 newList = []
13 zero = []
14 variables = ["BUONO", "CATTIVO", "PESSIMO", "MEDIocre"]
15
16
17 for i in list:
18     if i in variables:
19         newList.append(i)
20     else:
21         zero.append(i)
22
23 #replace=[]
24
25 #for n,i in enumerate(newList):
26 #     if i=="BUONO":
27 #         newList[n]=1
28 #     elif i=="CATTIVO":
29 #         newList[n]=2
30 #     elif i=="PESSIMO":
31 #         newList[n]=3
32 #     else:
33 #         newList[n]=4
34
35
36
37
38 # Assegnare l'output dell'utente alla variabile OUT.
39 OUT = newList
    
```

Figura 7.8- Particolare dello script di Python

Il terzo blocco verde infine, consente l’esportazione del risultato ottenuto in un file Excel in cui ciascun tipo di elemento è identificato da un giudizio in relazione al parametro.

	A	B	C	D	E	F
1	Tipo	Rappezzi ammalorati	Buche	Pelature e sgranamenti	Distorsioni (ormaie)	Fessurazioni ramificate
2	Pavimentazione marciapiede	BUONO	CATTIVO	CATTIVO	MEDIocre	BUONO
3	Pavimentazione	PESSIMO	BUONO	BUONO	BUONO	PESSIMO
4	Pavimentazione	MEDIocre	BUONO	BUONO	BUONO	MEDIocre
5	Pavimentazione marciapiede	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
6	Pavimentazione marciapiede	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
7	Pavimentazione marciapiede	CATTIVO	BUONO	BUONO	BUONO	CATTIVO
8	Pavimentazione	PESSIMO	BUONO	BUONO	BUONO	PESSIMO
9	Pavimentazione	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
10	Pavimentazione marciapiede	MEDIocre	BUONO	BUONO	BUONO	MEDIocre
11	Pavimentazione marciapiede	BUONO	MEDIocre	MEDIocre	MEDIocre	BUONO
12	Pavimentazione marciapiede	BUONO	PESSIMO	PESSIMO	PESSIMO	BUONO
13	Pavimentazione marciapiede	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO

Figura 7.9- Risultato dell’esportazione

Il secondo script ha consentito di impostare i parametri e i rispettivi valori in maniera automatica su Revit per ciascun elemento della struttura appartenente alla categoria telaio strutturale tramite il nodo `Element.SetParameterByName`.

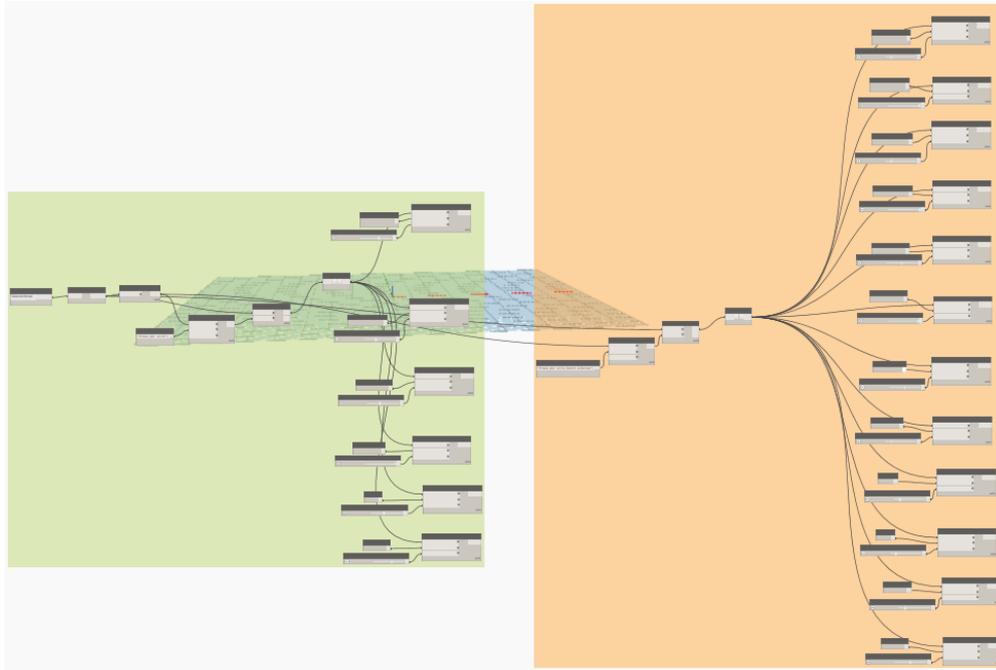


Figura 7.10- Script per l'impostazione dei parametri

Il primo blocco contiene nello specifico l'impostazione dei parametri di peso G e dei corrispondenti valori per un singolo elemento appartenente alla categoria telaio strutturale.

Il secondo blocco è relativo al settaggio dei parametri contenenti i coefficienti k_1 e k_2 ed i rispettivi valori.

Il risultato finale risulta dunque la visualizzazione dei parametri e dei valori all'interno delle proprietà di istanza di ciascun elemento strutturale analizzato. Un'immagine esplicativa del risultato viene riportata di seguito.

Testo	
Macchie di umidità attiva e pa...	3.000000
Macchie di umidità attiva e pa...	0.200000
Macchie di umidità attiva e pa...	1.000000
Cls ammalorato/dilavato G	2.000000
Cls ammalorato/dilavato k1	0.200000
Cls ammalorato/dilavato k2	1.000000
Distacco del copriferro G	2.000000
Distacco del copriferro k1	0.500000
Distacco del copriferro k2	1.000000
Armatura ossidata G	5.000000
Armatura ossidata k1	0.500000
Armatura ossidata k2	0.200000
DR	4.000000
Fessure G	2.000000
Fessure k1	0.200000
Fessure k2	0.200000
Staffe ossidate G	3.000000
Staffe ossidate k1	0.200000
Staffe ossidate k2	0.500000

Figura 7.11- Risultato dello script di impostazione dei parametri di progetto

Il terzo ed ultimo script che si è deciso di creare è stato applicato alla pavimentazione e consta di due blocchi tramite i quali alla fine si è riusciti a riprodurre esattamente quello che si avrebbe nel caso in cui si applicasse un filtro della vista.

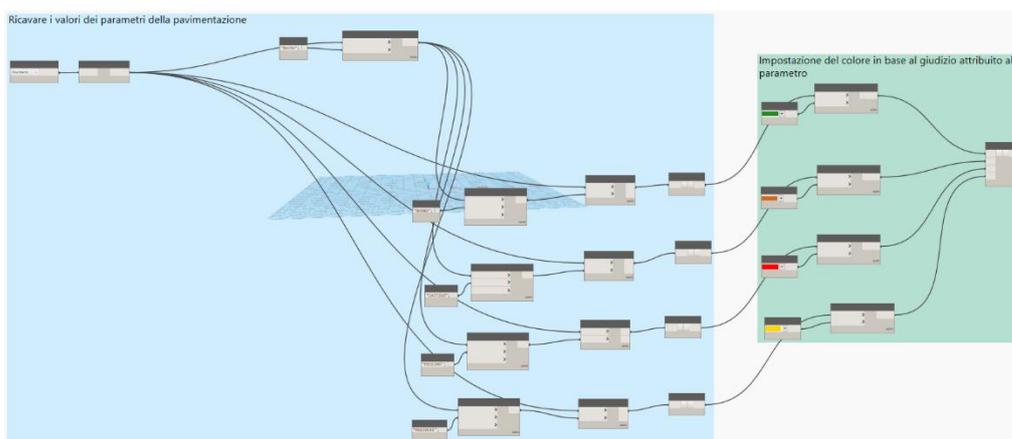


Figura 7.12- Script per l'impostazione del colore al valore del parametro

Inizialmente nel primo blocco, nella categoria generale dei pavimenti sono stati messi in evidenza i parametri ed i relativi giudizi del tipo 'Pavimentazione' come nel caso del primo script.

Successivamente, è stato utilizzato il nodo `Element.OverrideColorInView` che sostituisce il colore dell'elemento nella vista attiva su Revit. In questo modo, a ciascuno dei valori BUONO, MEDIOCRE, CATTIVO e PESSIMO è stato attribuito un colore che viene automaticamente visualizzato nella vista 3D su Revit.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Conclusioni e sviluppi futuri

Il presente elaborato di tesi è stato sviluppato con lo scopo di evidenziare l'importanza che assume l'applicazione della metodologia BIM nell'ambito del costruito.

Il processo di digitalizzazione del patrimonio esistente è lungo e laborioso specialmente in Italia, in cui una grande quantità di infrastrutture presenti sul territorio non dispongono di elaborati in formato digitale come nel caso del presente caso studio. L'obiettivo è quello di procedere verso una digitalizzazione dei documenti archivistici storici relativi ai progetti delle inestimabili opere di cui disponiamo.

L'adozione della metodologia parametrica BIM nel settore infrastrutturale consente di creare un modello virtuale tridimensionale che racchiude i dati relativi al campo della progettazione, costruzione e gestione del manufatto.

In particolare, l'elaborato di tesi è stato sviluppato focalizzando l'attenzione su questi aspetti ed è stato articolato secondo due fasi principali.

Nella prima fase, è stato scelto il ponte Franco Balbis a Torino come caso studio all'interno dell'archivio storico della società Porcheddu. A partire dagli elaborati grafici cartacei reperiti, è stato realizzato il modello tramite il software Autodesk Revit. Nel rispetto dei disegni progettuali, sono stati riprodotti tutti gli elementi strutturali del ponte considerandone gli aspetti geometrici. La struttura è stata poi collocata all'interno del contesto territoriale grazie all'utilizzo di altri software in grado di comunicare con il modello.

La seconda fase è stata rivolta alla raccolta di una serie di dati che identificano lo stato di fatto dell'infrastruttura al fine di creare una piattaforma digitale di condivisione dei valori che potranno essere utilizzati ciclicamente in futuro in maniera automatizzata dalle amministrazioni e dai gestori che si occupano della salvaguardia dell'opera. La creazione del database informatizzato del ponte Balbis si propone come un mezzo attraverso il quale è possibile tenere traccia della storiografia dell'infrastruttura e di tutti gli interventi che si susseguono nel tempo. Bisogna sottolineare ancora una volta che le operazioni svolte durante il lavoro di tesi hanno avuto una valenza puramente metodologica per consentire la generazione di tale strumento informatizzato del manufatto.

La digitalizzazione del costruito è dunque un'attività necessaria per garantire la salvaguardia e la fruizione delle opere storiche nel futuro. Bisogna lavorare per creare strumenti e modelli informatizzati che siano in grado di documentare opportunamente le infrastrutture del territorio. In questo modo gli enti e le amministrazioni responsabili avranno a disposizione una conoscenza completa dell'opera e per questa potranno garantirne una corretta tutela e conservazione ma anche un giusto riuso e valorizzazione.

Le attività di raccolta dei dati potranno essere poi riprese e perfezionate grazie all'avvento delle nuove tecnologie che permetteranno di aggiornare il modello per disporre di una visione sempre più dettagliata del suo stato di fatto e di tutti gli interventi effettuati in passato.

In conclusione, la conoscenza del costruito e la relativa riproduzione con strumenti che si avvalgono della metodologia BIM è fondamentale per preservare le infrastrutture e per prevenire eventuali fenomeni di dissesto.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia

AICARR, T. Dalla Mora, F. Peroni, F. Cappelletti, P. Romagnoni, P. Ruggieri, *Una panoramica sul Building Information Modelling*, Milano, 2014.

ANAS, *Quaderni tecnici*, Roma, 2019.

AssoBIM, *Il Building Information Modeling e l'innovazione digitale delle costruzioni*, Torino, 2019.

Autodesk, *Classification Systems and their use in Autodesk Revit*.

Autodesk, *Manuale dello standard IFC per Revit*, McInnis Parkway San Rafael, CA, 2018.

Bentley Systems, *OpenRoads ConceptStation scheda tecnica*, United States, 2016.

Bentley Systems, *OpenRoads Designer Connect edition scheda tecnica*, United States, 2017.

Bilal Succar, *Building Information Modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders*, University of Newcastle, 2008.

CIAS Italia, *Dalla valutazione numerica dello stato di degrado dei ponti al collaudo*, 2006.

Città Metropolitana di Torino, *Manutenzione straordinaria ponti 2003 Ponte Balbis*, Torino, 2003.

Di Palma, Mazziotta e Rosa, *Infrastrutture e sviluppo, indicatori quantitativi a confronto*, Roma, 1998.

Dodge Data & Analytics, *The Business value of BIM for infrastructure 2017*, Bedford, MA, 2017.

Edil Lab, *I trend di mercato e le innovazioni*, Napoli, 2017.

Gianluca Dell'Acqua, *I-BIM*, Università degli Studi di Napoli Federico II, 2016.

Gianluca Dell'Acqua, *BIM per infrastrutture lineari*, Università degli Studi di Napoli Federico II, 2017.

Mannella Paolo, *Piano di monitoraggio ponti viadotti*, ANAS, 2019.

Ministero dell'Economia e della Finanza, *Documento di Economia e Finanza*, 2017.

Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, *Roma*, 5 Novembre 2001.

Nuovo codice dei contratti pubblici, *Decreto Legislativo 18 Aprile 2016*, n. 50.

Osello Anna, *Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*, Politecnico di Torino, 2012.

Osello A., Fonsati A., Rapetti N., *InfraBIM: il BIM per le infrastrutture*, 2019

Paradisi, Brunini, *Le infrastrutture in Italia*, ISTAT, Roma, 2006.

Salzano Antonio, *Sistema di progettazione BIM come metodologia e strumento di progettazione e gestione di un'opera durante l'intero ciclo di vita*, Università Federico II di Napoli.

Sassi Perino, Angia-Faraggiana, Giorgio, *I ponti di Torino: duecento anni di storia della città*, 2004.

Vassale Marco, *Building Information Modelling: insights, applications, evaluation of limits, additional proposals and widespread strategies*, Università di Genova.

SITOGRAFIA

Sitografia

<http://biblus.acca.it/def-2019-il-piano-per-le-infrastrutture-e-le-opere-pubbliche/>

<https://forum.dynamobim.com/>

<http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ITA/>

<https://siusa.archivi.beniculturali.it/cgi-bin/pagina.pl?TipoPag=compare&Chiave=354559>

<https://unifilabs.com/BIM-software>

<https://www.01building.it/bim/infrabim-infrastrutture/>

<https://www.autodesk.com/>

<https://www.bentley.com/>

<https://www.buildingsmart.org/>

https://www.edilportale.com/news/2015/10/focus/bim-a-cosa-serve-e-chi-lo-user%C3%A0_48424_67.html

<https://www.ediltecnico.it/66366/bim-gestione-infrastrutture/>

<https://www.ediltecnico.it/70680/ponti-viadotti-necessaria-visione/>

<https://www.garzantilinguistica.it/ricerca/?q=infrastruttura>

<http://www.graphisoft.it/>

<https://www.progettiamobim.com/blog/appfondimenti/il-bim-e-le-sue-dimensioni-secondo-le-uni-11337/>

<https://www.stradeanas.it/it/lazienda/attivita%C3%A0/documenti-tecnici>

RINGRAZIAMENTI

Ringraziamenti

Termina oggi uno dei percorsi più significativi e soddisfacenti che ho intrapreso fino ad ora. Al termine di questo lavoro, desidero prima di tutto ringraziare coloro che mi hanno permesso di iniziare questo percorso di tesi.

Ringrazio il Prof. Baglieri per avermi trasmesso la sua passione per l'ingegneria durante le lezioni universitarie e per avermi motivato e supportato durante lo svolgimento di questo lavoro con la sua competenza e i suoi consigli che sono stati fondamentali per svilupparlo.

Ringrazio la Prof.ssa Osello per il suo entusiasmo coinvolgente verso il mondo del BIM e per avermi dato l'opportunità di conoscere e frequentare il laboratorio Drawing To The Future, un ambiente stimolante e pieno di iniziative anche grazie ai dottorandi che ne fanno parte.

Un ringraziamento speciale va anche alla mia correlatrice, l'Ing. Anna Viola, per la disponibilità e l'estrema professionalità con cui mi ha aiutata nel corso di questi mesi e senza la quale non avrei potuto portare a termine il mio lavoro.

Ringrazio la mia famiglia per avermi concesso l'opportunità di svolgere questa esperienza universitaria e in generale per tutto il supporto che non mi ha mai fatto mancare in questi anni. Grazie a mia mamma, mio padre, mio fratello e ai miei dolci nonni per essere il mio punto di riferimento.

Grazie al mio ragazzo, che più di tutti ha sopportato le mie ansie e le mie paure e che è stato sempre presente nonostante le ore di aereo che ci separano.

Grazie al gruppo di siciliani a Torino, per far sentire meno la mancanza di casa nonostante la distanza.

Un grazie alle mie amiche di sempre, con cui sono cresciuta e su cui so di potere sempre contare perché l'affetto che ci unisce è sincero e dura nel tempo.

Infine, un ringraziamento a tutte le persone che mi hanno fatto compagnia durante questi anni universitari tra le aule del Polito e senza le quali l'università sarebbe stata sicuramente più noiosa.

Grazie a tutti!