POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneri Civile

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Sviluppo di un modello BIM per la manutenzione delle infrastrutture stradali



Relatori:

prof. Orazio Baglieri

prof.ssa Anna Osello

Candidato:

Anna Viola

A mia madre e mio padre, per avermi trasmesso tutto il loro amore e per avermi insegnato con il loro esempio a saper affrontare le sfide della vita con umiltà, forza e determinazione.

Indice

ABSTRACT	pag.3
1.INTRODUZIONE	pag.5
1.1 Cos'è il BIM	pag.5
1.2 Cos'è l'infraBIM	pag.7
1.3 Interoperabilità	pag.9
1.4 Disegno CAD	pag.10
1.5 Level of Development	pag.11
1.6 Metodologia infraBIM	pag.12
2.PASSAGGIO DAL CAD AL BIM: RACCORDO VIARIO A SAN CESARIO SUL PANARO	pag.15
2.1 Caso studio	pag.15
2.2 Modellazione con Civil 3D	pag.16
2.3 Sottopasso Ciclopedonale	pag.29
2.4 Pregi e criticità riscontrati con Civil 3D	pag.34
2.5 Interoperabilità e formati	pag.44
3.MODELLO BIM DELLA PAVIMENTAZIONE STRADALE	pag.47
3.1 Estrazione coordinate e uso di Subassembly Composer	pag.48
3.2 Creazione del corridoio stradale	pag.52
3.3 Progetto pavimentazione San Cesario	pag.58
3.4 Pregi e difetti del Software	pag.61
4. IL BIM PER LA MANUTENZIONE	pag.63
4.1 Progettazione della manutenzione	pag.63
4.1.1 Generalità sulle prestazioni della sovrastruttura	pag.66
4.1.2 Indici di stato	pag.67
4.2 Approccio metodologico e applicazione al caso studio	pag.72
4.2.1 Dati identificativi e prestazionali	pag.72
4.2.2 Studio delle fasi	pag.77
5.CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	pag.81
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	pag.85
RINGRAZIAMENTI	pag.89

Abstract

L'utilizzo del BIM nella progettazione delle opere civili si sta sempre più diffondendo e sviluppando, ma per quanto riguarda le Infrastrutture è ancora parecchio in ritardo. Questa tesi nasce con lo scopo di individuare delle metodologie BIM che possano essere applicate alle Infrastrutture, focalizzando l'attenzione sul tema della gestione e manutenzione dell'opera.

La modellazione è stata applicata ad un caso studio riguardante un raccordo viario nel comune di San Cesario sul Panaro. Le tematiche affrontate sono state principalmente tre: la modellazione dell'infrastruttura con diversi software, l'interoperabilità dei formati e lo studio sulla possibilità di arricchire tale modello con le informazioni necessarie alla valutazione dello stato di salute dell'opera e alla programmazione degli interventi manutentivi. Nonostante si sia cercato di rendere il processo di modellazione indipendente dai software in uso, nel complesso le scelte sono state influenzate dagli strumenti utilizzati. Si è cercato dunque di dare una valenza prettamente metodologica al lavoro svolto, con la consapevolezza che gli sviluppi futuri agevoleranno tali processi.

Nell'ottica di arricchire il modello con il materiale necessario alla redazione dei Piani di Gestione e Manutenzione dell'Opera, è stato affrontato in parallelo uno studio sui parametri funzionali e prestazionali delle pavimentazioni stradali. I dati relativi a questi parametri possono essere raccolti dal momento della messa in opera dell'infrastruttura e durante l'esercizio, per monitorarne il degrado nel tempo. Di conseguenza, il modello è stato concepito in modo da immagazzinare tali dati e in modo da essere aggiornato con gli eventuali interventi da effettuare durante la vita utile dell'opera fino alla dismissione.

Scopo fondamentale del BIM è quello di agevolare e velocizzare tutti gli iter progettuali relativi al processo edilizio. In quest'ottica, si è affrontato uno studio su quanto gli strumenti a disposizione possano essere effettivamente usati a tale scopo e come sia possibile migliorarli in futuro. Si è dunque cercato di analizzare il problema nel modo più neutrale possibile e per tale ragione la soluzione individuata per la modellazione e la gestione delle informazioni è da intendersi come una delle possibili soluzioni che il mondo BIM consente di realizzare. Con riferimento all'impianto metodologico proposto, l'obiettivo che si intende perseguire nell'immediato futuro consiste nell'integrare i modelli informatizzati con strumenti analitici previsionali in grado di tracciare gli andamenti evolutivi delle caratteristiche prestazionali nel tempo, da utilizzarsi in chiave predittiva.

L'auspicio è quello di poter accrescere le conoscenze in un ambiente, quello dell'infraBIM, che seppur lentamente, si sta sempre più diffondendo. L'obiettivo sarà dunque quello di cercare di sfruttare le potenzialità che il settore ha da offrire e di cogliere i benefici a breve e lungo termine di ciò che rappresenta il futuro della progettazione, costruzione e gestione delle Infrastrutture.

1. Introduzione

Negli ultimi decenni stiamo assistendo ad una vera e propria rivoluzione digitale. Anche il settore delle costruzioni sta attraversando questa fase di rinnovamento, non solo a livello tecnologico ma anche sul piano operativo e di organizzazione a livello politico ed economico. E' sempre più evidente infatti che in ogni settore l'obiettivo sia la ricerca di nuovi metodi per aumentare l'efficienza e la produttività. Per quanto riguarda il settore edile e civile, ci si è trovati sempre più dinanzi l'esigenza di semplificare il processo di elaborazione dei dati che vengono utilizzati durante l'arco temporale necessario alla progettazione. La nascita e lo sviluppo dei sistemi BIM, sta rendendo possibile l'integrazione delle attività di progettazione, costruzione e gestione delle informazioni riguardanti le opere, la loro realizzazione e il loro utilizzo.

1.1 Cos'è il BIM

Il termine BIM è l'acronimo di *Building Information Modeling*, letteralmente modellazione informatizzata di un edificio o più in generale di una costruzione. L'acronimo può tuttavia assumere definizioni differenti in funzione dell'ambito del processo edilizio che va a coinvolgere. E' così possibile sentir parlare di Building Information Modeling, Model o Models, per indicare un'attività di gruppo, un modello o oggetti che riguardano tutto ciò che ruota intorno alla progettazione e realizzazione di un'opera¹.

In generale è errato intendere il BIM come un prodotto o un software, esso va considerato piuttosto come un insieme di strumenti per la creazione di modelli virtuali sufficientemente dettagliati che si comportano come dei "contenitori" di informazioni che riguardano tutti gli aspetti del progetto. Tali informazioni, che spaziano da quelle geometriche a quelle sulle caratteristiche dei materiali, energetiche, impiantistiche e via dicendo, sono strutturate in modo tale da poter essere integrate, aggiornate o modificate in qualsiasi momento del ciclo di vita dell'opera in esame. Lo scopo infatti è proprio quello di far interagire tutti gli "attori del progetto" mediante lo stesso modello e per l'intera durata del processo edilizio, dallo studio di fattibilità alla gestione e manutenzione, fino alle operazioni di dismissione e demolizione dell'opera.

Il BIM è quindi un sistema che coinvolge procedure e tecnologie in tutte le fasi del processo edilizio. Dal punto di vista operativo, i disegni vengono trasformati in oggetti intelligenti che è possibile considerare come dei database di informazioni sfruttati da tutte le figure professionali coinvolte in tale processo. Si passa dunque dal classico disegno (2D o 3D) al quale venivano associate le informazioni da fonti separate, al modello digitale condiviso, accessibile e modificabile, del quale si ha un aggiornamento rapido e senza perdita di dati.

¹ A. Osello - "Il futuro del disegno con il BIM per ingegneri e architetti" (Dario Flaccovio Editore, 2012)

Il sistema interattivo del BIM permette di individuare la metodologia per gestire la progettazione. B. Succar, dell'Università di Newcastle, nel 2008 propose una classificazione della metodologia BIM basata su tre settori di attività: tecnologia, processo e politica. Il campo della tecnologia include tutti gli sviluppatori di software e hardware che forniscono gli strumenti utili al settore AEC (Architecture Engineering Construction). Nel campo del processo sono coinvolte tutte le figure collegate direttamente alla progettazione, realizzazione e gestione delle opere. Nel campo delle politiche infine sono racchiuse le figure professionali che si occupano di questioni normative e contrattuali e di tutte le fasi preparatorie, gestionali, di ricerca e di regolamentazione.

I campi sopra evidenziati sono il fulcro del processo edilizio e devono rispondere ad esigenze legate a complessità via via maggiori, alla sostenibilità, a uno sviluppo più veloce del lavoro e alla riduzione globale dei costi e dei tempi operativi.



Figura 1.1 - Campi di attività del BIM proposti dal Prof. B. Succar ("Automation in Construction" - 2008).

Il passaggio dal disegno CAD al BIM comporta notevoli vantaggi, il primo fra tutti è dato dal poter andare oltre la classica rappresentazione 2D o 3D. Un modello BIM infatti non è più solo un insieme di linee ed elementi geometrici ma diviene una rappresentazione che permette al team di progettazione di intervenire e apportare modifiche, visualizzando e risolvendo problemi durante tutto il processo.

E' possibile ottenere dunque una più rapida ed efficace condivisione delle informazioni con relativo miglioramento del progetto che viene analizzato in maniera rigorosa mediante simulazioni. I costi del ciclo di vita dell'opera vengono meglio compresi, più facilmente controllati e di conseguenza meglio gestiti ed abbassati. La documentazione finale sfrutta l'automazione e questo comporta un miglior rendimento in caso di modifiche e un miglior servizio reso al cliente. Inoltre le informazioni e i dati immagazzinati dal modello durante l'intero processo permettono di essere utilizzati nell'ambito del Facility Managment e quindi di tutto l'ambito di gestione e manutenzione dell'opera messa in uso.

Il CIFE (Center for Integrated Facilities Engineering) dell'Università di Stanford ha fatto un'indagine su 32 grandi progetti che utilizzano il BIM e ne ha indicato i vantaggi, tra cui:

- l'eliminazione di cambiamento di budget fino al 40%;
- precisione di stima dei costi entro il 3%;
- riduzione fino al 80% del tempo richiesto per generare un preventivo di spesa;
- risparmio fino al 10% del valore del contratto attraverso clash-detections (ossia l'unificazione in un unico modello di vari progetti provenienti dalle varie discipline, per identificare dove possano andare in conflitto tra loro);
- riduzione del tempo di progetto fino al 7%.

Il mondo del BIM è molto vasto e in continuo sviluppo. In quest'ottica è difficile individuare la strada corretta da percorrere per semplificare il processo edilizio, poiché non ne esiste solo una ma molteplici. Ecco che appare più chiara l'esigenza di parlare di metodologie BIM per l'edilizia e non di soluzioni uniche. Del resto tali metodologie sono legate all'utilizzo di determinati software piuttosto che altri e questo lascia ben intendere la possibilità di raggiungere gli stessi obiettivi in maniera differente con strumenti differenti.

Ad oggi oltre alle Direttive Europee (2014/24/EU) che raccomandano l'utilizzo del BIM, si sta assistendo ad un adeguamento nazionale in materia legislativa. Come previsto dal Codice degli Appalti, sarà obbligatorio dal 1 gennaio 2019, utilizzare il BIM nella progettazione delle opere pubbliche per lavori complessivi relativi a opere di importo a base di gara pari o superiori a 100 milioni di euro e dal 1 gennaio 2025 per tutte le nuove opere.

Risulta dunque di vitale importanza ampliare le conoscenze in questo settore e sfruttarne al massimo le potenzialità.

1.2 Cos'è l'infraBIM

Inizialmente il BIM è nato a supporto della progettazione e via via ha coinvolto, come già specificato, tutti i settori che ruotano intorno al processo edilizio. Sebbene sia il settore edile quello maggiormente interessato dalla rivoluzione BIM, recentemente si sta assistendo ad un ampliamento e ad un coinvolgimento sempre maggiore nei diversi campi dell'ingegneria civile. Il termine "Building" dunque non si riferisce più solo agli edifici ma alle costruzioni in generale. Tra queste si sta focalizzando l'attenzione sulle Infrastrutture.

Il termine *infraBIM* raggruppa tutte le applicazioni BIM per il settore AEC riguardanti le Infrastrutture.

Nell'ambito delle grandi opere sono richieste analisi accurate e integrate su molteplici aspetti. La modellazione informatizzata deve dunque racchiudere l'analisi ambientale, la valutazione delle interferenze, l'interazione con opere strutturali, impiantistiche ecc. e molto altro ancora. Il BIM risulta essere lo strumento che meglio può adattarsi a tali esigenze e che sta pian piano cambiando il modo di progettare, costruire e gestire le opere infrastrutturali.

Il modello digitale dell'infrastruttura consente la gestione di dati per loro natura disomogenei, raggruppandoli e riordinandoli in classi di oggetti. Un modello strutturato in questa maniera consente la suddivisione in un numero definito di componenti e l'associazione ad essi di un numero adeguato di informazioni. In tale ottica, la trasformazione digitale 3D delle infrastrutture viarie può essere estesa all'analisi dei tempi (BIM 4D), alla gestione dei costi (BIM 5D) e alla manutenzione (BIM 6D).



Figura 1.2 - scala dei livelli di sviluppo del BIM e dell'infraBIM.

Ad oggi tuttavia, lo stato dell'arte dell'infraBIM, soprattutto in Italia, è pressoché inesistente. Uno studio condotto dal Professor Gianluca Dell'Acqua, dell'Università Federico II di Napoli, ha evidenziato proprio questo aspetto. A monte di questa indagine sono state classificate le infrastrutture in tredici tipologie e cinque domini, successivamente è stata fatta una valutazione delle applicazioni esistenti e del grado di maturità raggiunto dalle tecnologie infraBIM, in funzione di diversi criteri di valutazione. I risultati sono stati ottenuti dallo studio di 172 casi applicativi e 63 pubblicazioni scientifiche come schematizzato nella seguente tabella. I modelli infraBIM sono stati impiegati principalmente per infrastrutture stradali e per quelle energetiche e per opere d'arte come i ponti, di rado per le opere di pubblica utilità o per lo svago. E' emerso inoltre che le applicazioni infraBIM sono molto utilizzate in Asia e nelle Americhe, meno nelle altre zone geografiche.

E' bene notare che è il campo stradale quello dove si riscontrano il maggior numero di applicazioni dell'infraBIM nonostante sia al tempo stesso il settore che presenta il minor numero di pubblicazioni scientifiche. Il prof. Dell'Acqua aggiunge anche "Benché per le

strade non siano stati ancora pubblicati standard specifici molti ricercatori hanno proposto modelli analitici originali." Questo lascia intendere quanto effettivamente si stia lavorando nella giusta direzione per lo sviluppo di questo settore.

In generale, i risultati evidenziano che effettivamente l'infraBIM è ancora parecchio carente in termini di studio e implementazione, tuttavia la ricerca è già tangibile e in continua crescita.

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

Figura 1.3 - Classificazione delle infrastrutture e casi studio analizzati dal prof G. Dell'Acqua - Università degli studi di Napoli.

Il mondo delle Infrastrutture è molto vasto e articolato, questo giustifica il ritardo nella creazione e gestione di "data-schema" condivisibili per categorie. Inoltre le informazioni e i relativi file che le gestiscono, sono eterogenei e non è cosa da poco trovare la via migliore per favorirne lo scambio e l'interoperabilità nei formati.

1.3 Interoperabilità

Durante lo svolgersi del presente lavoro di tesi si è visto come sia possibile adattare alcuni software BIM anche nell'ambito infraBIM, e come altri presentino delle estensioni create ad hoc per le Infrastrutture. In questo scenario è logico intuire la molteplicità dei software in gioco e la diversità dei dati che necessitano di essere trasferiti in maniera inequivocabile. I problemi dunque di interoperabilità si manifestano nei tanti software utilizzati da diversi utenti e nella complessità che si nasconde dietro la necessità di utilizzare un linguaggio standardizzato. E' necessario quindi identificare il giusto formato che ottimizzi le fasi di recreating, editing e converting dei dati dell'opera durante tutto il processo e soprattutto che eviti la perdita degli stessi. Anche in questo campo la ricerca sta avanzando parecchio,

anche e soprattutto nell'ottica di individuare un "approccio universale di collaborazione". Ad oggi, questa integrazione tra le piattaforme avviene tramite il formato IFC (Industry Foundation Classes).

L'iniziativa IFC nasce nel 1994 quando alcune società statunitensi aderirono ad un consorzio industriale deciso ad investire nella realizzazione di un codice informatico in grado di supportare lo sviluppo di applicazioni integrate. Nel tempo questo consorzio è divenuto un'Alleanza aperta a tutte le parti interessate e con l'obiettivo di sviluppare e promuovere l'IFC come modello di dati neutro, accessibile a tutti ed in grado di raccogliere tutti i tipi di informazione sul progetto. Ad oggi l'Alleanza è portata avanti tramite buildingSMART, gruppo a livello mondiale che guida lo sviluppo verso una standardizzazione a livello internazionale per sostenere lo sviluppo del BIM.

Secondo buildingSMART, il formato IFC è lo strumento principale per la realizzazione dell'Open BIM, "il quale rappresenta un approccio universale alla collaborazione per la progettazione e la costruzione degli edifici basati su standard e flussi di lavoro aperti".

Tuttavia nonostante il formato IFC si stia sempre più diffondendo, il suo corretto utilizzo e la sua intuitività sono piuttosto carenti. E' necessario infatti conoscere al meglio e impostare correttamente tutte le opzioni di esportazione o importazione, poiché il rischio è la perdita totale o parziale delle informazioni grafiche e non.

Quello dell'interoperabilità è dunque un tema parecchio delicato e per nulla banale nell'ambito del BIM e nel presente lavoro di tesi verrà più volte discusso poiché di fondamentale importanza.

1.4 Disegno CAD

Con l'evoluzione digitale, il disegno tradizionale è stato totalmente assorbito e sostituito dal disegno CAD.

CAD è l'acronimo di Computer-Aided Design o Drafting, letteralmente progettazione o disegno tecnico assistito dal computer. Il CAD dunque indica il settore dell'informatica che sfrutta l'utilizzo di software per la realizzazione di elaborati grafici tecnici. Esso ha totalmente rivoluzionato il modo di disegnare portando innumerevoli vantaggi agli utenti che ne usufruiscono. Tali vantaggi spaziano dall'automazione e il relativo risparmio di tempo nel tracciare disegni anche molto complessi, alla possibilità di aggiornare e modificare gli stessi in qualsiasi momento , alla possibilità di estrarre informazioni di tipo grafiche e alfanumeriche.

L'obiettivo delle applicazioni CAD è stato quello di realizzare una rappresentazione 2D e successivamente 3D, partendo da elementi geometrici semplici, quali linee, archi, solidi, superfici e altro. Gli sviluppi hanno portato a rappresentazioni sempre più dettagliate e a grafiche via via migliori. La possibilità di attribuire un sistema di coordinate ai disegni ha permesso sia all'oggetto che all'osservatore di spostarsi virtualmente attraverso dei piani di lavoro, vedendo l'oggetto come se fosse reale in ogni direzione, distaccandosi da quello che erano le classiche proiezioni ortogonali e le viste assonometriche. Più di recente, i sistemi

CAD hanno visto l'inclusione della geometria parametrica con variabili dimensionali e assegnazione di regole, aggiungendo intelligenza agli oggetti.

Il BIM adesso sta drasticamente cambiando il modo di concepire e realizzare il progetto.

Esso ha infatti sfruttato e migliorato le capacità di automazione del CAD, facendo diventare gli oggetti dei contenitori di informazioni in grado di interagire tra di essi e con l'intero progetto. Il disegno passa dunque dall'essere un insieme di linee e punti a un modello informatizzato.

Digitalizzazione degli elaborati e interoperabilità sono solo alcuni dei vantaggi legati a questo innovativo modo di gestire i dati².

La modellazione 3D avviene in maniera automatica partendo da disegni costruiti su viste in pianta e mediante la definizione di "famiglie parametriche" contenenti caratteristiche e informazioni relative al singolo oggetto. Inoltre diversi utenti e figure professionali hanno accesso al medesimo file per poter intervenire direttamente su aspetti differenti del progetto. I database che vengono compilati portando avanti il processo produttivo in questione, sono accessibili sia durante le attività di progettazione che durante la gestione dell'opera.

Ad oggi non è ancora possibile partire con la progettazione direttamente in BIM, risulta dunque necessario realizzare correttamente il passaggio dei dati dal CAD al BIM. Tutto ciò risulta necessario poiché la maggior parte dei dati esistenti sul patrimonio edilizio, attualmente è in formato CAD.

Tale aspetto è emerso molto chiaramente nel presente lavoro di tesi soprattutto nelle fasi iniziali della modellazione, dove il passaggio CAD/BIM è risultato cruciale per la precisione e la buona riuscita del modello.

1.5 Level of Development

Un altro aspetto dal quale non si può prescindere per avere una visione generale completa del BIM, è quello che riguarda il concetto di LoD. Il Level of Development negli USA o Level of Definition in UK, è il livello di accuratezza che il Modello BIM deve raggiungere nelle varie fasi della progettazione. Tale concetto, definito già nel 2008 in un documento AIA (American Institute of Architects), originariamente era stato introdotto nelle attività di computer grafica e poi ampliato ad aspetti non grafici volti ad indicare con chiarezza il livello di completezza degli elementi del Modello. La classificazione proposta per il LoD è costituita da 5 livelli, da 100 a 500, ai quali è associato un significato differente. Tuttavia il LoDs sono stati concepiti specificatamente per le costruzioni edili e non per le infrastrutture. In generale le due categorie di opere differiscono in maniera sostanziale. Nel primo caso è necessario curare un livello di dettaglio elevato per gli ambienti interni, nel secondo caso occorre rappresentare con maggior cura le caratteristiche esterne dei manufatti.

Il dettaglio del Modello dipende dalle funzioni alle quali lo stesso è destinato, per questo motivo è stata utilizzata una classificazione a 5 livelli anche per Modelli infraBIM.

²A. Osello et al - "BIM GIS AR per il Facility Management" (Dario Flaccovio Editore, 2015)

In maniera del tutto generica, i LoDs da 100 a 300 riguardano in generale la progettazione architettonica, i LoDs 400 la progettazione strutturale, i Modelli LoDs 500 contengono informazioni "lifecycle" utilizzate in fase di gestione e manutenzione.

All'interno di questa classificazione il Modello infraBIM dell'infrastruttura stradale di San Cesario risulta essere carente dal punto di vista dell'elaborazione grafica, ma in compenso può contenere parecchie informazioni sui materiali e sulle caratteristiche funzionali e prestazionali della pavimentazione.

1.6 Metodologia infraBIM

Dato il carattere pionieristico dell'approccio proposto in un settore, quello dell'infraBIM, come già detto ancora agli albori, il lavoro svolto assume una valenza essenzialmente metodologica.

A monte del lavoro svolto, è stato effettuato uno studio che ha permesso di individuare la via da percorrere per raggiungere gli obiettivi prefissati. Tale strada è stata intrapresa durante il lavoro di tirocinio svolto presso lo studio So.Tec. srl (oggi Icon Ingegneria srl) e che è servito da base per l'apprendimento di alcuni software necessari per la trasposizione in ambiente BIM di un caso studio.

Sebbene si sia perseguito l'obiettivo di rendere tale studio metodologicamente indipendente dai software in uso, nel complesso le scelte sono state influenzate dagli strumenti a disposizione impiegati durante la modellazione. Ciò non esclude tuttavia l'esistenza di vie più immediate o migliori per affrontare tali argomenti, anche e soprattutto con l'utilizzo di software differenti.

Il progetto in esame, come verrà spiegato in dettaglio successivamente, ha come oggetto la costruzione di un raccordo viario la cui progettazione è già in fase esecutiva.

Il flusso di lavoro per la modellazione in BIM è sommariamente strutturato come segue. A partire dai dati geometrici esistenti e disponibili negli elaborati CAD, il modello è stato ricreato in ambiente BIM mediante l'ausilio di software di programmazione assistita che permettono la parametrizzazione degli oggetti. Successivamente sono state create diverse sezioni tipo, appositamente codificate ed utilizzate per agevolare la lettura delle coordinate del "corridoio" stradale, ossia della sovrastruttura pavimentata. Una volta estratte queste coordinate vengono salvate in Excel ed utilizzate per creare dei solidi che rappresentino i singoli strati della pavimentazione. Nel progetto viene dunque ricreata la pavimentazione nella sua interezza, costituita dalla piattaforma stradale georeferenziata e con i singoli strati sovrapposti, ognuno con le proprie caratteristiche.

Il modello della pavimentazione arricchito dei giusti parametri geometrici e prestazionali è stato utilizzato per effettuare una stima del decadimento funzionale della stessa. In base a questo è possibile effettuare delle considerazioni sulla vita utile dell'opera che porta alla redazione del "Piano di Gestione e Manutenzione" dell'infrastruttura.

Con il seguente lavoro ci si è proposti di verificare quanto le effettive funzionalità di questi programmi e le potenzialità di utilizzo siano realmente e "agevolmente" fruibili anche da parte di utenti non esperti o che si affacciano al mondo del BIM per la prima volta. L'impiego

di più applicativi ha altresì consentito di esprimere delle valutazioni connesse agli aspetti di interoperabilità.

Contestualmente a quanto sopra, il caso studio si è configurato come una occasione per fare "sperimentazione" in un settore ancora relativamente vergine sotto questo punto di vista. Questa attività si è proposta dunque come obiettivo lo sviluppo di un modello infraBIM che possa essere impiegato per la gestione e manutenzione dell'opera con particolare riferimento alla pavimentazione stradale.

Volendo dare un'impronta puramente metodologica al lavoro, ci si è concentrati sul voler usare il modello come uno strumento di gestione dei dati di rilievo delle funzionalità, delle caratteristiche di qualità e dell'efficienza dell'opera.

2. Passaggio dal CAD al BIM: Raccordo viario a San Cesario sul Panaro

2.1 Caso studio

Il caso studio in esame riguarda la realizzazione di un raccordo viario interamente ricadente nell'ambito del territorio del Comune di San Cesario sul Panaro, in provincia di Modena. Lo scopo di tale opera è quello di creare un nuovo corridoio stradale con la funzione di allontanare il traffico di attraversamento del centro abitato. L'intervento previsto in progetto consta di un nuovo collegamento, suddiviso in tre tratti principali, collegati all'esistente mediante tre rotatorie. Comprende altresì la realizzazione di un cavalcavia sull'autostrada A1 Milano-Napoli e alcune opere minori tra cui un sottopasso ad uso ciclopedonale e un tombino scatolare sul canale Torbido.



Figura 2.1 - Planimetria di progetto del raccordo viario in San Cesario sul Panaro, redatta mediante il software CAD "Civil Design".

La progettazione è stata affidata alla società So.Tec. srl (oggi ICON Ingegneria srl) e si trova, ad oggi, in fase esecutiva.

Dopo un accurato esame delle principali caratteristiche geometriche del progetto, si è passati alla trasposizione in ambiente BIM dello stesso. Per far ciò sono stati utilizzati i seguenti software Autodesk: AutoCAD Civil 3D 2017, SubAssembly Composer, Revit 2018, Dynamo.

Di seguito viene descritta nel dettaglio la metodologia utilizzata per la modellazione.

2.2 Modellazione con Civil 3D

Il software Civil 3D permette la progettazione in ogni sua fase. Il flusso di lavoro è simile ai comuni software di progettazione stradale, è provvisto di un'estensione che fornisce assistenza nell'uso della geometria parametrizzata, ad esempio nella progettazione delle sezioni tipo, ed è associato alle normative di riferimento relative al paese di destinazione dell'opera.

Per la riproduzione del progetto di San Cesario in ambiente BIM, si è partiti dalla poligonale d'asse già stabilita dai progettisti So.Tec. Si ricorda infatti che l'opera in esame si trova ad oggi in fase esecutiva. Ha dunque ottenuto le approvazioni da parte della committenza ed è stata verificata in ogni suo aspetto mediante le norme italiane in vigore, questo lascia intendere che, durante lo svolgimento di questo lavoro di tesi, non è stata effettuata alcuna verifica del tracciato geometrico, poiché si è data per scontata la sua validità.

Il rilievo e la restituzione del progetto originario in formato digitale sono stati effettuati mediante poligonale appoggiata a punti noti e capisaldi dell'U.T.E. ed I.G.M. Per la conversione delle coordinate da X - Y del sistema U.T.E alle coordinate geodetiche Est-Nord (Gauss-Boaga) sono stati utilizzati i punti capisaldi trigonometrici I.G.M.I. Nel passaggio a Civil 3D sono state impostate le coordinate mediante la selezione del fuso e del sistema di riferimento.

istema	di Coordinate - As	ssegna						×
ualmen	te assegnato							
dice:	ITALY-U32							
scrizion	e: Italy using UTN	M 32N with Europe 1950 datum, W of 12 deg E						
stra —								
• • · · · · ·		Ting di andian Antonia 🚽 Catanania Nanan Gitan		Name Charact				
to: Ag	giornato	Tipo di codice: Autodesk Categoria: Nessun hitro s	elezionato + Onita:	Ivessun nitro se	ezionato •			
ca —								
stato	Codice	Descrizione	Tipo di definizione	Riferimento	Categorie	Codice EPSG	Unità	
0	ISRAEL-MOD	Modified Israeli Coordinate System, includes Palestine	P	b OLD-ISR	Israel;Palestine	-	Meter	
0	ISRAEL-PALES	Israel, Jordan, Palestine; Palestine Belt, Cassini	P	CLRK-PAL	Israel;Palestine	-	Meter	
9	ISRAEL-TM	Israel, Jordan, Palestine; Palestine Belt, Transverse Mercator	P	CLRK-PAL	Israel;Palestine	-	Meter	
0	ISR-NWCENT	North West and Central Israel; Transverse Mercator	P	🏷 OLD-ISR	Israel	-	Meter	
9	ISTS69.LL	ISTS69.LL Automatically generated LL system for WKT use.	G	sts69	Lat Longs;Falkland Islands	-	Degree	
0	ITALY-E	Italy East Fuse, Europe 1950 datum; Gauss-Boaga, E of 12 deg E	Ρ	🖏 EDIT50	Italy	-	Meter	
0	ITALY-E-Rome	Italy East Fuse, Rome 1940 datum; Gauss-Boaga, E of 12 deg E	P	🏷 ROME1940	Italy	-	Meter	
0	ITALY-U32	Italy using UTM 32N with Europe 1950 datum, W of 12 deg E	P	🖏 EDIT50	Italy	-	Meter	
0	ITALY-U33	Italy using UTM 33N with Europe 1950 datum, E of 12 deg E	Ρ	🖏 EDIT50	Italy	-	Meter	
0	ITALY-W	Italy West Fuse, Europe 1950 datum; Gauss-Boaga, W of 12 deg E	P	🖏 EDIT50	Italy	-	Meter	
0	ITALY-W-Rome	Italy West Fuse, Rome 1940 datum; Gauss-Boaga, W of 12 deg E	P	🏷 ROME1940	Italy	-	Meter	
0	Italy-Zone32	European 1950, Western Gauss-Boaga Zone (32) for Italy	P	🏷 ERP50-W	Italy	-	Meter	
0	Italy-Zone33	European 1950, Eastern Gauss-Boaga Zone (33) for Italy	P	🏷 ERP50-W	Italy	-	Meter	
	ItascaNoMN-F	Minnesota DOT: Itasca County, North, US Foot	P	🖏 NAD83	USA, Minnesota	-	US Survey Foot	
0				-				
0	ItascaNoMN-IF	Minnesota DOT: Itasca County, North, International Foot	P	la NAD83	USA, Minnesota	-	International Foot	

Figura 2.2: Sistema di Coordinate Cartografiche assegnate al progetto con Civil 3D.

Sebbene nel passaggio da AutoCAD è possibile leggere il formato .dwg direttamente senza perdita di dati, è necessario convertire all'interno di Civil 3D le entità geometriche in altre entità gestibili dal software. Questa operazione è stata effettuata ogni qual volta sia stato necessario importare elementi dal progetto originario, a cominciare dai punti di riferimento cartografici presenti nel rilievo in formato .dwg che sono stati convertiti in un "gruppo di punti " letti da Civil 3D.

La triangolazione permette di collegare i punti quotati e di creare una superficie che modella il terreno dell'area di studio, privato delle strutture, delle infrastrutture e delle varie opere, lasciando così solo il profilo del terreno. La superficie TIN (Triangulated Irregular Network) è la base di costruzione del DTM (Digital Terrain Model) che viene poi utilizzato per estrarre i profili altimetrici e che fornisce le quote di progetto delle varie entità.



Figura 2.3 - DTM area di progetto.

A questo punto è stato importato l'asse principale del progetto, che viene letto in Civil 3D come polilinea priva di proprietà. Anche in questo caso è stata necessaria una conversione degli elementi: da "polilinea" a "tracciato".

Coerentemente con il progetto originario, l'asse stradale è stato suddiviso in diversi tratti. Nello specifico, l'asse principale è stato suddiviso in due tratti, il "Tratto 1" tra la rotatoria A e la rotatoria B e il "Tratto 2" tra la rotatoria B e la C. Sono stati poi rappresentati anche gli assi secondari come il "Tratto RA4" uscente dalla rotatoria A e l'asse ciclopedonale nell'area in cui intercetta il "Tratto 1" e il "Tratto RA4". Successivamente è stato possibile creare due tracciati di scostamento dagli assi principali, posti ad una distanza pari alla larghezza della carreggiata, che hanno l'utilità di far seguire il profilo di sopraelevazione agli elementi marginali che verrà creata in seguito.



Figura 2.4 - Superficie TIN e assi principali e di scostamento del "Tratto 1" e del "Tratto RA4" uscenti dalla rotatoria A.

Il calcolo della sopraelevazione viene effettuato in automatico dal software, mediante apposito comando, assegnando alla sezione stradale le caratteristiche desiderate relativamente alla tipologia di strada, alla larghezza delle corsie e alla pendenza. Il programma quindi avvia il calcolo e genera un andamento dei cigli visualizzabile una volta creata la vista apposita. A posteriori è possibile intervenire sul calcolo per effettuare delle modifiche. Talvolta infatti nella pratica lavorativa ci si trova costretti ad "adattare" alcune scelte progettuali a determinate esigenze legate a vari aspetti. E' possibile effettuare questa operazione modificando i dati direttamente sulla tabella di Report generata in concomitanza dal Software.

Mediante l'intersezione del tracciato con la superficie DTM, viene generato il profilo altimetrico con un apposito comando. Anche in questo caso l'asse altimetrico è stato importato dal progetto esistente, è stato necessario tuttavia effettuare un cambio di scala della coordinata Y. Le quote sono rimaste invariate e mediante la creazione di un "Profilo di Livelletta" è stato possibile inserire le caratteristiche geometriche del tracciato altimetrico.

Civil 3D presenta un'estensione, il "Country Kit Italia", che aggiunge al software gli strumenti di verifica in accordo con l'attuale normativa vigente in materia di progettazione stradale (il D.M. 05/11/2011) e una serie di impostazioni per adattare il progetto agli usi e costumi italiani. Tali impostazioni spaziano dagli stili di rappresentazione, alla scelta di elementi per le sezioni tipo, fino agli stili di stampa più comunemente usati nella progettazione italiana. Tale strumento è molto utile in quanto ottimizza i tempi di impostazione e gestione delle viste e dei profili e permette altresì di creare nuovi stili a partire da quelli esistenti, in modo da adattarli in toto alle esigenze lavorative.



Figura 2.5 - Vista profilo di Livelletta del Tratto 2, con finche impostate tramite lo stile di visualizzazione "[CK_ITA]".

A questo punto sono state aggiunte le linee di sezione per agevolare le fasi successive. Sono state poste ogni dieci metri lungo i rettifili e in corrispondenza dei punti di maggior interesse, come ad esempio, all'inizio e fine di ogni viadotto, e ogni cinque metri lungo le curve di transizione e quelle circolari. Con esse è possibile creare le viste per le sezioni trasversali ed è possibile effettuare l'inserimento di superfici di "supporto" per il successivo calcolo dei volumi e del computo metrico. A tal proposito, predisporre un raffittimento delle sezioni comporta un aumento della precisione del computo stesso.

Uno studio accurato è stato necessario per la composizione delle sezioni tipo. Esse sono costituite da elementi singoli che interagiscono tra di loro e con l'asse ai quali vengono associati. E' dunque necessario conoscere bene ogni elemento per evitare un'erronea lettura da parte del software. Sono state necessarie diverse prove per individuare gli

elementi che meglio si adattano alla riproduzione delle sezioni previste dal progetto esistente.

Civil 3D presenta una tavolozza di strumenti, ripartita in diverse sezioni dalle quali è possibile scegliere una sezione tipo già definita con le caratteristiche del D.M. 2001, oppure degli elementi singoli (banchine, corsie, spartitraffico ecc.) da poter assemblare.

Ogni elemento è codificato mediante codici *punto*, *collegamento* e *forma*. Questa codifica permette di inserire gli elementi secondo necessità, attribuirne proprietà geometriche e di far interagire gli elementi con gli assi esistenti in modo da seguirne le caratteristiche scelte dal progettista, come ad esempio l'andamento dei cigli.

Le immagini di seguito mostrano alcuni degli elementi presenti nelle tavolozze del software e la codifica presente in ciascuno dei singoli elementi con la relativa finestra di dialogo per la modifica dei parametri.



Figura 2.6 - Componenti delle Tavolozze degli strumenti presenti nel "Country Kit Italia" e altri presenti di default.

A Proprietà componente sezione tipo	- ShoulderExtendAll		Codici punto,	collegamento e forma	
Informazors Parametri Codio			di codice non sono	ente sono elescati i colloi porto, collegar o inclusi nella fabrila.	ento e ferma di questo componente sezione figo al quali sono assegnati cadici. Quelli che non disporgono
Valori di Input:		Definiti da:	Property		
Nome valore	Valore di input di default	NET	and a second sec		Des IN the
Lato	Snato	Nome classe .NET:	72	125	bordo della banchina pavimentata, fivitura
Larghezza banchina	2.400m	Subassembly.ShoulderExtendAl	44	EPS_Pave1	Bordo della barafrina pavimentata su Pavimentazione1
Utilizza pendenza sopraelevazione	Tio .				
Develope di pendenta banchina	-3 00%	None secore too .veri	76	1PS_Paye2	Bodo della banchine pavinestata su Pavinentadiore?
Tipo scarpeta sottobase	Manteni penderuta, respia	C. Yrog anciata ywotoesk (c.to 2017)ta (c.to toolocoasendes).c	P5	EF5_Base	Bordo della barottina pevimentata su 3ase
Penderus scarpeta	4.00:1		100		
Larghezza scarpata	1.800m		630	covalue you	Putch to the scarpera deta solitobare.
Sottobase sopraelevatione	No		4	100.7949	Philtura pavimentata
Pendenza % sottobase	-2.00%			1000	Reduct of the set of
Spessore Pavmentazone 1	0.025m		0	Pare	Pestura pervincitaria
ppessore Pavmentazonez	0.0236		14	Pasti	Parte superiore della Pavimentacione2
Profondità Sottobase	0.300m				Burley considers fails for borrest deards
				12111	Parts superiors deal referencedures
Valori di output:			0	Pave2	Parte superiore della Pavlerentazioneo
Nome valore	valore di output		18	Paver	Parte superiore della Pavimentacionell
Quota altinetrica scarpata : Scontamento scarpata	-0.537		110	Tere .	Party superiore deal strati di Jane
Pendenza scarbata	-6.00-1				
Pendenza % benchina	-2.00%		122	Base	Parte superiore degli strat) di base
Larghezza banchina	2.400		40	Subbase, Deturn	Parts Inferiore della sottobase, datam
			04	Slope_Link	Formazione superficte superiore, Lik è li collegenerito che connette P2 P23 o P2 P6 o P2 P5 o P2 P4, a seconde dei collegemento più besco
			51	Perel	
			92	Pavel	
			13	Base	
		Guida in linea componente sezione tipo:	54	Subface	
		OX Annala Appica 1	Notae L24 e II nazvo opio	egamenta dhe connettie P2/P30 o P2/P8 o	₽2+96 c 92+4s, a seconda del collega memo più basso.

Figura 2.7 - Proprietà del componente "Banchina" e relativa codifica.



Figura 2.8 - Diagramma di codifica del componente "Banchina".

Partendo dunque dalla composizione secondo D.M. 2001 della strada di categoria F extraurbana, si sono predisposte le seguenti modifiche. Per il tratto principale sono state utilizzate corsie larghe 3.50m e banchine da 1.00m, mentre per il tratto secondario uscente dalla rotatoria A, sono state utilizzate corsie larghe 2.00m e banchine da 0.20m.

Ai suddetti elementi sono stati poi attribuiti gli spessori dei singoli strati della pavimentazione, le pendenze trasversali e tutte le altre dimensioni ad essi connessi, come previsto da progetto e nel rispetto dei vincoli normativi.

Gli elementi "Scarpata" (di seguito visibili in rosso e in formato standardizzato) sono stati inseriti con le dovute pendenze e parametrizzati affinché rispettassero il corretto andamento e prevedessero l'inserimento delle Berme in caso di rilevato con altezza maggiore ai 5.00m. Intersecando il DTM e seguendo il profilo della pavimentazione esse riportano il corretto andamento e le quote, di cui si può avere rapida lettura sul profilo altimetrico e sulle sezioni trasversali.



Figura 2.9 - Sezioni tipo editati con gli elementi della tool di Civl 3D.

Qualora lo si ritenesse necessario è possibile far uso dell'applicativo Subassembly Composer, per costruire da zero una sezione tipo o un componente che abbia una propria codifica e che rispetti parametri e leggi a discrezione del Progettista. In questa fase si è ritenuto più opportuno modificare gli elementi forniti dalle tavolozze e solo in seguito intervenire con la parametrizzazione diretta mediante Subassembly Composer, in una fase che verrà specificata in seguito.

A questo punto è stato necessario creare il "Modellatore". Questa funzione permette di assemblare tutte le proprietà dell'asse, del profilo altimetrico e di quello planimetrico, in modo da creare una superficie unica. Il modellatore immagazzina e rielabora tutte le informazioni raccolte finora e le usa successivamente per creare i diagrammi di visibilità, verificare ed eventualmente prevedere gli allargamenti per visibilità, creare le sezioni trasversali, creare superfici che agevolano il calcolo dei volumi e dei vari materiali che sarà possibile computare.

Creato mediante l'apposito comando che permette di specificarne nome, stile di rappresentazione e superfici interessate, il Modellatore necessita di un aggiornamento ogni qual volta viene modificato un parametro degli step precedenti. Se ad esempio, a questo punto del progetto, si volesse eseguire un cambio di sezione o di uno degli

elementi della sezione, se venisse modificato l'andamento plano-altimetrico, o si apportasse una qualsivoglia modifica al lavoro svolto, è necessario ricreare il Modellatore. Tale operazione permette di aggiornare le nuove informazioni in tempi relativamente brevi e in genere dipendenti dalla complessità del tracciato.

E' bene precisare che tutte le informazioni immagazzinate dal software finora sono di tipo geometrico. Non sono previste in questa fase, specifiche sui materiali o sulle loro proprietà.

Da questo punto in avanti la procedura risulta essere più automatizzata. Vengono generate rapidamente le sezioni trasversali, specificando il tracciato, il profilo altimetrico, lo stile di visualizzazione e le relative finche. Il software permette altresì di scegliere come visualizzare le sezioni, se ad esempio, si desidera vederle già predisposte per la stampa su tavole di diversi formati.

Lo step successivo prevede la creazione di superfici di supporto per il successivo calcolo dei volumi. Tali superfici vengono generate all'interno del Modellatore e vengono visualizzate poi sulle sezioni trasversali per agevolarne la lettura. Il calcolo dei volumi verrà eseguito dal programma il metodo delle sezioni ragguagliate (esiste tuttavia la possibilità di eseguirlo con altri metodi) tenendo conto delle suddette superfici.

Le superfici create in questo specifico modello sono due: la superficie "TOP" che risulta essere la superficie esterna di tutto il modellatore e interessa l'usura della pavimentazione, le banchine, il cordolo, l'arginello e le scarpate fino all'intersezione con il DTM; e la superficie "Formation" che è rappresentata da tutti i collegamenti inferiori. La loro definizione è apprezzabile in forma grafica direttamente sulle sezioni trasversali.



Figura 2.10 - Vista 3D della superficie "TOP" relativa al Tratto 1.

Come è noto, durante la costruzione del pacchetto stradale di pavimentazione, gli strati vengono stesi in modo tale da garantire migliore aderenza e per evitare l'infiltrazione di

acqua. Per questo motivo la rappresentazione grafica corretta, visibile nelle sezioni tipo, prevede una stratificazione che termina a 45°. Tuttavia, rispetto alla sezione tipo analizzata in precedenza (rappresentata in figura 9), si è trovato necessario apportare delle modifiche all'elemento banchina. Infatti per il successivo calcolo del computo metrico, la superficie "FORMATION" non si adattava correttamente ai collegamenti inferiori. A fronte di questo errore, è stato aggirato il problema sostituendo l'elemento banchina con uno rettangolare come ben visibile nella sezione di seguito riportata.



Figura 2.11 - Generica sezione trasversale in rilevato appartenente al Tratto 2, con elemento "Banchina" modificato.

A monte del calcolo del computo metrico, è stata effettuata una verifica sulle reali potenzialità del "Country Kit" nell'applicazione della normativa. Nello specifico, sono stati generati e successivamente verificati gli allargamenti in curva e per visibilità.

Il primo passo per poter fare le suddette verifiche é il calcolo e la proiezione a video del Diagramma delle Velocità e di quello di Visibilità, successivamente è stato testato quanto questi strumenti potessero essere modificati. Nella pratica lavorativa infatti spesso ci si trova a dover "forzare" alcuni parametri per ottenere dei risultati migliori. Ad esempio, per l'infrastruttura di San Cesario, sull'asse secondario RA4 è stato modificato l'andamento dei cigli poiché, per esigenze progettuali legate allo smaltimento delle acque meteoriche, sono state cambiate le pendenze della pavimentazione rispetto al loro andamento canonico (generate cioè basandosi sula normativa).

Seppur in maniera non ottimale, ma di questo si discuterà in seguito, il software ha risposto positivamente alle richieste di modifica e restituendo diagrammi e allargamenti sostanzialmente veritieri.



Figura 2.12 - Diagramma delle Velocità relativo al Tratto RA4.

Per quanto riguarda la verifica di visibilità, è possibile effettuarla ,mediante tre metodi diversi, in funzione dello scopo per la quale la si esegue.

Se vi sono zone di particolare interesse, come ad esempio le intersezioni stradali, la verifica viene effettuata punto per punto, cioè vengono specificati dal progettista i punti dai quali si vuole verificare una certa distanza scelta arbitrariamente. Oppure nel caso di DTM con un elevato numero di punti a quote molto differenti tra loro, è possibile effettuare la verifica mediante "zone di influenza visiva", indicate con colori differenti in base alla scarsa, sufficiente o buona visibilità. Infine vi è la possibilità di effettuare la verifica allo scopo di progettare gli allargamenti in curva. Quest'ultima viene eseguita impostando dei parametri iniziali e scegliendo l'output visivo da andare a controllare sul tracciato stesso (aree di influenza, linee di visibilità, inviluppo di visibilità e altri).



Figura 2.13 - Comandi della scheda "Analisi per la Visibilità".

Prima di procedere con la verifica vera è propria, sono state effettuate delle prove di corretta lettura degli ostacoli alla visibilità. Per far ciò è stato necessario modificare la sezione tipo inserendo un elemento che ostruisse la vista del guidatore. In molti software di comune utilizzo viene inserito un elemento continuo, con una certa altezza in modo tale da evitare errori durante il calcolo delle distanze di visibilità. A tale scopo è stato utilizzato un elemento "Barriera anti rumore", posto a filo banchina e alto 3.00m, per simulare l'ostruzione visiva in curva. Non è stato utilizzato l'elemento "Guardrail" in quanto, può capitare che a determinate quote, in funzione dell''andamento del tracciato, la linea immaginaria per il calcolo della visibilità posta a 1.10m da terra, passi in mezzo alle onde della barriera, quindi in quei tratti la verifica verrebbe soddisfatta quando in realtà non è così. A valle di questa procedura è stato avviato il calcolo senza la presenza di ostacoli alla visibilità, lasciando cioè il tracciato originario. Poiché entrambe le verifiche hanno prodotto gli stessi risultati, si è dedotto che il software percepisce la banchina come ultimo punto oltre il quale è presente in ogni caso un ostacolo alla visibilità, anche se non previsto dalla sezione tipo o dall'andamento del tracciato o del terreno.

L'occhio del guidatore è posto a 1.10m da terra e considerato viaggiante al centro della corsia, l'ostacolo d'altro canto è posto a 0.10m da terra, anch'esso al centro della corsia (come indicato dal D.M.2001). Una volta impostati i suddetti parametri e ricreato il modellatore, viene avviata l'analisi di visibilità e vengono evidenziate tutte le zone dove la visuale risulta essere ostruita. Esse vengono raffrontate dal software con la distanza di visibilità necessaria per l'arresto e il sorpasso e in seguito, traccia sul profilo planimetrico dove sarà necessario effettuare l'allargamento.

Scegliendo l'inviluppo di visibilità come opzione di visualizzazione dell'eventuale allargamento, viene creata una polilinea che è possibile impostare all'interno della scheda "Obiettivo" del Modellatore come traccia da seguire per l'effettivo allargamento della carreggiata che ricordiamo essere effettuato solo sulla banchina.

Confrontate poi le polilinee di allargamento del progetto originario con quelle create da Civil 3D, è stato scelto di utilizzare le prime per coerenza con l'esecutivo e per poter successivamente confrontare il computo metrico effettuato con i diversi software. A questo punto è stato possibile semplicemente aggiornare le sezioni trasversali per apprezzare le modifiche apportate.

Come accennato in precedenza, mediante il metodo delle sezioni ragguagliate e in base alle superfici create con il Modellatore, è stato effettuato il computo metrico.

Il metodo delle sezioni ragguagliate calcola i volumi aggiungendo l'area di un tipo di materiale in corrispondenza di una progressiva all'area del tipo di materiale in corrispondenza della progressiva successiva e dividendo la somma per due, quindi moltiplicando il risultato per la distanza tra le sezioni (L).

$$V = \frac{L}{2} [A_1 + A_2]$$

Il procedimento passa poi per la definizione di un elenco di materiali. Per la valutazione dei volumi di Sterro e Riporto, sono state create delle voci apposite. Il calcolo è poi stato eseguito considerando l'area sottesa tra la superficie DTM e la superficie "FORMATION", quest'ultima creata sul Modellatore, come già specificato tiene conto dei collegamenti inferiori della sezione.

Per il computo della pavimentazione invece sono state create le superfici "Usura", "Binder", "Base", "Sottobase"; in questo caso, avendo aree delimitate ben precise, non è stato necessario specificare entro quale dominio effettuare il calcolo. Alla voce "Tipo quantità è infatti possibile specificare che tipo di dati deve analizzare il Modellatore per effettuare il computo. Per quanto riguarda Sterro e Riporto esistono le voci corrispondenti, per tutti gli altri elementi costituenti la sezione tipo bisogna selezionare la voce "Strutture" in quanto il programma è in grado di riconoscere in automatico il dominio del materiale da computare.

Aggiungi materiale orig	inario 🔣	Definisci materiale Tipo dati:			Selezionare superf	kie:			
Aggiungi un sottocnit	reno	Superficie			• [DTM			• •	3
ome materiale	Condizione	Tipo quantità	Fattore di sterro	Fattore di riporto	Fattore riempime	Stile forma	Tolleranza curva	Spazio	_
Elenco materiali					No. of Concession, Name		✓ 1.1111 (g)		
E Ba Sterro	13	Sterro	1.000		1.000	Scavo	C		-
- DTM	Sotto								
- O	Sopra								
E Riporto		Riporto		1.000		Rilevato			
- 💮 DTM	Sopra								
6	Sotto								_
D WO USURA	6	Strutture				Pavimentazione			
- <u>-</u>	Includi								
BINDER		Strutture				Pavimentazionel			
- 83	Includi	-	_		-	-			-
B BW BASE		Strutture				Base			2
- 10-10 	Includi								-
SOTTOBASE		Strutture				SottoBase			2
83	Includi		_		<u></u>				-
E By Cordolo		Strutture				Cordolo		-	1
- 60.0	Include								
ndo di calcola volumer								1	_
odo di Calcolo Volumes	dista:				-1		Importa a	ltro criterio	

Figura 2.14 - Elenco materiali utilizzato per effettuare il computo metrico.

La funzione "Valutazione Quantità" supporta i seguenti tipi di quantità:



Figura 2.15 - Quantità riconosciute dal programma Civil 3D.

Una volta avviato il calcolo, sulla vista sezioni è possibile visualizzare le aree interessate dal computo, campite in modo differente, che permettono una migliore individuazione delle superfici sopra elencate. E' infine possibile inserire una tabellina con le voci di computo, che riassume aree e volumi cumulativi e della singola sezione.



Figura 2.16 - Campitura di una generica sezione trasversale una volta effettuato il calcolo dei volumi.

Mat. alla progr. 0+140.00							
Materiale	Area (m²)	Vol. (m*)	Vol. Cum. (m*)				
BASE							
BINDER							
Cardalo							
Riporto							
SOTTOBASE							
Sterra							
USURA							

Figura 2.17 - Tabella dei materiali della generica sezione, computati nel calcolo dei volumi.

Alla luce del fatto che lungo i tracciati sono presenti diversi viadotti, tra cui il più importante è il cavalcavia che passa sull'autostrada A1, è stato necessario dividere i tracciati in regioni per distinguere i tratti in cui il rilevato è interrotto e di conseguenza, anche la pavimentazione stradale cambia sezione. Per semplificare questa procedura, è stato assegnata una sezione con i soli pacchetti di Usura e Binder in corrispondenza dei viadotti. Il calcolo effettuato a questo punto, tiene conto del rilevato, fino alle progressive in corrispondenza dell'inizio e fine dell'opera d'arte.

Di seguito è riportato un confronto (del tutto qualitativo) tra il computo metrico effettuato dai progettisti So.Tec. e quello effettuato mediante Civil 3D, calcolati per l Tratto 2.

Tale confronto è stato effettuato a valle di alcune considerazioni, esposte nei paragrafi successivi, sulla validità degli allargamenti per visibilità effettuati da Civil 3D.

Tratto 2								
Da prog. 0+069.72 a prog. 0+542.64								
SO.TEC. Civil 3D								
Rilevato (m ³)	2755.76	2972.47						
Sterro (m ³)	46.07	59.16						
Usura (m ³)	128.03	127.43						
Binder (m ³)	170.70	169.91						
Base (m ³)	445.67	424.78						
Fondazione (m ³)	1394.33	1274.34						

Tabella 2.1 - Confronto computo metrico Tratto 2.

Esiste anche la possibilità di associare un elenco prezzi con i codici delle voci di computo e i relativi costi, di conseguenza vi è la possibilità di effettuare una stima del costo dell'opera. Il formato dei file di importazione mediante il quale è possibile specificare gli elementi di costo, sono .csv e .xml. Tuttavia non è stato approfondito ulteriormente questo aspetto poiché si è preferito raffinare il modello secondo altri aspetti.

2.3 Sottopasso Ciclopedonale

Per lo studio del sottopasso ciclopedonale è stato creato un altro file .dwg, il quale riporta il progetto non nella sua interezza ma solo di una limitata area di interesse in prossimità di esso. Questo perché, come già detto, ogni tracciato presente nel file di lavoro porta con se molteplici informazioni (dalle quote planimetriche a quelle altimetriche, la sopraelevazione, le pendenze, le quote del terreno, i modellatori ecc), di conseguenza il file risulta essere appesantito e in conseguenza a cioò gli aggiornamenti avvengono in più tempo. Per ovviare a questo problema, ed accorciare i tempi di elaborazione, è stato creato il Modellatore del Tratto 1 e del Tratto RA4 solo nell'area intorno al sottopasso. Il primo è stato generato dalla progressiva 0+560.00 fino alla fine, ossia alla progressiva 0+611.700m.

Come per gli altri Tratti, il primo passaggio è stato quello di importare l'asse della pista ciclopedonale ricreandone il tracciato plano-altimetrico.

L'assegnazione della sezione tipo qui è stata più complicata in quanto lungo tutto l'asse della pista (che come detto ha un suo andamento altimetrico) lo scatolare in ca è posto ad una determinata quota, mentre i muri a mensola dello scavo, presenti in ingresso e in uscita del sottopasso, hanno le fondazioni disposte a gradoni, quindi a quote differenti.

Civil 3D non dispone di elementi parametrici dinamici in grado di far seguire ad elementi diversi quote diverse. Per ovviare a tale problema è possibile seguire due strade differenti. La prima è quella di creare una sezione tipo con Subassembly Composer. La seconda è quella di creare sezioni differenti, successivamente creare delle linee

caratteristiche poste a delle quote prestabilite (da progetto) e infine far seguire al Modellatore tali linee caratteristiche al posto del tracciato altimetrico.

Si è scelto di seguire questa seconda metodologia poiché dovendo essere creati profili differenti da associare a progressive e a quote differenti è risultata essere la via meno dispendiosa. Le sezioni tipo utilizzate per il modellatore del sottopasso sono le seguenti.

• **Pista Ciclopedonale**: la sezione prevede delle corsie larghe due metri ciascuna con pendenza trasversale del 2,5% e un pacchetto di pavimentazione composto da uno strato superficiale spesso 0.03m e una base spessa 0.1m. L'asse (evidenziato in verde) segue la quota altimetrica del tracciato ciclopedonale.



Figura 2.18 - Sezione tipo pavimentazione pista ciclopedonale.

• Scatolare in ca: la sezione prevede un profilo scatolare chiuso poggiato su uno strato di magrone di 0.2 m (dimensioni come da tavola di carpenteria presente nel progetto So.Tec.). L'asse (evidenziato in verde) segue la quota di progetto corrispondente all'asse interno di mezzeria del profilo (Quota: 43.75m).



Figura 2.19 - Sezione tipo scatolare in ca.

 Manufatto a U: la sezione prevede un profilo semichiuso poggiato su uno strato di magrone di 0.2 m (dimensioni come da tavola di carpenteria presente nel progetto So.Tec.). L'asse (evidenziato in verde) segue la quota di progetto alla quale è posto il profilo scatolare chiuso descritto prima. La quota di progetto corrispondente all'asse interno di mezzeria dell'elemento, di conseguenza, è più alta rispetto all'asse della sezione.



Figura 2.20 - Sezione tipo manufatto a U.

 Muri di imbocco: la sezione prevede dei muri a mensola posti a quote differenti lungo lo sviluppo dell'imbocco, con fondazioni a gradoni. Tali quote sono state assegnate mediante due assi di scostamento evidenziati in blu che seguono due linee caratteristiche poste alla quota del piano di posa dello scatolare. Di conseguenza i muri sono stati posti ad un'altezza differente in funzione della loro effettiva posizione.



Figura 2.21 - Sezione tipo muri di imbocco pista ciclopedonale.

Per creare il modellatore si è dovuto tener conto delle differenti quote seguite dal tracciato della pista e dall'asse del piano di posa dello scatolare e dei relativi muri di imbocco. Per far ciò sono stati creati due modellatori differenti, uno per la pista e uno per il sottopasso. Per la creazione del modellatore del sottopasso è stata divisa la regione della linea caratteristica, posta al piano di posa dello scatolare, in sottoregioni di ampiezza pari ai tratti dove le fondazioni dei muri cambiavano quota, in questa maniera è stata assegnata a ciascuna sottoregione la relativa sezione tipo. Il risultato è apprezzabile nelle immagini seguenti.



Figura 2.22 - Vista 3D della superficie "TOP" del Tratto 1 e RA4 e dei modellatori della pista ciclopedonale e del sottopasso.



Figura 2.23 - Vista laterale dei modellatori del Tratto 1 e RA4, della pista ciclopedonale e del sottopasso.


Figura 2.24 - Vista 3D dei modellatori del Tratto 1 e RA4, della pista ciclopedonale e del sottopasso.

I modellatori hanno una discretizzazione di un metro (scelta dall'utente), non si vedrà dunque un solido unico ma un'insieme di sezioni trascinate con la frequenza di un metro che interagiscono con le informazioni sulle quote e le superfici già esistenti.

E' bene ricordare che questa non è una rappresentazione 3D né un rendering. Il modellatore è una funzione che ricrea i solidi e le superfici stradali sulla base di tracciati plano altimetrici e relative sezioni, assegnate all'interno di una superficie DTM creata appositamente. Se dunque all'apparenza, la qualità grafica del risultato può sembrare scarsa rispetto a quella che si può ottenere con un altro software, dobbiamo sottolineare la differenza tra un Disegno 3D e un Modello 3D. Mentre il primo è una rappresentazione grafica fedele di un progetto, il secondo è una rappresentazione ottenuta mediante la condivisione di differenti informazioni geometriche di elementi diversi.

Con il comando "Guida" è possibile effettuare una simulazione di guida lungo il modello 3D. Questo può essere un valido strumento per controllare che la rappresentazione e la funzionalità del tracciato sia corretta.

Nel caso del sottopasso tale simulazione permette una percezione molto veritiera dell'andamento altimetrico, fermo restando che i Modellatori non sono dei solidi renderizzati, per cui l'ambiente di visualizzazione è discretizzato come impostato nella scheda di ogni singolo Modellatore.



Figura 2.25 - Simulazione di guida sul Modellatore della pista Ciclopedonale.

L'immagine soprastante è riferita alla simulazione di guida relativa al Modellatore della sola pista ciclopedonale. E possibile individuare dall'immagine le linee di proiezione (in azzurro) dello scatolare in ca e dei muri di imbocco al sottopasso. La superficie triangolare in viola posta nella parte superiore è la superficie sottostante della pavimentazione stradale del Tratto 1 e del Tratto RA4. Sono altresì visibili i "rettangoli" del pacchetto di pavimentazione dei suddetti Tratti. In grigio chiaro sono rappresentate le scarpate del sottopasso, che si apprezzano una volta oltrepassati i muri di imbocco.

2.4 Pregi e criticità riscontrati con Civil 3D

Durante la modellazione mediante il programma Civil 3D, sono venute a galla alcune problematiche relative a diversi aspetti. Tuttavia è doveroso fare una piccola premessa in quanto, l'utilizzo del software è stato appreso solo durante il suo utilizzo. Ne consegue che il risultato finale è stato condizionato dal fine ultimo della modellazione e dalle risorse a disposizione. Non si esclude quindi la possibilità di raggiungere un risultato anche migliore, seguendo vie più immediate e conoscendo in maniera più accurata il programma.

Alcune problematiche riscontrate sono state aggirate più o meno facilmente, mediante alcune ricerche che hanno permesso di utilizzare comandi, funzioni o elementi complementari, altre invece sono state considerate come delle vere e proprie mancanze del software che avranno bisogno di essere implementate e migliorate nelle future versioni.

Per quanto riguarda l'interfaccia utente del programma, questa è molto simile a quella di AutoCAD, l'impostazione tuttavia è totalmente differente. Nel complesso nonostante il flusso di lavoro sia molto simile a quello utilizzato in altri programmi di progettazione stradale (come ad esempio "PowerCivil for Italy" di Bently o "Civil Design" di Digicorp), i passaggi da seguire non sono così intuitivi. Senza specificare alcune impostazioni infatti, si rischia di non ottenere un risultato finale ottimale, tuttavia non è immediato riuscire a individuare e impostare tutto all'inizio del lavoro. di conseguenza, alcuni comandi sono stati utilizzati solo dopo aver effettuato diverse prove.

Un esempio lampante è stato quello della rappresentazione delle viste profilo delle sezioni trasversali. Non è sufficiente infatti creare le sezioni trasversali e crearne in seguito i profili, in quanto la restituzione grafica rappresenterebbe solamente l'impostazione del profilo della sezione senza effettivamente rappresentare il terreno o la strada. Per far ciò è necessario conoscere il comando "Esegui campionamento altre origini" che permette di scegliere i profili da rappresentare nelle sezioni. E' stata necessaria dunque qualche tentativo e qualche ricerca a riguardo per superare il problema.

Allo stesso modo, non è così immediato riuscire a modificare nella maniera corretta lo stile di visualizzazione con le giuste finche. Tuttavia per ovviare a questa difficoltà, all'interno dell'estensione "Country Kit Italia" sono presenti gli stili italiani, che possono all'occorrenza essere modificati secondo le preferenze dell'utente.

Il programma, implementato con il "Country Kit Italia", contiene al suo interno tutti i layer che possono essere utilizzati durante la progettazione, per ciascuna delle proprietà scelte dall'utente durante le fasi progettuali va assegnato un layer di riferimento (già nominato di default) e come già detto, uno stile di visualizzazione; non è necessario dunque creare layer durante le fasi progettuali poiché è sufficiente utilizzare quelli esistenti.

La stessa estensione, permette di effettuare le verifiche previste dalla normativa italiana. Durante tutto lo sviluppo del lavoro è possibile generare dei report che riassumono tutte le verifiche effettuate dal programma segnalando i punti o gli elementi che necessitano di modifiche, poiché non congruenti con la normativa vigente. Come già specificato più volte, non sono state eseguite verifiche per l'andamento plano-altimetrico, mentre sono state eseguite e confrontate con le esistenti, le procedure previste dal "Country Kit Italia" per le verifiche di visibilità, per gli allargamenti, e per la redazione dei diagrammi delle velocità e delle visibilità.

Nella verifica dell'allargamento in curva e nell'analisi di visibilità, il programma chiede di specificare nel "Metodo di allargamento" e nel "Metodo di raggiungimento" la normativa di riferimento mediante la quale riesce a calcolare correttamente l'allargamento e a posizionarlo nella giusta collocazione. Chiede di specificare alcuni parametri come la larghezza in rettifilo prima della curva o se effettuare l'allargamento su entrambi i tracciati di scostamento o solo su quello relativo all'asse corrispondente al raggio interno della curva (come specificato nel D.M.2001).

Nel complesso sebbene alcune proprietà vadano controllate e inserite a mano, questa operazione non prevede particolari criticità.

	×
Tracciato a scostamento da:	
1⊒)> Tracciato - (3)	-
Modello nome scostamenti:	
<[Nome di tracciato principale(CP)]>-<[Lato]>-<[Distanza di s
Intervallo progressive	
🔽 Da inizio	🗹 A fine
0+000.000m	0+611.747m
N. di scostamenti a sinistra:	N. di scostamenti a destra:
1	1
Scostamento incrementale a sinistra:	Scostamento incrementale a destra:
3.750m	3.750m
Concerla Criteri di allargamento	7
Specifica allargamento attrave File dei criteri di progettazione C: \ProgramData \Autodesk \C3	erso standard di prog. tracciato principale: 3D 2017\ita\Data\Cor
Proprietà	Valore 🔺
Metodo di allargamento	D.M. 05-01-2001 - Unica C
Allargamento da applicare a	Solo interno
Tabella raggio minimo	
Tabella raggio minimo Tabella lunohezza transizione	Doppia Carreggiata
Tabella raggio minimo Tabella lunghezza transizione Specifica l'allargamento manua Aumento larghezza: 1.000m	Imente Lunghezza transizione; 20.000m
Tabella raggio minimo Tabella lunohezza transizione © Specifica l'allargamento manue Aurmento larghezza: 1.000m V Utilizza insieme di controlli di p	Doobia Cata A Carresolata almente Lunghezza transizione: 20.000m rogettazione
Tabella raggio minimo Tabella lunohezza transizione © Specifica l'allargamento manuz Aumento larghezza: 1.000m ♥ Utilizza insieme di controli di p ♥ ITI-D.M. 05.11.2001 v2 (pla	Doobia Creatian Doobia Creatian almente Lunghezza transizione: n + allargamento) Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione Lunghezza transizione

Figura 2.26 - Schermata creazione tracciati di scostamento.

Il programma permette di generare il Modellatore seguendo due entità differenti: i *tracciati* e le *linee caratteristiche*. Mentre per ciò che riguarda gli Obiettivi per le larghezze è in grado di far seguire i *tracciati di scostamento* e le *polilinee*. Questo è un aspetto molto positivo, in quanto è possibile far interagire i Modellatori con elementi diversi, utili soprattutto nel caso di tratti con sezioni variabili (come si è visto ad esempio il Modellatore del sottopasso che presenta sezioni con elementi posti a quote differenti).

Per quanto riguarda invece la creazione della sezione tipo, gli elementi forniti dal Country Kit non sono completi e se ci sono hanno delle proprietà che vanno studiate singolarmente poiché da queste dipende la loro interazione con il resto degli elementi e con il tracciato.

Durante la composizione della sezione tipo è stata riscontrata la mancanza di un elemento "Arginello", nonostante la norma lo citi e ne specifichi forma e dimensioni. A tal proposito è stato utilizzato un elemento "Marciapiede", privo di spessore in grado di seguire le pendenze trasversali imposte dalla norma. Per quanto riguarda l'elemento "guardrail" una vota inserito non interagisce in maniera dinamica con il tracciato. Questo dovrebbe infatti essere posto solo dove il rilevato supera il metro di altezza invece l'inserimento prescinde da tale quota.

Bisogna inoltre prestare attenzione al fatto che ad ogni elemento corrisponde un modo differente di individuare ed inserire la voce relativa al "Obiettivo larghezza". E' dunque necessario di volta in volta capire e immettere l'obiettivo corretto, operazione non banale in quanto necessita di un'attenta lettura del tracciato, dei suoi elementi e della tipologia della strada (doppia falda, singola falda ecc.).

L'opzione "guida", come già detto in precedenza, offre la possibilità di simulare la guida lungo un determinato tracciato che segue il proprio profilo longitudinale. E' un valido strumento per visualizzare delle eventuali incongruenze presenti nel tracciato. La simulazione è effettuata lungo il Modellatore, quindi il rendimento grafico dipende dalla discretizzazione dello stesso. Tutti i Modellatori del progetto sono stati impostati con una discretizzazione di 1.00m, tuttavia l'utente ha la possibilità di sceglierne il passo tenendo conto che un passo troppo ampio comporta una perdita di informazioni in spazi troppo ampi, un passo troppo ravvicinato rallenta l'esecuzione del processo. In sintesi, il Modellatore non fa altro che traslare la sezione tipo lungo una polilinea 3D (il tracciato), modificandola in funzione delle informazioni che legge durante tale percorso (allargamenti, sopraelevazione ecc.).

Per quanto riguarda la stima dei costi dell'opera si è preferito non effettuare la procedura richiesta da Civil. La codifica dell'elenco degli elementi di costo non è banale, specialmente in termini di tempo, considerato che i prezziari utilizzati nella pratica lavorativa sono prevalentemente in formato .pdf, mentre Civil 3D lavora con formati .csv e .xml. E' bene tuttavia essere a conoscenza della possibilità di poter effettuare anche una prima stima dei costi mediante lo stesso software.

Passando ora ad esaminare le verifiche di Velocità e Visibilità, per ciò che riguarda i relativi diagrammi, sono state riscontrate diverse criticità. Una volta nota la classificazione dell'infrastruttura, mediante l'opzione "Strumenti - Diagramma Velocità" è possibile realizzare il diagramma desiderato selezionando il tracciato e la categoria di strada.

Cominciando dal diagramma delle Velocità, dopo aver specificato il punto di inserimento, viene visualizzato tenendo conto che nei tratti meno vincolanti, ossia i rettifili e le curve a raggio maggiore, il diagramma traccerà la velocità corrispondente al limite superiore dell'intervallo di velocità per quella categoria di strada. Se in certi tratti è necessario operare una riduzione di velocità, come ad esempio in uscita o in entrata dalle rotatorie dove la velocità è fissata ai 30km/h, è possibile farlo dalle proprietà del tracciato inserendo alle progressive desiderate sezioni dove si va a definire la velocità di progetto. Per aggiornare i diagrammi poi si riavvia il comando deselezionando la voce "Ricalcola Velocità di Progetto".

Il problema principale legato a questi passaggi è stato che, una volta alterate le velocità iniziali e finali del diagramma, la visualizzazione non risulta corretta come è possibile verificare dal confronto con uno dei diagrammi delle velocità fornitomi dallo studio, di seguito riportato.



Figura 2.27 - Diagramma delle velocità corretto, presente nel progetto So.Tec., relativo al Tratto 2.



Figura 2.28 - Diagramma delle velocità relativo al Tratto 2 calcolato con Civil 3D.



Figura 2.29 - Schermata di modifica delle velocità di progetto.

		Diagramma delle Velocità						
38	7 km/h	30 km/h		30 km/h			30 km,	/h 30 km/h
ANDAMENTO PLANMETRICO			Legit-277.4.Re	L-48.100 A-200.77	L-ALSter R-SNLDER	L-BLTIN A-27000	1-2-51.Rm	
PROGRESSME		heer		5241 -	- 1167		- Sec.	6427

Figura 2.30 - Diagramma delle velocità aggiornato con le velocità di progetto modificate.

Come è possibile notare, il software imposta la velocità iniziale e finale e la adegua a tutto il tracciato. In altre parole non ricalcola le distanze di transizione né le velocità che è

possibile raggiungere i questi tratti. E' tuttavia possibile inserire delle progressive aggiuntive e forzare ulteriormente il diagramma andando ad inserire a mano le velocità mancanti a discapito di automazione e rapidità di calcolo.

Di conseguenza, anche il diagramma delle visibilità non risulterà essere corretto. A questo punto, per studiare come il software esegue questa verifica, è stato utilizzato il diagramma delle velocità calcolato in automatico secondo normativa, non tenendo conto cioè delle velocità iniziali e finali che sono più basse.

Distanza di visibilità	Distanza di visibilita minima: 500.000	G.	
Risultati			
	Altezza visuale:		
	1.100m		
	Scostamento visuale:	a	
	0.000		
	Atezza obiettivo		
	1.100m		
	Scostamento obiettivo:		
	0.000m		

Figura 2.31 - Schermata delle impostazioni di controllo distanza di visibilità.

Una volta scelto il tracciato, il passo e la superficie sulla quale eseguire la verifica, il programma chiede di specificare una "Distanza di visibilità minima". In un primo momento si è pensato si trattasse di una distanza "limite" che va imposta al calcolatore affinché, nei tratti in rettifilo, la distanza di visuale non risulti infinita; il valore di default è 500m. Tuttavia dopo diverse prove è stato riscontrato che il programma necessita di una distanza che possa confrontare con la distanza di visuale che legge ogni qual volta avanza sull'asse.

Nel caso del Tratto 1, visto l'intervallo di velocità della strada di categoria F e le pendenze longitudinali è stato inserito un valore pari a 175.00m, inteso come "distanza minima da garantire". Tale valore è stato scelto in funzione del seguente grafico fornito dalla normativa italiana.



Figura 2.32 - Diagramma calcolo distanza di visibilità per l'arresto per le strade presente nel D.M.2001.

In realtà la distanza di arresto non ha un valore fisso lungo tutto il tracciato, in quanto dipendente dalla velocità (e non solo) di percorrenza dei vari tratti.

Un'altra mancanza in questi passaggi è la richiesta dell'altezza dell'occhio del guidatore, l'altezza dell'ostacolo e lo scostamento rispetto all'asse dell'occhio del guidatore e dell'ostacolo. Questi parametri, decisi dalla norma, dovrebbero essere fissi ed inseriti di default, invece non tutti sono presenti e in parte non sono esatti, vanno dunque controllati ed eventualmente modificati dall'utente.

Infine nella restituzione grafica, è possibile scegliere tra i seguenti modi di rappresentazione delle zone a visibilità ostruita.

A Controllo distanza d	di visibilità - Risultati	×
Generale	Selezionare gli elementi da disegnare nel modello:	
<u>Distanza di visibilità</u>	Componente Layer	_
Risultati	Litee di visibilità visibili 0 Litee di visibilità ostruite 0	
	Percorso visuale ostruito 0 Area ostruita 0	
	Percorso visuale 0 Lingea limite visivo V 0	
	Seleziona visualizzazione tratteggi per le aree ostruite:	
	☑ Crea rapporto analisi visibilità	
	Scegliere un tipo di tile: C:\ProgramData\Autodesk\C3D 2017\ta\Data\S 👻	
	Salva in: ochia/Desktop/Anna/Asse principale/10-10-2017.bd	
	<indietro avanti=""> Fine Annulla ?</indietro>	

Figura 2.33 - Elementi di rappresentazione per la verifica di visibilità.

La scelta è ricaduta sulla "linea di limite visivo" che rappresenta l'inviluppo di tutte le rette tangenti all'ostacolo alla visibilità, successivamente, sul tracciato stesso è stata "esplosa" la polilinea creata e sono state cancellate le linee non necessarie. Infine è stato fissato come Obiettivo per la larghezza dell'elemento banchina del Modellatore tale inviluppo, creando così l'allargamento per visibilità.

La verifica che effettuatadunque dal software non è quella classica in base alla quale è possibile generare il diagramma delle visibilità, ma una verifica di tipo "VERO-FALSO", cioè con un passo scelto dall'utente (in questo caso è stato scelto 1m), il software controlla che vi sia effettivamente la distanza richiesta.

Il diagramma restituito è il seguente, eseguito mediante il "Verifica Norme" e calcolato in funzione del diagramma delle velocità, del tipo di strada e del report di visibilità eseguito con l'analisi precedentemente descritta.



Figura 2.34 - Diagramma di visibilità del Tratto 2 nella direzione che va dalla rotatoria B alla rotatoria C.



Figura 2.35 - Diagramma delle visibilità corretto, come da progetto So. Tec.

Come è possibile notare, il diagramma di visibilità dovrebbe restituire un andamento non regolare. Il calcolo andrebbe eseguito puntualmente dal software e confrontato

puntualmente con la distanza di arresto, che come già detto non è un valore fisso. Nel diagramma presente nel progetto So.Tec. è possibile altresì notare la presenza di quattro linee: quelle di visibilità per l'arresto nelle due direzioni di marcia e quelle di arresto nelle due direzioni di marcia.

In definitiva non è possibile ritenere corretto il diagramma di visibilità restituito da Civil 3D poiché funzione di un diagramma delle velocità non corretto e perché non restituito in forma grafica coerente con la documentazione richiesta in fase di progetto.

Vista la presenza di tre rotatorie nel progetto, è stata analizzata infine la funzione di calcolo per la progettazione delle intersezioni a raso. Essa risulta essere abbastanza efficace se la geometria dei tracciati è relativamente semplice. Ciò non accade quasi mai nella pratica lavorativa e, ad esempio nel caso di studio in esame, la geometria che risulta essere relativamente più complessa non trova in Civil 3D uno strumento abbastanza dinamico nell'adattarsi al tracciato esistente.

Una volta introdotti i parametri geometrici generali, quali diametro interno ed esterno, velocità di progetto e larghezza delle banchine esterne e interna sormontabile, devono essere indicati i rami della rotatoria. Lo strumento riconosce sia i tracciati esistenti nella Carta sia le polilinee 3D importate dal progetto di Autocad. Tuttavia per le impostazioni proprie dello strumento, il risultato finale è differente da quello del progetto. Come in altre occasioni, alcuni parametri sono stati "forzati" in modo che il risultato finale fosse quanto più simile all'originale ma nonostante ciò si è rivelato difficile replicare questi cambiamenti poiché il software li interpreta come errori.

Di seguito è riportata una restituzione grafica dove è possibile individuare le approssimazioni effettuate da Civil 3D e che difficilmente possono essere modificate, proprio per la rigidità del programma nell'elaborare questo tipo di informazioni geometriche.



Figura 2.36 - Rotatoria A calcolata con Civil 3D.



Figura 2.37 - Rotatoria A corretta, come da progetto So.Tec.

2.5 Interoperabilità e formati

Per quanto concerne lo sviluppo effettuato a partire dal modello finora descritto, si è ritenuto sufficiente fermarsi a questo livello di dettaglio. A scapito di un'accurata modellazione grafica dell'intero progetto, si è preferito effettuare uno studio più approfondito della pavimentazione in quanto di principale interesse nell'ambito manutentivo.

E' stato dunque necessario effettuare alcune considerazioni sul tema dell'interoperabilità. Come accennato nel precedente capitolo, è importante capire al meglio come sia possibile far dialogare diversi software tra di loro senza perdere informazioni. A livello operativo, una volta ultimato il Modello 3D, sono state fatte diverse prove di interscambio di file e in funzione dei risultati ottenuti ci si è orientati verso una soluzione piuttosto che un'altra.

Civil 3D lavora su formati .dwg tuttavia l'apertura di questi in Autocad comporta la perdita di gran parte delle informazioni. In generale vi è una difficile lettura da parte del software di molti elementi. Ciò è attribuibile al fatto che il tracciato, i profili e non per ultimo il Modellatore, sono legati tra di loro dalle informazioni che si scambiano a vicenda. Una prova molto banale da riprova proprio di ciò: se si copia una polilinea "Tracciato" in un nuovo disegno di Civil 3D, in automatico comparirebbero anche i punti del rilievo, la superficie TIN, il profilo altimetrico e gli eventuali diagrammi di velocità e visibilità. Se invece, una volta salvato il disegno di Civil 3D in formato .dwg si provasse ad aprirlo con Autocad quest'ultimo non riuscirebbe a leggere le informazioni di partenza causando errori di visualizzazione.

Probabilmente Autodesk non si è posta questo tipo di problema in quanto è possibile utilizzare i comandi classici di Autocad all'interno di Civil 3D ed è inoltre possibile già impostare la stampa al suo interno.



Figura 2.38 - Visualizzazione del file di Civil 3D, salvato in formato .dwged aperto in Autocad. Come visibile si è perso ogni riferimento geometrico e i tracciati non sono presenti.

Nell'ottica di sviluppare un progetto completo in ogni suo punto, può capitare che vi sia la necessità di inserire delle opere puntuali, quali viadotti, opere idrauliche, ponti o altro. Civil 3D non è in grado di inserire opere di questo genere con un elevato livello di dettaglio strutturale, motivo per il quale si vede la necessità di cambiare software a riguardo.

Viene in aiuto in questa direzione Revit, sempre della software house Autodesk, che nasce prevalentemente per opere edilizie ed architettoniche, ma che ha recentemente ampliato la sua piattaforma al calcolo strutturale anche di opere come quelle sopra citate. L'importazione in Revit di file .dwg è facilmente effettuabile, tuttavia vengono elaborati dal programma come dei riferimenti esterni privi di qualsiasi proprietà ma con la possibilità di essere georeferenziati.

Civil 3D permette di creare i solidi dal Modellatore, ciò significa distinguere i vari strati della pavimentazione e gli altri elementi costituenti la sezione tipo. Tuttavia una volta importati su Revit, viene persa l'informazione dei singoli solidi, quindi questo viene individuato come un unico blocco. Per poter ricostruire ogni singolo pacchetto all'interno di Revit bisogna salvare ogni solido all'interno di un file .dwg differente e dopo importarlo in Revit singolarmente, fermo restando che non è possibile apportarvi alcuna modifica in quanto letti come riferimenti esterni.



Figura 2.39 - Particolare della piattaforma stradale importata in Revit, mediante due file .dwg contenenti il solido "usura" e il solido "binder.

Per ovviare a questo problema bisogna importare il formato .dwg solo per la visualizzazione del solido stradale nella sua interezza, mentre sarà necessario processare l'andamento del tracciato mediante "Dynamo", applicativo di programmazione assistita di Revit, come verrà descritto nei capitoli a seguire.



Figura 2.40 - Piattaforma solido stradale San Cesario, importato come riferimento esterno in formato .dwg.

3. Modello BIM della pavimentazione stradale

Per superare i problemi legati all'interoperabilità dei formati, il modello della pavimentazione stradale di San Cesario è stato nuovamente creato in ambiente Revit. Tale modellazione è stata eseguita step by step mediante l'utilizzo di due applicativi: Subassembly Composer e Dynamo.

In questo caso si è partiti non più dal disegno CAD ma dal modello BIM precedentemente descritto. Mediante delle Sezioni Tipo ausiliarie, appositamente create, sono state estrapolate le coordinate dell'asse e delle banchine dal Modellatore di Civil 3D e salvate in formato .xls. Tramite Dynamo è poi stato possibile ricreare il corridoio del tracciato. Dovendo adattare la Sezione Tipo al suddetto corridoio e non potendo utilizzare quella di Civil 3D, questa è stata ridisegnata in Revit associandovi diversi parametri geometrici. Associati questi parametri a delle quote li si è resi modificabili e in grado di adeguarsi alla larghezza del corridoio sulla base delle suddette coordinate. E' stato infine originato un solido per ogni strato (Usura, Binder, Base e Sottobase) che è stato salvato in una famiglia omonima. Una volta caricate le famiglie all'interno di un Progetto in Revit, è stato associato il solido stradale come riferimento esterno. Per questa operazione non si è potuto utilizzare il solido stradale generato dal Modellatore di Civil 3D, in quanto in Revit l'area risultava essere "troppo estesa". Probabilmente ciò è imputabile al fatto che il Modellatore porta con sé una quantità considerevole di informazioni che non è in grado di essere elaborata da Revit. Per ovviare a questo problema, è stato utilizzato il solido creato nel progetto originario. Il tutto è avvenuto ovviamente nel rispetto delle coordinate originali pur non essendo questa, è opportuno sottolineare, un'operazione banale.



Figura 3.1 - Schema semplificativo della metodologia e dei software usati per la creazione del modello BIM della pavimentazione stradale

3.1 Estrazione coordinate e uso di Subassembly Composer

Per ricavare la geometria esatta della pavimentazione si è partiti dal modello dell'infrastruttura sviluppato con Civil 3D. Il Modellatore, creato lungo tutta l'infrastruttura, permette di conoscere le coordinate di ogni punto, grazie alle quali è possibile leggere informazioni circa le pendenze trasversali e gli allargamenti del corridoio stradale. Tali informazioni possono essere estratte da Civil 3D usando il comando "CorridorPoints Report" e salvate in diversi formati. Le coordinate vengono associate alla progressiva del singolo punto e ad una codifica assegnata a priori, che permette di individuarne facilmente la posizione.

Utilizzando le sezioni tipo di default del "Country Kit Italia" o quelle standard presenti nella tool degli strumenti, la codifica non è modificabile. Occorre dunque conoscere nel dettaglio ogni elemento per non incappare in errori di lettura. Per semplificare tale procedura, si è scelto di creare delle Sezioni Tipo costituite da soli elementi "Punto" e "Linea" mediante l'applicativo Subassembly Composer e assegnare loro una codifica personalizzata.

Come già detto Subassembly Composer è un applicativo di Civil 3D di programmazione visiva. L'interfaccia prevede la compilazione di un diagramma di flusso mediante il quale è possibile "costruire" degli elementi da poter utilizzare per la composizione delle Sezioni Tipo. Il file generato, che ha estensione .pkt, viene caricato su Civil 3D ed è dunque possibile selezionarlo direttamente come un qualsiasi altro elemento nella tool degli strumenti.



Figura 3.2 - Schermata iniziale di Subassembly Composer.

Il diagramma di flusso interroga gli elementi ogni qual volta essi vengano aggiunti, in funzione del loro scopo. Le caratteristiche attribuite sono di tipo parametrico e sono funzione dell'interazione con gli elementi presenti nel progetto. Impostando le schede "Input/Output Parameter", "Target Parameter" e "Superelevation" è stato possibile far dialogare i punti creati con le "Featur Lines" del modello, affinché seguissero il corretto andamento della pavimentazione. Sono stati dunque impostati dei codici per identificare banchina e corsia, destra e sinistra e sono stati modificati, e talvolta inseriti, tutti i parametri necessari alla corretta visualizzazione della sezione.

Input/Output Para	ameters					→ ‡ ×
Name	Туре	Direction	Default Value	DisplayName	Description	
Side	Side	Input	None			
Lato	Side	Input	Right			
Slope	Grade	Input	-2.50%	Pendenza di default		
PotentialPivot	Potential Pivot	Input	Yes	Perno Potenziale		
SlopeDirection	Slope Direction	Input	AwayFromCrown	Direzione di pendenza		
UseSuperelevation	n Superelevation	Input	None	Usa Sopraelevazione		
Corsia	Double	Input	2			
Banchina	Double	Input	0.2			
Packet Settings	Input/Output Parameters	Target Param	eters Superelevation	Cant Event Viewer		

Figura 3.3 - Schermata "Input/Output Parameter" per l'Usura della corsia destra.

A titolo esemplificativo viene di seguito mostrato il diagramma di flusso utilizzato per l'elemento Usura, suddiviso in corsia destra e sinistra, con il relativo schema che presenta la codifica.

Flowchart	
Subassembly	
Start	
0 11	
O P2&L1	
v	
O P3&L2	

Figura 3.4 - Diagramma di flusso utilizzato in Subassembly Composer per le sezioni ausiliarie.

Preview		~ ↓ ×
Preview geometries in Roadway mode 🔹		
	Corsia_dx	Banchina_dx
LI LI	₽2[C_dx]12	•9[8_dx]
Codes Comments Preview Previe		Fit to Screen ▼ 및 ×
teter genter a sx ↓ Banchina_sx ↓ Corsia_sx ₱3[8_sx] L2 ₱2[C_sx] L1		
Codes Comments		Fit to Screen

Figura 3.5 - Anteprima elementi utilizzati in Subassembly Composer per la sezione ausiliaria destra e sinistra dello strato di Usura.

Per ottenere le coordinate corrette di tutti i punti notevoli sono state create apposite Sezioni Tipo per ogni strato. Successivamente tali coordinate sono state estratte e salvate in formato .xls affinché potessero essere lette senza problemi dall'applicativo Dynamo.



Figura 3.6 - Sezioni Tipo ausiliarie corsia destra utilizzate per l'estrazione delle coordinate del corridoio stradale.

Per gli strati di Base e Sottobase è possibile notare una larghezza differente. Ciò è dovuto dal fatto che, per rappresentare fedelmente la Sezione Tipo di progetto, è stato

necessario allargare tali strati al di sotto del cordolo, considerando un collegamento laterale inclinato di 45° così come è usuale fare durante la messa in opera degli strati di pavimentazione. Non viene invece rappresentato il cordolo in cemento poiché non è stato oggetto dello studio della pavimentazione.

Infine per l'estrazione delle coordinate necessarie per l'elaborazione in Dynamo, si è ricorso nuovamente a Civil 3D. Dalla scheda "Riquadro degli strumenti" del toolspace è possibile scegliere diversi rapporti dati. Mediante "Corridor points report", scegliendo le opzioni dalla relativa finestra di dialogo, sono stati scelti i punti notevoli per la creazione del rapporto e il formato del file finale.

La geo	metria de	ila superficie dell'impalcato del p			ionare la
progre	ssiva iniz	iale e finale, con i codici punto e	le colonne del rapporto desiderati.		
Selezio	ne del ma	dellatore	Intervalio progressive		
Mod.	- RA4		Associazione tracci	ato modellatore:	
Mod.	-T2		Tracciato 1	144 °	
			Progressiva iniziale	\$) 	100
			0+000.000		1
	Seleziona modellatore		2+415 976		3
		Serversing in Social and C.	1 2-413.076		0.78
Selezo	ne codici	punto			
UB	57			Selezioni	s tutto
1000				State of the second sec	ta tutto
C 9	_GX			Deselezio	
000	_ax			Deselezio	
0.0.0	_ax town			Rapporto associaz	nione traccia
	_ox _sx rown			Rapporto associaz Tracciato 1	nione traccia
N N N N N N N N N N N N N N N N N N N	_ax _sx rown			Rapporto associaz Tracciato 1	rione traccia
Report	_ax _sx rown Settings	Discusto	Celum Nam	Deselezio Rapporto associaz Tracciate 1	none traccial
Report	sx rown Settings Include	Property	Column Nam	Deselezion Rapporto associaz Tracciate 1	tione traccial
Report	settings	Property Programmics Scottamento	Column Nam Progression Scottamento	Usselezion Rapporto associaz Tracciata 1	tione traccial
2000 Seat	Settings	Property Progressions Scontamento Nord	Column Nam Progression Scottamento Nord	Rapporto associato Tracciato 1	tione traccial
Pepet Report	Settings	Property Progressive Socializer to Nord Eat	Column Nam Poogramma Socialmento Nord Ear	Rapporto associato Tracciato 1	tione traccia
	Settings Include	Property Programina Socialmento Nord Eat Quota atmetinca	Column Nam Programma Scontamento Nord Est Quota atmet	Rapporto associas Tracciato 1	ione traccial
	Settings Include	Property Progression Scottamento Nod Est Quota abmetica Descutorie	Column Nam Programmin Socialmento Nord Est Quota altimetr Decisione	Rapporto associaz Tracciato 1	tione traccial
	Settings	Property Progressiva Scottamento Nord Est Cauto abmetrica Descrisione	Column Nam Progression Socialmento Nord Est Quota atimet Descriptione	Rapporto associaz Tracciato 1	tione traccial
Report Report	Settings Include	Property Progression Socializente Nord En Couch abmetrice Descrisione	Column Nam Programma Scontamento Nord Est Quota attmet Describone	Rapporto senceiza Tranciato 1	tione traccial
Report CCCC Report CCCCC Report CCCCCCCC Report CCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCCC	Settings Include	Property Progression Scostamento Nod Est Quota abmetica Descrisione	Column Nam Programmen Socialmento Nord Est Quota altimet Descrizione	Rapporto secola: Traccisto 1	tione traccial

Figura 3.7 - Opzioni di estrazione del file di rapporto dei punti del Modellatore.

-	M 2)-			Rapp	orto Civil - Usura_1	11 (modalità c	ompatibilita)	Microsoft Ex	cel									× 11
100	Home Insenso Lay	out di pagina Pormule	Dati Revisione	Visualizza		101	HID	-	_			- q_ q	a. 1055	Σ Se	omma automati	0 · A .		×
Incel	Callon Callon	8 - 10 - 0a - A - 1		Testo a capo General	14	Formattacione	Formatta	Valore no	ID Y-I	Valore valu	to a	Inserisci Eli	nina Formato		empimento +	Ordina	Trova e	
	Copia fermate Appunti	Caratteie 19	Allocate	nto 0 1	iumeri G	condizionale *	come tabella	556					elle e	20	incella *	e filtra * locifica	seleziona *	
	A1 • (?	fe Rapporto punti mo	dellatore															8
1	A	В	С	D	E	F	0	5	н			J		(L	N	1	N
1	Rapp	orto pu	nti mo	dellato	e													
3	Client: Re	datto da:				•												
4	Client Pro	eparer																
5	Client Company Na	ame																
6	Address 1 12	3 Main Street																
7	Data: 19/03/2018 1	5:50:19																
8																		
9	Nome modellatore:	: Mod T1																
10																		
11	Nome tracciato di r	iferimento Tracciato	01															
12																		
13	Deservative	Mand	F-1	Questo altimateleo	Development	1												
14	Progressiva	1027496 149	1663051 764	Quota altimetrica	Descrizione													
15	0+088.123	4937480.146	1662050 742	46.000	Crown	1												
17	0+088 123	4937477 384	1662049 721	46.710	B dy	1												
18	0+088.170	4937486 138	1662051.81	46.606	B sx	1												
19	0+088.170	4937481.756	1662050.788	46.718	Crown	1												
20	0+088.170	4937477.373	1662049.766	46.606	B dx	1												
21	0+088.173	4937486.137	1662051.813	46.606	B sx	1												
22	0+088.173	4937481.755	1662050.791	46.718	Crown	1												
23	0+088.173	4937477.372	1662049.769	46.606	B_dx	1												
24	0+088.174	4937486.137	1662051.813	46.606	B_sx	1												
25	0+088.174	4937481.755	1662050.792	46.718	Crown	1												
26	0+088.174	4937477.372	1662049.77	46.606	B_dx	1												
27	0+088.177	4937486.136	1662051.816	46.606	B_sx	1												
28	0+088.177	4937481.754	1662050.795	46.718	Crown]												
29	0+088.177	4937477.371	1662049.773	46.606	B_dx													
30	0+089.000	4937485.949	1662052.618	46.607	B sx		_											
Bernet	conseptient, car							_	-		_		-	_	1000 CT	TD 1000 (

Figura 3.8 - Esempio file di rapporto punti del Modellatore, nelle colonne del file sono presenti le progressive, le coordinate e la codifica dei punti del Modellatore scelti per la creazione del corridoio stradale.

3.2 Creazione del Corridoio Stradale

Nell'ottica della realizzazione del modello in ambiente Revit, sono state effettuate delle scelte a priori sulla composizione degli elementi che hanno influenzato tutta la modellazione. Essendo questo caso studio analizzato principalmente dal punto di vista metodologico, di seguito verrà descritta la procedura intrapresa che non esclude la possibilità che vi siano modi alternativi di operare e raggiungere i medesimi obiettivi.

Così come possibile leggere sulla guida Autodesk del Software, messa a disposizione degli utenti, "Nei progetti di Revit vengono utilizzati tre tipi di elementi: elementi del modello, elementi di riferimento ed elementi specifici della vista. In Revit, gli elementi vengono denominati anche famiglie. La famiglia contiene la definizione geometrica dell'elemento ed i parametri utilizzati dall'elemento stesso. Ogni istanza di un elemento viene definita e controllata dalla famiglia". Le entità Famiglie sono molteplici e ciascuna di esse presenta caratteristiche e funzionalità specifiche. Per riprodurre la Sezione Tipo della pavimentazione di San Cesario è stata scelta la famiglia "Modello generico metrico adattivo". Questo consente di "creare componenti flessibili in grado di adattarsi a diversi scenari di progettazione", il disegno può essere dunque tracciato tramite snap che interagiscono in maniera conforme ai vincoli definiti dall'utente.

Sono state create quattro famiglie, una per ogni strato, ognuna con i propri spessori e le proprie caratteristiche geometriche.



Figura 39 - Sezioni trasversali degli strati di pavimentazione disegnati in Revit.

A ciascuna delle sezioni disegnate sono stati assegnati tre parametri fondamentali: larghezza della corsia, spessore dello strato e pendenza trasversale. Per far ciò sono state associate delle quote, intese dal software come vincoli parametrici, che possono essere manipolati dall'utente durante il disegno o a posteriori a lavoro ultimato.

Affinché i parametri scelti siano modificabili all'interno di Revit e successivamente all'interno di Dynamo, sono stati creati due volte con nomi simili. Il motivo di tale scelta sta nel fatto che, la creazione di un nuovo parametro che identifichi il "Tipo di Famiglia" implica una scelta sulla proprietà dello stesso. Revit infatti presenta due gruppi di proprietà che controllano l'aspetto e il comportamento dell'elemento: le proprietà del *tipo* e le proprietà di *istanza*. Le prime permettono la visualizzazione e la modifica diretta dalla finestra Proprietà della Famiglia all'interno di Revit, le seconde non compaiono tra le Proprietà ma sono quelle che Dynamo riesce a calcolare e modificare al suo interno.

i di famiglia			
iome del tipo:			MI X
Parametri di ricerca			C
Parametro	Valore	Formula	Blocca
Vincoli			\$
Prospetto di default	1219.2	=	
Dimensioni			;
.arghezza D	3500.0	=	
arghezza S	3500.0	=	
arghezza dx (default)	3500.0	=	
arghezza sx (default)	3500.0	=	
totazione dx (default)	91.43°	=	
otazione sx (default)	91.43°	=	
otazione D	91.43°	=	
otazione S	91.43°	=	
pessore Usura (default)	30.0	-	V
Dati identità			
🖉 🎦 🔁 🕂 🗜 🛃	≹†		Gestisci tabelle di ricer
ome gestire i tipi di famiglia			da Analiza
		OK Anni	Applica

Figura 3.10 - Parametri scelti per le Famiglie degli strati di pavimentazione.

Come accennato in precedenza i vincoli parametrici della sezione sono associati a delle quote. Per la larghezza e lo spessore sono state usate delle quote lineari, mentre per la pendenza trasversale, è stato necessario usare una quota Angolare. Poiché in ambito progettuale non si lavora con i gradi ma con le percentuali, si è preferito nominare tale quota "Rotazione" destra o sinistra, facendo una conversione a priori della pendenza trasversale.

Una volta impostate tutte le proprietà e definita la geometria del singolo strato, è stata creata una nuova famiglia, nuovamente di tipo "Generico metrico adattivo", dove è stata caricata la Sezione Tipo del singolo strato. A questo punto viene lanciato Dynamo, applicativo di programmazione visuale open source, in grado di comporre algoritmi,

procedure, formule e di elaborare dati finalizzati alla creazione di geometrie parametrizzate anche piuttosto complesse. La programmazione viene effettuata tramite la composizione e il collegamento di "nodi", e non tramite codifica scritta. Questo semplifica il processo di elaborazione e ne permette un facile apprendimento. I nodi sono concepiti con funzioni differenti e raggruppati per tipologia, permettendo all'utente di ricercare velocemente ciò di cui ha bisogno.

L'utilizzo di Dynamo ha semplificato notevolmente la creazione dei solidi dei singoli strati della pavimentazione. Grazie alla facilità di elaborazione di file di formati diversi ha permesso di calcolare e modellare il corridoio stradale mediante l'uso di schemi, che risultano essere a tutti gli effetti gli elementi componenti un diagramma di flusso.

E'possibile sintetizzare lo schema utilizzato in tre grandi blocchi. Il primo contenente i nodi per l'importazione dei file da far elaborare a Dynamo per la creazione del corridoio stradale. Il secondo contenete i nodi di elaborazione delle informazioni per il calcolo dell'allargamento e della pendenza trasversale. Il terzo contente i nodi per la creazione del solido della pavimentazione del singolo strato.



Figura 3.11 - Schema metodologico utilizzato in Dynamo.

Ognuno dei blocchi è costituito da diversi nodi raggruppati per funzionalità. Tali gruppi sono creati, gestiti e nominati dall'utente per una più chiara disposizione dello schema lavorativo. All'interno del primo blocco sono presenti i gruppi che permettono di importare le coordinate excel, la sezione di Revit e di impostare la geometria del corridoio.

Mediante i nodi presenti nel gruppo "Importazione coordinate Civil 3D" è possibile scegliere il file excel estratto da Civil 3D e andare a leggere le informazioni contenute in esso. Per far ciò il nodo chiede come dati di input il nome del file excel, il numero della

riga e della colonna dalla quale cominciare la lettura, la codifica associata alle coordinate da elaborare ("X", "Y", "Z", "Crown", "B_dx", "B_sx"), e restituisce in output quattro curve. Tali curve sono ottenute mediante interpolazione lineare di tutti i punti elencati e letti nel file excel e corrispondono all'asse centrale della carreggiata, la banchina destra, la banchina sinistra e la proiezione dell'asse centrale a quota zero.



Figura 3.12 - Curve generate dalle coordinate estratte dal Civil 3D.

Poiché il Modellatore di partenza è stato generato con un passo pari ad un metro, il numero di punti acquisito da Dynamo corrisponde al numero di metri totali del singolo tratto elaborato. E' possibile modificare tale passo (dalle impostazioni del Modellatore di Civil 3D) tenendo presente che un passo troppo ampio tende a far perdere le informazioni sul tracciato oltre a rendere visivamente meno preciso il corridoio, mentre un passo troppo fitto fa incappare in tempi di elaborazione troppo elevati.

All'interno del gruppo "Parametri Sezione Tipo creata con Revit" sono presenti i nodi per la scelta della famiglia contenente la Sezione Tipo, i nodi contenenti i parametri relativi a tale sezione e i valori standard associati ad essa durante la sua composizione.

In altri due raggruppamenti sono presenti i nodi relativi alla lunghezza del corridoio e il passo con il quale la sezione tipo crea e si adatta al corridoio stradale. Per quanto riguarda la lunghezza del tratto è possibile creare il corridoio stradale per intero o riprodurne solo una parte, questo perché in prima battuta la pavimentazione verrà analizzata nella sua interezza, mentre successivamente verrà analizzata a tratti per motivi legati alla manutenzione.

A questo punto, tramite un nodo che permette di evidenziare sulla Sezione Tipo tre punti fondamentali che serviranno da riferimento per il successivo adattamento al corridoio stradale, si passa al blocco di elaborazione e calcolo delle informazioni finora recepite.



Figura 3.13 - Punti fondamentali utilizzati da Dynamo per adattare la sezione tipo alle curve generate dalle coordinate.

La sezione tipo del singolo strato viene creata, come precedentemente illustrato in dettaglio, con caratteristiche standard. Pendenze trasversali e larghezza delle corsie sono infatti parametri stabiliti dalle norme in base alla tipologia di strada. In funzione dell'andamento plano-altimetrico del tracciato viene poi modificata, cambiando le pendenze trasversali e le larghezze (vedasi l'allargamento in curva o per visibilità) in funzione di esigenze cinematiche, legate alla sicurezza nell'utilizzo dell'infrastruttura e di smaltimento delle acque meteoriche. Per far si che la Sezione Tipo creata in Revit seguisse l'andamento reale tracciato dalle coordinate estratte dal Modellatore, è stato necessario impostare delle formule matematiche, scritte all'interno di un nodo "Code Block" in linguaggio C.



Figura 3.14 - Formule utilizzate per il calcolo dell'adattamento della Sezione Tipo alle curve generate dalle coordinate.

Una volta dichiarate le variabili e associate le formule al relativo parametro da modificare nella sezione di partenza, Dynamo converte il "Valore" in "Elemento" mediante appositi nodi. Tale operazione risulta essere necessaria per passare all'ultimo blocco. Per trasformare le sezioni in un solido continuo è stata composta una lista contenente gli elementi precedentemente creati per poi successivamente collegare le sezioni trasformandole in un solido unico.



Figura 3.15 - Gruppo contenete i nodi di creazione dei solidi dei vari strati di pavimentazione.

A questo punto è visibile all'interno della famiglia Revit il solido creato da Dynamo. Lo stesso schema è stato utilizzato per tutti e quattro gli strati e per ogni tratto dell'infrastruttura in esame, cambiando dove necessario le caratteristiche geometriche della sezione.

Ogni famiglia è stata salvata con l'omonimo nome per poi essere assemblata in un secondo momento all'interno del progetto vero e proprio.

3.3 Progetto pavimentazione San Cesario

Una volta create tutte le Famiglie della pavimentazione, si è passati alla creazione del Progetto. All'avvio del software viene data la possibilità all'utente di scegliere di utilizzare un modello di tipo Architettonico, Strutturale, Meccanico o di Costruzione. Come già ampiamente discusso, Revit non presenta ancora notevoli sviluppi per le infrastrutture, questo ha influenzato le scelte sulla modellazione, cercando di adattare le esigenze progettuali con le funzionalità del software.

Dopo numerose prove tra le varie tipologie di modello da utilizzare per il nuovo progetto, si è scelto di adottare il Modello Architettonico, in quanto risulta essere l'unico che permette di georeferenziare correttamente la pavimentazione.

Nel nuovo progetto sono state eliminate le viste di riferimento non necessarie ed è stata utilizzata la vista planimetrica per l'importazione delle famiglie dei vari tratti. In tale vista sono presenti due punti base, uno Identifica il sistema di coordinate di rilevamento, l'altro il sistema di coordinate del progetto. Il primo risulta essere una sorta di sistema di riferimento globale, quest'ultimo invece è funzione delle coordinate locali del progetto. Tali coordinate possono essere acquisite tramite le "Coordinate condivise" da un file di riferimento o possono essere impostate manualmente.



Figura 3.16 - Sistemi di riferimento Locale e Globale in Revit.

Successivamente è stata caricata la Famiglia Usura del Tratto 1 e via via tutti gli altri strati in modo tale da risultare sovrapposti e nella corretta posizione. Per verifica sono state acquisite le coordinate di alcuni punti notevoli e confrontate con quelle del Modello in Civil 3D. Per poter inserire nello stesso Progetto anche gli altri tratti della pavimentazione è stata seguita la seguente procedura. Prima sono stati creati tre progetti distinti all'interno dei quali il singolo tratto (composto da tutti e quattro gli strati) è stato posizionato correttamente, successivamente sono stati assemblati in un unico progetto mediante il comando "Collega Revit" e impostando le coordinate condivise. Senza questa operazione non è possibile infatti inserire correttamente i vari tratti poiché all'interno di ogni nuovo file è presente un solo punto base per le coordinate di progetto (punto 2 dell'immagine precedente) e non è possibile associare tutti i tratti ad esso.



Figura 3.17 - Tratti pavimentazione San Cesario georeferenziati.

Una volta caricati tutti i tratti della pavimentazione e i vari strati è stato inserito il solido stradale, proveniente tuttavia dal progetto originario e non da Civil 3D. Ancora una volta dunque si è ricorso al CAD per raggiungere un risultato migliore e visivamente più completo.

Selezionando un singolo strato della pavimentazione è possibile leggere sulla barra laterale sinistra le Proprietà del singolo strato, dove è possibile individuare i parametri assegnati alla Sezione Tipo e una stima del volume del singolo strato. E' possibile inoltre intervenire manualmente sul singolo strato andando ad aprire il file Famiglia e modificando il corridoio stradale in parte o per intero. Ovviamente è possibile intervenire sui parametri assegnati alla Famiglia, variando quindi spessore, larghezza o rotazione dello strato di pavimentazione.



Figura 3.18 - Pavimentazione San Cesario con rilievo.



Figura 3.19 - Pavimentazione San Cesario con rilievo e solido stradale.

Il modello a questo punto può essere ulteriormente arricchito. Tuttavia, almeno a livello grafico, ci si è fermati alla semplice rappresentazione della pavimentazione. Non Sono state riprodotte le rotatorie né la sezione è stata arricchita di tutti gli elementi previsti dal

progetto. Come già detto il motivo di ciò è da ricercare nel fatto che lo studio svolto è stato concentrato e finalizzato alla creazione di un modello che si dimostrasse di valido ausilio in ambito manutentivo. Tralasciando dunque tutta una serie di altri aspetti, si è passati alla ricerca del modo più efficacie per immagazzinare e gestire dati utili al fine di monitorare lo stato della pavimentazione durante la sua vita utile.

3.4 Pregi e difetti del software

L'utilizzo di Revit nella progettazione moderna sta prendendo sempre più piede. Le potenzialità di tale software, che ritrova nell'architettura e nella progettazione impiantistica il suo massimo sviluppo, sono facilmente intuibili durante il suo utilizzo. Inoltre la possibilità di gestire geometrie anche parecchio complesse, permette all'utente maggiore versatilità e la possibilità di creare progetti sempre più dettagliati.

Per conoscere in pieno però tutte le sfaccettature del software, bisogna dedicarvi molto tempo. Non a caso le figure professionali legate al mondo BIM in generale, risultano essere specializzate nell'uso di tali software.

Lo studio effettuato per la rappresentazione della pavimentazione di San Cesario ed esposto nel presente lavoro di tesi, ha affrontato solo una parte di ciò che il software è in grado di offrire. Ciò non è da intendersi come una mancanza di approfondimento, ma come una scelta a priori su dove focalizzare la ricerca della metodologia migliore.

Come già detto l'obiettivo principale del lavoro è stata la creazione di un modello che potesse venire incontro alle esigenze di gestione e manutenzione dell'opera. Ci si è trovati dunque dinanzi tutta una serie di problematiche legate al dover quasi adattare il software a tali esigenze.

L'utente si trova infatti a dover trattare parametri e caratteristiche legate alle infrastrutture, con un software concepito per la progettazione architettonica e strutturale. Tuttavia è bene sottolineare che grazie all'ausilio di Dynamo, molte di queste esigenze vengono soddisfatte o esistono vie alternative altrettanto valide per poterle affrontare.

Le maggiori difficoltà riscontrate in questa fase del lavoro sono attribuibili in gran parte alla stesura dello schema di calcolo di Dynamo. Per lo studio del diagramma di flusso utilizzato infatti sono state notevoli le ricerche effettuate in rete e diversi sono stati gli spunti attinti da blog costituiti da utenti di tutto il mondo. Il fatto che Dynamo sia un applicativo open source non implica solo la sua gratuità ma anche la possibilità di studiare, sviluppare e creare versioni alternative agli schemi ufficiali proposti dalla software house. Le community costituite dagli utenti risultano essere quindi una fonte importante per lo scambio di informazioni.

Nello specifico lo schema utilizzato per la riproduzione di San Cesario, partiva da uno schema relativo allo sviluppo di un ponte a cassone. Tale schema usufruisce di nodi appositamente composti e accessibili in forma gratuita, dal nome

BIM4Struct.BridgeDesign¹. Partendo da questo schema, i nodi sono stati successivamente modificati e adattati per la creazione della pavimentazione. Sono state necessarie diverse prove prima di ottenere un buon risultato anche in funzione del fatto che i dati di partenza e le sezioni della pavimentazione erano strutturate in maniera differente.

Per quanto riguarda invece l'uso di Revit, le difficoltà maggiori si sono incontrate nella georeferenziazione dei tratti. Poiché già la scelta del modello da usare condiziona tale procedura non è stato intuitivo scegliere la strada da percorrere. Il fatto poi di lavorare con entità separate (quattro strati per ogni tratto) non ha agevolato questa procedura. C'è da dire però che una volta intuita la via migliore per impostare le coordinate, il flusso di lavoro viene smaltito rapidamente. Questo a dimostrazione del fatto che una migliore conoscenza del software implica un più rapido e ottimale utilizzo dello stesso.

Per quanto riguarda l'ambito manutentivo vero e proprio, che viene affrontato nel dettaglio nel capitolo successivo, è stato approfondito l'uso degli Abachi, dei Filtri, delle Fasi, ma soprattutto dei Parametri Condivisi. Questi ultimi sono quelli che hanno permesso l'attribuzione delle caratteristiche descrittive e prestazionali dei materiali utilizzati per la pavimentazione. Inoltre tali parametri possono essere esportati in vari formati e condivisi in altri progetti o da altre Famiglie.

¹ Reperibile sul sito dynamopackages.com

4. Il BIM per la manutenzione

Con la posa in opera e l'apertura all'esercizio le infrastrutture stradali (come in generale tutte le opere) sono soggette ad un progressivo deterioramento nel tempo. Il calo prestazionale della pavimentazione è da attribuire a diverse cause, tra queste, l'effetto del traffico e le condizioni ambientali giocano un ruolo preponderante. Nell'ottica della redazione del Piano di Gestione e Manutenzione dell'opera, si è cercato di arricchire il Modello con parametri che potessero essere indicativi dello stato di salute della pavimentazione. L'idea di base è che i dati relativi a questi parametri, vengano raccolti durante la vita dell'infrastruttura, immagazzinati ed elaborati per una pianificazione accurata degli interventi manutentivi.

Poiché il raccordo viario a San Cesario sul Panaro non è stato ancora posto in opera, non è stato possibile rilevare ed elaborare dati reali. Tuttavia dato l'approccio metodologico dello studio effettuato durante lo svolgersi del presente lavoro, si è focalizzata l'attenzione su come inserire gli eventuali dati di una rilevazione direttamente sul Modello e come sia possibile elaborarli per la gestione dell'opera.

I Parametri scelti sono stati divisi in due macro categorie. Una contenente le caratteristiche geometriche e compositive dei materiali usati, la seconda contenente gli indici di prestazione della pavimentazione.

Una volta discretizzata la pavimentazione e assegnati ai singoli tratti i Parametri scelti, si è passato alla composizione degli Abachi e delle Fasi. I primi descrivono il Modello in forma tabellare, riassumendo le geometrie e le caratteristiche assegnate a tutto ciò che individuano nella Vista di riferimento. Le seconde permettono di aggiornare e modificare il Modello conservando "lo storico" dei dati e visualizzando le modifiche apportate in maniera semplice e rapida.

4.1 Progettazione della manutenzione

La manutenzione delle Infrastrutture consiste nel complesso di attività e operazioni volte a conservare nel tempo le caratteristiche "funzionali" della stessa. Durante l'esercizio l'infrastruttura deve conservare le caratteristiche attribuite in fase di progetto e verificate in fase di collaudo. Le condizioni di esercizio vengono ipotizzate sulla base di studi sul TGM (Traffico Giornaliero Medio), sulle condizioni ambientali e sulle caratteristiche dei materiali impiegati. Nell'ottica di conservare caratteristiche funzionali ottimali, per garantire comfort e sicurezza alla guida, già in fase di progetto viene predisposto il piano di manutenzione dell'opera.

Così come sancito a livello normativo dal DLgs 50/2016, il progetto esecutivo deve essere corredato da apposito piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti (l'elenco completo dei documenti da presentare con il progetto esecutivo è presente all'art. 33 del

DPR 207/2010). Il piano di manutenzione prevede, pianifica e programma l'attività di manutenzione dell'opera ed è costituito da tre documenti: il manuale d'uso, il manuale di manutenzione e il programma di manutenzione. Questi documenti si riferiscono rispettivamente alle modalità di utilizzo, alle procedure di manutenzione e al sistema di controlli e interventi da eseguire a cadenza prefissata.

Per tutto ciò che riguarda il corpo stradale, ossia pavimentazioni e opere in terra, solitamente si distinguono tre attività manutentive:

- "ordinaria", che comprende operazioni di ripristino di difetti superficiali;
- "straordinaria", che prevede attività di ripristino a livello strutturale;
- ricostruzione, quando il livello di deterioramento dell'opera è tale da non permetterne il recupero.

L'attività manutentiva è di estrema importanza nella vita dell'infrastruttura e comporta oneri non indifferenti per gli Enti gestori. E' opportuno quindi che vi sia una pianificazione dettagliata e in grado di essere rispettata, poiché tanto più l'intervento è ritardato nel tempo, tanto più onerosi saranno i costi di recupero.

L'obiettivo principale degli interventi manutentivi programmati è, come più volte detto, la conservazione in esercizio delle funzionalità ottimali dell'opera, nel rispetto delle risorse disponibili e dei vincoli esterni. In funzione delle caratteristiche prestazionali attribuibili alla pavimentazione, vengono valutate le possibili soluzioni alternative per il ripristino delle condizioni iniziali in funzione di criteri e vincoli predefiniti. Tutto ciò si traduce in una pianificazione condotta per fasi delle attività di manutenzione. Le fasi di questo processo sono:

- monitoraggio e rilevamento dati;
- analisi dati e valutazione degli interventi;
- progettazione degli interventi;
- esecuzione del piano di manutenzione e controllo.

Durante il progetto dell'opera si effettuano delle scelte che definiscono la vita utile condizionando nel tempo tipologia e frequenza degli interventi di manutenzione. Dopo la messa in opera vanno effettuati a cadenza regolare dei rilevamenti in modo da costituire una Banca Dati utilizzabile per la previsione dell'evoluzione delle caratteristiche funzionali. I dati per la gestione delle sovrastrutture possono essere schematizzati come segue.



Figura 4.1 - Schema riassuntivo dei dati per la gestione delle sovrastrutture.

Una volta acquisiti questi dati vengono avviate le analisi e successivamente viene valutata la possibilità di intervento. Gli interventi possono essere provvisori o durevoli, per ciò che concerne la manutenzione si cerca di intervenire sempre in maniera durevole. Può tuttavia verificarsi l'esigenza di intervenire tempestivamente anche con effetti provvisori a causa di vincoli climatici, economici, ecc. I fattori in questo caso, che influenzano la scelta del tipo di intervento sono la rapidità, l'affidabilità dell'esecuzione e la disponibilità economica.

Una volta stabilito l'intervento si passa alla sua progettazione, predisponendo dei piani di intervento ottimizzati per ottenere la massima redditività nel budget a disposizione. Infine dopo la fase attuativa del piano di manutenzione viene effettuato il controllo che assume un ruolo delicato poiché coincide con il momento di acquisizione dei dati storici corrispondente al nuovo servizio ottenuto.

All'interno di questo scenario il BIM si colloca perfettamente. Nel presente lavoro si è pensato il Modello come contenitore di informazioni provenienti da rilevamenti fatti sull'infrastruttura dal momento della messa in opera e a cadenza regolare una volta aperta al traffico. L'obiettivo perseguito è quello di creare un Modello che conservi le informazioni dei rilevamenti e degli eventuali interventi di ripristino effettuati durante la vita utile della pavimentazione. In quest'ottica, oltre a fornire uno strumento che si presenta come una Banca Dati, il software permette di effettuare delle analisi (a posteriori) sullo stato di salute della pavimentazione nel tempo.

4.1.1 Generalità sulle prestazioni della sovrastruttura

Le funzioni di una sovrastruttura sono molteplici e si possono riassumere nella capacità della stessa di sopportare i carichi derivanti dal traffico garantendo situazioni di sicurezza e comfort. Tuttavia la capacità di assolvere queste funzioni non è costante ma decresce nel tempo. E' necessario dunque disporre di indicatori di stato e di curve di decadimento per analizzare i dati di monitoraggio della sovrastruttura per poterne così pianificare gli interventi di ripristino. Tali indicatori di stato descrivono le caratteristiche superficiali o globali della sovrastruttura e possono essere rilevati mediante procedure specifiche.

Nell'ambito della pianificazione manutentiva, soprattutto nel caso delle infrastrutture stradali, possono essere individuate delle specifiche prestazioni che garantiscono il raggiungimento di adeguati standard di efficienza e funzionalità. Queste prestazioni possono essere di tipo strutturale, funzionale o globale. Le prime sono legate alla durabilità dell'infrastruttura ed espresse in termini di capacità portante della sovrastruttura e di resistenza nei riguardi dei fenomeni di degrado strutturale. Le seconde sono legate alla sicurezza e al comfort di guida ed espresse in termini di aderenza e regolarità. Le terze si riferiscono allo stato della pavimentazione nella sua interezza.

Come detto, le prestazioni di una sovrastruttura si correlano con l'attitudine della stessa a mantenere nel tempo una o più caratteristiche specifiche, ciascuna delle quali può essere espressa attraverso un parametro fisico misurabile, che assume il ruolo di indicatore di stato (IS). Nell'utilizzo di tali indicatori è importante conoscere l'evoluzione nel tempo delle condizioni della pavimentazione. La rappresentazione grafica di questo andamento avviene su base statistica in funzione delle misurazioni periodiche. A ciascun IS è possibile associare una curva di decadimento rappresentativa della perdita di prestazione e di efficienza. Le curve così ottenute possono costituire uno strumento utile per la stima della durata residua. Per far ciò è necessario essere a conoscenza di opportuni valori di soglia rappresentativi di livelli di efficienza prestabiliti. Questi valori soglia sono vincolati dal tipo di strada, dai fondi disponibili o dalle condizioni di traffico, clima e ambiente. Questo lascia intendere che difficilmente la soglia di intervento effettivo coincide con quella di sicurezza, caratterizzata da valori degli IS al di sotto dei quali possono essere compromessi gli standard di sicurezza dell'infrastruttura.



INDICE DI PRESTAZIONE
$$IP = \int_{t_0}^{t_1} IS_n(t) dt$$

I dati prestazionali, strutturali e funzionali delle sovrastrutture, sono descritti da indicatori di stato "specifici", se riferiti ad una particolare caratteristica, o "sintetici" se riferiti ad una valutazione complessiva sull'infrastruttura.

4.1.2 Indici di stato

Per le sovrastrutture stradali gli IS specifici sono riferiti alle caratteristiche intrinseche della pavimentazione in termini di portanza, regolarità, rugosità e aderenza. Per ciascuna di queste caratteristiche è stato scelto un IS da assegnare al Modello della pavimentazione di San Cesario per la raccolta dei dati.

La *Portanza* di una pavimentazione stradale viene definita come l'attitudine della stessa a reagire ai carichi ciclici indotti dal traffico, senza subire deformazioni che ne compromettano la funzionalità. Nel concetto di portanza è dunque incluso quello di rigidezza e resistenza al danno legati alle deformazioni reversibili e irreversibili. Lo stato deformativo della superficie è rappresentativo della capacità portante dell'intera struttura e non di un singolo strato. Il monitoraggio in esercizio delle condizioni strutturali della pavimentazione può avvenire mediante tecniche non distruttive. Al variare delle modalità di carico, gli strumenti tramite i quali vengono misurati i moduli elastici degli strati (E), si distinguono in apparecchiature statiche, vibranti, impulsive e dinamiche mobili. A queste ultime due categorie appartengono le apparecchiature deflettometriche che in base a diverse funzionalità, permettono una stima dei moduli di rigidezza attribuibili ai vari strati della sovrastruttura. Ciò è reso possibile grazie all'analisi denominata *backcalculation*, impiegata per l'interpretazione del bacino di deflessione

ottenuto mediate prove operate con deflettometro a massa battente (FWD). Tale procedura analitica consiste in un calcolo iterativo portato avanti fin quando la differenza tra le deflessioni calcolate e quelle misurate risultano minori di un limite prestabilito. L'analisi viene ripetuta per ciascun bacino di deflessione rilevato all'interno di un tronco omogeneo e permette di risalire ai valori medi dei moduli elastici per i singoli strati valutandone quindi la loro capacità portante. Questi valori vengono poi confrontati con quelli assunti in progetto e permettono di valutare il decadimento strutturale della pavimentazione.

La *Regolarità* della pavimentazione è la caratteristica che meglio descrive lo stato di degrado superficiale poiché legata alla percezione generale da parte dell'utente durante l'uso dell'infrastruttura. Le cause che determinano la perdita di regolarità sono da attribuire principalmente ai carichi dovuti al traffico, agli effetti ambientali, alle caratteristiche dei materiali impiegati e ai difetti di posa in opera. Le irregolarità superficiali caratterizzate da lunghezze d'onda ridotte sono riconducibili a difetti localizzati, mentre se caratterizzate da lunghezze d'onda di dimensioni maggiori sono attribuibili a difetti di tipo strutturale. I metodi di misura della regolarità sono basati sul rilievo del profilo della pavimentazione o dalla risposta di veicoli strumentati.

L'indice IRI (International Roughness Index) riassume matematicamente il profilo longitudinale della superficie stradale lungo la traccia di una ruota, rappresentando le vibrazioni, in termini di spostamento delle masse, dovute all'irregolarità della pavimentazione. Il profilo di tali irregolarità rappresenta l'input di un modello semplificato di autoveicolo, il Quarter-Car Simulation, caratterizzato da specifici parametri assegnati ad un veicolo ideale che viaggia a 80 km/h. A tale velocità l'IRI risulta essere più sensibile alle lunghezze d'onda che provocano le vibrazioni nei veicoli stradali in condizioni medie di impiego.



Figura 4.3 - Modello Quarter-Car Simulation.
$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L |z_s(x) - z_u(x)| dx$$

Tale valore è caratteristico di un singolo profilo longitudinale, fornisce un giudizio globale sulla pavimentazione rappresentativo del comfort di guida ed è fortemente sensibile alla lunghezza della sezione presa in esame. La sperimentazione ha portato alla definizione di una lunghezza ideale del profilo pari a 320 m ed ha identificato degli intervalli di valori ottimali in funzione dei quali è possibile classificare la qualità della superficie dell'infrastruttura.



Figura 4.4 - Intervalli di valori indice IRI in funzione della tipologia di infrastruttura.

IRI [m/km]	Qualità	Commento
≤ 0,6	Buona	Assenza di irregolarità
0,7 - 2,0	Sufficiente	Presenza di alcune irregolarità
2,1 - 3,4	Ragionevole	Irregolarità importanti
3,5 - 4,9	Insufficiente	Necessità di manutenzione
≥ 5,0	Cattiva	Manutenzione urgente

Tabella 4.1 - Livelli di regolarità delle pavimentazioni.

E' bene sottolineare che per le caratteristiche con le quali è stato concepito, cioè validità, correlazione standard tra diversi metodi di misura della regolarità e compatibilità, l'IRI è stato assunto come scala di riferimento internazionale, a cui altri indici possono riferirsi.

Per quanto riguarda l'*Aderenza*, questa ricopre un ruolo importante nell'ambito della sicurezza stradale. Uno studio dell'ISTAT ha dimostrato come anche la strada può ricoprire un ruolo di causa o concausa non trascurabile, negli incidenti stradali. L'Aderenza è intesa come la forza orizzontale che si scambiano pneumatico e pavimentazione, è proporzionale al carico verticale agente sulla superficie ed è funzione delle condizioni ambientali e dello stato delle superfici che interagiscono. Uno strumento ad alto rendimento che consente di valutare in continuo l'aderenza della superficie stradale è lo SCRIM (Sideway-force Coefficient Routin Investigation Machine) la cui struttura prevede l'impiego di una ruota trainata caratterizzata da un angolo di deriva prefissato (20°).



Figura 4.5 - Schematizzazione strumentazione SCRIM.

La misura di aderenza rilevata in tal modo è tradotta in termini di CAT (Coefficiente di Aderenza Trasversale) definito dalla seguente relazione:

$$CAT = \frac{F_a}{P}$$

Il rapporto tra l'aderenza trasversale (Fa) e il carico verticale (P) restituisce un valore adimensionale che non deve essere inferiore ad un valore prestabilito.

CAT=N/P	- P=350 kPa - V=60 km/h - Δ L=10 m \Rightarrow media	a su 50 m - 5	S=20 kr	n/h
Categoria	Caratteristiche del tracciato	V di prova	CAT	
Difficile	Intersezioni Curve con raggio minore di 150 m in strade extraurbane Pendenze maggiori del 5% Approccio ad intersezioni semaforizzate su strade extraurbane	50 km/h	≥0.55	
Media	Autostrade e strade extraurbane principali (Vp > 95 km/h)	80 km/h	≥0.45	
Leggera	Altre strade extraurbane in rettifilo e con basse pendenze	50 km/h	≥0.40	

Tabella 4.2 - Valori limite CAT (CNR 147/92).

L'aderenza offerta da una pavimentazione a basse velocità (< 50 km/h) dipende soprattutto dalla microtessitura superficiale, pertanto è strettamente correlata ad essa. Alle alte velocità invece l'aderenza è influenzata dalla macrotessitura. Quest'ultima interessa distorsioni di lunghezza d'onda caratteristica compresa tra 0.5 e 50 mm ed è funzione della distribuzione granulometrica degli aggregati posti in superficie. Un metodo per la valutazione diretta della macrotessitura della pavimentazione è quello del'altezza di sabbia (HS). Questo parametro è definito come il rapporto tra un volume noto di sabbia e la superficie che esso occupa quando viene distribuito sulla pavimentazione stradale.



Figura 4.6 - Altezza di sabbia valutata come rapporto tra il volume di sabbia e la superficie occupata sulla pavimentazione.



Tabella 4.3 - Valori limite HS (CNR 94/83).

La tessitura superficiale dunque può essere utilizzata per valutare la capacità della pavimentazione di fornire in ogni condizione, atmosferica e di guida, una adeguata aderenza al contatto pneumatico-strada.

Ogni ente proprietario di una rete stradale dovrebbe conoscere la funzionalità del proprio sistema per poter programmare gli interventi manutentivi. I parametri sopra descritti sono dipendenti dal tempo e strettamente legati a diversi fattori, tra cui il decadimento delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali usati, l'accumularsi di deformazioni irreversibili e le variazioni climatiche e di traffico. Risulta essere dunque indispensabile conoscere e monitorare l'andamento nel tempo degli indicatori di stato per poter intervenire in maniera ottimale minimizzando le entità degli interventi e di conseguenza i costi.

4.2 Approccio metodologico e applicazione al caso studio

4.2.1 Dati Identificativi e Prestazionali

I parametri utilizzati da Revit sono in grado di memorizzare e comunicare le informazioni di tutto il Modello. E' possibile inoltre utilizzarli per modificare elementi e per comunicare informazioni agli abachi. I parametri disponibili sono essenzialmente di tre tipi: di progetto, condivisi o globali.

I primi risultano essere dei contenitori di informazioni, sono specifici del progetto e per questo non possono essere condivisi esternamente. E' possibile usarli all'interno degli abachi ed aggiungerli a più categorie di elementi all'interno dello stesso progetto.

I secondi, quelli scelti per il modello di San Cesario, sono utilizzabili in più famiglie e progetti. Vengono memorizzati su un file .txt esterno e per questo possono essere riutilizzati in Revit da altre famiglie o altri progetti. Grazie all'utilizzo di questi parametri è possibile creare un abaco per diverse categorie di famiglie all'interno di un unico progetto.

Infine i terzi sono attribuiti ad un solo file di progetto ma non sono assegnati ad una categoria di elementi come i parametri di progetto. Possono essere dei valori semplici, ricavati da formule o ricavabili dal modello mediante altri parametri globali.

Come detto, sono stati scelti i parametri condivisi che possono essere creati all'interno del progetto o nell'editor Famiglie, possono essere organizzati in gruppi per suddividerli in categorie e, comparendo all'interno degli abachi, possono essere compilati e aggiornati durante il lavoro. Sono uno strumento dinamico e di valido aiuto se si vuole utilizzare gli stessi parametri per file o famiglie diverse. Sebbene non vi siano categorie specifiche per l'infraBIM, è possibile individuare delle alternative e raggruppare tali parametri per tipologia.

Come è stato ampiamente specificato nei capitoli precedenti, il modello BIM risulta essere una rappresentazione alla quale è possibile aggiungere informazioni, riguardanti il progetto, che possono essere richiamate all'occorrenza. Mediante gli Abachi è possibile richiamare queste informazioni visualizzandole in forma tabellare.

Gli Abachi sono considerati delle Viste, una sorta di fotografia che inquadra il modello e che è in grado di aggiornarsi in tempo reale ogni qual volta venga effettuata una modifica. Funzionando allo stesso modo, anche gli Abachi riportano qualsiasi informazione che riguarda il modello "fotografato" e si aggiornano in caso di variazioni.

$\mathbf{g} \otimes \mathbf{g} \oplus \cdots \oplus \mathbf{g} = \mathbf{g} \oplus g$	·> E 6 B·+ I	avmentasione San Cesario (Fea - Aliaco: Caratteri	diche de Materiali 🔹 🖡 🔍 🖓 🖓 🖉	mananestee 的复数的	Accel: • 🕱 🕥 • 🕳 🗗
Architettus Mentus Sitemi Insecci Arreits	Analista Volumentie e planamenta Coll	above Viste Gestruct Moduli applianthei	EDUCoder Sutes Blance EDU Cre Model	ka Vedifica altacis/quantita (x)	
De Villebelde Castes Till Matter beer v	nume Coloque andered) 🕐 🥂 🖄 Vere di pienta - 🗎	Yeta di deegro	Tevela La Cologne (20)	5 6 7 8
Models Models (199 Files	Rendering net cloud the	a James Detreges @ Passette . 3	Duplica viza * Abarn/Quartza	Care De Revisions 1	cambia, Cheuds 🗠 Interface
vigta BE Lines 2053	Raccella di sendering X		Legende *	III Secto mide III .	Frazhs domanti navcezili 🗧 uterta
Seleziona • Grafica	 Frecertazione 	Cas	Aliaca grafico dei pitarb	5 Companione tavela	Freche
Modifica abecorquantità			1000		
Provietá	×	Construction of the second statement of	Computo dei material		- 9
		«Garatteristiche dei Material	P D		
Alaco	- A Farge T	B C D pod trateae Tac diAggregeo Teo di Legente	h Legene	Β	
and a state of the state of a state of the s	Parimentazione Usura, 5114		Elecco amotadore	The second se	
Papera Caraterine de Material	Parimentatione Dottolase_QAA		6	13	
Mytele et/a	* Perinentajiore Dase RA1		LEE CHILD VIE		
Nome vita Caratteritiche de Miterali				the second s	
Dipendenza Indipendente	6				
Fesi A	6				
Filte delle fasi Mostra tutto	6				
Fase Usure	C .				
Alter I	£				
Cirio Mushe					
Outerments Transmonter	6				
Icenstance Marker	C-I				
Ascetto Mosfice					
	*				
Ouide alle proprieta Applie a					
Revenue di progetto - Revonestadore Suo Cataco - Fasi	×				
⊕ [o], viste (turso)	-				
III - Fiarce dei pavreenti.					
Flanimetia					
Viete 30					
-0					
C. Press					
fv					
News					
Ovesi					
Sud					
- Engende					
E Alach/Quankà					
Catatienistiche dei Materiali					
Caratteristiche Preutazional					
LID Tavole Outoo					
a foi Grand					
Colonarrow Brut					
Provie	fr.	- 4 6 8	Voorio procpile +		7 - 3 - 5 C - 5 O 7 a

Figura 4.7 - Abaco "Caratteristiche dei Materiali".

Tra i vantaggi offerti dall'uso degli Abachi, spicca la loro bidirezionalità. E' possibile infatti aggiornare il modello intervenendo sugli abachi e viceversa. Questo è un aspetto molto positivo, vista anche la possibilità di esportare e importare i dati degli abachi tramite excel. Inoltre si aggiornano in relazione alle Fasi di lavoro mediante le quali è possibile gestire la temporalità del progetto, dalle tempistiche di cantierizzazione agli interventi di recupero su più lotti successivi.

Oltre alle caratteristiche geometriche della sezione che è possibile estrapolare dalle singole famiglie, sono stati creati dei Parametri Condivisi divisi in "Caratteristiche dei Materiali", "Indici Prestazionali" e "Dati Geometrici". Ciascun parametro è stato assegnato ad una categoria al cui valore è allegata l'unità di misura (quando presente).

ie parametri contrivisi.		
C:\Users\Spadavecchia\Desktop\Anna\Tesi\Pavimentazione Sa	Sfoglia	Crea
Gruppo di parametri:		
Indici Prestazionali	•	
Parametri:		
CAT	Para	metri
E HS		NUOVO
IRI		Proprietà
		Sposta a
		Elimina
	Grup	pi
		Nuovo
		Rinomina
		Elimina

Figura 4.8 - Parametri condivisi del gruppo Indici Prestazionali.

Gli indici di aderenza (CAT) e regolarità (IRI) sono stati assegnati alla categoria "Comune" con valore corrispondente a "Numero" [Adimensionale]. Il Modulo Elastico è stato assegnato alla categoria "HVAC" (parametri relativi a impianti di condizionamento, riscaldamento e ventilazione) con valore corrispondente a "Pressione" [MPa]. Anche l'indice della macrorugosità superficiale è stato assegnato alla categoria "Comune" ma con un valore "Lunghezza" [mm].

C: \Users \Spadavecchia \Desktop \Anna \Tesi \Pavimentazione Sa	Stoglia Crea
ruppo di parametri:	
Caratteristiche dei Materiali	•
arametri:	
% Legante	Parametri
% vuoti Materiale	NUOVO
Stabilità Marshall Tipo di Aggregato	Proprietà
Tipo di Legante	Sposta a
npo di Matenale	
	Elimina
	Gruppi
	Nuovo
	Rinomina
	Elimina

Figura 4.9- Parametri condivisi del gruppo Caratteristiche dei Materiali.

Per quanto riguarda queste caratteristiche, tutte sono state assegnate alla categoria "Comune" tranne la Stabilità Marshall che è stata assegnata a "Strutture" con valore "Massa" [kg]. Infine per le percentuali delle miscele è stato attribuito il valore "Numero" stavolta espresso proprio in percentuale.

ile parametri condivisi:	
C: \Users \Spadavecchia \Desktop \Anna \Tesi \Pavimentazione Sa	Sfoglia Crea
ruppo di parametri:	
Dati Geometrici	•
arametri:	Decementri
Spessore Superficie	Nuovo
Volume	Proprietà
	Proprieta
	Sposta a
	Elimina
	Gruppi
	Nuovo
	Rinomina
	Elimina

Figura 4.10- Parametri condivisi del gruppo Dati Geometrici.

Per quanto riguarda i materiali è possibile associarne uno di default presente nella libreria di Revit o crearne uno nuovo. In questo secondo caso è possibile inserire il nome del materiale e altre informazioni sullo stesso, dal nome del produttore al costo ecc. Per lo strato di Sottobase è stato creato un materiale "Misto Cementato" mentre per Usura, Binder e Base è stato creato un "Conglomerato bituminoso". Inoltre l'assegnazione di un colore agli strati facilita la visione della pavimentazione nel suo insieme.



Figura 4.11 - Scheda di scelta dei materiali e relative informazioni.

Una volta scelti i parametri condivisi e creati gli abachi è possibile compilarli in diversi modi. Nell'eventualità si fosse a conoscenza dei dati di progetto o di rilevamento, è possibile inserirli negli abachi manualmente o compilando i campi relativi alle proprietà dello strato che compaiono una volta selezionato. Dal punto di vista pratico è più probabile trovarsi nel caso in cui questi dati vengano forniti dalle ditte che eseguono i rilevamenti. Tuttavia nell'ambito lavorativo le strumentazioni BIM non sono ancora parecchio diffuse e conosciute da tutti gli operatori del settore. In quest'ottica si è pensato di aggirare il problema generando un file excel standardizzato che possa essere agevolmente compilato da ditte esterne e successivamente importato sul Modello che a questo punto si aggiornerà con le nuove informazioni.

In questo modo si è trovato un punto di incontro tra l'effettiva accessibilità ai programmi BIM e la necessità di aggiornare il Modello nella maniera più rapida e precisa possibile.

9		1	Parimentatione Sat	Cesario Jan - Werecoft Lice	8					> (0
-	Home Interior Layout dipagina Formula	e Duti Revisione Visualizza		-		and a literature of the	1275 2.3		A	9 - 7 X
Incal	Caten 11 A A	Terto a capo	Generale -	Itagone Formatta	ore non v. Vak	re valido incensa three		bemplesento -	ZI UN	k
	Apount G Calattere	Alicementa	Numeral To	zionale * come tabella *	308	Crit	. 4	ancella * Modil	e filtra * solezio Ica	58*
-	82 • 🕝 🔏 Famiglia									
	В	С	D	E	F	G	н	1	J	ĸ
2	Famiglia	Tipo di Materiale	Tipo di Aggregato	Tipo di Legante	% Legante	Stabilità Marshall	% Vuoti			
3	Pavimentazione Usura_RA4				0	0.000 kg	0			
4	Pavimentazione Sottobase_RA4				0	0.000 kg	0			
5	Pavimentazione Base_RA4				0	0.000 kg	0			
6	Pavimentazione Binder_RA4				0	0.000 kg	0			1
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
10										-
10										
10										
20										
20										
27										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
	Carattenstiche dei Haterial				1.1			1.0000000000000000000000000000000000000		

Figura 4.12 - Layout file excel esportato da Revit per la compilazione degli abachi.

Export/ImportExcel 18.0.0.0	
Export Import	
Import Elements From Excel File	
File: C:\Users\Spadavecchia\Desktop\Caratteristiche dei Materiali.xls)	Browse
Caratteristiche dei Materiali	
Check All Check None	
BIMOne	Cancel
Do you need help? Do you want to report an issue? Email us at: Support@BDMOne.com	

Figura 4.13 - Finestra di dialogo per import/export dei file excel per la compilazione degli abachi.

	<ca< th=""><th>ratteristiche de</th><th>ei Materiali></th><th></th><th></th><th></th></ca<>	ratteristiche de	ei Materiali>			
A	В	С	D	E	F	G
Famiglia	Tipo di Materiale	Tipo di Aggregato	Tipo di Legante	% Legante	Stabilità Marshall	% Vuoti
Pavimentazione Usura_RA4	Conglomerato bituminoso	Materiale da cav	Asfalto, bitume	5	12.00 kg	3
Pavimentazione Sottobase_RA4	Misto cementato	Misto granulare	Cemento	3		
Pavimentazione Base_RA4	Conglomerato bituminoso	Materiale da cav	Asfalto, bitume	4	9.00 kg	4
Pavimentazione Binder_RA4	Conglomerato bituminoso	Materiale da cav	Asfalto, bitume	4	10.00 kg	5

Figura 4.14 - Abaco "Caratteristiche dei Materiali" una volta aggiornato con i dati provenienti dall'esterno.

Sebbene i parametri siano stati "adattati" a quelli presenti in Revit e la compilazione degli abachi non sia immediata, ci si può ritenere soddisfatti del livello di dettaglio raggiunto. Il Modello così costituito si presta ad immagazzinare le informazioni necessarie alla pianificazione della manutenzione.

4.2.2 Studio delle fasi

Molti progetti vengono pianificati ed eseguiti per fasi, ciascuna delle quali rappresenta un periodo della vita del progetto. Con Revit non è possibile inserire la variabile "Tempo" nei progetti, ma è possibile comunque tenere traccia delle modifiche apportate al Modello strutturando le "Fasi" e aggiornando di conseguenza Viste e Abachi. Ciò che ne risulta è una schematizzazione visiva di ciò che avviene all'opera dal suo concepimento fino alla sua dismissione.

Ad ogni Vista è possibile associare una Fase che si aggiornerà in funzione delle modifiche effettuate sul Modello. In prima battuta, a ciascun elemento del progetto vengono assegnate due proprietà: Fase di creazione e Fase di demolizione. La prima corrisponde all'inserimento dell'elemento nel progetto, la seconda corrisponde al momento, non sempre presente, della sua eliminazione.

Tuttavia questa impostazione viene effettuata per ogni elemento selezionato all'interno delle Fasi stesse. E' bene dunque, per non creare confusione, scegliere e settare le fasi all'inizio del progetto e di conseguenza lavorare con queste impostazioni fin dal principio. Durante l'esercizio dell'infrastruttura è possibile aggiungere nuove fasi e di conseguenza aggiornare il Modello.

si del p	orogetto Filtri delle fasi di lavoro Sostituzioni	grafica		
	PA	OTASS		
	Nome	Description		
	Storura cottobaco	Dati di progetto	Inserisci prima	
	Sterura base	Dati di progetto		
	Stesura binder	Dati di progetto	Inserisci dopo	
	Stecura ucura	Dati di progetto	Combina con:	
	Collaudo specifico della sovrastruttura	Rilievo e confronto con i dati di progetto prima dell'anertura al traffico	Combina con.	
_	Rilievo 1	Primo rilievo dono l'anestura al traffico	Precedente	
	Rilievo 2		Successiva	
	Rilievo 3			
	Bilievo n			
	Intervento 1	Primo intervento dopo il superamento del valore di soglia dell'i esimo indice di stato		
	Biliavo n+1			
	Rilievo n+i			
-	Intervento n			
<u> </u>				
	FL	πuro		
			anlica 2	
			pplica ?	

Per il progetto di San Cesario sono state scelte le fasi seguenti:

Figura 4.15 - Fasi scelte per il Modello di San Cesario.

Dalla stesura dello strato di Sottobase fino a quello di Usura i dati da inserire sul Modello saranno quelli del progetto. La Fase "Collaudo specifico della sovrastruttura" coincide con la fase di test e collaudo prima dell'apertura al traffico, qui si prevede l'inserimento dei dati della prima rilevazione eseguita una volta ultimata la pavimentazione, per controllare che siano state rispettate le specifiche di progetto. Da questo momento in poi il Modello verrà arricchito con un determinato numero di Fasi contenente i rilievi da effettuare a cadenza regolare come previsto dal Piano di Manutenzione.

02.01.03.C01 Controllo carreggiata	
	Desire 5
	ر منبعه :
	Manuale di Manutenzior
Cadenza: ogni mese	
Tipologia: Controllo	
Controllo dello stato generale. Verifica dell'assenza di eventuali bu pendenza, fessurazioni, ecc.). Controllo dello stato dei giunti. Contr banchina.	che e/o altre anomalie (cedimenti, sollevamenti, difetti di collo dell'integrità della striscia di segnaletica di margine verso la
Requisiti da verificare: 1) Accessibilità.	
Anomalie riscontrabili: 1) Buche; 2) Cedimenti; 3) Sollevamento,	; 4) Usura manto stradale.
• Ditte specializzate: Specializzati vari.	
MANUTENZIONI ESEGUIBILI DA PERSON	VALE SPECIALIZZATO
02.01.03.I01 Ripristino carreggiata	
Cadenza: quando occorre	
Riparazioni di eventuali buche e/o fessurazioni mediante ripristino : con l'impiego di bitumi stradali a caldo. Rifacimento di giunti degra	degli strati di fondo, pulizia e rifacimento degli strati superficiali adati.

Figura 4.16 - Estratto del Manuale di Manutenzione del progetto di San Cesario sul Panaro, indicanti le specifiche sul controllo della carreggiata.



Figura 4.17- Estratto del Manuale di Manutenzione del progetto di San Cesario sul Panaro, indicanti le specifiche sul controllo del manto stradale.

Nel caso in cui gli indicatori di stato scendano al di sotto della soglia di intervento, verranno inserite delle fasi corrispondenti all'intervento da effettuare con i relativi dati aggiornati.

Non è possibile effettuare il controllo del valore degli indici di stato tramite Revit. Bisognerà monitorarli dunque esternamente e aggiornare il Modello di conseguenza, avendo già in mano i dati necessari.

Utilizzare le Fasi significa conservare "lo storico" dei dati inseriti nel Modello. Non sarà dunque necessario creare un archivio informativo esterno poiché è il Modello stesso ad essere in grado di fornirlo.

Il numero delle Fasi presenti nel progetto non influisce sul rendimento finale. Un aspetto da tenere particolarmente in considerazione è che ogni elemento all'interno di ciascuna Fase corrisponde ad uno "stato", che può essere :

- esistente, se creato un momento precedente;
- nuovo, se creato nella Fase alla quale si sta facendo riferimento;
- *demolito*, se abbattuto nella Fase di riferimento;
- *temporaneo*, se costruito o demolito sempre nella fase di riferimento.

In generale lo stato degli elementi dipende dalla Fase impostata nella Vista.

Altro concetto importante utilizzato nel Modello di San Cesario è quello dei "Filtri delle Fasi". Questi ultimi sono delle sostituzioni della grafica degli oggetti prendendo in considerazione lo stato dell'elemento e cambiandone il comportamento della grafica con cui è rappresentato. Tale cambiamento è funzione del settaggio del filtro sull'oggetto e può essere:

- per categoria, le sue impostazioni grafiche rimangono immutate rispetto agli stili degli oggetti prestabiliti;
- *sostituito*, la grafica viene sostituita;
- non visualizzato, l'elemento non viene visualizzato nella vista.

Gli elementi assumono così colorazioni differenti nelle varie Fasi e permettono di individuare rapidamente le modifiche apportate.

Di seguito sono riportati alcuni esempi di come si aggiorna il Modello di San Cesario cambiando le Fasi.



Figura 4.18 - Particolare degli strati di pavimentazione del Tratto RA4, nella Fase "Stesura Usura".



Figura 4.19 - Pavimentazione del Tratto RA4, nella Fase "Intervento_1". E' possibile vedere evidenziati in giallo i tratti interessati dall'intervento di ripristino delle condizioni iniziali.

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Durante lo svolgimento del presente lavoro di tesi, si è perseguito l'obiettivo di individuare delle metodologie BIM che potessero essere utilizzate per le Infrastrutture. Partendo dallo studio dei software BIM messi a disposizione dalla società *ICON Ingegneria* è stato affrontato il tema dell'infraBIM. Gran parte dei software oggi in commercio sono stati concepiti per l'edilizia e l'architettura, solo di recente si sta ampliando il loro utilizzo anche al settore delle Infrastrutture.

Per prima cosa si è cercato di indirizzare lo studio nella ricerca dell'utilizzo ottimale dei software BIM per la trasposizione di una infrastruttura stradale partendo dal CAD e al contempo, di verificare come i software infraBIM, rispecchino realmente le esigenze progettuali. Ciò che è emerso da questa prima fase di studio è che non sia ancora possibile prescindere dall'utilizzo del CAD durante la progettazione. Troppi sono infatti i limiti che si incontrano nell'utilizzo di software come Civil 3D, nonostante si intuiscano le potenzialità dello stesso.

Secondo punto di fondamentale importanza per questo tema è l'interoperabilità dei formati. Sebbene si stia andando incontro all'utilizzo di un unico formato, l'IFC, accessibile a tutte le figure che ruotano attorno al processo edilizio, è ancora carente il suo sviluppo e la sua praticità. Si è cercato dunque di aggirare i problemi legati all'interoperabilità mediante un approccio metodologico che possa essere applicato in maniera standard a prescindere dall'utilizzo dello specifico software.

Il progetto stradale è stato trasposto in ambiente BIM in due tempi diversi e con differenti metodologie. In principio è stato affrontato uno studio classico "rigoroso", successivamente ci si è concentrati sulla sola sovrastruttura stradale andando a ricreare dei solidi per ogni strato della pavimentazione. Questo secondo passo è stato necessario per poter testare la potenza del BIM nell'immagazzinare informazioni che possano essere utilizzate in un secondo momento. Una volta creato il corridoio stradale, sono state attribuite ai singoli strati della pavimentazione delle informazioni di tipologia differente. Il Modello dunque si presenta come un contenitore di informazioni di carattere geometrico e funzionale, capace di aggiornarsi e conservare lo storico delle modifiche effettuate. Questo aspetto è stato approfondito, nell'ottica di rendere il Modello uno strumento utile nell'ambito della gestione e manutenzione dell'opera.

Come già ampiamente discusso, la normativa prevede un adeguamento alle strumentazioni BIM di tutte le nuove opere. Ciò pone delle grosse sfide ai progettisti ed in particolare a quelli a vario titolo operanti nella progettazione infrastrutturale. E' dunque importante ricercare metodologie nuove per l'ottimizzazione dei tempi, dei costi e in generale delle risorse a disposizione.

Le prospettive di sviluppo più interessanti dell'infraBIM riguardano gli aspetti legati alla redazione dei Piani di gestione e manutenzione dell'opera. In tale contesto il BIM può

rivelarsi uno strumento in grado di agevolare tutte le fasi del ciclo di vita dell'opera stessa che vanno dalla progettazione esecutiva (ove per sua natura si colloca la redazione dei suddetti Piani), alla cantierizzazione fino all'esercizio vero e proprio.

L'impianto generale del presente lavoro è stato impostato in modo tale da poter essere approfondito e implementato con varie modalità. In tale ottica si vuole guardare al futuro ricercando soluzioni che arricchiscano il Modello con strumenti analitici previsionali in grado di tracciare gli andamenti evolutivi delle caratteristiche prestazionali nel tempo, da utilizzarsi in chiave predittiva. Si vuole cioè giungere ad un sistema cui possano essere inseriti e aggiornati i dati relativi agli indicatori di stato affinché si possano prevedere e pianificare con anticipo gli interventi manutentivi e/o di ripristino delle condizioni strutturali e funzionali della pavimentazione.

Sebbene il Modello realizzato si possa definire quasi "rudimentale", risponde a quelle che sono state le ipotesi iniziali. Le strade per giungere ai medesimi risultati possono tuttavia essere molteplici, alcune più immediate, altre più approfondite. Ma lo scopo perseguito dal principio, e almeno in gran parte raggiunto, è stato quello di trovare una (delle tante) soluzioni per creare un Modello che rispondesse all'esigenza di immagazzinare informazioni da utilizzare in ambito manutentivo.

Si può dunque concludere che la strada da percorrere è ancora parecchio lunga, ma nel complesso le basi della ricerca sono state gettate e l'auspicio è di poter accrescere sempre di più le conoscenze in materia di infraBim, cercando così di sfruttare al meglio le potenzialità che tale settore ha da offrire.

Bibliografia

Anafyo (2016), *II BIM in Italia: un quadro della situazione.* Technical report, Anafyo.

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

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

Autodesk, *Revit 2017 per l'architettura. Guida completa per la progettazione BIM.*

S. Azhar, M. Khalfan, T. Maqsood, *Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond.*

A. Borrmann, M. Obergriesser, *Infrastructural BIM Standards - Development of an Information Delivery Manual for the geotechnical infrastructural design and analysis process.*

F. Canestrari, La pianificazione della manutenzione stradale.

E. Cesolini, S. Drusin, *La capacità portante delle pavimentazioni misurata ad alto rendimento e collegata al capitolato d'appalto prestazionale ANAS.*

M. Coghe, Il BIM per le infrastrutture. Concetti di base e sviluppi futuri.

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

McGraw-Hill Construction. (2012). *The Business Value of BIM for Infrastructure: Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology.*

A. Osello et al, **BIM GIS AR per il Facility Managment**, Dario Flaccovio Editore, 2015.

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

F.A.Santagata et al, *STRADE Teoria e tecnica delle costruzioni stradali. Costruzione, gestione e manutenzione,* Pearson, 2016.

B. Succar, Building Information Modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders.

E. Volta Becadelli Grimaldi, Il dimensionamento delle pavimentazioni stradali.

T. Dalla Mora, F. Peron, F. Cappelletti, P. Romagnoni, P.Ruggeri, *Una panoramica* sul Building Information Modelling (BIM).

D. Evans and Associates, *A new road for infrastructure projects InfraWorks 360 helps David Evans and Associates plan, design, and communicate infrastructure projects.*

G.Tesoriere, G. Boscano, Strade Ferrovie Aeroporti, UTET.

M. Agostinacchio, D. Ciampa, S. Olita, Strade Ferrovie Aeroporti, EPC Libri.

Normativa di riferimento

ISO 16739:2013 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.

Repubblica Italiana (2010), **d.P.R. 5 ottobre 2010 n. 207**, Articoli che restano in vigore nel periodo transitorio fino all'emanazione delle linee-guida ANAC e dei decreti del MIT attuativi del d.lgs. n. 50 del 2016. Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».

Repubblica Italiana (2016). **D.Lgs. 50/2016**, Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/ UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché' per il riordino della disciplina vigente in materia di con-tratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture.

Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792 (S.O. n.5 alla G.U. n.3. del 4.1.02) Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade

Sitografia

https://www.aiacontracts.org/

http://allaboutbim.blogspot.com/

https://www.buildingsmart.org/

https://revitbeyondbim.wordpress.com/

http://au.autodesk.com/

https://forum.dynamobim.com/

https://dynamonodes.com/

https://forums.autodesk.com/

http://www.gisinfrastrutture.it/

http://help.autodesk.com/view/RVT/2017/ITA/

http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2019/ITA/

https://www.treddi.com/forum/topic/120560-dynamo-concetti-base/

http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ITA/?guid=GUID-F45641B0-830B-4FF8-A75C-693846E3513B

http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2018/ITA/?guid=GUID-C569F4E7-D548-410E-B7D6-942A927FFD0B

Ringraziamenti

L'ultimo anno è stato un susseguirsi di emozioni e soddisfazioni personali difficili da descrivere. Giunta al termine di questo lavoro trovo doveroso fare alcuni ringraziamenti.

In primis vorrei ringraziare il Prof. Baglieri per avermi guidato con competenza e professionalità durante tutto il percorso di tirocinio e tesi, per i suoi consigli sempre puntuali e mirati e per la sua fiducia nei miei confronti. Grazie anche alla Prof.ssa Osello, per il suo modo coinvolgente di insegnare e per la sua capacità di farmi conoscere e appassionare al mondo del BIM.

Vorrei dunque ringraziare l'Ingegner Benincasa e tutta la società ICON Ingegneria srl per avermi dato l'opportunità di svolgere la mia prima vera esperienza lavorativa presso uno studio di alto livello professionale. Un ringraziamento particolare va a Franco, Davide e Salvo per aver messo a mia disposizione le vostre competenze e per avermi accolta con la vostra simpatia.

Il ringraziamento più grande va ai miei genitori. A mia madre, per avermi sempre sostenuta e per avermi insegnato "a nuotare quando la vita si fa dura". E a mio padre, per essere stato una roccia nel momento più difficile delle nostre vite e per aver creduto in me nonostante le difficoltà incontrate durante il mio percorso. Le parole non sono abbastanza per ringraziarti, per cui spero che questo mio traguardo sia per te motivo di orgoglio.

Grazie a Salvatore, Grazia, Caterina e Alessandro, non avrei potuto desiderare fratelli migliori di voi. Mi avete sostenuto fin dal primo giorno, mi avete supportata, consigliata e aiutata durante questi anni. Mi siete stati vicini quando la strada si è fatta più ripida e mi avete insegnato tanto con il vostro esempio. Grazie per esserci stati sempre, per le lunghe chiacchierate, per i pomeriggi di bricolage, per le continue battute, per le passioni condivise e per il vostro immenso amore.

Un sentito grazie va a coloro con cui ho condiviso questo percorso dall'inizio alla fine: i miei amici.

Alessandra, non credo ci siano parole sufficientemente adeguate per esprimerti quello che sei stata per me in questi anni. Casa Fissore è diventata veramente "Casa" grazie al tuo sostegno, alle tue parole, ai tuoi consigli e ai tuoi regali dopo ogni mio esame. Abbiamo condiviso insieme (anche) questo "cammino" e se sono riuscita ad arrivare fin qui con la serenità di chi si sente a casa anche a 1600 km di distanza, lo devo a te.

Chiarina, per non aver mai smesso di essere la mia "compagna di banco", per essere stata sempre presente e pronta ad aiutarmi e per essere stata al mio fianco in ogni mia scelta anche quando le nostre strade hanno preso percorsi diversi, perché "la distanza non è mai esistita".

Giulia, per essere stata una carica di energia positiva, per le nostre chiacchierate e per essere stata sempre premurosa nei miei riguardi.

Maria, perché sei stata più che un'amica, una sorella sempre dalla mia parte, pronta a sostenermi e a spronarmi con gentilezza e affetto.

Angelo, per avermi dato sempre il tuo punto di vista professionale e da amico, anche (e soprattutto) quando era in disaccordo con il mio.

Claudio, per la tua infinita pazienza nei miei confronti, per la tua spontaneità e per avermi saputo consigliare e incoraggiare nel periodo di maggior tensione della mia carriera universitaria.

Vania, perché mi hai trasmesso tutta la tua positività e vitalità nonostante il mio carattere.

Michele e Andrea, il mitico Gruppo 5, per la vostra tagliente ironia e la vostra immensa simpatia. Grazie per avermi supportata e sopportata, perché studiare con voi è stato divertente anche nei momenti più pesanti.

Corrado, per aver condiviso con me lo studio intensivo di due delle materie più toste della magistrale e per tutte le risate tra un capitolo e l'altro.

Grazie dunque a tutti i miei colleghi dell'università con i quali ho condiviso gioie e fatiche di questi anni.

Grazie!