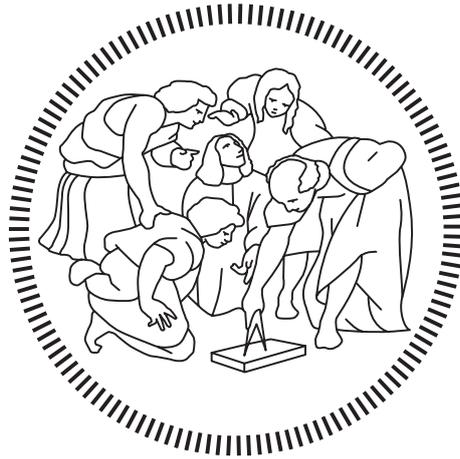


Politecnico di Milano

---

SCUOLA DI INGEGNERIA, AMBIENTE E TERRITORIO  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile – Civil Engineering  
Infrastrutture e Trasporto



# Modellizzazione parametrica delle opere d'arte minori nel progetto dell'infrastruttura stradale in ambiente BIM

Relatore:  
Prof. Emanuele TORALDO

Correlatore:  
Ing. Matteo BERNAREGGI

Tesi di laurea di:  
**Gabriele ANTINUCCI – 905095**

---

Anno accademico 2019 – 2020

# Ringraziamenti

Desidero rivolgere un sentito e affettuoso ringraziamento al Prof. Emanuele Toraldo che mi ha seguito, consigliato e dato la possibilità di affacciarmi all'ambiente del lavoro.

Ringrazio lo studio J+S per avermi dato la possibilità di crescere a livello lavorativo ed in particolare al gruppo di strutture ed infrastrutture che mi hanno accolto e trattato con rispetto e facendomi da subito sentire parte integrante del gruppo.

Ringrazio il correlatore Matteo Bernareggi per la competenza e disponibilità dimostrata nei miei confronti, ringrazio inoltre Davide Boracchi, e Andrea Rota per avere messo a mia disposizione il loro tempo e la loro preparazione.

Ringrazio la mia famiglia, parenti e amici che mi hanno sostenuto per tutto il mio percorso accademico.

Grazie.

# Abstract

Il presente elaborato di tesi tratta la definizione e attuazione delle linee guida per la progettazione delle opere d'arte minori in ambiente BIM.

Definito l'iter progettuale, tale metodologia è stata applicata ad uno specifico caso di studio, con l'obiettivo di ottenere una chiara valutazione di quali siano le potenzialità e le criticità del suddetto ambiente di lavoro ed eventuali sviluppi futuri.



# Indice dei Contenuti

<b>Ringraziamenti .....</b>	<b>II</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>III</b>
<b>Indice dei Contenuti .....</b>	<b>V</b>
<b>Indice delle Figure .....</b>	<b>IX</b>
<b>Indice delle Tabelle.....</b>	<b>IX</b>
<b>Capitolo 1 Introduzione .....</b>	<b>1</b>
<b>Capitolo 2 Building Information Modelling.....</b>	<b>3</b>
2.1 Che cos'è il BIM.....	4
2.2 LOD Level of Development .....	8
2.2.1 LOD 100.....	9
2.2.2 LOD 200.....	10
2.2.3 LOD 300.....	11
2.2.4 LOD 350.....	12
2.2.5 LOD 400.....	13
2.2.6 LOD 500.....	14
2.2.7 LOD in Italia.....	14
2.3 Le dimensioni di BIM.....	16
2.3.1 3D - Le informazioni grafiche tridimensionali.....	16
2.3.2 4D - Il tempo .....	17
2.3.3 5D - I costi .....	18
2.3.4 6D - Analisi energetica e valutazione di sostenibilità .....	20
2.3.5 7D - Ciclo di vita e manutenzione .....	20
2.4 Livelli di maturità .....	22
2.5 Interoperabilità.....	24
2.5.1 Common Data Environment (CDE) .....	25
2.5.2 Trasmissione dati in formato IFC.....	26
2.6 La piattaforma BIM .....	28
2.7 L'impiego di BIM nel campo dell'ingegneria civile .....	30
<b>Capitolo 3 Progettazione BIM di opere d'arte minori per infrastrutture stradali ..</b>	<b>31</b>
3.1 Mappa procedurale secondo metodologia BIM.....	36
3.2 Common Data Environment - CDE.....	41
3.2.1 Rilievo topografico .....	41
3.2.2 Cartografia tematica .....	42

3.2.3	Opere d'arte puntuali.....	43
3.2.4	Opere d'arte minori .....	45
-	Opere idrauliche a difesa del corpo stradale .....	45
-	La segnaletica stradale .....	48
-	Gli impianti di illuminazione stradale;.....	49
-	Dispositivi di ritenuta - puntuali.....	51
-	Stalli di sosta .....	53
3.2.5	Opere d'arte maggiori .....	54
-	Intersezioni .....	55
-	Opere in sottterraneo: gallerie .....	57
-	Opere di attraversamento dei corsi d'acqua: ponticelli e ponti.....	58
-	Opere di contenimento delle terre: gallerie paramassi .....	60
3.2.6	Opere d'arte lineari.....	62
-	Il corpo stradale .....	63
3.3	Digital terrain model – DTM.....	66
3.4	Famiglie parametriche .....	71
3.4.7	Modellazione famiglie parametriche per opere puntuali.....	73
3.4.8	Modellazione famiglia parametrica per opere lineari .....	78
3.5	Modello federato.....	80
3.5.1	Fase 1: Importazione e georeferenziazione DTM .....	82
3.5.2	Fase 2: Importazione carte tematiche territorio.....	84
3.5.3	Fase 3: Definizione assetto plano-altimetrico tracciato stradale .....	86
3.5.4	Fase 4: Generazione modello infrastruttura .....	88
3.5.5	Fase 5: Importazione e modellazione di opere d'arte maggiori ed elementi marginali .....	91
3.5.6	Fase 6: Importazione e adattamento famiglie parametriche opere d'arte minori; .....	92
3.5.7	Fase 7: Coordinamento dei modelli grafici .....	94
3.5.8	Fase 8: Definizione tavole (viste, prospetti, sezioni) .....	95
3.6	Esportazione dei dati .....	97

## **Capitolo 4 Progettazione BIM di opere d'arte minori: applicazione a un caso studio**

### **99**

4.1	Scenario di progetto.....	101
4.2	Dati di progetto – definizione CDE.....	109
4.2.1	Rilievo topografico.....	109
4.2.2	Carte tematiche.....	111
4.2.3	Opere d'arte minori .....	113
-	Scatolari.....	114
-	Tombini tubolari.....	116
-	Manufatti di imbocco e di sbocco .....	120
4.2.4	Riferimenti normativi .....	121
4.3	Elaborazione del modello digitale del terreno del tratto autostradale .....	122
4.4	Modellazione BIM in famiglie parametriche delle opere d'arte minori.....	124
4.5	Elaborazione del modello federato: applicazione ad un caso autostradale .....	135
4.5.1	Modellazione DTM .....	135
4.5.2	Importazione carte tematiche .....	136
4.5.3	Importazione Famiglie Parametriche .....	138

4.5.4	Coordinamento modelli grafici.....	141
4.5.5	Generazione tavole .....	145
4.6	Esportazione delle tavole grafiche .....	148
	<b>Conclusioni.....</b>	<b>151</b>
	<b>Allegati.....</b>	<b>155</b>
	<b>Bibliografia.....</b>	<b>157</b>
	<b>Sitografia .....</b>	<b>158</b>



# Indice delle Figure

Figura 1 - Un confronto D-B-B e D-B e vantaggi di quest'ultimo in termini di costi .....	5
Figura 2 - Vincoli per la buona progettazione .....	6
Figura 3 - La curva di MacLeamy .....	7
Figura 4 - Rappresentazione del LOD 200. (LOD Specification 2019) .....	10
Figura 5 - Rappresentazione del LOD 300. (LOD Specification 2019) .....	11
Figura 6 - Rappresentazione del LOD 350. (LOD Specification 2019) .....	12
Figura 7 - Rappresentazione del LOD 400. (LOD Specification 2015) .....	13
Figura 8 - LOD Italiani, UK e USA a confronto da Il BIM per le infrastrutture lineari .....	15
Figura 9 - Livelli di maturità BIM .....	23
Figura 10 - Processo di un CDE. (PAS 1192-2:2013) .....	26
Figura 11 - Schemi di scambio delle informazioni 2D e IFC/BIM. (IFC Standard, buildingSMART) ..	27
Figura 12 - Obbligatorietà del BIM in Italia, D.M. n. 560 MIT 1 dicembre 2017 .....	33
Figura 13 - Flusso di lavoro secondo metodologia BIM .....	37
Figura 14 - Tubi in calcestruzzo vibrocompresso .....	46
Figura 15 - Tubo scatolare in calcestruzzo prefabbricato .....	47
Figura 16 - Esempio caratteristiche lampione.....	50
Figura 17 - Tipologie di barriere .....	51
Figura 18 - Tipologia e caratteristiche degli stalli di sosta per autovetture standard .....	53
Figura 19 - Terminologia delle diverse parti di una galleria .....	58
Figura 20 - Terminologia delle diverse parti di una galleria paramassi .....	61
Figura 21 - Nuvola di punti rilievo topografico .....	66
Figura 22 - Proprietà geometriche punto topografico.....	67
Figura 23 - DTM con stile di superficie facce 3D .....	67
Figura 24 - DTM con stile di superficie curve di livello.....	68
Figura 25 - Esempio file XML .....	69
Figura 26 - DTM pre - elaborazione.....	70
Figura 27 - DTM post - elaborazione .....	70
Figura 28 - Terminologia del programma BIM .....	72
Figura 29 - Modello condotta circolare.....	74
Figura 30 - Esempio dati fisici elemento famiglia parametrica .....	76
Figura 31 - Esempio dati termici elemento famiglia parametrica.....	76
Figura 32 - Modello famiglia parametrica lineare – pavimentazione stradale .....	79
Figura 33 - Modelli di digitalizzazione del terreno DEM e DTM.....	83
Figura 34 - Esempio tracciato piano - altimetrico .....	87
Figura 35 - Associazione famiglia parametrica lineare - tracciato .....	89
Figura 36 - Esempio modello corpo stradale .....	90
Figura 38 - Sezione tipo ampliamento simmetrico alla III corsia .....	103
Figura 39 - Sezione tipo ampliamento asimmetrico alla III corsia .....	104

Figura 40 - Stralcio polilinee 3D.....	110
Figura 41 - Vista 3D Polilinee tombino esistente .....	110
Figura 42 - Planimetria sistema di drenaggio.....	112
Figura 43 - Esempio scheda opera d'arte.....	113
Figura 44 - Sezione longitudinale sostituzione e allungamento tombino scatolare .....	115
Figura 45 - Sezione trasversale sostituzione e allungamento tombino scatolare .....	115
Figura 46 - Sezione longitudinale tipologica tombino circolare.....	118
Figura 47 - Sezione longitudinale e trasversale tipologica muro di imbocco / sbocco .....	121
Figura 48 - Stralcio rilievo topografico .....	123
Figura 49 - Stralcio DTM .....	124
Figura 50 - Schema famiglia parametriche Tombini.....	125
Figura 51 - Schema famiglie parametriche Manufatti di imbocco/sbocco .....	126
Figura 52 - Pains di riferimento adottati per la modellazione di famiglie parametriche dei tombini .....	127
Figura 53 - Esempio tipologia di materiali adottati per la definizione delle famiglie parametriche .....	128
Figura 54 - Esempio impostazioni grafiche del materiale .....	129
Figura 55 - Esempio informazioni fisiche materiale .....	130
Figura 56 - Esempio parametri dimensionali tombino scatolare .....	131
Figura 57 - Esempio tabella parametri geometrici tombino scatolare .....	132
Figura 58 - Famiglia parametrica tombino circolare - vista sezione.....	133
Figura 59 - Modello parametrico: tombino circolare.....	133
Figura 60 - Modello parametrico: tombino scatolare .....	134
Figura 61 - Importazione DTM .....	136
Figura 62 - Sovrapposizione stralcio planimetrico tacciato di progetto e DTM.....	137
Figura 63 - Prolungamento tombino vista dall'alto.....	137
Figura 64 - Proprietà famiglie parametriche .....	139
Figura 65 - Adeguamento elemento scatolare. Stile visualizzazione: linea nascosta .....	139
Figura 66 - Adeguamento elemento circolare. Stile visualizzazione: ombreggiato .....	140
Figura 67 - Hard clash tra l'oggetto condotta scatolare e il manufatto di sbocco .....	141
Figura 68 - Rapporto di interferenza .....	142
Figura 69 - Vista modello federato. Stile visualizzazione: colori omogenei.....	143
Figura 70 - Vista modello federato. Stile visualizzazione: realistico .....	143
Figura 71 - Vista modello federato. Stile visualizzazione: raytrace.....	144
Figura 72 - Pianta carpenteria .....	146
Figura 73 - Sezione longitudinale carpenteria.....	146
Figura 74 - Tavola carpenteria T004.....	147
Figura 75 - Esempio impostazione layer per esportazione tavole .....	148

---

# Indice delle Tabelle

Tabella 1 - Caratteristiche del LOD 100.....	9
Tabella 2 - Caratteristiche del LOD 200.....	10
Tabella 3 - Caratteristiche del LOD 300.....	11
Tabella 4 - Caratteristiche del LOD 350.....	12
Tabella 5 - Caratteristiche del LOD 400.....	13
Tabella 6 - Caratteristiche del LOD 500.....	14
Tabella 7- Sistemazioni idrauliche in progetto.....	106
Tabella 8 - Dimensioni tubo in calcestruzzo vibrocompresso della lunghezza utile di 200 cm .....	117
Tabella 9 - Tombini circolari lotto 1.....	118



## Capitolo 1

# Introduzione

La necessità di utilizzare delle tecniche di progettazione e scambio dei dati riguardanti un'infrastruttura stradale in modo univoco tra le diverse discipline, ha portato all'introduzione di una metodologia di lavoro, già avviata nell'industria dell'AEC, detta BIM (Building Information Modeling), traducibile come "modello di informazione dell'edificio", il quale si basa su un modello virtuale (e la relativa virtualizzazione dell'intero ciclo di vita dell'edificio) in grado di creare e gestire tutte le informazioni necessarie a ottenere un approccio più efficiente rispetto alle metodologie di lavoro finora utilizzate. Questo criterio innovativo porta alla sperimentazione di nuove procedure atte alla progettazione dell'infrastruttura stradale e di tutte le opere minori annesse ad essa. Tale studio è rivolto a definire e attuare delle linee guida per la progettazione delle opere d'arte minori in tale ambiente.

Definito l'iter progettuale, tale metodologia verrà applicata al caso di studio, nello specifico un tratto autostradale oggetto di ammodernamento e ampliamento. Partendo dalle disposizioni definite in fase di progetto definitivo, si è proceduto con l'implementazione in ambiente BIM del progetto in fase esecutiva al fine di ottenere un modello rappresentativo delle opere idrauliche minori legate all'infrastruttura oggetto di intervento. Sulla base dei dati forniti dalla società incaricata del progetto esecutivo, ci si è occupati di generare un database in grado di catalogare tutte le informazioni derivanti dal progetto definitivo e allo stesso tempo che consenta la cooperazione dell'intero progetto in un unico ambiente virtuale.

Definito il Common Data Environment si è proceduto alla modellizzazione 3D della morfologia del territorio circostante all'infrastruttura avvalendosi degli elaborati grafici in formato .dwg e integrate con le informazioni .xml.

Conclusa la modellazione 3D della topografia, utilizzando i progetti riguardanti le opere idrauliche minori proposti dalla fase definitiva del progetto, si è eseguita la modellizzazione parametrica in una piattaforma BIM di tali opere, per permettere il loro successivo inserimento e adattamento, in funzione dei parametri progettuali necessari, all'interno del modello federato.

Completata la modellazione di tali elementi all'interno del modello federato, si è eseguita la definizione delle tavole raffiguranti la carpenteria di ogni singola opera idraulica oggetto di intervento.

A causa del basso livello di maturità dei software BIM dedicati al ramo dell'ingegneria infrastrutturale, ad oggi rimane necessario una cooperazione tra i sistemi BIM e i sistemi di disegno tecnico CAD per la produzione finale delle tavole tecniche. Per tale motivo ci si è concentrati sull'impostazione grafica del modello, per poi eseguire l'esportazione delle tavole in formati compatibili nella piattaforma di disegno tradizionale, per permettere il raggiungimento della qualità grafica richiesta dall'attuale settore della progettazione civile.

Si è quindi giunti a una chiara valutazione di quali siano le potenzialità e le criticità dell'utilizzo di questo tipo di metodologia di lavoro ad oggi e di quali potrebbero invece essere i suoi possibili sviluppi e migliorie.

## Capitolo 2

# Building Information Modelling

Negli ultimi anni nel settore dell'ingegneria civile, al fine di potenziare la propria produttività, si è posta l'esigenza di mutare la struttura base della progettazione e del complesso dei processi che caratterizzano la gestione del costruito. Per soddisfare questa necessità e contemporaneamente grazie al crescente sviluppo delle tecnologie informatiche, si è sviluppato il *Building Information Modelling*, meglio conosciuto con l'acronimo BIM.

Il BIM è un processo di integrazione multidisciplinare in grado di gestire informazioni di qualsiasi settore e a qualsiasi livello, attraverso uno scambio di modelli 3D (1), contenenti tutte le informazioni necessarie per la realizzazione dell'opera, le specifiche tecniche dei materiali così come fornite dai produttori, fino alla gestione dell'opera realizzata

Il modello ha bisogno essenzialmente di due caratteristiche, la prima comprende una rappresentazione tridimensionale della struttura basata su "oggetti", mentre la seconda è l'implementazione delle informazioni e delle proprietà di tali oggetti.

Il BIM è uno strumento di sviluppo dell'architettura, dell'ingegneria e dell'industria delle costruzioni (*AEC, Architecture, Engineering and Construction*).

Attualmente lo strumento cardine nel settore dell'ingegneria civile è il CAD, ovvero un sistema di rappresentazione 2D di geometrie attraverso l'utilizzo di entità grafiche elementari, quali archi, linee, segmenti, etc, utilizzata per strutturare i disegni in layer, gruppi e referenziazione (simboli e blocchi) (2).

## **2.1 Che cos'è il BIM**

Il BIM è la condivisione di una rappresentazione digitale di un oggetto costruito (compresi gli edifici, ponti, strade, etc.), contenente ogni informazione relativa alla costruzione, come le specifiche di capitolato, i dati economici, le specifiche degli elementi dell'edificio, i piani di lavoro (3). Il BIM non cambia solamente il modo di visualizzare e progettare il modello, ma anche tutte le fasi e i processi coinvolti per la creazione dell'infrastruttura.

Il passaggio da CAD a BIM è inevitabile dal momento che la gestione di progetti con l'utilizzo di sistemi CAD non fornisce una serie di dettagli fondamentali in fase di coordinamento e gestione delle varie fasi progettuali (preliminare, definitivo ed esecutivo). Infatti, la metodologia BIM usufruisce di software per creare una rappresentazione digitale che riproduca l'opera in oggetto e l'ambiente circostante con il quale interagisce. L'infrastruttura viene descritta dal punto di vista geometrico e fisico e contiene le informazioni necessarie al supporto alla costruzione. Inoltre, il BIM viene utilizzato anche per l'analisi del ciclo di vita dell'opera, fornendo i necessari supporti per la gestione e manutenzione della stessa, facilitando al tempo stesso la cooperazione tra i diversi soggetti coinvolti. Attualmente i software BIM vengono utilizzati da individui singoli, imprese e agenzie governative che pianificano, progettano, operano manutenzione di diverse tipologie fisiche di infrastrutture come per esempio: elettricità, acqua, gas, ponti, strade, porti, gallerie, ecc.

Il BIM è programmato per creare un notevole risparmio dei costi durante l'intero ciclo di vita dell'opera, dal design, alla manutenzione, alla rigenerazione ed eventuale dismissione o riciclo, in aggiunta a ciò, questo processo possiede le potenzialità per gestire una economia sulle tempistiche e sui costi delle materie prime soprattutto in termini di quantità, riducendo sia la percentuale di errori e informazioni discordanti, sia la necessità di operare varianti in corso d'opera, permettendo così tempi più rapidi per l'esecuzione.

Questi benefici sono possibili in quanto la struttura è modellizzata digitalmente in tutte le sue dimensioni prima che venga realizzata fisicamente, attraverso la piena collaborazione dell'intero team di progetto nello sviluppo del design.

All'interno del settore di AEC esistono diversi approcci operativi ognuno dei quali prevede la collaborazione ed il coordinamento di più soggetti attuatori; architetti, ingegneri e costruttori ecc.; il *Design-Bid-Build*, il *Design-Build*, il *Construction Management at Risk* e *Integrated Project Delivery*.

Il Design-Bid-Build (D-B-B) è l'approccio più tradizionale, dove progetto e costruzione sono separati; vi sono infatti contratti, entità separate e lavori distinti. Le fasi che caratterizzano il D-B-B sono: fase di progetto, seguita dalla gara d'appalto ed infine la fase di costruzione. Questa tipologia di approccio tradizionale è basata sulla comunicazione cartacea, la quale è incline a causare errori, omissioni e conflitti, che portano a ritardi nelle consegne, a incrementi di costi ed, eventualmente, a cause legali tra le varie parti del team di progetto.

Alternativa a tale sistema di lavoro è il metodo Design-Build. Tale approccio vede la presenza di una singola figura che si fa carico delle responsabilità dell'intero progetto, creando e gestendo un team composto sia da progettisti che da professionisti della costruzione. In questo caso si ha dunque una singola figura rappresentativa, un contratto e un unico nucleo di lavoro dall'inizio alla fine dell'opera. Tale approccio risulta particolarmente vantaggioso se si considera l'assenza di tutte le negoziazioni e obblighi contrattuali tra costruttore e progettisti. Con il D-B viene ridotto il rischio di ritardi nella consegna dell'opera sovrapponendo la fase di progettazione con quella di costruzione. La collaborazione che si instaura tra progettisti e costruttori è la chiave fondamentale di tale approccio e porta a un risparmio in termini di costi e tempi.

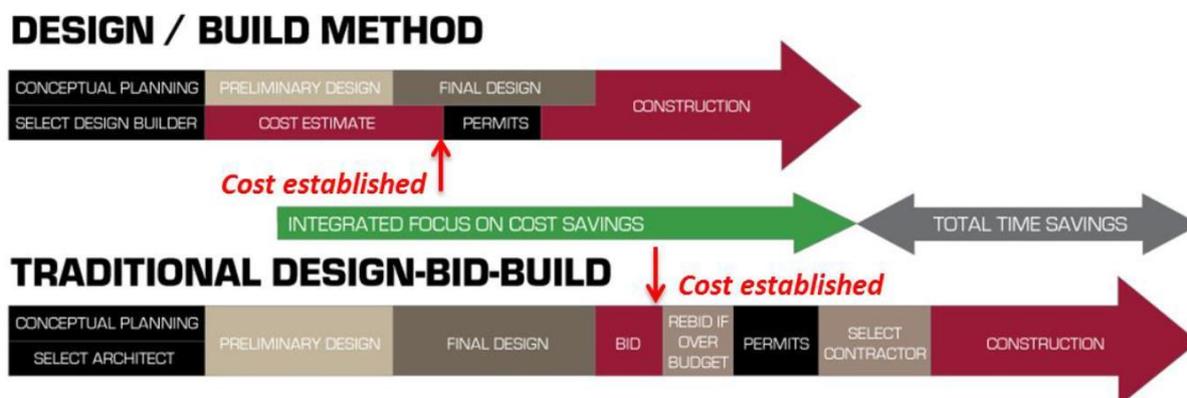


Figura 1 - Un confronto D-B-B e D-B e vantaggi di quest'ultimo in termini di costi

L'altro metodo di consegna è il Construction Management at Risk (CM). Esso si propone di controllare la programmazione dei lavori, i costi e la qualità dell'opera riferendosi ad essi come tre vincoli di progetto. Si fissano due dei tre vincoli, mentre il terzo rimane flessibile. Il construction manager agisce come consulente del proprietario nello sviluppo e nelle fasi di progettazione, e da appaltatore (general contractor) durante la realizzazione dell'opera. Esso ha come compito principale quello di non superare il *Guaranteed Maximum Price (GMP)*, ossia il prezzo massimo prestabilito.



Figura 2 - Vincoli per la buona progettazione

Infine il metodo, chiamato Integrated Project Delivery, si pone l'obiettivo di affrontare le mancanze dei precedenti metodi mediante la tecnologia BIM. Un team viene creato per lavorare insieme sul progetto e soddisfare lo scopo del proprietario. L'*American Institute of Architecture (AIA)* definisce l'IPD come "un metodo progettuale che integra persone, sistemi, strutture aziendali, tecnologie e tecniche in un processo che sfrutta in modo collaborativo i talenti e le intuizioni di tutti i partecipanti per ridurre gli sprechi ed ottimizzare l'efficienza delle fasi di progettazione, fabbricazione e costruzione". Si vuole ridurre gli sprechi e migliorare l'efficienza in tutte le fasi. IPD è sempre accompagnato dal BIM e rappresenta una vera e propria rottura rispetto alla progettazione in cui lo scambio di informazioni è basato essenzialmente sulla carta. All'interno di questa metodologia il committente non è più solo una figura presente nelle fasi di avvio del progetto, ma diventa parte integrante di tutte le fasi di lavoro come valutatore degli esiti di ciascuna fase o con il

compito di precisare i requisiti e gli scopi delle stesse. IPD mira a ridurre rischi e costi come è indicato nella curva di MacLeamy: la curva mostra che più è avanzato lo stato di progettazione in cui il team si trova, maggiori saranno i costi di eventuali variazioni, questa proporzionalità tra stato di avanzamento della progettazione e costi per eventuali varianti riduce via via nel tempo la possibilità di modifica dell'opera. Dalla curva si comprende come l'approccio IPD sposti lo sforzo di progettazione all'inizio della progettazione stessa, dove vi è la massima flessibilità per poter intervenire nelle decisioni e dove i lavori interdisciplinari vengono coordinati. Lo spostamento della curva incide positivamente sulla riduzione dei costi a fronte di quanto accade usualmente nel metodo tradizionale dove l'ultimazione e il perfezionamento del progetto si hanno in fasi più avanzate determinando costi decisamente maggiori. Non si tratta quindi di ridurre gli sforzi di progettazione, ma di anticiparli nel tempo, infatti grazie all'utilizzo di un modello BIM è possibile visualizzare immediatamente eventuali errori progettuali.

Tale approccio prevede la collaborazione e la presenza delle imprese esecutrici fin dalle prime fasi di studio progettuale dell'intervento edilizio o infrastrutturale.

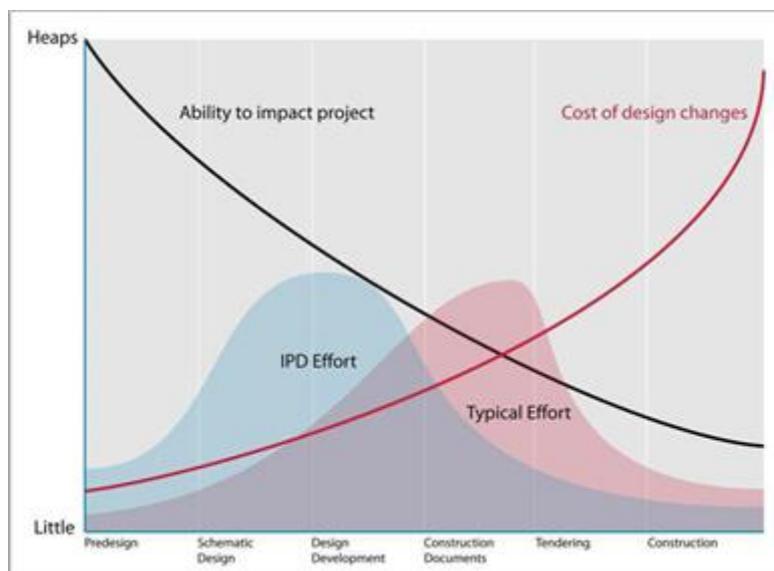


Figura 3 - La curva di MacLeamy

In generale l'uso del BIM non può che migliorare ognuno degli approcci operativi sopra richiamati, anche se la modalità operativa attraverso la quale i benefici della

progettazione BIM vengono massimizzati è senza dubbio l'IPD, essendo tale approccio nato con lo scopo di utilizzare il BIM come strumento.

## 2.2 LOD Level of Development

I Livelli di Sviluppo (LOD – Level of Development) (4) sono un riferimento che consentono a operatori del settore AEC (*Architecture, Engineering and Construction*) di specificare e articolare con un elevato livello di chiarezza i contenuti e l'affidabilità dei modelli BIM in varie fasi della progettazione e del processo di costruzione.

Esso definisce e illustra le caratteristiche degli elementi del modello in diversi sistemi di costruzione e a diversi livelli di sviluppo. Questa articolazione permette a coloro che sviluppano il modello di definire la specificità dello stesso in termini completezza e complessità, in modo tale che l'utilizzatore finale abbia coscienza dei limiti e dell'accuratezza del modello stesso. L'obiettivo nella creazione degli LOD è quello di definire in maniera chiara sia la struttura del modello sia le specifiche tecniche presenti nel medesimo oltre a rendere standard il loro uso trasformandoli in strumenti di comunicazione; inoltre non prevede quali livelli di sviluppo devono essere raggiunti e a che punto in un progetto, ma lascia la specificazione della progressione del modello all'utente.

L'acronimo LOD fu definito dalla Vico Software per l'analisi dei costi di realizzazione di un generico edificio. Il loro obiettivo era quello di sviluppare dei Livelli di Dettaglio (*Level Of Detail*) per poi ottenere una misura dell'oggetto ed estrarre una stima di prezzo. Vennero così definiti quattro livelli di dettaglio che vanno dal LOD 100 (livello di dettaglio base, come ad esempio area o volume dell'oggetto) al LOD 400 (misure realistiche dell'oggetto da poter usare ai fini di una contabilità economica).

Nel 2008 l'AIA (*American Institute of Architects*) ha deciso di estendere questo metodo a tutte le categorie BIM, con il nome *Level of Development*, per sviluppare ulteriormente la standardizzazione e l'uso concettuale dei LOD, incentivandone l'utilità come base per la collaborazione tra i vari soggetti attuatori.

Quando un'opera viene realizzata il team di progetto deve decidere il livello di dettaglio e la qualità da fornire ad ogni stadio della progettazione. È importante

definire il LOD per capire i possibili utilizzi e le limitazioni del modello. In funzione della nazione in cui si opera, esistono diverse scale di definizione del livello di sviluppo, ma quella utilizzata comunemente come riferimento è la scala americana US LOD, che assegna un valore numerico a ciascun livello di LOD.

Vi sono sei livelli: LOD 100 (Nozioni), LOD 200 (Progetto schematico), LOD 300 (Progetto in dettaglio), LOD 350, LOD 400 (Costruzione) ed infine LOD 500 (Da costruito).

### 2.2.1 LOD 100

*Tabella 1 - Caratteristiche del LOD 100*

Contenuti	Forma e dimensione generale della struttura ( <i>Massing</i> ) con indicazione della dimensione, localizzazione e uso degli spazi
Rappresentazione	Modello in tre dimensioni o bidimensionale, diagrammi e pianificazione dei dati.
Autorizzazione dell'uso	Analisi dei volumi, dell'area e dell'orientamento per generalizzare il criterio della performance.

Questo livello comporta una pianificazione delle superfici con studi di visualizzazione iniziali e analisi di impatto dell'opera nelle aree limitrofe al progetto, e con l'elaborazione di parametri di fattibilità.

## 2.2.2 LOD 200

Tabella 2 - Caratteristiche del LOD 200

Contenuti	Sistema generale e assemblaggio degli oggetti con approssimazione di quantità, dimensioni, forma, localizzazione e orientamento.
Rappresentazione	Modellazione tridimensionale con allegate informazioni non geometriche.
Autorizzazione dell'uso	Analisi del sistema selezionato per generalizzare il criterio della performance. Stima dei costi basata su volumi e quantità di elementi o sul tipo di sistema selezionato. Simulazione semplice 4D dei sistemi ed elementi più rilevanti.

Questo livello prevede una schematizzazione dell'architettura primaria, delle strutture e del sistema dei servizi basato su una rapida analisi della performance e su regole empiriche. Coordina le diverse discipline attraverso un semplice modello tridimensionale e genera un piano dei costi (metrico) preliminare.

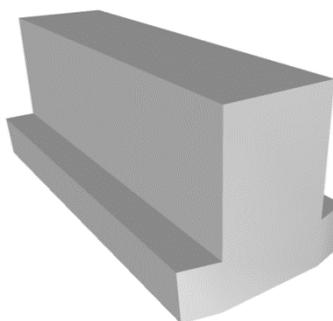


Figura 4 - Rappresentazione del LOD 200. (LOD Specification 2019)

### 2.2.3 LOD 300

Tabella 3 - Caratteristiche del LOD 300

Contenuti	Sistema generale e assemblaggio degli oggetti con approssimazione di quantità, dimensioni, forma, localizzazione e orientamento.
Rappresentazione	Modellazione tridimensionale con allegate informazioni non geometriche.
Autorizzazione dell'uso	Analisi del sistema selezionato per generalizzare il criterio della performance. Stima dei costi basata su volumi e quantità di elementi o sul tipo di sistema selezionato. Simulazione semplice 4D dei sistemi ed elementi più rilevanti.

Progettazione dettagliata di tutti i sistemi dell'opera basata su precise prestazioni e sull'analisi dei criteri concordati. Coordinamento tra le discipline attraverso l'utilizzo di un modello tridimensionale dettagliato, trasferito all'interno di un'ideale piattaforma di collaborazione. Produzione dettagliata dei costi e della programmazione metrica ottenute direttamente dalle informazioni del modello.

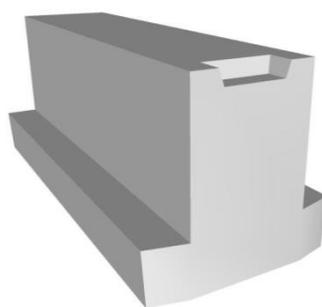


Figura 5 - Rappresentazione del LOD 300. (LOD Specification 2019)

## 2.2.4 LOD 350

Tabella 4 - Caratteristiche del LOD 350

Contenuti	Assemblaggio specifico degli oggetti con precisione di quantità, dimensioni, forma, localizzazione, orientamento e interfaccia con gli altri edifici.
Rappresentazione	Modellazione tridimensionale con allegate informazioni non geometriche.
Autorizzazione dell'uso	Analisi del sistema selezionato per generalizzare il criterio della performance. Produzione di un piano dei costi attraverso la pianificazione diretta ottenuta dal modello. Dettagliata simulazione 4D di tutti i sistemi ed elementi.

Progettazione dettagliata di tutti i sistemi dell'opera basata su precise prestazioni e sull'analisi dei criteri concordati. Coordinamento generale degli elementi della medesima. Simulazione preliminare del processo costruttivo, logistico e del budget di spesa.

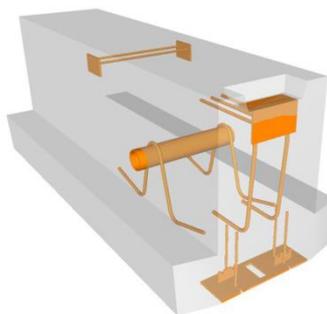


Figura 6 - Rappresentazione del LOD 350. (LOD Specification 2019)

## 2.2.5 LOD 400

Tabella 5 - Caratteristiche del LOD 400

Contenuti	Assemblaggio specifico degli oggetti inclusa la fabbricazione completa, specifiche tecniche dettagliate dei medesimi
Rappresentazione	Modellazione tridimensionale con allegata informazioni non geometriche.
Autorizzazione dell'uso	Rappresentazione virtuale del modello con gli elementi proposti tale da poter essere costruito. Analisi del sistema selezionato per generalizzare il criterio della performance. Produzione di un piano dei costi attraverso la pianificazione diretta ottenuta dal modello. Dettagliata simulazione 4D di tutti i sistemi ed elementi.

In questo livello vengono definite le finalità costruttive per tutti i sistemi in funzione di quanto preliminarmente concordato. Coordinamento finale degli elementi dell'edificio attraverso il prototipo dell'ambiente virtuale. Simulazione completa del processo costruttivo, logistico e del budget di spesa.

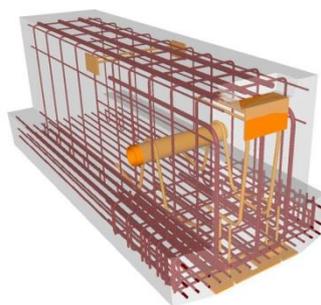


Figura 7 - Rappresentazione del LOD 400. (LOD Specification 2015)

## 2.2.6 LOD 500

Tabella 6 - Caratteristiche del LOD 500

Contenuti	Preciso assemblaggio dell'oggetto e del processo costruttivo.
Rappresentazione	Modellazione tridimensionale con allegate informazioni non geometriche.
Autorizzazione dell'uso	Manutenzione del progetto. Successive modifiche e integrazione al progetto.

Rispetto al livello precedente; LOD 400, questo non va ad implementare ulteriormente la geometria degli oggetti che comprendono l'opera, ne inserisce ulteriori in formazioni non grafiche ai medesimi, ma ogni elemento del modello viene costruito e verificati sul campo in termini di dimensioni, forma, posizione, quantità e orientamento, creando un'ulteriore verifica sulla correttezza di quest'ultimi tra quello che è stato progettato e quello effettivamente costruito.

## 2.2.7 LOD in Italia

Nell'attesa di una futura convergenza tra i diversi livelli di LOD, l'Italia ha sviluppato anch'essa il suo sistema di livello di sviluppo che tiene in considerazione delle specifiche culturali e legali del paese.

I livelli di LOD sono riportati nella UNI 11337:2017 e in questo caso sono individuati da lettere maiuscole dalla A alla G per un totale di sette classi.

Nello specifico si ha:

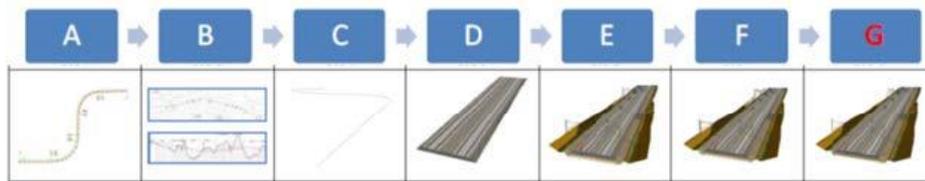
- LOD A oggetto simbolico;
- LOD B oggetto generico;
- LOD C oggetto definito;

- LOD D oggetto dettagliato;
- LOD E oggetto specifico;
- LOD F oggetto eseguito;
- LOD G oggetto aggiornato.

**FASI**



**ITA (UNI 11337 Parte 4)**



**UK (PAS 1192-2)**



**USA (AIA 2008/2013: BIM Protocol Exhibit )**



Figura 8 - LOD Italiani, UK e USA a confronto da Il BIM per le infrastrutture lineari

## **2.3 Le dimensioni di BIM**

Come è già stato accennato precedentemente, le informazioni presenti nel modello sono sia di tipo grafico sia di tipo non grafico. Le varietà di dati descritti nel modello vengono nominate “dimensioni”. Inizialmente le informazioni disponibili sull’oggetto che si intende rappresentare sono solamente di tipo geometrico, descritto in uno spazio con tre assi principali (quindi un tre dimensioni), fino ad arrivare a nozioni più dettagliate che descrivono, la natura fisica e meccanica oltre a tutte le altre informazioni utili per la progettazione, costruzione e manutenzione dell’opera, come ad esempio il costo unitario del materiale, la curva di degradazione del materiale, ecc.

Tali informazioni arricchiscono il modello e rendono più semplice la sua comprensione poiché forniscono indicazioni utili che permettono, non solo di agevolare la fase di progettazione e realizzazione dell’opera, ma anche di organizzare e pianificare tutti gli aspetti che comprendono la manutenzione.

Le dimensioni disponibili sono sette e nello specifico sono:

- 3D: informazioni grafiche tridimensionali;
- 4D: il tempo viene incluso delle informazioni disponibili;
- 5D: analisi e stima dei costi;
- 6D: analisi energetica e valutazione di sostenibilità;
- 7D: ciclo di vita e manutenzione.

### **2.3.1 3D - Le informazioni grafiche tridimensionali**

Il modello BIM tridimensionale raccoglie i dati grafici, da condividere in a Common Data Environment (CDE), questo permette di rappresentare i dettagli grafici del design.

Tra gli output che un modello BIM 3D restituisce oltre che alla visualizzazione grafica del progetto, è la possibilità di verificare che il modello realizzato sia coerente al

progetto ed agli standard richiesti. Inoltre consente di effettuare una analisi preventiva riguardanti tutti i conflitti di natura geometrica presenti nel modello stesso.

Il BIM tridimensionale consente anche l'interazione di diversi ruoli e/o discipline coinvolte, come possono essere architetti, ingegneri strutturali, ingegneri del servizio di costruzione, fornitori, ecc.

I dati utilizzati per tutti i diversi modelli verranno caricati su un ambiente condiviso di dati, il Common Data Environment (CDE), per poi essere importati in un unico software. Questi sono generalmente noti come "modello federato".

### **2.3.2 4D - Il tempo**

La quarta dimensione di BIM (4D BIM) aggiunge ulteriori informazioni a un modello di progetto in forma di tempo e dati di programmazione. Questi dati vengono aggiunti alle varie componenti del modello che si sta realizzando, integrando con le indicazioni che possono riguardare i tempi di consegna, il tempo necessario per installare e/o realizzare un elemento, sequenze di installazione dei vari componenti, ecc.

Tutti questi dati temporali possono essere utilizzati non solo per ottenere informazioni accurate sulla programmazione, ma anche per ottenere una visualizzazione di come il progetto si svilupperà in sequenza temporale e contemporaneamente mostrando come la struttura apparirà visivamente in ogni fase realizzativa.

I dati temporali possono essere utilizzati anche per le attività connesse alla pianificazione del cantiere, consentendo ai costruttori e produttori di ottimizzare le loro attività al fine di poter gestire tutte le consegne con un approccio "just in time".

I metodi tradizionali, come possono essere i diagrammi di Gantt, impiegati per il cantiere o la gestione del tempo di progetto, possono determinare limiti e criticità come la perdita di dati dal progettista all'azienda, o la mancanza di comunicazione tra la direzione lavori e fornitori, i quali producono conseguentemente ritardi e inefficienze. L'impiego di un modello BIM che possieda la quarta dimensione,

possiede tutta una serie di vantaggi per i partecipanti al progetto in termini di ottimizzazione della pianificazione, che sono:

- la visualizzazione agli stakeholder di come saranno costruiti i progetti;
- assicura che il lavoro sia sequenziato in modo sicuro, logico ed efficiente;
- consente una verifica al progetto in fase iniziale onde evitare una progettazione on-site dispendiosa;

Tutti questi vantaggi dovrebbero consentire a costruttori e produttori di ottimizzare la costruzione attività e coordinamento della squadra.

### **2.3.3 5D - I costi**

La quinta dimensione del BIM viene utilizzata per il tracciamento del budget e l'analisi dei costi. Il punto focale di questa dimensione consiste nell'estrazione delle misure da un progetto per poi definire la quantità di materiale necessaria per uno o più elementi di modellazione. Una volta completata questa operazione, è possibile assegnare il relativo prezzo unitario e quindi determinare l'importo complessivo.

Infatti, un'ulteriore vantaggio nell'utilizzo di un modello BIM, è quello di poter estrarre dati da un determinato modello per definire la quantità materiale necessaria per uno o più elementi.

In conclusione, i dati BIM 5D consentono ai responsabili della gestione costi di estrarre, per un singolo o gruppi di componenti presenti in un progetto, le relative quantità e di conseguenza ottenere il relativo costo complessivo.

Di conseguenza, se il costo totale non riflette la richiesta del cliente, il progettista può procedere in modo efficiente e in tempo reale, apportando le opportune modifiche.

Le informazioni relativi ai costi in un modello potrebbero includere:

- costi di capitale (i costi di acquisto e installazione di un componente);
- i relativi costi di gestione;

- il costo del rinnovo / della sostituzione a valle.

I dati sui costi e le relative analisi non sono sempre incluse nell'ambiente BIM, in questo caso, le quantità e le definizioni dei materiali devono essere estratte dal modello ed esportate in un sistema di stima dei costi. Ad esempio, esistono diversi tipi di approcci di integrazione tra il modello BIM ed i prezziari utilizzati nei software Revit.

Uno di questi, riguarda l'integrazione tramite un'API (*Application Programming Interface*) tra Revit e software di stima commercialmente che i vari fornitori rendono disponibile. Questo approccio utilizza un collegamento diretto tra il sistema di costi e il software BIM. Da Revit, l'utente ha la possibilità di esportare il modello della struttura, in formato dati e lo invia allo stimatore, che lo importa all'interno software di calcolo dei costi per iniziare il processo di costing.

Un'ulteriore alternativa è la connessione del BIM ai programmi di computo tramite ODBC, Open Database Connectivity, un'applicazione standard di interfaccia di programmazione (API) per l'accesso ai sistemi di gestione dei database (DBMS). Questo approccio utilizza in genere tale database per accedere alle informazioni sugli attributi nel modello dell'opera d'arte e successivamente utilizza i file esportati di CAD 2D o 3D, per accedere a dati dimensionali. Parte dell'integrazione include una ricostituzione dei dati della struttura all'interno del programma di computo che riguarda il collegamento tra geometria dei costi, attributi e prezzi. In Italia ad esempio, il software ITALSOFT, è una soluzione di stima dei costi molto utilizzata.

Per ODBC, in informatica, si intende Infine, è possibile effettuare l'output dei dati da Revit direttamente nei fogli di calcolo Excel, che vengono poi utilizzati come input per il costo. Questo approccio è quello considerato più semplice, sia per un discorso di praticità, sia perché molte aziende creano solo i dati grafici dei materiali in Revit, mentre i dati non grafici vengono redatti in un foglio di calcolo, per poi essere utilizzati nella stima dei costi.

### **2.3.4 6D - Analisi energetica e valutazione di sostenibilità**

I dati in un BIM 6D dovrebbero contribuire a fornire un'analisi energetica più completa e accurata nel processo di progettazione. Di conseguenza l'aggiunta di dati 6D al modello, consente ai progettisti di valutare già in fase iniziale di progettazione la sostenibilità energetica dell'opera permettendo un approccio progettuale meno impattante a livello energetico. Inoltre, questa tipologia di dati, consente la misurazione e la verifica durante tutto il ciclo di esercizio della struttura.

Tra i dati relativi alla sesta dimensione, possiamo trovare ad esempio: il produttore di un componente, la sua data di installazione, manutenzione richiesta e dettagli su come l'elemento deve essere configurato e operato per prestazioni ottimali, rendimento energetico, dati relativi alla durata di vita e alla disattivazione.

### **2.3.5 7D - Ciclo di vita e manutenzione**

La settima dimensione può essere utilizzata per estrarre e raccogliere informazioni correlate al funzionamento e allo stato di manutenzione dell'opera durante tutto il suo ciclo di vita.

Queste tipologie di informazioni, che si potrebbero facilmente estrarre da un modello BIM "*come - costruito*", durante l'avvio di un programma di gestione e manutenzione della struttura, consentirebbe la possibilità di fornire soluzioni più efficaci per il management di una costruzione.

Un modello definito "*come - costruito*" include non solo ciò che è stato progettato, ma anche ciò che è stato effettivamente realizzato durante la fase di costruzione. Questo perché, ciò che è concepito durante la fase di progetto, è tradizionalmente rivisto e parzialmente modificato in sito durante la realizzazione dell'opera, per la risoluzione di conflitti geometrici e/o operativi, non presi in considerazione in fase di progettazione.

I dati presenti in un BIM 7D forniscono dunque informazioni utili per la gestione dei dati e della struttura da parte di subappaltatori/fornitori, consentendo di estrarre e tracciare rilevanti dati patrimoniali come:

stato del componente, specifiche, manuali di manutenzione / operativi, dati di garanzia ecc.

Idealmente, il modello informativo dovrebbe continuare a svilupparsi durante la fase "In uso" con aggiornamenti riguardanti tutte le manutenzioni operate nella struttura.

Il vantaggio sostanziale che deriva da questa dimensione del modello BIM, è quella di avere in tempo reale lo stato di degrado (teorico) di ogni singolo componente dell'opera, permettendo una programmazione della manutenzione più efficiente e interventi più razionali ed immediati, inoltre assegna all'opera una conformità e una gestione delle risorse ottimizzate durante l'intero ciclo di vita.

## 2.4 Livelli di maturità

La definizione dei livelli di BIM ha origine nel Regno Unito e ha lo scopo di definire la maturità con cui il modello BIM viene utilizzato all'interno di un progetto. È infatti chiaro che il processo di passaggio da una metodologia tradizionale ad un completo utilizzo del BIM è graduale, quindi è opportuno definire il livello di condivisione del progetto in esame. A seconda del livello di maturità con il quale BIM è sviluppato all'interno di ciascun progetto, la regolamentazione inglese individua quattro livelli di maturità, che vanno da 0 a 3.

- Livello 0: la maturità del modello è affidata a rappresentazioni 2D (generalmente in CAD) e gli output sono in questo caso di tipo cartaceo o elettronico. In questo livello iniziale di BIM non si assiste a una collaborazione tra le parti interessate nella realizzazione dell'opera;
- Livello 1: la rappresentazione è in CAD 3D, con la presenza di elementi 2D. Non vi è ancora collaborazione e non vi sono condivisioni del progetto tra i vari team interessati nella realizzazione dello stesso;
- Livello 2: la modellazione 3D viene raggiunta in questa fase ma è data dall'unione di diversi modelli tridimensionali diversificati a seconda della disciplina. Il lavoro è dunque il risultato di uno scambio di informazioni tra parti che utilizzano software diversi (generalmente software CAD 2D e programmi BIM). La collaborazione dunque è lo scambio di informazioni stesso e non il lavoro su uno stesso software. Tale livello è raggiungibile qualora vengano stabilite in precedenza ruoli e responsabilità, una convezione sulla nomenclatura e uno spazio on line comune per la condivisione dei dati (CDE - Common Data Environment). L'unione dei diversi modelli in uno unico presenta diversi vantaggi, quali primo fra tutti la possibilità di visualizzare tutti i modelli in un'unica rappresentazione, una migliore comunicazione degli obiettivi dell'opera, che incentiva la collaborazione tra le parti. La collaborazione inoltre permette l'emergere di problematiche in fase di progettazione e non in fase di costruzione dove risulta più difficile rimediare all'eventuale errore. Uno stesso ragionamento è applicabile alla mancanza di informazioni, inconsistenza di decisioni prese ecc. Infine, nel livello 2, si

elimano le interferenze tra diverse parti grazie alla precoce fornitura dei dati. Tramite la collaborazione è dunque possibile ridurre lavoro ed errori decisionali;

- Livello 3: è il livello più avanzato della metodologia BIM e prevede la collaborazione on line di tutte le parti coinvolte su un unico software attraverso il quale il singolo soggetto può riservare e lavorare autonomamente sulla parte che gli compete, per poi rilasciare e condividere il lavoro effettuato una volta terminato il suo compito. In questa maniera viene eliminato il rischio di interventi in conflitto.

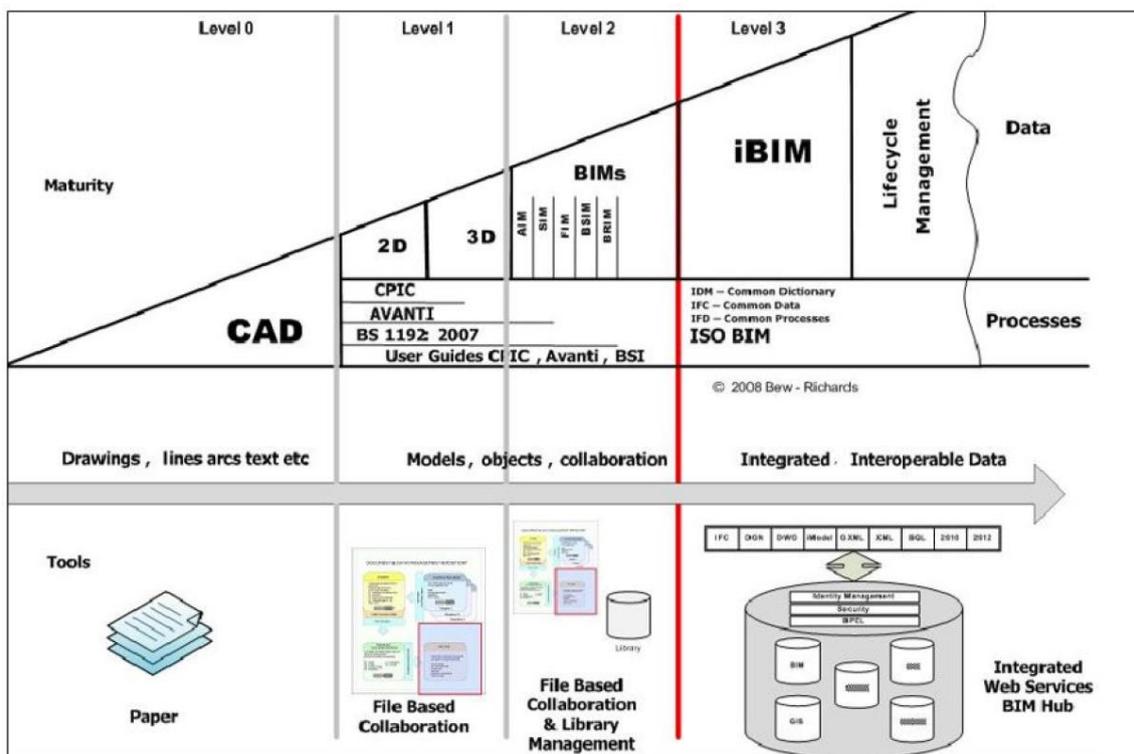


Figura 9 - Livelli di maturità BIM

## 2.5 Interoperabilità

L'interoperabilità è il requisito principale affinché il BIM venga effettivamente impiegato come metodologia e non come modello semplificato durante la fasi di progettazione. L'interoperabilità è la capacità di passare i dati tra diverse applicazioni, permettendo di utilizzarle all'interno di un unico lavoro mantenendo costantemente fruibili ad ogni operatore tutti i relativi dati.

Quindi un software si può definire interoperabile, quando identifica lo scambio continuo di dati a livello di software fra applicazioni diverse, ognuna delle quali può avere una propria struttura dati interna. Tutto questo si realizza mappando parti della struttura dati interna di ciascuna applicazione partecipanti verso un modello di dati universale e viceversa (5).

L'interoperabilità rappresenta lo scambio automatico dei modelli e di altri dati tra diverse piattaforme software per una completa integrazione e collaborazione tra i diversi attori del processo edilizio. Questi software devono contenere tutti gli standard definendo le condizioni di scambio delle informazioni in modo dettagliato.

Questa proprietà elimina la necessità di copiare manualmente dati generati da un'applicazione in un'altra. La copia manuale di dati, specialmente se parziali relativi singole fasi del progetto, comporta un'elevata possibilità di errore ed inevitabilmente ad un certo livello di inconsistenza degli stessi.

Tradizionalmente si è fatto affidamento su formati di scambio di file limitati alla geometria, come DXF (*Drawing eXchange Format*) e IGES (*Initial Graphic Exchange Specification*). Collegamenti diretti sulla base delle API (*Application Programming Interface*) sono la via più primitiva e ancora importante per l'interoperabilità.

A partire alla fine del 1980, modelli di dati sono stati sviluppati per sostenere gli scambi di *product* e *object model* all'interno di diversi settori industriali guidati da ISOSTEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data and ISO standard, ISO 10303*). Essendo il modello di struttura di un dato differente in funzione della tipologia di linguaggio di programmazione utilizzato, esistono traduttori che consentono il passaggio da uno schema a un altro, come per esempio da un formato IFC a XML.

L'obiettivo principale dell'interoperabilità consiste nella possibilità di avere i dati giusti nel momento giusto e, soprattutto, nel formato giusto al fine di eliminare sprechi nelle fasi di *recreating*, *editing* e *converting* dei dati della costruzione durante l'intero processo, in cui viene infatti creata una grande quantità di informazioni (3).

Tra i tanti software presenti nel mercato globale non ne esiste uno in grado di assolvere a tutte le funzioni BIM, infatti nei settori dell'architettura, dell'ingegneria e del management nessun software è in grado di gestire per intero le informazioni associate ad essi. Nella maggior parte dei casi, ogni processo BIM, comporta l'utilizzo di più programmi.

Mentre la geometria è stata la preoccupazione principale per i sistemi CAD, con il BIM si rappresenta più tipi di geometria e relazioni, attributi e proprietà per differenti comportamenti.

### **2.5.1 Common Data Environment (CDE)**

Il CDE (6), già richiamato nei capitoli precedenti, è un'unica fonte di informazioni per un determinato progetto o attività, utilizzato per raccogliere, gestire e diffondere tutti i relativi file approvati, i dati e i documenti per la gestione del processo attraverso dei team multidisciplinari.

Il CDE è, praticamente, un *contenitore* utilizzato per salvare i file e i modelli, che consente di tenere sempre traccia di essi, utilizzato come piattaforma per lo scambio delle informazioni.

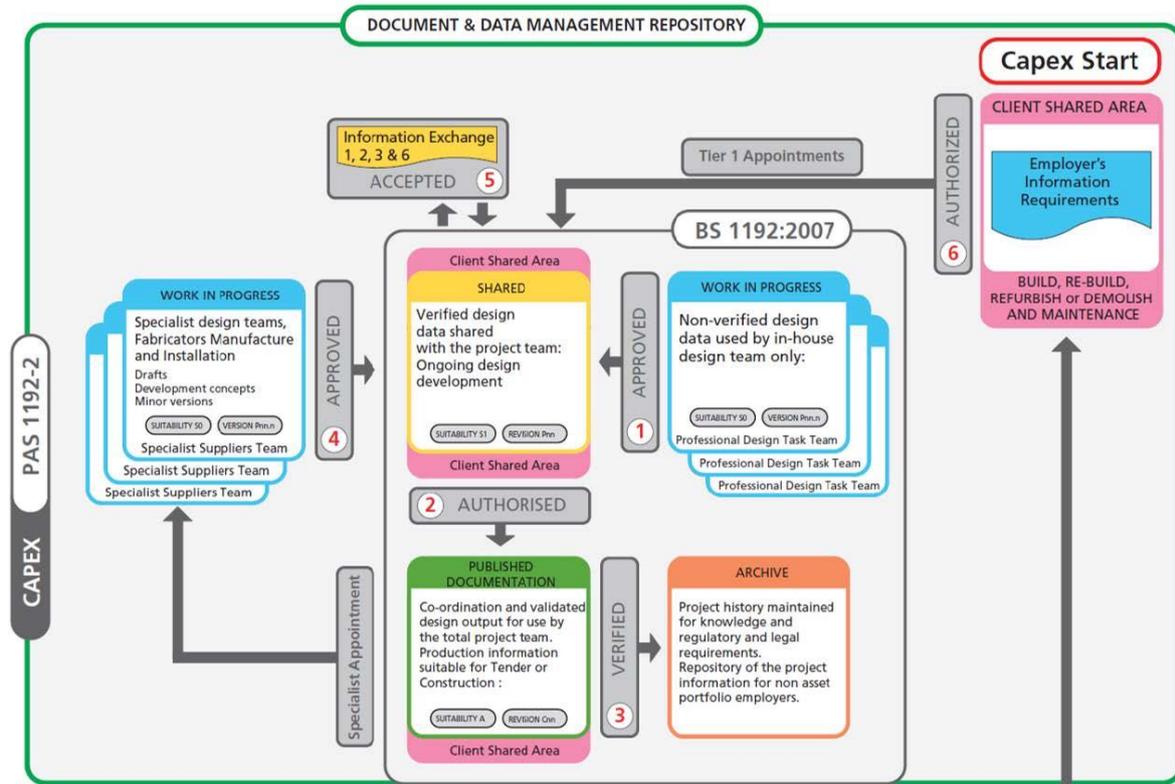


Figura 10 - Processo di un CDE. (PAS 1192-2:2013)

## 2.5.2 Trasmissione dati in formato IFC

Il formato IFC è tra i formati più utilizzati per importare ed esportare modelli costruttivi contenenti molteplici informazioni, sfruttando l'interoperabilità tra i differenti software grazie standardizzazione del formato.

L'Industrial Foundation Classes (IFC) è un formato di file neutrale e aperto, non controllato da un singolo fornitore o gruppo di fornitori. Il formato è basato su oggetti con un modello di dati sviluppato dalla buildingSMART (*International Alliance for Interoperability, IA*) per facilitare l'interoperabilità nel settore AEC.

Lo scopo di buildingSMART è di definire, pubblicare e promuovere norme per le Industry Foundation Classes come base per la condivisione globale delle informazioni di progetto dell'AEC. L'IFC è un formato che permette l'interoperabilità tra diversi software superando gli approcci tradizionali di condivisione delle informazioni di progetto .dxf, .dwf, .dwg e .pdf.

Le IFC definiscono un unico modello di dati di oggetti orientati relativo ad una struttura, condiviso da tutte le applicazioni conformi alle IFC, in cui i modelli di progetto scambiano informazioni in modo accurato e senza errori con le applicazioni conformi.

Questo formato include la geometria distinguendo le varie entità di componenti edilizi "semplici" (quali muri, porte, solai, etc.) e tutte le informazioni ad essi associati, informazioni alfanumeriche (proprietà, quantità, classificazione, etc.) che ne specificano i parametri, le proprietà fisiche, le informazioni per la costruzione, le informazioni per la manutenzione, etc.

Attualmente la maggior parte dei software BIM supportano Import /Export di dati del modello BIM in formato IFC, con la certificazione buildingSMART per il controllo di coerenza.

Il formato IFC è importante sia per la compatibilità che per l'interoperabilità, poiché consente a differenti applicazioni di lavorare in forma collaborativa, come ad esempio la modellazione architettonica, analisi strutturale, facility management, etc.

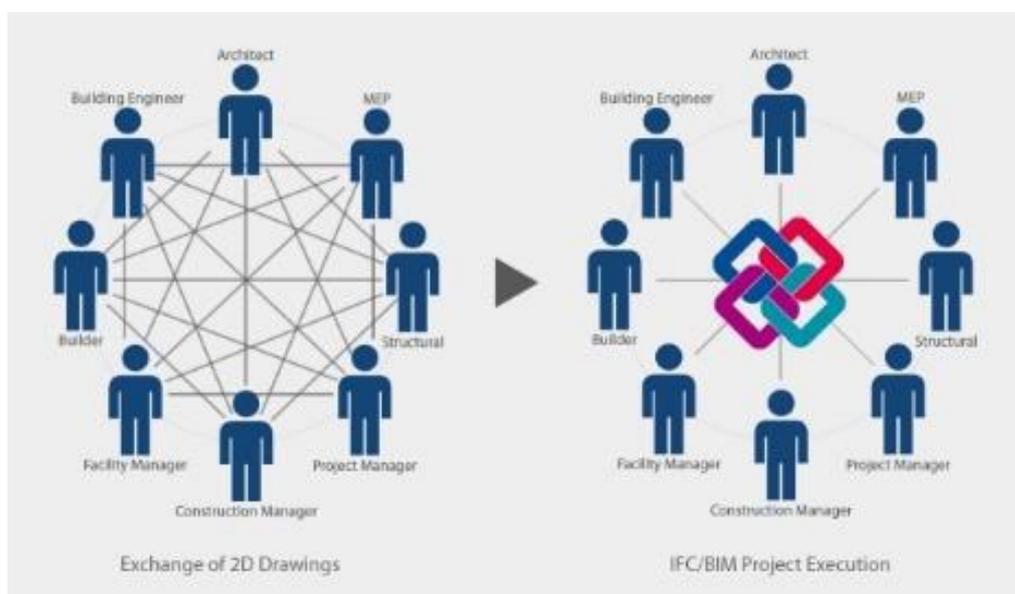


Figura 11 - Schemi di scambio delle informazioni 2D e IFC/BIM. (IFC Standard, buildingSMART)

## 2.6 La piattaforma BIM

Software che concorrono alla progettazione BIM in ambito civile sono vari, ma ognuno di essi è generalmente specializzato per una determinata categoria inerente all'infrastruttura stradale, da dover impiegare l'utilizzo di più software per una completa progettazione. Nel nostro caso specifico si è adottato di programmi che consentono di generare elementi di modellazione parametrica e di disegno, generalmente utilizzato per: la progettazione architettonica, la progettazione strutturale e la costruzione e l'home design; e permettono il coordinamento tra le varie discipline.

Tra i suoi punti di forza vi è quello di poter generare rapidamente viste prospettiche o assonometriche, che richiederebbero particolari sforzi nel disegno manuale, come ad esempio degli spaccati prospettici, la capacità di costruire il modello utilizzando elementi costruttivi, e la possibilità di operare sia nella quarta sia nella quinta dimensione (tempo e costi). In tali programmi, infatti, si possono impostare le fasi temporali, ad esempio lo Stato di Fatto e lo Stato di Progetto, sia hanno la possibilità di generare in forma automatica il computo dei materiali necessari per l'opera differenziandoli per tipologia, specificità di impiego o altro, e restituisce l'analisi dei costi unitari, per tipologia e di conseguenza dell'intera opera.

Ogni elemento del modello, sia questo da realizzare o da demolire, può essere associato ad una fase specifica della realizzazione dell'opera consentendo di creare viste di raffronto con le opportune evidenziazioni (ad esempio "Gialli e Rossi"). Tale prerogativa consente al progettista e/o al direttore dei lavori di visualizzare graficamente la sequenza temporale della realizzazione dell'opera permettendo una più accurata e meno dispendiosa gestione del cantiere. Inoltre attraverso il monitoraggio dell'evoluzione dei costi realizzativi dell'opera permette l'ottimizzazione delle attività di cantiere ed una gestione just in time delle consegne dei materiali necessari

I principali formati che permettano la cooperazione tra le varie piattaforme BIM risultano essere rispettivamente per l'importazione dei file i formati:

- .ifc (Industry Foundation Classes File)
- .dwg (Drawing Database File)

mentre, i principali formati per l'esportazione:

- .dxg (Duxbury Graphic File)
- .dwg (Drawing Database File)
- .dgn (MicroStation Design File)
- .ifc (Industry Foundation Classes File)
- .sat (Standard ACIS Text)
- .dwf (Design Web Format)
- .fbx (Filmbox)
- .gbXML (Green Building XML)

## 2.7 L'impiego di BIM nel campo dell'ingegneria civile

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

Infine, il progettista attraverso il BIM è chiamato a gestire e realizzare progetti, anche molto complessi, sfruttando l'aspetto di *teamworking* su cui esso si basa, beneficiando di un processo di progettazione integrato e di un controllo delle interferenze, avendo a disposizione il modello durante l'intero ciclo di vita della costruzione, quindi una documentazione centralizzata, tavole sempre aggiornate e rispondenti al reale che permetterebbe una riduzione di consumi e spese grazie ad un costante monitoraggio del costruito.

## Capitolo 3 Progettazione BIM di opere d'arte minori per infrastrutture stradali

Il progredire delle tecnologie informatiche ha generato la necessità di evolvere anche i metodi tradizionali di progettazione stradale. Fino ad ora, quest'ultimi si occupavano semplicemente di caratterizzare l'opera da un punto di vista sostanzialmente grafico, mentre gli aspetti più complessi legati alle caratteristiche chimico fisiche degli elementi, venivano gestiti tramite allegati contenenti relazioni strutturali, energetici, geotecnici, ecc., che andavano ad analizzare gli elementi costituenti l'infrastruttura da un punto di vista fisico. Questa tipologia di gestione applicata a tal tipo di metodologia, comporta la necessità di avvicinare gli standard dell'ingegneria civile riguardanti le infrastrutture stradali ad una tecnologia BIM, già ampiamente collaudata ed in uso nel settore edile.

Questa necessità operativa oltre ad essere un evidente vantaggio di tipo pratico ed economico, viene anche promossa ed incentivata dalla Direttiva Europea 24/2014, la quale per la prima volta, impone l'utilizzo del "*building information electronic modelling tools or similar*" nelle procedure di acquisizione di beni e servizi da parte della pubblica amministrazione degli stati membri, tra cui ovviamente l'Italia.

In effetti, l'introduzione del BIM per le infrastrutture, genera non solo cambiamenti di natura strumentale, ma soprattutto un mutamento di paradigma in termini di processo. L'innovazione riguarda tutte le organizzazioni coinvolte nella AEC, sia interne che esterne ad essa, e le relazioni con ogni altra struttura che partecipi al processo; quindi, a partire dalla committenza, vengono coinvolti tutti i progettisti, le imprese, i produttori di componenti e software, i gestori, le Università, i centri di ricerca pubblici e privati, e ne viene coinvolto anche ogni fase del ciclo di vita delle opere, dalla programmazione strategica all'esercizio.

Il tema centrale della digitalizzazione delle costruzioni è l'interoperabilità, ovvero la possibilità di scambiare dati tra i diversi gestori delle informazioni utilizzando estensioni di file non proprietari (o formato aperto), cioè file di pubblico dominio, utilizzati per la descrizione e l'archiviazione di dati digitali liberi da restrizioni legali per il suo utilizzo, con lo scopo di incrementare l'efficienza della AEC e al tempo stesso favorire la concorrenza tra i fornitori di tecnologie e di servizi. Ad oggi, il formato aperto disponibile, *Industry Foundation Classes (IFC)*, è sviluppato dall'organizzazione Building Smart International, che nel 2015 ha definito lo standard IFC - alignment per la codifica dei tracciati viari; non sono ancora disponibili tuttavia gli IFC per tutti gli altri "oggetti intelligenti" che compongono il solido stradale e che sono indispensabili per realizzarne la virtualizzazione completa.

Il relativo ritardo evolutivo dei modelli parametrici infrastrutturali, rispetto a quelli diffusamente impiegati in edilizia, dipende dall'evidente maggiore complessità dei primi; gli oggetti digitali per le grandi opere sono caratterizzati, da legami relazionali eterogenei con numerosi altri modelli territoriali di contesto.

Definito ciò, nel nuovo "Codice dei contratti pubblici" è prevista la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle relative verifiche, attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici, come quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture. L'impiego di questi ultimi può essere richiesto dalle stazioni appaltanti per nuove opere, per lavori di recupero e riqualificazione, e per le varianti.

Nel "Decreto BIM", in attuazione del Codice dei contratti, l'obbligo della modellazione informativa nelle opere pubbliche è fissata a decorrere dal 1° gennaio 2020 per i lavori complessi di importo a base di gara pari o superiore a 50 milioni di euro, pertanto le grandi infrastrutture sono le più dirette interessate (Figura 13).

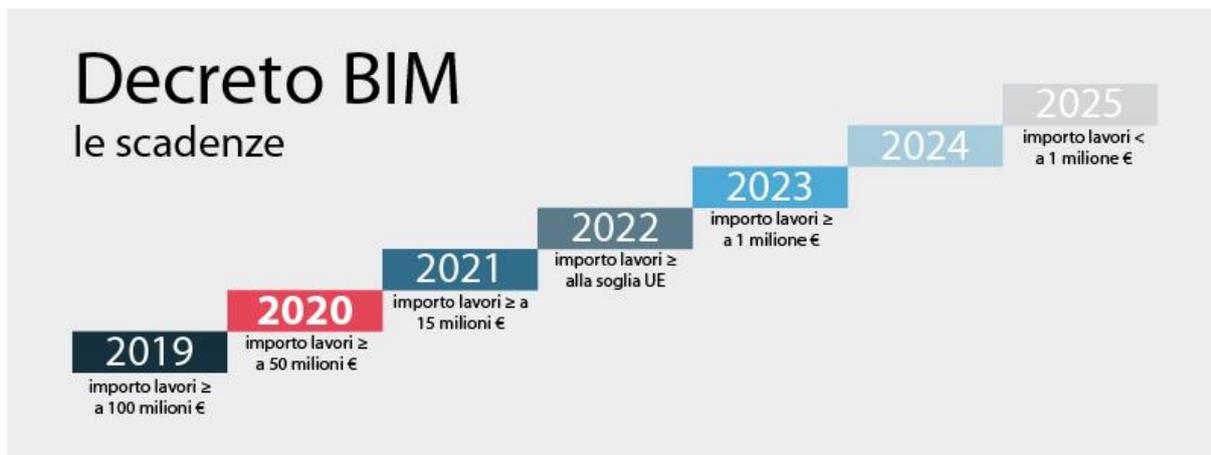


Figura 12 - Obbligatorietà del BIM in Italia, D.M. n. 560 MIT 1 dicembre 2017

Questo scaturisce di conseguenza che l'uso dei sistemi informativi può essere richiesto soltanto dalle stazioni appaltanti dotate di personale adeguatamente formato. Pertanto, la digitalizzazione del processo implica la formazione di nuove figure professionali qualificate, con ruoli specifici, da inserire nei relativi flussi di lavoro. I principali profili professionali da formare sono: il gestore e il coordinatore delle informazioni, e a livello operativo, il modellatore delle stesse.

Delineata l'importanza di un approccio alla progettazione che sfrutti una metodologia BIM questo capitolo si pone come obiettivo quello di elaborare una procedura di progettazione per le opere infrastrutturali, soffermandosi maggiormente sugli aspetti che legano tale metodologia alla modellizzazione di opere d'arte minori, mediante l'utilizzo di tale software evidenziando al tempo stesso le eventuali problematiche e le relative soluzioni.

Tale procedura, deve riferirsi ad uno specifico grado di progettazione, come definito dal D.Lgs n. 50 sono 3 ed in particolare dall'Art. 23 "Livelli della progettazione per gli appalti, per la concessione di lavori nonché per i servizi":

- progetto di fattibilità tecnica ed economica;
- progetto definitivo;
- progetto esecutivo.

Il progetto di fattibilità tecnica ed economica è finalizzato a definire gli obiettivi e le caratteristiche dell'intervento da realizzare, attraverso l'individuazione e l'analisi di tutte le possibili soluzioni progettuali alternative, in sostanza occorre prendere in considerazione:

- la possibile localizzazione dell'intervento;
- le alternative di tracciato;
- il riutilizzo di aree dismesse;
- le diverse soluzioni tecnologiche, impiantistiche e organizzative disponibili;
- l'impatto sul contesto territoriale, ambientale e paesaggistico,
- le diverse modalità tecniche di intervento;
- l'ipotesi di non realizzazione dell'intervento, cioè "l'opzione zero";

Qual ora la progettazione riguardi interventi su opere esistenti, questa si baserà sull'acquisizione della conoscenza dello stato dell'opera, ovvero: conoscenza visiva, documentale, storico-critica, geometrica, materica, funzionale, strutturale, estesa anche alle fondazioni, nonché impiantistica.

Nel progetto definitivo, invece, si individuano compiutamente i lavori da realizzare nel rispetto delle esigenze, dei criteri, dei vincoli e indicazioni stabilite dalla stazione appaltante e, ove presente, dal progetto di fattibilità. Esso dovrà contenere tutti gli elementi necessari per l'ottenimento di tutte le autorizzazioni pareri e nulla osta necessari per la realizzazione, nonché la quantificazione definitiva del limite di spesa per la realizzazione e il relativo cronoprogramma.

Infine, il progetto esecutivo, redatto in conformità al progetto definitivo, specifica in ogni dettaglio i lavori da realizzare, il costo relativo previsto, il cronoprogramma coerente con quello del progetto definitivo, e dovrà essere redatto secondo un livello di definizione tale da identificare, per ogni elemento, forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo. Il progetto esecutivo deve essere, altresì, corredato da

apposito piano di manutenzione dell'opera in tutte le sue parti ed in relazione al ciclo di vita preventivato.

La classificazione delle fasi di progettazione, è di fondamentale importanza poiché, determina in sede di modellazione dell'infrastruttura e delle sue componenti, il grado di dettaglio che gli elementi BIM devono possedere che quindi sono funzione della fase di progettazione. Nel nostro caso specifico, andando ad elaborare un modello di opere d'arte minori inerenti la fase esecutiva del progetto, il livello di dettaglio che si dovrà estrapolare dal modello dovrà soddisfare tutti i requisiti definiti dal D.Lgs n. 50. Inoltre, dovendo operare in uno stadio avanzato di progettazione molti dati ed elaborati sono già stati completati nelle precedenti fasi di progettazione, pertanto disponibili per ottenere un modello completo di tali opere.

Definito ciò, la metodologia che andremo ad analizzare, comprenderà la generazione di una serie di modelli utilizzando diversi software, capaci di interagire tra loro in maniera biunivoca, mediante uno scambio reciproco di dati e/o informazioni, al fine di definire un unico modello BIM federato capace di organizzare tutti i modelli creati in un unico file dal quale sarà possibile esportare in forma digitale o sotto forma di stampe, tutto il materiale necessario per la verifica, realizzazione, organizzazione e successiva manutenzione, di che quanto è stato progettato.

### **3.1 Mappa procedurale secondo metodologia BIM**

Durante l'elaborazione di un progetto di un'infrastruttura stradale, ci si trova ad affrontare varie tematiche ingegneristiche, come le opere idrauliche, la progettazione della piattaforma stradale, lo studio della superficie topografica, la definizione della segnaletica verticale ed orizzontale, la progettazione delle opere strutturali, gli impianti di illuminazione ecc., i quali coesistono all'interno della medesima opera. Lo scopo primario del progettista è quello di ideare l'infrastruttura verificando la correttezza del progetto anche e soprattutto in ordine a eventuali conflitti tra tutti gli elementi che la compongono.

Per poter svolgere in maniera efficiente questo tipo lavoro, il progettista può attualmente disporre di programmi BIM, che sono in grado di generare un modello accurato della struttura finale, e, attraverso l'utilizzo di questa metodica, si è in grado di sviluppare l'opera in maniera più efficiente, nel rispetto dei vincoli normativi e fisici. Inoltre, questo strumento permette al team di progettazione di sviluppare il proprio lavoro in un formato digitale che possa essere successivamente consegnato ai fruitori o gestori dell'opera, consentendo loro una programmazione accurata ed economica delle manutenzioni e di conseguenza un livello di qualità ed efficienza dell'infrastruttura più alto e duraturo nel tempo.

L'obiettivo primario è quindi quello di andar a definire una mappa concettuale che vada ad evidenziare i vari step di progettazione, da seguire per poter raggiungere la realizzazione di un modello BIM completo dell'infrastruttura.

A tal fine, non essendo ad oggi disponibile un software unico che riesca a gestire tutte le fasi della progettazione stradale, si deve optare per una integrazione di diversi programmi tentando di ridurre al minimo il loro numero, ma allo stesso tempo, che siano in grado di operare parallelamente e restituire elaborati digitali in formato tale da poter essere gestito dal o dai, software finali.

Di seguito si riporta un work flow del progetto BIM, Figura 13.

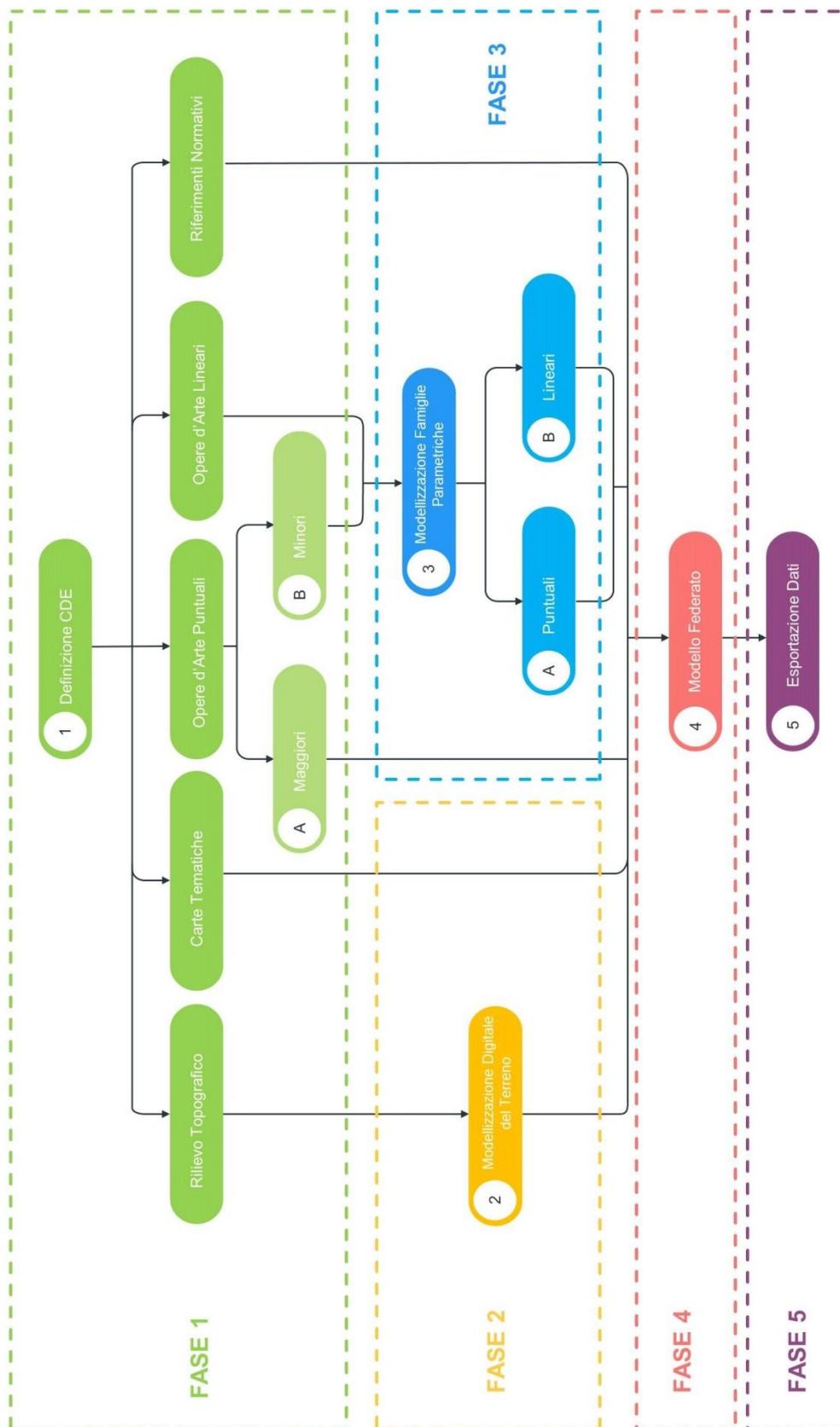


Figura 13 - Flusso di lavoro secondo metodologia BIM

Come si può evincere dallo schema rappresentato nella figura sovrastante, la fase iniziale della stesura del modello dell'infrastruttura prevede la "*definizione di un database condiviso - CDE*". Infatti, nel primo step il progettista ha il compito di acquisire e catalogare tutte le informazioni e i materiali necessari per lo sviluppo seguente del modello, ed inserirli all'interno di unico database condiviso. In questa fase del procedimento è prevista la raccolta di tutti i dati che descrivono l'assetto morfologico ivi compresi quelli corrispondenti al rilievo topografico, del sito su cui si dovrà eseguire la realizzazione del corpo stradale e delle opere connesse ad esso. Le informazioni ottenute dalla campagna di rilievo, verranno salvate all'interno del database, per poi essere elaborate nella fase successiva. Oltre a queste informazioni, si dovranno elaborare anche tutti quelle che descrivono l'assetto antropologico del territorio, mediante, cartografie tematiche, esame di foto aeree, ecc.. Questi dati consentiranno al progettista di visualizzare la tipologia e posizione dei vincoli presenti nel territorio.

Successivamente all'acquisizione dei dati topografici, si può eseguire la definizione della tipologia delle opere che caratterizzeranno l'infrastruttura, in funzione anche della categoria di strada da progettare, come ad esempio la tipologia di barriere di sicurezza da adottare, o l'illuminazione, ecc.. In questa fase risulta opportuno diversificare le opere in due macro gruppi: quelli corrispondenti alle opere d'arte puntuali e quelle classificabili in opere d'arte lineari. Questa necessità nasce principalmente per un'esigenza di natura pratica durante la fase preliminare di modellazione dell'opera, infatti, in funzione della loro tipologia si eseguirà una specifica tecnica di modellizzazione, con lo scopo da agevolare il lavoro successivo.

In definitiva, lo scopo ultimo della definizione del CDE, comprenderà anche quello di centralizzare in un unico database tutti i modelli BIM programmati, consentendo al tempo spesso un interscambio, agevole e veloce, di detti dati ai vari componenti del team di progettazione.

La fase successiva corrisponde alla digitalizzazione del modello del terreno o "*Terrain digital model - DTM*", essa comprende la modellazione della superficie tipografica, in base ai dati ottenuti dal rilievo topografico, ed alla loro post-elaborazione, al fine di eliminare eventuali discrepanza tra la superficie reale e quale

modellizzata. Tale modellazione risulta fondamentale per lo sviluppo della strada in quanto riassume le caratteristiche geomorfologiche del territorio e quindi indirizzerà tutte le scelte riguardanti sia il tipo, sia le tecniche da utilizzare nella progettazione del tracciato.

Generato il DTM, si procede allo sviluppo della “*modellazione delle famiglie parametriche*”. In questa fase si studieranno i dati raccolti precedentemente all'interno in database del programma BIM, per poter generare uno specifico modello di famiglia parametrica, che vada ad rappresentare un determinato elemento costituente l'infrastruttura. La definizione di un elemento specifico dell'opera, all'interno di ogni famiglia, rende possibile in fase di progettazione un suo adattamento in funzione di specifici vincoli, e di coordinarlo con gli altri elementi dell'infrastruttura. Inoltre, consente la realizzazione di file, inseriti all'interno del database centrale condiviso, che permetterà il loro eventuale utilizzo in differenti casi di studi futuri, velocizzando di molto questa prima fase di progetto.

Ultimato il lavoro di creazione delle famiglie parametriche e il modello digitale del terreno, si passa alla generazione del “*Modello federato*”. Quest'ultimo scaturisce dall'unione e integrazione di più modelli, ognuno dei quali relativo a una specifica disciplina (ad esempio architettonico, strutturale e impiantistico) e prodotto dal professionista o gruppo di professionisti incaricato del suo sviluppo, che, nel nostro caso, comprenderà tutti i singoli elementi, DTM, modello della sede stradale, opere idrauliche, ecc., i quali nell'unisono corrisponderanno al modello dell'infrastruttura, il tutto, inserito in un unico file, che permetterà al progettista di eseguire il design dell'infrastruttura finale e di avere allo stesso tempo un visione completa del sistema e di tutte le componenti che lo costituiscono. Ciò rende possibile avere costantemente a disposizione una visione d'insieme dell'infrastruttura in tutte le sue componenti dimensionali, 3D, 4D, ecc., al fine di verificare , ed eventualmente risolvere, interferenze o inefficienze del progetto.

La possibilità di cooperazione e la capacità di condivisione dei dati tra vari team di progetto è la principale proprietà del modello BIM, che restituisce a questo metodo di lavoro una flessibilità e una funzionalità sconosciuta al tradizionale criterio di progettazione sino ad ora in uso.

Una volta definito il modello completo dell'infrastruttura, è possibile passare alla fase finale riguardante *"l'esportazione dei dati"*. In questo step il progettista potrà esportare dal modello federato tutte quelle informazioni, indicazioni e dati necessari non solo per lo sviluppo del progetto stesso, ma anche alla seguente realizzazione dell'opera. Si potranno quindi esportare tutti i dati relativi ai materiali necessari all'impresa esecutrice dell'opera, per una corretta esecuzione dei lavori. L'esportazione di detti dati sarà infine indispensabile, anche al gestore dell'infrastruttura per una corretta stesura di un programma di gestione e manutenzione della stessa.

Inoltre, se richiesto da particolari esigenze della committenza, sarà possibile integrare questo metodo innovativo di progettazione con uno di quelli più tradizionali, pertanto sarà possibile esportare sia elaborati grafici del modello, in un formato di disegno CAD 2D, sia gli elaborati costituenti il computo estimativo dell'opera.

Nei successivi paragrafi entreremo nello specifico delle varie fasi descritte sino ad ora.

## **3.2 Common Data Environment - CDE**

La realizzazione di un unico database condiviso (CDE), che abbia la funzione di immagazzinare tutte le informazioni necessari per la definizione del modello BIM, è il punto di partenza per questo modello di lavoro.

Tutti i dati contenuti all'interno del CDE, possano essere aggiornati implementati o modificati in qualsiasi momento, tale metodo minimizza il rischio di eventuali errori dovuti alla duplicazione o al salvataggio di dati in diversi sistemi, ciò assicurarsi che le informazioni presenti nel CDE siano coerenti e non ridondanti. Inoltre, tale approccio permetterà, in caso di eventuali modifiche, che tali variazioni ivi apportate possano essere rappresentate in tutte le viste del o dei modelli.

Le informazioni che possiamo inserire e visionare all'interno del CDE sono molteplici. Di seguito si andranno sinteticamente ad analizzare le principali tipologie di informazioni e dati indispensabili per una corretta progettazione di un'infrastruttura stradale.

### **3.2.1 Rilievo topografico**

La generazione di un modello che vada a descrivere l'assetto morfologico del territorio su cui si debba realizzare l'opera è il primo passo della fase progettuale nel quale. il progettista, attraverso gli esiti degli opportuni rilevamenti topografici, rappresenta nello spazio la superficie topografica del sito.

Gli strumenti utilizzati per l'esecuzione del rilievo topografico possono essere, sia tradizionali, come il teodolite, il livello o la stazione totale, oppure si possono utilizzare strumenti topografici più moderni come il GPS, laser scanner o l'utilizzo di droni per fotogrammetria. Il risultato che ci si prefigge, indipendentemente dallo strumento di rilievo utilizzato, è quello di ottenere un formato digitale che raccolga i dati ottenuti dalla campagna di misurazione, che sia leggibile dai programmi di modellazione BIM. La maggior parte di programmi disponibili attualmente in commercio, necessitano come file di input, il formato .txt, cioè un formato di testo dove al suo interno sono elencati i vari punti battuti nelle varie campagne di misura,

con associati ad ognuno di essi le coordinate rispetto ad un determinato sistema di riferimento.

I dati così ottenuti dovranno essere archiviati all'interno del CDE, e saranno utilizzati per il successivo sviluppo del modello digitale del terreno "DTM", che consentirà di decidere le caratteristiche dell'infrastruttura, in trincea, in rilevato o a mezza costa, e consentirà, inoltre, di stabilire tutte le opere necessarie alla stabilità dei versanti connessi all'opera, e permetterà di definire i diagrammi dei volumi di scavo e riporto, necessari per la realizzazione del corpo stradale elaborare consentendo, in fase di esportazione, le sezioni di computo.

### **3.2.2 Cartografia tematica**

Per la definizione piano altimetrica del tracciato stradale è fondamentale analizzare dettagliatamente, l'assetto morfologico del territorio, la sua antropizzazione, le caratteristiche ambientali e quelle geofisiche. Ciò permette una accurata valutazione di tutti i vincoli e le problematiche morfologiche del territorio su cui si andrà ad operare .

Tali indagini e valutazioni dovranno essere elaborate all'interno delle cartografie di sintesi, le quali consentiranno una corretta stesura sia del quadro economico sia di quello ambientale ed rappresentando al tempo stesso tutti i vincoli rilevati, positivi e negativi.

Per quanto attiene i vincoli negativi sebbene raramente assoluto rappresentano un ostacolo impossibile da superare con opportuna soluzione tecnica, va comunque tenuto presente che nella stragrande maggioranza dei casi rappresentano un aggravio dei costi dell'infrastruttura .

Possiamo classificare come vincoli negativi i seguenti spetti territoriali:

- Caratteristiche ambientali: inquinamento acustico, atmosferico, impatto paesaggistico/visivo;
- Attraversamento di parchi e/o zone archeologiche;

- Vicinanza di zone sensibili (ospedali, scuole, ...);
- Presenza di edifici;
- Presenza di zone geologicamente compromesse: ad esempio instabili o scarsa portanza dei terreni;
- Morfologia dei luoghi: corsi d'acqua, quindi attraversamento con ponti o viadotti, monti, che comportano attraversamento con gallerie e quindi necessità di opere geotecniche importanti oltre allo studio del profilo ottimale.

Al contrario vincoli positivi, essere dovranno essere comunque definiti in quanto rappresentano una opportunità che il nuovo tracciato stradale offre al territorio, come ad esempio la possibilità di valorizzare nuove zone panoramiche, il miglioramento della viabilità locale e nuove possibilità di servizio e fruizione della rete stradale.

La costruzioni di tali carte sarà necessaria per il corretto sviluppo del tracciato definitivo, poiché permetterà al progettista, in fase definitiva e/o esecutiva, di verificare ed eventualmente apportare modifiche al tracciato stipulato nel progetto preliminare.

Nel caso si dovesse implementare, mediante metodologia BIM, un progetto in fase già avanzata (progetto definito od esecutivo), l'utilizzo delle tavole realizzate con metodi tradizionali di progettazione, possono essere utilizzate allo stesso modo delle carte tematiche . Tali tavole, pertanto, agevolando l'inserimento dei vari oggetti BIM all'interno della piattaforma virtuale.

### **3.2.3 Opere d'arte puntuali**

Tutti gli elementi che compongono l'infrastruttura stradale possono essere classificati in due macro categorie: le opere puntuali e le opere lineari. L'Art 3 comma 1 del Codice degli Appalti definisce opere puntuali tutti gli elementi o lavori che interessano una limitata area di territorio rispetto alla superficie occupata dell'intera opera. Generalmente nelle infrastrutture stradali, quest'ultimi hanno la caratteristica di ripetersi con una determinata frequenza lungo lo sviluppo del tracciato, mantenendo gran parte delle proprie caratteristiche immutate. Infine, si definisco opere lineari,

tutte quelle opere in cui una dimensione geometrica prevale, in ordine di grandezza, rispetto alle altre. Questa differenziazione dovrà essere fatta prima di intraprendere un qualsiasi studio progettuale, in quanto in funzione della tipologia dell'opera che si intenda realizzare e della prevalenza delle opere puntuali su quelle lineari o viceversa, si dovrà eseguire un approccio di modellazione specifico.

Le opere puntuali risultano per quanto detto avere ridotte dimensioni geometriche in rapporto allo sviluppo complessivo dell'infrastruttura anche se sovente possono essere ripetitive lungo il tracciato o presentarsi con caratteristiche geofisiche analoghe le une alle altre.

Per questioni pratiche legate allo sviluppo successivo di questa categoria in famiglie parametriche, e quindi in modelli BIM, è utile effettuare un'ulteriore distinzione, di tale macro gruppo, in due categorie: le opere d'arte maggiori puntuali e le opere d'arte minori puntuali.

La differenza sostanziale tra queste due categorie, risiede nella loro complessità tecnica e geometrica. Mentre le opere d'arte minori, sono elementi strutturali di dimensioni ridotte e di impatto economico e ambientale trascurabile, le opere d'arte maggiori hanno delle caratteristiche costruttive molto più complesse e, la loro progettazione e funzione, è espressione di un numero di vincoli e parametri molto numerosi.

Per la categoria opere d'arte minori è possibile creare una serie di famiglie parametriche, cioè modelli con caratteristiche geometriche e fisiche standard, in modo da consentire una semplice importazione e eventuale modifica all'interno del modello federato, in funzione alle esigenze progettuali e vincoli territoriali.

Per le opere d'arte maggiori tale procedimento sarebbe possibile esclusivamente in via teorica, in quanto si tratta di opere uniche, che dipendano dal contesto in cui vengono realizzate, oltre ad avere un numero così elevato di elementi costruttivi e parametri, la cui modellazione in un'unica famiglia parametrica risulterebbe superfluo se non addirittura impraticabile. Per motivi quanto sopra esposto, tali tipologie di interventi sebbene identificati in fase preliminare di progetto, in modo tale da poter

prevenire la loro realizzazione, solo all'interno del modello federato sarà eseguita la loro modellazione.

Si andrà ora ad analizzare le principali opere d'arte cui è possibile una loro modellazione in ambiente BIM, differenziandole in opere d'arte minori e opere d'arte maggiori.

### **3.2.4 Opere d'arte minori**

Come già specificato, le opere d'arte minori rappresentano quelle quella categoria di opere all'interno di un'infrastruttura con caratteristiche geo-fisiche semplici e standard, oltre ad avere la peculiarità di poter essere ripetute anche in sequenza lungo lo sviluppo di un tracciato stradale. Questa loro caratteristica attraverso l'implementazione mediante software BIM, consente facilmente al progettista di poter essere inseriti in serie all'interno del modello dell'infrastruttura.

Le principali opere d'arte minori all'interno di un'infrastruttura stradale sono:

- le opere idrauliche a difesa del corpo stradale - puntuali;
- la segnaletica stradale;
- gli elementi di moderazione del traffico – interventi puntuali;
- gli impianti di illuminazione stradale;
- dispositivi di ritenuta – puntuali;
- stalli di sosta.

#### *- Opere idrauliche a difesa del corpo stradale*

Le opere idrauliche sono elementi fondamentali nella progettazione stradale, poiché quest'ultima, per sua natura, altera il regime delle acque superficiali del territorio che attraversa. I manufatti idraulici hanno la funzione di minimizzare tale impatto e, allo stesso tempo, proteggere e mettere in sicurezza il corpo stradale.

I manufatti idraulici variano in funzione alla tipologia di lavoro a cui sono preposti, si possono distinguere opere che garantiscono l'attraversamento dei corsi acqua, le vasche di raccolta delle acque e gli elementi puntuali per la raccolta ed allontanamento delle acque superficiali.

Al fine di garantire la continuità dei corsi d'acqua attraversati dalla infrastruttura stradale, il ruscellamento a valle delle acque meteoriche evitando fenomeni di dissesto idrogeologico, e il passaggio a valle delle acque captate a monte del solido stradale, risultano fondamentali le opere d'arte minori di attraversamento quali i tombini. Si definiscono tombini quei manufatti che consentono alle acque raccolte a monte del tracciato di attraversare il solido stradale e defluire a valle.

Suddette opere d'arte, possono essere distinte in funzione della loro geometria:

- Tubolari: aventi sezione circolare od ovoidale, tipicamente realizzati in tubi prefabbricati in calcestruzzo, accostanti l'uno all'altro mediante giunzione a bicchiere;



*Figura 14 - Tubi in calcestruzzo vibrocompressato*

- Scatolari: aventi sezione quadrata o rettangolare, realizzati tipicamente in calcestruzzo armato e formano un'unica struttura, struttura a telaio chiuso, in grado di resistere ad elevati carichi accidentali, come quelli veicolari e quelli generati dalla spinta delle terre, all'azione sismica e a cedimenti del piano di posa.



*Figura 15 - Tubo scatolare in calcestruzzo prefabbricato*

Particolare attenzione va posta per quanto riguarda le acque provenienti dalle sedi stradali, esse infatti possono avere un alto grado di inquinamento, risulta quindi importante raccogliere e convogliare tali acque in apposite vasche di decantazione per una fase di depurazione, al fine di evitare il contaminamento dei corpi idrici naturali assumendo una funzione di presidio idraulico - sanitario. Questa tipologia di manufatti sono dunque elementi che vengono inseriti con una certa frequenza lungo il tracciato stradale e dimensionati in modo da poter contenere i primi 15 minuti di pioggia ipotizzata di intensità pari a 5 mm.

All'interno di questa categoria troviamo infine, le opere che hanno il compito di raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici stradali. Lo studio di tali opere potrebbe rappresentare un problema di idraulica minore, ma che, se non adeguatamente affrontato potrebbe causare problematiche non trascurabili legate sia al ristagno delle acque, da cui potrebbe dipendere una riduzione delle condizioni di sicurezza della circolazione e, in ambito urbano causare l'allagamento dei piani terreni e degli scantinati degli edifici adiacenti alla strada e sia relative al loro lento smaltimento. Gli elementi puntuali che permettono un adeguato controllo delle acque piovane sono principalmente costituito dalle caditoie. Si definiscono tali quei dispositivi che hanno la funzione di captazione delle acque fluenti nelle cunette, nei fossi di guardia o ai lati della strada e che consentono di convogliarle verso i collettori. Possono essere di diverso tipo, ma sono composte dai seguenti elementi principali: bocca di presa superiore, orizzontale o verticale, avente la funzione di convogliare la portata da smaltire e di filtrare eventuali corpi grossolani trasportati dalla corrente che potrebbero creare ostruzioni all'interno dei collettori, un pozzetto

sottostante nel quale sedimenta buona parte dei corpi solidi trasportati, un tubo che collega il dispositivo caditoia ad un pozzetto ispezionabile della rete dei collettori ed eventuale sifone posto tra la caditoia e la fognatura per impedire il propagarsi degli odori. Tipicamente questi elementi puntuali si dispongono in entrambi i lati della strada, lungo le cunette ed in corrispondenza dei pozzetti di ispezione, ad un interasse compreso tra i 25 e 50 metri.

#### - *La segnaletica stradale*

Un'ulteriore opera d'arte che compone l'infrastruttura stradale è rappresentata dalla segnaletica stradale che si divide in verticale ed orizzontale. La prima, ai sensi dell'art. 39 del Nuovo Codice della Strada, ha lo scopo di segnalare agli utenti un pericolo, una prescrizione oppure un'indicazione, ed i dispositivi che la costituiscono sono essenzialmente un supporto metallico, che tipicamente è un palo, sul quale è montato il "cartello", anch'esso metallico, la cui forma, colore e dimensione sono funzione dell'informazione che deve essere trasmessa agli utenti. Definito ciò, una volta raccolta le informazioni necessarie ad una completa ed accurata descrizione delle varie tipologie di segnali, li si potranno organizzare in famiglie parametriche per poi essere inserite nel CDE.

La segnaletica orizzontale, ha invece lo scopo principale di costituire una guida visiva per gli utenti della strada. La differenza sostanziale con la segnaletica verticale è, che parte della tipologia degli elementi costituenti la segnaletica orizzontale non sono da considerare puntuali, basti pensare alla segnaletica che ha il compito di delimitare la carreggiata stradale, la quale si sviluppa per tutto il tracciato della strada. Di conseguenza alcuni elementi, a discrezione del progettista possono essere successivamente modellizzati tramite famiglie parametriche, altre che hanno la caratteristica di inserirsi nel contesto in maniera puntuale, come le fermate degli autobus o gli attraversamenti pedonali, ecc.

- *Gli elementi di moderazione del traffico – interventi puntuali*

Nell'ipotesi di una progettazione di infrastruttura stradale in ambiente urbano, potrebbe sorgere l'esigenza di dovere attuare delle misure atte alla moderazione del traffico. Tale necessità può essere soddisfatta mediante una serie di interventi che possono essere classificati: puntuali, lungo l'asse e coordinati.

Sono ascrivibili alla categoria degli interventi puntuali, tutti gli elementi di moderazione del traffico che corrispondono a particolari tratti e/o configurazioni della sede viaria, realizzati in un ambito ridotto, con la funzione di obbligare gli automobilisti a un corretto comportamento. Gli interventi maggiormente utilizzati si distinguono in:

- Segnaletica orizzontale e verticale per la definizione di attraversamenti pedonali o piste ciclabili, già accennate precedentemente;
- Trattamento altimetrico delle traiettorie, che corrispondono ad interventi di tipo puntuale sulla pavimentazioni stradale in grado di incrementare l'attenzione del guidatore, portandolo a moderare la velocità per mancanza di comfort per la presenza di un "ostacolo" sull'andamento altimetrico del tracciato stradale. Gli elementi maggiormente utilizzati sono: i dossi, i cuscini berlinesi, gli attraversamenti pedonali rialzati e la sopraelevazione della zona di incrocio.
- Trattamenti della superficie stradale volti ad incrementare l'attenzione del guidatore. Si costituiscono in: bande rumorose e nella modifica della tessitura superficiale della pavimentazione.

- *Gli impianti di illuminazione stradale;*

Allo scopo di prevenire l'incidentalità notturna, principalmente causata nella diminuzione della qualità visiva di informazioni a disposizione del conducente in tali condizioni di guida, vengono inseriti lungo lo sviluppo del tracciato stradale apparecchi illuminanti, i quali, attraverso la trasformazione dell'energia elettrica in energia luminosa, permettono l'esercizio dell'infrastruttura in sicurezza anche in condizioni di scarsa visibilità.

Questi elementi sono costituiti essenzialmente da un palo, genericamente metallico, la cui geometria dipende dai vincoli antropici locali dalle disposizioni del o dei centri illuminanti definiti dal progettista e dalle condizioni della geometria dell'infrastruttura stradale in cui ci si trova (rettilinei, curve, passaggi pedonali, ecc.). Il compito della struttura è quella di sostenere in una determinata posizione il centro illuminante, costituito dalla lampada.

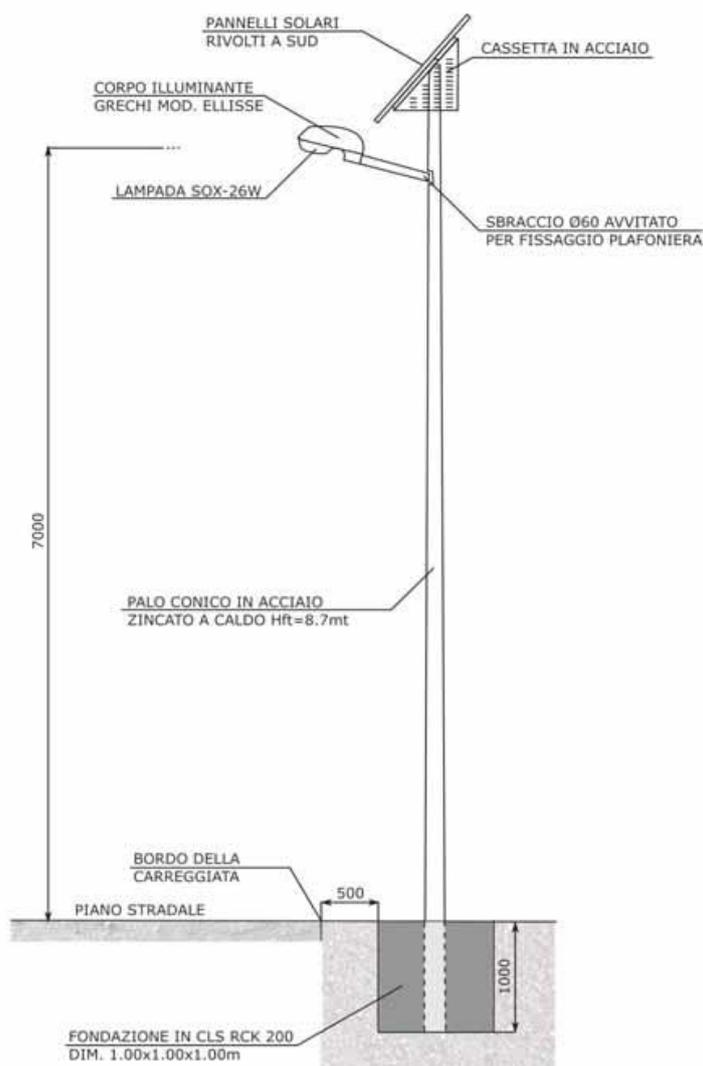


Figura 16 - Esempio caratteristiche lampione

La definizione della tipologia di questo elemento (LED, lampada ad induzione, lampada a vapori, ecc), in questa fase di progetto, risulta fondamentale per la successiva fase di modellazione in famiglia parametrica, ciò permetterà di inserire i

parametri e le informazioni riguardanti le caratteristiche illuminotecniche di questi elementi, nonché la vita utile di ogni lampada, al fine di predisporre un’efficace programma di manutenzione.

- *Dispositivi di ritenuta - puntuali*

Nelle opere d’arte catalogabili come puntuali, rientrano alcune categorie di dispositivi detti di ritenuta, i quali nascono allo scopo di elevare il grado di sicurezza delle strade. Può essere necessario in fase di progettazione prevedere in zone potenzialmente pericolose o problematiche, ove l’installazione di tali dispositivi di ritenuta limitano i danni agli occupanti dei veicoli derivanti sia da urto con eventuali ostacoli posti a bordo carreggiata sia con altri veicoli, che inoltre tali dispositivi possono essere previsti anche in quei luoghi in cui è fondamentale separare e proteggere i pedoni dal flusso veicolare, soprattutto in ambito urbano.

I dispositivi ritenuta secondo la UNI EN 1317 – 1, si dividono essenzialmente in: barriera di sicurezza per veicoli, installata quando il dispositivo che viene installato sulla strada ha lo scopo di fornire un livello di contenimento per veicoli in svio, e barriere di sicurezza per pedoni, nel caso in cui la barriera installata ha il compito di fornire una guida ai pedoni.

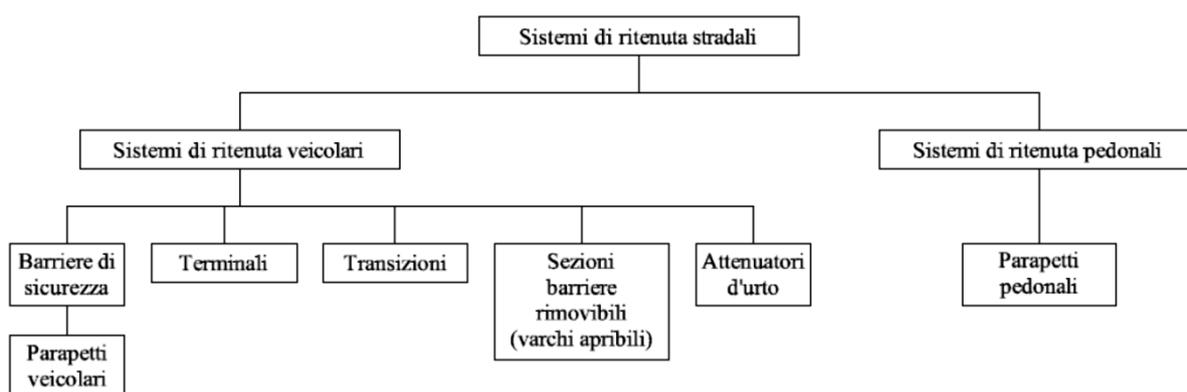


Figura 17 - Tipologie di barriere

Le tipologie di tali elementi variano sia in funzione delle forme geometriche, che dalle caratteristiche fisiche, in generale tali caratteristiche vengono fornite e definite dal produttore, inoltre si differenziano anche in funzione al compito specifico per cui sono stati progettati, a tal proposito si possono distinguere:

- Barriera di sicurezza longitudinale: barriera di sicurezza stradale per veicoli installata lungo i bordi di una strada o nello spartitraffico centrale;
- Terminale: parte di inizio o fine dello sviluppo di una barriera di sicurezza longitudinale;
- Letto di arresto: area non pavimentata adiacente alla strada riempita con materiale in grado di decelerare e arrestare i veicoli in svio;
- Attenuatore d'urto: dispositivo capace di assorbire l'energia di un veicolo che vi impatta; è solitamente installato a protezione di un oggetto rigido per ridurre la severità dell'urto;
- Transizione: zona di collegamento tra barriere aventi diverse caratteristiche;
- Barriera per opere d'arte: barriera di sicurezza installata sul bordo di un ponte, di un muro di contenimento o di strutture analoghe in cui vi è il rischio di caduta dall'alto e che necessitano di protezioni aggiuntive per pedoni e altri utenti della strada;
- Parapetto per pedoni: barriera di sicurezza per pedoni o "altri utenti" installata lungo un ponte o sulla cima di un muro di contenimento o di una struttura analoga, non progettata come barriera di sicurezza stradale per veicoli;
- Guardrail per pedoni: barriera di sicurezza per pedoni o "altri utenti" posta lungo il margine di un sentiero o di un marciapiede; è un dispositivo volto ad impedire, a pedoni e ad altri utenti, di attraversare o di scendere in carreggiata o in zone potenzialmente pericolose.

La diversificazione delle tipologie di barriere sopra elencate in opere puntali o lineari è demandata alla discrezionalità del progettista, in funzione dello sviluppo di tali elementi lungo il tracciato stradale. In linea di principio il *modus operandi* da seguire in questa fase preliminare del progetto consiste nel definire in primis quali siano i punti del tracciato critici che necessitano l'inserimento di tali opere, per poi definirne la tipologia e, in funzione delle loro caratteristiche geometriche, catalogarli in opere d'arte lineari o puntuali, al fine di eseguire una corretta ed efficace modellazione BIM.

- *Stalli di sosta*

Ultimi elementi appartenenti a questa categoria sono gli stalli di sosta, indispensabili in ambito urbano, a causa della necessità di soddisfare l'elevata domanda di sosta veicolare. Nel caso di parcheggi a raso, si possono individuare tre principali tipologie di disposizioni degli stalli per autovetture standard rispetto alla strada (o alle corsie di distribuzione):

- longitudinale (L): dove gli stalli sono disposti parallelamente alla direzione di marcia dei veicoli;
- spina di pesce (S): dove gli stalli sono disposti a 45° rispetto alla direzione di marcia dei veicoli. Per questa disposizione possono essere considerate varianti a 60° e 30° o altra inclinazione a seconda delle situazioni;
- pettine (P): dove gli stalli sono disposti ortogonalmente alla direzione di marcia dei veicoli.

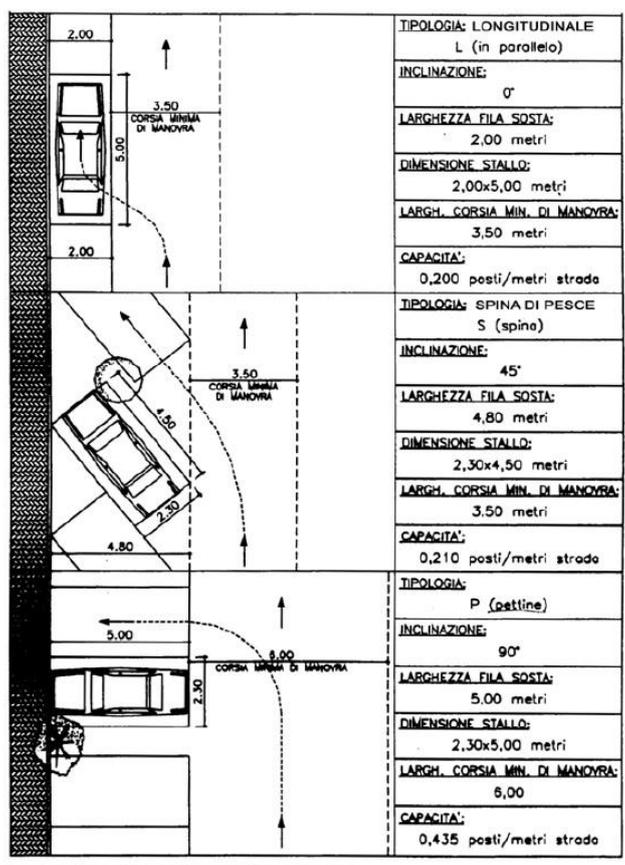


Figura 18 - Tipologia e caratteristiche degli stalli di sosta per autovetture standard

Particolare attenzione va posta anche nella disposizione di stalli riservati ai portatori di disabilità, questi sono caratterizzati da stalli trasversalmente più ampi, i quali andrebbero posizionati in prossimità di rampe di accesso, passaggi pedonali ed accesso agli edifici per favorire la sicurezza degli spostamenti. Infine ci sono gli stalli per motocicli, caratterizzati da un disposizione a pettine o a spine di pesce con, ovviamente, delle dimensioni geometriche ridotte.

Definite tali tipologie e le loro caratteristiche geometriche, imposte territorialmente dal PUP “Programma Urbano dei Parcheggi”, si possono archiviare all’interno del CDE, per poi essere successivamente modellizzate come famiglia parametrica e poi utilizzare tale modelli all’interno del modello federato, con lo scopo di sviluppare gli schemi compositivi di gruppi di stalli inerenti all’infrastruttura che si debba realizzare.

### **3.2.5 Opere d’arte maggiori**

Queste tipologie di opere all’interno di un progetto stradale sono dovute per possibili interferenze, di natura morfologia o antropica legata al territorio locale, che obbligano il progettista alla realizzazione di strutture complesse, sia a livello costruttivo e per la numerosità di elementi e materiali di cui sono costituiti, sia a livello geometrico. Questo aspetto, come già accennato in precedenza, è la differenza sostanziale che le contraddistingue con la tipologia di opere d’arte minori. Tale peculiarità fa sì che la loro definizione in una singola famiglia parametrica sia complesso da realizzare, dato l’elevato numero di informazioni e vincoli presenti all’interno di questi. In linea di principio non esiste una regola specifica che impedisce al progettista di definire quali opere ingegneristiche possano essere modellizzate in famiglie parametriche e quali no.

La classificazione che segue, si basa su riferimenti di natura pratica e sull’esperienza acquisita in fase di progettazione.

Le principali opere d'arte maggiori possono essere contraddistinte in:

- Intersezioni;
- Opere in sotterraneo: gallerie;
- Opere di attraversamento dei corsi d'acqua: ponticelli e ponti;
- Opere di contenimento delle terre: gallerie paramassi;
- Stazionamento urbano: parcheggi multipiano.

- *Intersezioni*

La progettazione di questo tipo di opere ne scaturisce quando due o più tronchi stradali, detti archi, convergono in uno stesso punto, detto nodo. L'intersezione è costituita sia dall'area interessata dagli archi stradali sia dai dispositivi atti a consentire ed agevolare le manovre per il passaggio da un tronco all'altro.

A livello di rete stradale, queste opere possono sorgere sia nella viabilità extraurbana che in quella urbana ed in funzione della tipologia di archi che si vanno ad interconnettere, esiste una classificazione funzionale per tali nodi, dettata in Italia dal D.M. 19-4-06 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali". In particolare si definiscono:

- Nodo primario: nella rete primaria e tra rete primaria e principale;
- Nodo principale: nella rete principale e tra rete principale e rete secondaria;
- Nodo secondario: nella rete secondaria e rete secondaria e locale;
- Nodo locale: nella sola rete locale.

Tali nodi presentano caratteristiche tecniche differenti (geometria, regolazione, segnaletica, illuminazione, ecc.) in relazione alla classe funzionale di appartenenza. Detto questo, il Codice della Strada cataloga i possibili schemi di incrocio derivanti dalla modalità di gestione dei punti di conflitto, cioè quei punti ideali di intersezione

tra traiettorie dei vari archi stradali che possono portare a condizioni di sicurezza insufficienti. Tali schemi sono:

- Svincolo: intersezione a livelli sfalsati in cui le correnti veicolari non si intersecano;
- Intersezione a livelli sfalsati: insieme delle infrastrutture (opere di scavalco, sottopassi, rampe) che consentono lo smaltimento delle correnti veicolari tra strade poste a livelli diversi;
- Intersezioni a raso o a livello: area comune a più strade, organizzata in modo da consentire lo smaltimento delle correnti di traffico dall'una all'altra di queste. Le intersezioni a raso vengono inoltre distinte in: o Intersezioni lineari quando sono consentite manovre di intersezione; o Intersezioni a rotatoria, nelle quali sono eliminati i punti di conflitto.

Da quanto sopra si può dedurre che le caratteristiche geometriche e costruttive di queste opere, sono fortemente condizionate dalla loro locazione territoriale, dal sistema viario e dall'elevata numerosità di parametri progettuali da cui dipende la configurazione di un incrocio (come la velocità di riferimento relative agli elementi del tracciato che caratterizzano i rami confluenti all'intersezione e le portate veicolari associate ad ognuna delle correnti di traffico che effettuano le manovre in intersezione).

Questo ne determina la loro implementazione in un'unica famiglia parametrica risulta molto complessa e articolata, ne consegue non conveniente in termini di utilizzo, possibili mentre in linea teorica può essere praticabile per le intersezioni meno complesse, come ad esempio quelle a raso a bassi volumi di traffico, per i quali, è possibile una loro catalogazione nei principali schemi di incroci a raso (ad esempio: intersezioni a tre rami scema a, intersezioni a tre rami scema b, ecc.). Va sottolineato per questo caso specifico, che la modellizzazione in famiglie parametriche risulterebbe efficace, solo se il numero degli schemi da modellizzare fosse limitato, in caso contrario il tempo necessario della per la loro digitalizzazione in modelli BIM non sarebbe economicamente giustificato.

Nel mercato dei software BIM esistono programmi ed estensioni, che permettono la definizione automatica di tali opere di bassa complessità, a fronte di determinati parametri in ingresso definiti dal progettista. Il programma restituisce generalmente un modello di intersezione in 3D che dirime eventuali punti di conflitto in funzione di vincoli imposti dal progettista.

Purtroppo i software attualmente disponibili a tale scopo, nella maggior parte dei casi ricostruiscono solo le geometrie essenziali dell'intersezione in un livello 3D, non riuscendo a gestire tutta quella banca di dati non grafici che farebbe elevare il livello di maturità del modello. Comunque una loro implementazione potrebbe essere un interessante oggetto di studio specifico.

- *Opere in sottoterraneo: gallerie*

Le gallerie sono definite come infrastrutture realizzate nel sottosuolo nel campo dell'ingegneria stradale, ferroviaria, mineraria e idraulica. Alla realizzazione di tali interventi si ricorre quando il superamento di un rilievo topografico o morfologico risulta particolarmente complesso e/o oneroso, oppure quando vi sono vincoli di carattere ambientale e urbanistico che prediligano un tracciato in sottosuolo, oppure, ancora, quando il tracciato deve avere un andamento il più possibile rettilineo affinché si possano raggiungere velocità elevate.

In ambito stradale quest'ultime possono essere con caratterizzate da carreggiate separate da spartitraffico o indipendenti, oppure con carreggiata unica bidirezionale, i in funzione della tipologia la caratterizzazione geometrica e costruttiva risulta variabile. Le principali parti costituenti la struttura dell'opera sono raffigurati nella Figura 19.

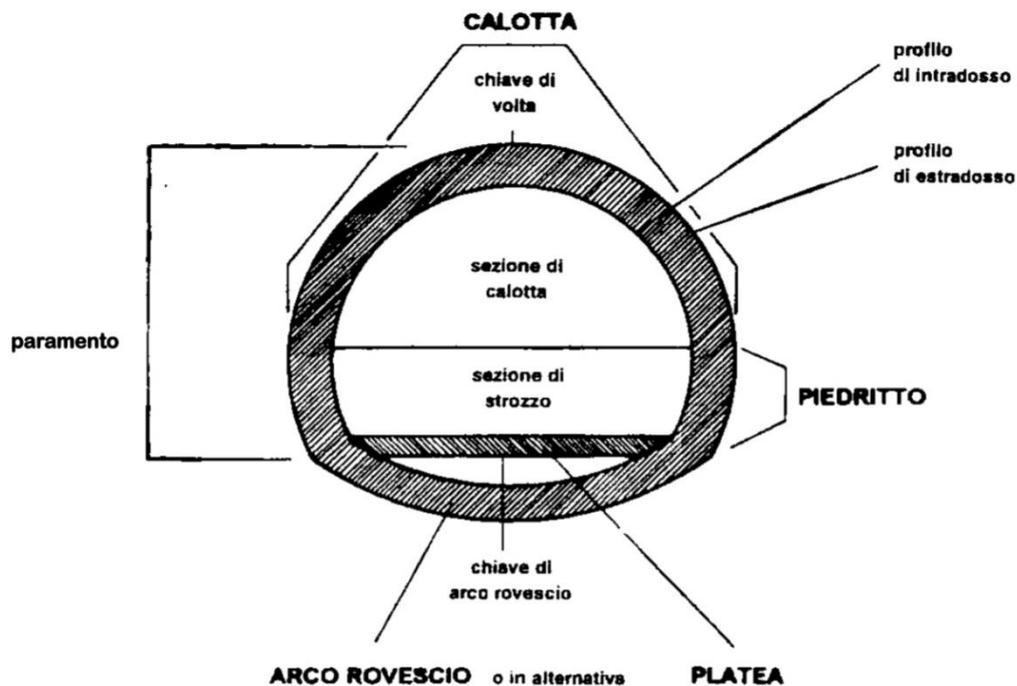


Figura 19 - Terminologia delle diverse parti di una galleria

Proprio a causa della complessità e dei numerosi elementi costituenti l'opera d'arte, la loro implementazione in un'unica famiglia parametrica, risulterebbe dispendiosa in termini di tempo, e pertanto sconsigliata. Va inoltre preso atto che, oltre alle opere strutturali che nel loro complesso definiscono il solo scheletro dell'opera, vi sono una lunga serie di elementi complementari, come sistemi di illuminazione, di drenaggio della piattaforma stradale, la pavimentazione stradale, le barriere di sicurezza, ecc.. Di fatto non si esclude a priori la possibilità di modellizzare separatamente le diversi componenti strutturali e funzionali, quali piedritti, calotta, platea, pavimentazione stradale, arco rovescio, ecc., ognuno dei quali dovrà essere diversificato in funzione delle proprie proprietà geometriche, distinguendoli quindi in opere lineari e puntuali.

- *Opere di attraversamento dei corsi d'acqua: ponticelli e ponti*

Altra tipologia di grandi opere che spesso ricorrono lungo il tracciato stradale, sono tutte quelle strutture necessarie per il superamento di barriere ambientali, come corsi d'acqua, elevati dislivelli, ecc.. In particolare, qualora la sezione dell'opera di scavalco abbia una luce compresa in linea di massima tra i 4 e i 10 metri si

potrà parlare di ponticello, mentre, se la luce è maggiore, si parlerà di vero e proprio ponte.

Anche se entrambe le opere d'arte risultano importanza costituite da elementi analoghi, i ponticelli, la cui sezione tipica è costituita da un impalcato a solettone o a travate in cemento armato ordinario o precompresso, che poggia sulle spalle laterali, avendo caratteristiche geometriche meno rilevanti, di fatto la modellizzazione parametrica è teoricamente possibile, ma consigliata solo se il numero di tali opere, con uguali o simili caratteristiche costruttive, si ripeta lungo lo sviluppo del tracciato dell'infrastruttura. Va però sottolineato che un eventuale modellizzazione parametrica di tali opere potrebbe risultare comunque utile per la loro progettazione in interventi futuri su opere stradali differenti.

Discorso totalmente differente va fatto per i ponti. Per quest'ultimi anche considerando che la tipologia più diffusa di tali opere è a travata, sebbene oggi trovano sicuramente ampia applicazione soluzioni più moderne quali impalcati a cassone, ponti strallati, ponti sospesi, ecc., hanno caratteristiche costruttive che sono fortemente dipendenti dalla morfologia locale. Infatti, nel caso dei ponti è necessario non porre solo l'attenzione sul rapporto tra gli elementi strutturali che lo costituiscono e la necessità di garantire un franco tra la massima quota idrometrica corrispondente alla piena di progetto e l'intradosso dell'impalcato, ma anche considerare l'interazione con il corso d'acqua, soprattutto in presenza di ponti con pile all'interno dell'alveo. Precisamente, le pile, ma anche le spalle, determinano un restringimento della sezione idraulica, che a sua volta comporta un aumento delle velocità di deflusso della corrente e quindi si potrebbero verificare fenomeni erosivi alla base delle stesse, causando un indebolimento delle condizioni di vincolo alla base, specialmente delle fondazioni, e quindi una instabilità dell'intera opera. Inoltre, tali elementi possono rappresentare un ostacolo al deflusso di eventuali detriti trasportati dalla corrente durante periodi di piena, i quali potrebbero ammassarsi contro le pile incrementando le turbolenze della corrente e la spinta esercitata su di esse.

La presenza di tale serie di parametri e vincoli, legati al sito specifico oggetto d'intervento, unita alla possibilità di optare per strutture così differenti tra loro,

determinano una sostanziale impossibilità di implementazione in famiglie parametriche al pari di quanto già visto per le opere in sotterraneo.

- *Opere di contenimento delle terre: gallerie paramassi*

Le gallerie paramassi sono una tipologia di opere d'arte utilizzate a protezione di infrastrutture quando le condizioni geo- morfologiche del sito non consentano altre soluzioni, come rilevati paramassi, fossi di raccolta, barriere paramassi, ecc.. L'opera è realizzata per arginare eventuali movimenti franosi o rotolamenti di massi. La galleria paramassi è costituita dai seguenti elementi:

- Parete continua in CLS lungo il versante roccioso;
- Pilastro (eventuale) lungo il ciglio dell'infrastruttura lato valle;
- Copertura in CLS (soletta) ricoperta da uno strato di materiale sciolto con la funzione di assorbire parte dell'energia di caduta e permettere il rinverdimento.

Tali prefabbricati si presentano sotto forma di struttura a mensola costituiti da tre corpi in CLS già collegati tra loro e montati in opera, i tre corpi sono: soletta (o tetto), piedritto ( o ritto) e articolazione (oppure obliquo). Spesso sono resi solidali alla parete rocciosa attraverso l'apposizione di tiranti, Figura 20.

Anche in questo caso, le caratteristiche dell'opera risultano fortemente condizionate e vincolate dall'assetto morfologico locale, da rendere la loro progettazione diversa in funzione delle condizioni ambientali, pertanto la loro modellazione è consigliabile direttamente all'interno del modello federato.

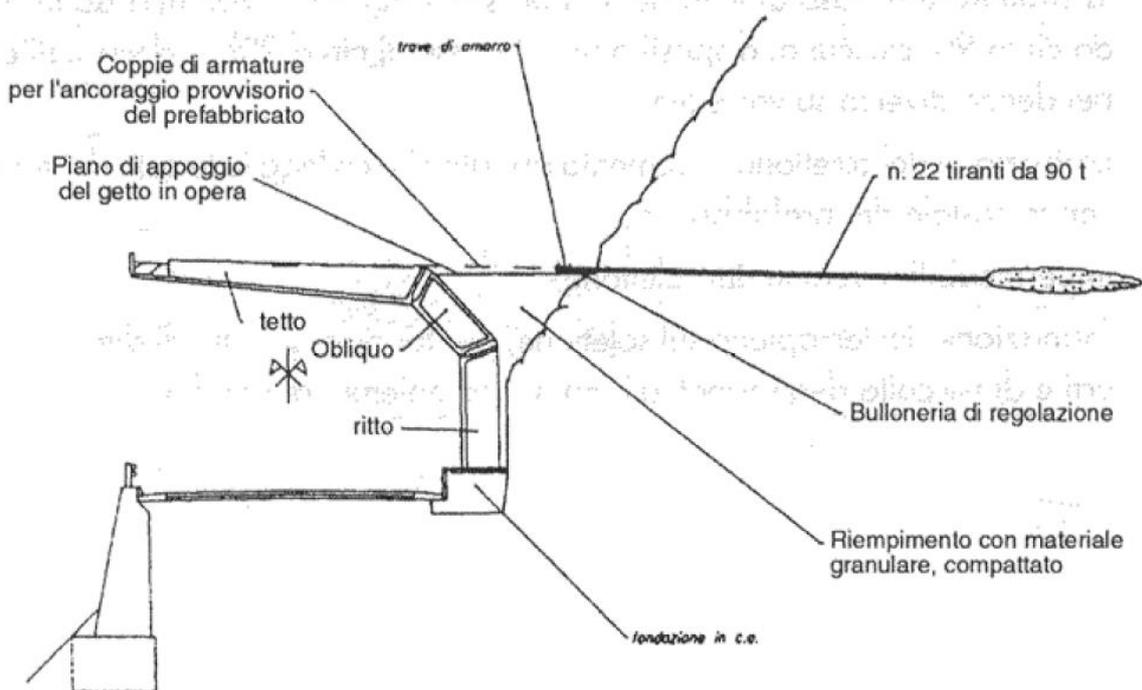


Figura 20 - Terminologia delle diverse parti di una galleria paramassi

In conclusione, la modellizzazione di opere d'arte maggiori si ritiene possibile qual ora, quest'ultimi, venissero suddivise in più elementi. Tale suddivisione permette di modellizzare queste componenti dalla struttura più semplice come famiglie parametriche, con la stessa procedura descritta nel capitolo seguente. L'alternativa per la digitalizzazione di tali opere, consigliata se le dimensioni e complessità di tali strutture risulterebbe non eccessivamente complesse, può svolgersi direttamente nel modello federato stesso.

### 3.2.6 Opere d'arte lineari

Si definiscono opere lineari tutte quelle opere aventi una dimensione geometrica, in ordine di grandezza, prevalente rispetto alle altre. Questo fa sì che, a livello teorico, tali opere si possono assimilare geometricamente come delle linee i cui nodi rappresentano l'inizio e la fine dell'opera.

Questa tipologia è di gran lunga la più ricorrente in tutte le infrastrutture nel campo dell'ingegneria civile. Non esiste una classifica universale di tali infrastrutture ma, con riferimento a quella adottata da McGraw-Hill, Bentley e Halpin, possono essere raggruppate in 5 categorie:

1. Infrastrutture di trasporto: ponti, strade, ferrovie, gallerie, aeroporti, porti e approdi;
2. Infrastrutture energetiche: impianti per la produzione di energia eolica, idroelettrica, centrali nucleari, sottostazioni, reti elettriche, impianti per l'estrazione del petrolio e del gas, miniere di rame, ferro e carbone.
3. Infrastrutture di pubblica utilità: distribuzione di gas naturale, elettricità e acqua, fognature, sistemi di depurazione e oleodotti.
4. Impianti per lo svago ed il tempo libero, come ad esempio parchi, campi sportivi, ecc.
5. Infrastrutture per la gestione delle acque: impianti per le acque bianche e reflue dighe, canali e argini.

Tutte le tipologie sopra elencate possono interagire ed avere un impatto più o meno elevato, come nostro caso di studio, è quindi opportuno, per rendere più coerente il modello che andiamo a sviluppare con l'ambiente circostante, integrarlo anche con tutte le altre tipologie di infrastrutture che interferiscono con la nostra infrastruttura stradale. Questo ulteriore processo può essere sviluppato sia dallo stesso team di progetto ovvero affidato ad altri progettisti. Lo scopo ultimo è quello di implementare ogni elemento che potenzialmente interferisce e/o interagisce con la nostra

infrastruttura all'interno del unico modello federato e ciò è reso possibile solo attraverso l'utilizzo di software BIM.

Per quanto delle attiene alle tipologie di opere d'arte lineari principalmente presenti all'interno di un'infrastruttura stradale, si possono suddividere in:

- il corpo stradale;
- le opere idrauliche a difesa del corpo stradale - lineari;
- gli elementi di moderazione del traffico – interventi l'ungo l'asse;
- i dispositivi di ritenuta l'ungo l'asse;
- le barriere fonoassorbenti e anti rumore;
- le opere di contenimento delle terre – interventi lineari.

Si sottolinea che per lo sviluppo del nostro modello lo studio di tali tipologie di opere non è stato affrontato in quanto ininfluenti ai fini della modellazione delle opere d'arte minori quali tombini.

#### - *Il corpo stradale*

Il solido stradale è la struttura principale dell'infrastruttura stradale, esso contiene tutti gli elementi strutturali atti a permettere la transizione dei veicoli su ruota in determinate condizioni di moto e sicurezza.

In linea generale una strada ha lo scopo di connettere due poli, di una diversa area geografica, migliaia posti ad una distanza che può variare da poche centinaia di metri a migliaia di km.

Per tale motivo la progettazione preliminare di tale struttura viene eseguita attraverso lo studio del tracciato guida, nel quale vengono individuati i vincoli fisici, ambientali e geomorfologici, si imposta planimetricamente la costruzione geometrica del tracciato finale che successivamente sarà integrato altimetri allo studio altimetrico.

La definizione di tale tracciato, secondo i livelli di progettazione, viene eseguito all'interno del progetto di fattibilità tecnica ed economica, per poi essere successivamente implementato durante la fase di progetto definitivo od esecutivo.

Essendo la fase esecutiva, l'oggetto di questa tesi, la stesura di tale tracciato non sarà oggetto di approfondimento. Quello che sarà di nostro interesse, che poi ci permetterà di verificare la corretta progettazione delle opere d'arte minori connessi all'infrastruttura, riguarda la definizione volumetrica del tracciato. Se infatti tale asse viene raffigurato come una linea che congiunge due poli nel territorio, il nostro compito è di definire gli elementi costituenti il solido stradale, da un punto di vista geometrico trasversale e costruttivo.

La sezione trasversale è costituita da diversi elementi che possono essere composti ed organizzati dal progettista a seconda della categoria di strada, sempre nel rispetto del D.M. 6792/01. A seconda della posizione assunta dalla sezione stradale rispetto al piano campagna possono verificarsi quattro diverse situazioni:

- la strada si trova sul piano campagna;
- a quota maggiore rispetto al piano campagna (si rende quindi necessaria la costruzione di sezioni in rilevato);
- quota minore (allora è necessario realizzare sezioni in scavo);
- situazione intermedia alle precedenti (in tal caso la sezione stradale è definita a mezza costa).

Nel D.M. 6792/01 sono inoltre contenute le definizioni degli elementi che concorrono a comporre la sezione trasversale stradale. Gli elementi principali si possono suddividere in:

- Banchina: parte della strada, libera da ostacoli, compresa tra il margine della carreggiata e il più vicino dei seguenti elementi longitudinali: marciapiede, spartitraffico, arginello, ciglio
- Carreggiata: parte pavimentata della strada destinata allo scorrimento dei veicoli;

- Corsia: parte longitudinale della strada, normalmente delimitata da segnaletica orizzontale e di larghezza idonea, in base alla categoria di strada, deputata al transito di una sola fila di veicoli.
- Margini;
- Piattaforma: parte della sede stradale che comprende una o più carreggiate complanari, le banchine, i margini interno e laterale, le corsie riservate e specializzate, le fasce di sosta laterale, le piazzole di sosta o di fermata

Definiti tali elementi modulari, il D.M. 6792/01 riporta le caratteristiche tecniche e geometriche (numero di corsie, larghezza corsie ecc.), che tali elementi devono possedere in funzione alla categoria di strada da progettare, ovviamente già definita in fase preliminare.

Definite tutte le caratteristiche costituenti la sezione stradale, le si immagazzinano all'interno del CDE, tali informazioni saranno fondamentali per la successiva modellazione in famiglia parametrica lineare.

### 3.3 Digital terrain model – DTM

Una volta raccolti i dati ottenuti dalla campagna di misurazione in sito, è possibile passare alla modellazione della superficie topografica.

Il file di input al programma, è in formato txt, non rappresenta altro che un elenco di punti battuti durante il rilievo con le relative coordinate. Sopraspedendo alla fase di post processing di questi dati, eseguita a valle della campagna di misurazione, si importano le informazioni ricavate nel programma BIM, per poi essere successivamente visualizzato in forma grafica, consentendo di verificare eventuali grossolani errori di battitura per poi eseguire la successiva post elaborazione. Il risultato che si ottiene è rappresentato come esempio nella Figura 21.



Figura 21 - Nuvola di punti rilievo topografico

Ovviamente i punti importati nel programma non restituiscono esclusivamente le coordinate che collocano il punto in un sistema di riferimento planimetrico, ma possiedono anche l'informazione riguardante la sua quota altimetrica Figura 22. Ciò permette l'elaborazione del DTM .



Figura 22 - Proprietà geometriche punto topografico

Il DTM, o *Digital Terrain Model*, non è altro che un modello digitale del terreno, cioè una rappresentazione della distribuzione delle quote di una superficie in formato digitale. Il DTM serve al progettista per poter andar a definire all'interno del modello quello che è l'effettivo andamento topografico del sito in questione, al fine di verificare tutte quelle interferenze di natura altimetrica tra opere e terreno.

La nuvola di punti consente di creare una superficie, dando la possibilità di selezionare soltanto le aree che si desidera includere la rappresentazione grafica della superficie elaborata può essere formata da facce 3D, da curve di livello, ecc., in relazione al tipo di preferenza del progettista. Il risultato che si può ottenere è rappresentato dalle figure sottostanti.

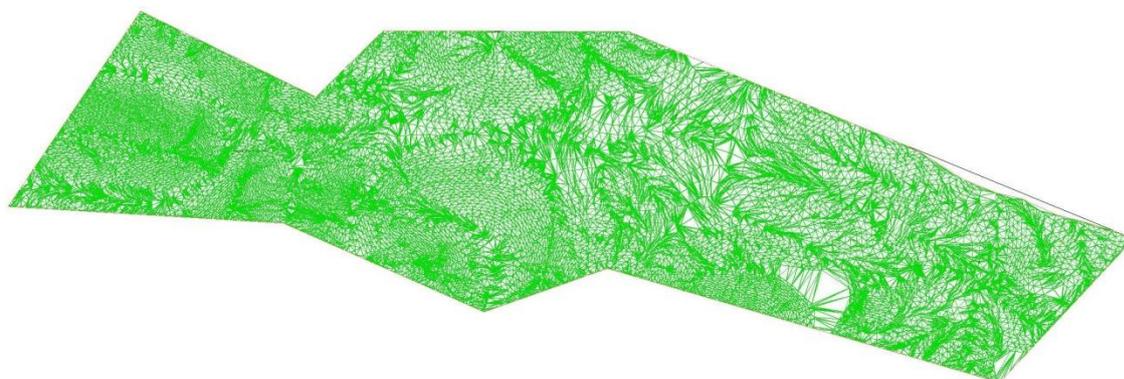
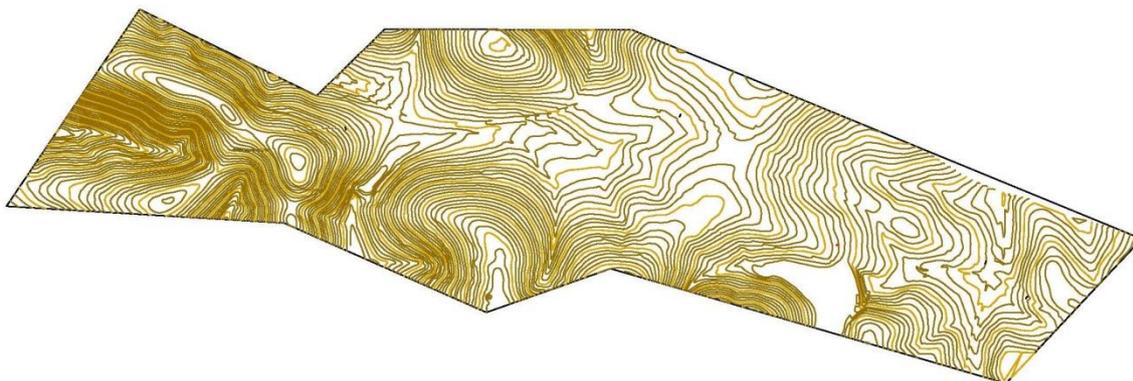


Figura 23 - DTM con stile di superficie facce 3D



*Figura 24 - DTM con stile di superficie curve di livello*

Una difficoltà che spesso si riscontra in questa fase è l'enorme quantità di dati da elaborare. Pertanto è indispensabile dotarsi di una strumentazione con hardware in grado di sostenere questo livello di elaborazione, altrimenti il processo potrebbe portare a tempi di computazione elevati e in casi estremi addirittura a crash nell'elaborazione. Se si considera che in ambito dell'ingegneria infrastrutturale si viene spesso ad affrontare opere lineari che si sviluppano per decine di chilometri, questo è un problema che progettazione non può essere sottovalutato. La soluzione a questa difficoltà è quella di snellire la quantità di informazioni che vengono successivamente elaborate, o andando a semplificare la nuvola di punti, rimuovendo dei punti intermedi, creando così una superficie meno accurata, oppure andando a generare frammenti di superficie per poi unirli in fase di post-elaborazione. A titolo puramente esplicativo ed operativo, se la quantità di punti selezionati, per la generazione del DTM, superasse i due milioni, le aree dovranno essere suddivise al fine di ridurre i tempi di elaborazione, oppure dovrà essere semplificata la nuvola di punti.

Definita la superficie topografica sulla quale si svilupperà il tracciato stradale la si deve esportare in formato XML in modo tale da renderla in ogni momento disponibile per qualsiasi programma BIM.

I file con estensione XML sono file leggibili da una vasta gamma di applicazioni, il linguaggio "eXtensible Markup Language" (XML), è un marcatore basato su un meccanismo sintattico che consente di definire e controllare il significato degli elementi contenuti in un documento o in un testo. Questa tipologia di file è utilizzata

per archiviare e trasferire dati che provengono da programmi diversi e possono essere modificati da qualsiasi editor di testo.

Nel nostro caso specifico il programma sorgente nell'eseguire l'esportazione, genera un file di testo, dove al suo interno, utilizzando uno specifico linguaggio di programmazione, elenca tutti i punti presenti nella superficie con le rispettive coordinate, e i collegamenti reciproci fra i punti stessi, necessari per la definizione della superficie.

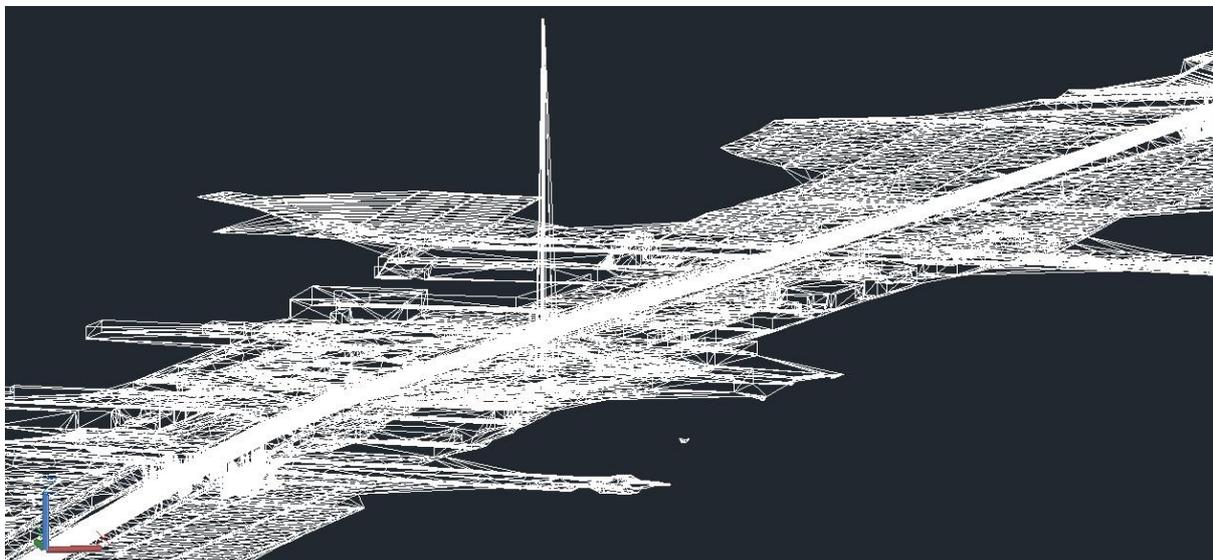
```

File Modifica Formato Visualizza ?
<?xml version="1.0"?>
<LandXML xmlns="http://www.landxml.org/schema/LandXML-1.2" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema
ER[&quot;central_meridian&quot;;9.000000000000],PARAMETER[&quot;scale_factor&quot;;0.9996],PAR
379999999888 9894795.344000000507 31.759000778198</CgPoint><CgPoint name="7">3161179.208000000101
2.632000000216 9894795.883999999613 31.701000213623</CgPoint><CgPoint name="19">3161181.424999999
405999999959 9894792.751000000164 31.757999420166</CgPoint><CgPoint name="31">3161195.58199999999
1178.046000000089 9894785.744000000879 32.687999725342</CgPoint><CgPoint name="43">3161187.981000
61232.266999999993 9894761.520999999717 32.026000976563</CgPoint><CgPoint name="55">3161232.72800
3161204.779000000097 9894788.278000000864 31.523000717163</CgPoint><CgPoint name="67">3161203.026
78">3161217.654000000097 9894777.737999999896 31.604000091553</CgPoint><CgPoint name="79">3161218
ame="90">3161203.31399999978 9894800.822000000626 31.555000305176</CgPoint><CgPoint name="91">316
int name="102">3161225.813000000082 9894771.485999999568 31.628000259399</CgPoint><CgPoint name='
</CgPoint><CgPoint name="114">3161251.046000000089 9894758.901000000536 31.525999069214</CgPoint>
5 32.179000854492</CgPoint><CgPoint name="126">3161221.762000000104 9894860.838999999687 32.18700
68.504000000656 32.252998352051</CgPoint><CgPoint name="138">3161233.819999999832 9894867.6520000
999899 9894851.512000000104 32.15599822998</CgPoint><CgPoint name="150">3161227.745000000112 9894
61215.060000000056 9894837.106000000611 32.446998596191</CgPoint><CgPoint name="162">3161214.5920
int name="173">3161208.046000000089 9894832.311000000685 32.103000640869</CgPoint><CgPoint name='
7</CgPoint><CgPoint name="185">3161208.793000000063 9894820.639000000432 31.768999099731</CgPoint
56 31.489000320435</CgPoint><CgPoint name="197">3161209.975000000093 9894807.107999999076 32.6020
94788.064999999478 31.472999572754</CgPoint><CgPoint name="209">3161222.189999999944 9894789.8890
74000000209 9894775.868000000715 31.443000793457</CgPoint><CgPoint name="221">3161241.875 9894777
61222.399000000209 9894824.530999999493 32.78099822998</CgPoint><CgPoint name="233">3161212.52900
44">3161249.82400000022 9894869.79099999927 32.76900100708</CgPoint><CgPoint name="245">3161204.
t><CgPoint name="256">3161201.13599999994 9894835.555999999866 31.945999145508</CgPoint><CgPoint
359131</CgPoint><CgPoint name="268">3161181.555000000168 9894824.187000000849 32.012001037598</Cg
000119 31.903999328613</CgPoint><CgPoint name="280">3161167.050999999978 9894845.651000000536 31.
892 9894840.936000000685 31.701999664307</CgPoint><CgPoint name="292">3161170.63599999994 9894841
171.316999999806 9894835.413000000641 31.665000915527</CgPoint><CgPoint name="304">3161172.070999
<
Linea 1, colonna 1 100% Unix (LF) UTF-8
    
```

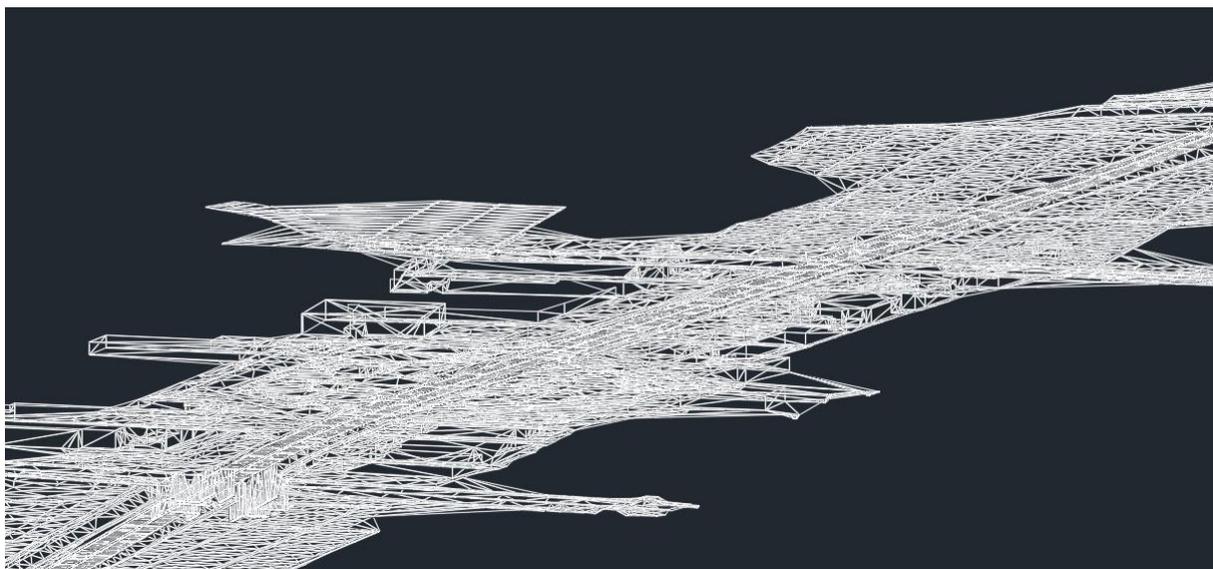
Figura 25 - Esempio file XML

All'interno di questo file si possono trovare un numero elevatissimo di informazioni riguardanti la superficie che si sta modellando, la modifica diretta del file sebbene fattibile, richiederebbe una quantità di lavoro in termini di tempo molto dispendiosa. Per questo motivo è consigliabile eseguire un editor della superficie direttamente sul software, prima della sua esportazione. Va comunque sottolineato che l'elaborazione topografica in formato grafico di tipo facce 3D, rende immediatamente visibile, al

progettista, la presenza di eventuali errori di battitura come punti di discontinuità (Fig. 27) semplificando di molto l'operazione di correzione e modifica .



*Figura 26 - DTM pre - elaborazione*



*Figura 27 - DTM post - elaborazione*

### 3.4 Famiglie parametriche

La fase successiva per la progettazione con metodologia BIM ha lo scopo di definire le famiglie parametriche degli elementi che caratterizzano l'infrastruttura. Come accennato precedentemente, questo processo non è perseguibile per tutte le categorie di opere che costituiranno l'infrastruttura finale, ma per una gran parte di esse tra cui le opere d'arte minori, oggetto di questa tesi.

La definizione di tale "Famiglia parametrica" oltre ad agevolare, nel caso di studio, il lavoro nella successiva fase di definizione dell'opera stradale, permette la creazione di un database, implementabile ed aggiornabile nel tempo, tale da ridurre i tempi di progettazione per opere simili che dovranno essere in futuro realizzate.

Pertanto l'obiettivo ultimo che ci si prefigge attraverso l'utilizzo della metodologia BIM è quello di gestire ed inserire nel piano di lavoro, tutti questi elementi in modo preciso, veloce e con la proprietà intrinseca che ogni componente corrispondente alla stessa famiglia possa essere modificato all'unisono o singolarmente, consentendo al progettista un risparmio in termini di tempo di lavoro. Va tenuto in considerazione che all'interno di un generico progetto infrastrutturale il numero di tali elementi può ripetersi con una frequenza in termini di distanze che oscilla tra 1 mt sino a 10 mt, pertanto moltiplicando per la lunghezza del tracciato stradale il numero degli elementi risulta considerevole.

Per ottenere questo risultato, è necessario modellare ogni elemento all'interno del programma BIM come una "famiglia parametrica".

Il termine parametrico sta ad indicare le relazioni esistenti tra tutti gli elementi del modello, i numeri o le caratteristiche che definiscono questo tipo di relazioni vengono per l'appunto definiti "parametri". Grazie a tale interazione, il progettista (utilizzatore del software BIM), è in grado di stabilire se le eventuali modifiche eseguite in un punto possano o meno essere estese in automatico per l'intero progetto.

Un esempio di tali relazioni può essere rappresentato dai vincoli geometrici attribuiti ad una determinata struttura. Esempificando il concetto, se questa struttura fosse costituita da due parallelepipedi perpendicolari tra di loro, posti ad una determinata

quota fissa, spostando uno di questi elementi, si mantiene la stessa relazione con l'altro elemento.

Per famiglia, invece, nell'ambiente BIM si definisce un gruppo di elementi con un insieme di proprietà comuni denominate parametri, ed una correlata rappresentazione grafica. I diversi elementi appartenenti ad una famiglia sebbene possono presentare valori diversi per alcuni o tutti i parametri. Queste variazioni all'interno di una famiglia sono denominate tipi di famiglia o tipi. Quando si crea un elemento in un progetto e gli si assegna una famiglia e un tipo di famiglia specifici, si crea un'istanza dell'elemento. Ogni istanza include un insieme di proprietà in cui è possibile modificare alcuni parametri di elemento indipendenti dai parametri del tipo di famiglia. Queste modifiche si applicano solo all'istanza dell'elemento, l'elemento singolo nel progetto. Se si modificano i parametri del tipo di famiglia, le modifiche vengono applicate a tutte le istanze dell'elemento create con quel tipo. Per capire meglio questo concetto, lo si illustra tramite schema ad albero in Figura 28.

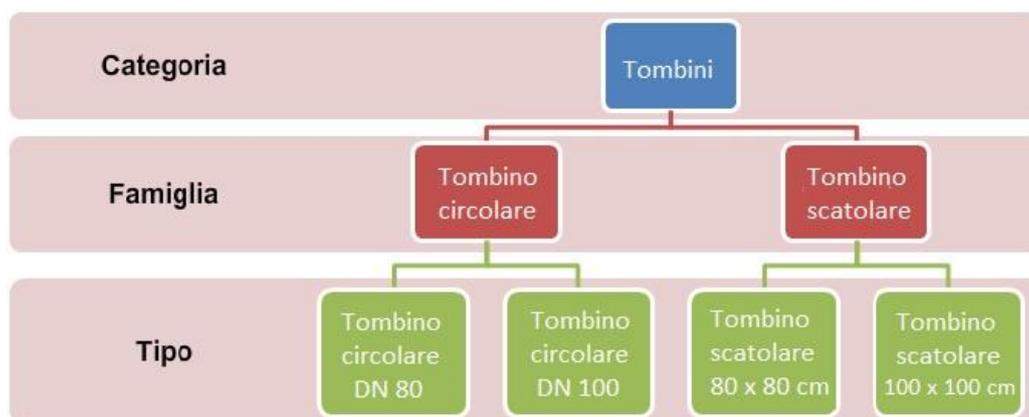


Figura 28 - Terminologia del programma BIM

Definito ciò, prima di passare alla fase di modellazione di ogni categoria e delle corrispettive famiglie e tipo, si deve tener conto dati raccolti ed inseriti all'interno del CDE durante la se precedente e di come quest'ultimi siano stati catalogati. Infatti, come precedentemente accennato la metodologia di modellazione per le opere d'arte lineari e quelle puntuali segue la stessa filosofia, ma è caratterizzata da approcci pratici differenti. Per questo motivo li andremo ad analizzare separatamente andando ad evidenziare i procedimenti fondamentali.

### **3.4.7 Modellazione famiglie parametriche per opere puntuali**

Come già definito precedentemente per opera puntuale intendiamo tutte quelle opere che occupano una superficie trascurabile rispetto all'intero tracciato, e si differenziano in opere d'arte maggiori e minori. Qualora per la loro singolarità, complessità o scelta della committenza la progettazione di alcune o tutte le opere d'arte maggiori venga affidata esternamente al team di progettazione, questa dovrà comunque essere realizzata attraverso programmi che consentano l'interoperabilità tra i vari software BIM utilizzati nella progettazione complessiva dell'infrastruttura. Pertanto una volta definito il modello BIM per tali opere, si potrà eseguire la loro importazione all'interno del modello federato.

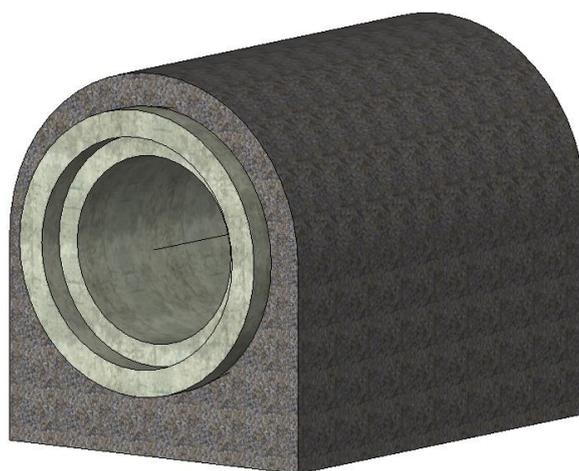
In questo paragrafo, ci occuperemo esclusivamente delle problematiche inerenti alla modellizzazione delle opere minori, in quanto elementi con caratteristiche geo-fisiche simili e che si ripetono con una certa frequenza, costante o variabile, lungo tutto il tracciato dell'infrastruttura.

Tali elementi sono generalmente di struttura semplice, caratterizzati da una geometria standard dove, i parametri, sono in gran parte costanti, e, la natura fisica che caratterizza le proprie componenti è regolare. Basti pensare che molte delle opere puntuali precedentemente utilizzate nella progettazione, sono prefabbricate, quindi con caratteristiche uniformi definite a monte dalla ditta fornitrice.

Questa loro peculiarità ci permette di modellare ogni elemento tipo, che interessa la nostra opera, definendo tridimensionalmente quali parametri possano essere manipolati durante la fase di inserimento nel modello federato e quali relazioni e vincoli geometrici devono restare immutati, l'inserimento all'interno di un CDE, permetterà la loro condivisione con gli altri membri del team di progetto rendendoli disponibili in qualsiasi momento.

Nel nostro caso specifico, si andrà a definire come primo step, la categoria che si intende realizzare: tombini, illuminazione, segnaletica verticale, ecc., e successivamente andremo ad impostare le famiglie specifiche per quella particolare categoria, definendo per ognuno di essi, le dimensioni geometriche fondamentali e i vincoli tra di essi, ovvero stabiliremo quali parametri lasciare fissi e quali variabili. Il

vantaggio fondamentale che ci fornisce un'impostazione variabile di un parametro è quello di un'agevole modifica, una volta importato nel modello federato, dei valori numerici e geometrici che consente di poterlo adattare in funzione dei vincoli locali o delle specifiche particolari imposte dal progettista.



*Figura 29 - Modello condotta circolare*

Entrando nello specifico della modellazione delle famiglie parametriche per opere puntuali, in primo luogo il progettista deve esaminare le informazioni inserite all'interno del CDE, definite durante la prima fase di stesura del modello dell'infrastruttura, le quali contengono le caratteristiche principali quali: elementi costruttivi, dimensioni e forme geometriche, tipologia di materiale, ecc. della famiglia da realizzare.

Definita la composizione della struttura, si procede alla sua effettiva realizzazione nel programma. Questa fase comporta la definizione degli elementi geometrici che costituiscono la famiglia andando ad specificare le caratteristiche geometriche (altezza, larghezza, spessore,...), e diversificando i vari elementi in funzione della loro natura fisica. Infatti, all'interno del programma è possibile allegare ad ogni elemento una serie di informazioni chimico-fisico, che oltre a dare una caratterizzazione di natura grafica a quello specifico elemento durante la fase di rendering, possono risultare utili sia nelle fasi successive di progettazione, ma anche e soprattutto nelle future fasi di realizzazione e manutenzione dell'opera.

La tipologia di dati non grafici principali che si possono inserire all'interno del programma, sono di natura fisica e termica. Nei dati di natura fisica, oltre a trovare le informazioni generiche riguardanti la tipologia del materiale (quali nome, produttore, codice,...), troviamo un elenco di informazioni riguardanti le proprietà meccaniche del materiale, quindi tipologia di comportamento meccanico (isotropo, ortotropico e isotropo trasversale), modulo di Young, coefficiente di Poisson, modulo a taglio e densità, ed altre informazioni meccaniche che possono essere ricavate durante prove in laboratorio e poi aggiornate nel programma, anche successivamente alla fase di progettazione preliminare, come il modulo di compressione, la resistenza a taglio, la resistenza a trazione e il valore della sollecitazione a snervamento del materiale, Figura 30. Nei dati di natura termica, troviamo tutta una serie di informazioni riguardanti le proprietà termiche come: la tipologia di comportamento (isotropico o ortotropico), la conducibilità termica, calore specifico, densità, emissività, permeabilità, porosità, riflettività e resistività elettrica, Figura 31. Sia i dati di natura fisica sia quelli di natura termica, sebbene inseriti nella fase preliminare di progettazione, possono essere aggiornati in una qualsiasi seguito momento in ordine ad esiti di collaudi o test in laboratorio.

Tutta questa mole di informazioni verranno trasferite alla committenza a lavori ultimati, e la loro qualità in termini di affidabilità e accuratezza, saranno indispensabili per definire in maniera precisa la curva di degrado delle componenti delle strutture struttura costituenti l'infrastruttura stradale, e di conseguenza consentendo di programmare un piano di manutenzione efficiente ed efficace.

Identità	Grafica	Aspetto	Fisico	Termico
Calcestruzzo				
<b>Informazioni</b>				
Nome	Calcestruzzo			
Descrizione	Calcestruzzo di default f <sub>c</sub> = 3,5 ksi			
Parole chiave	strutturale,calcestruzzo,CC,ACI 318			
Tipo	Calcestruzzo			
Sottoclasse	Standard			
Origine				
URL di origine				
<b>Proprietà termiche di base</b>				
Coefficiente di espansione termica	0,00001 inv °C			
<b>Proprietà meccaniche</b>				
Comportamento	Isotropico			
Modulo di Young	23.250,0 MPa			
Coefficiente di Poisson	0,17			
Modulo a taglio	9.964,0 MPa			
Densità	2.407,31 kg/m <sup>3</sup>			
<b>Calcestruzzo</b>				
Compressione calcestruzzo	24,1 MPa			
Modifica resistenza a taglio	1,00			
	<input type="checkbox"/> Leggero			
Sollecitazione di snervamento	2,4 MPa			
Resistenza alla trazione	2,4 MPa			

Figura 30 - Esempio dati fisici elemento famiglia parametrica

Identità	Grafica	Aspetto	Fisico	Termico
Calcestruzzo				
<b>Informazioni</b>				
Nome	Calcestruzzo			
Descrizione	Calcestruzzo, aggregato di pietra			
Parole chiave	termico,solido			
Tipo	Uniforme			
Sottoclasse	Calcestruzzo			
Origine				
URL di origine				
<b>Proprietà</b>				
	<input type="checkbox"/> Trasmette luce			
Comportamento	Isotropico			
Conducibilità termica	1,0460 W/(m·K)			
Calore specifico	0,6570 J/(g·°C)			
Densità	2.300,00 kg/m <sup>3</sup>			
Emissività	0,95			
Permeabilità	182,4000 ng/(Pa·s·m <sup>2</sup> )			
Porosità	0,01			
Riflettività	0,00			
Resistività elettrica	2.000.000,0000 Ω·m			

Figura 31 - Esempio dati termici elemento famiglia parametrica

In conclusione risulta evidente il vantaggio di avere a disposizione, in qualsiasi momento della vita dell'infrastruttura, una serie di informazioni legate ad ogni singolo elemento e consultabili in maniera veloce attraverso il modello federato. La restituzione delle informazioni di un oggetto attraverso una semplice operazione di selezione grafica del medesimo rende questa modalità estremamente più efficace in termini gestionali rispetto al tradizionale approccio di progettazione, ove tali informazioni richiedono una complessa operazione di ricerca dovuta all'elevatissimo numero di elaborati da consultare.

### **3.4.8 Modellazione famiglia parametrica per opere lineari**

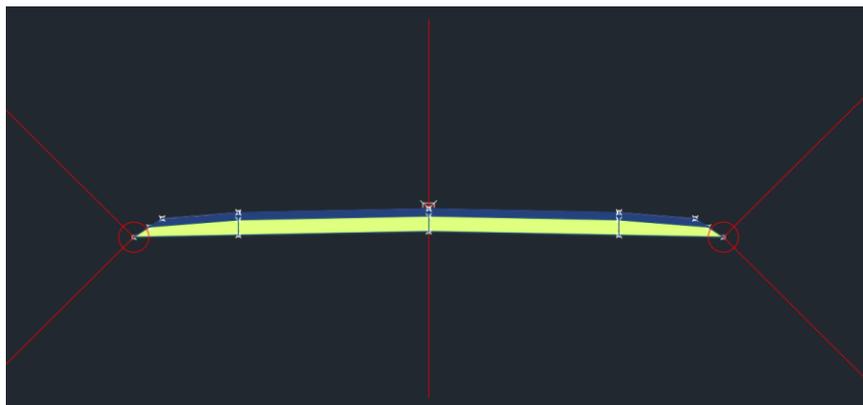
Parallelamente alla definizione delle famiglie parametriche di opere d'arte puntuali, si può procedere alla modellazione di quelle lineari.

Per lo sviluppo di queste opere esistono alcuni software BIM già dotati di estensioni create ad hoc per applicazioni I-BIM (Infrastructure-Building Information Modelling), nel particolare questi consentono di gestire informazioni multiattributo degli elementi, mentre altri possono supportare solo la gestione di informazioni di natura geometrica. Il loro limite attuale è insito nel fatto che permettono uno sviluppo del corpo stradale basato su elementi standard preimpostati dal fornitore software, e sebbene sia comunque possibile intervenire nella modifica di questi elementi standard alle proprie esigenze, i vincoli e le procedure imposte per tali manipolazioni, rendono molto complessa una completa libertà di utilizzo del programma. Un'ulteriore limite è che questi programmi non permettono l'inserimento delle opere minori connesse all'infrastruttura obbligando al progettista l'uso di ulteriori programmi.

La modellazione di opere lineari si sviluppa nella fase iniziale in maniera del tutto analogo a quella svolta per le opere puntuali. In questo caso però, invece di modellare l'elemento in tre dimensioni, si definisce la sezione tipo di una determinata famiglia, ed una volta salvata all'interno del CDE, la si è importata all'interno del modello federato, per poi sviluppare il vero e proprio modello dell'opera lineare.

Il procedimento dettagliato seguito per lo sviluppo di questa determinata categoria è quindi appresso descritto:

1. realizzazione della sezione tipo per ogni famiglia che si intenda modellizzare, andando a definire tutte le caratteristiche geometriche ed andando ad diversificare la tipologia degli elementi, in funzione alle sue caratteristiche fisiche, che compongono la sezione.
2. definita la sezione, si associano ad essa delle funzioni che adatteranno le componenti geometriche della famiglia al modello specifico, secondo i parametri imposti dal progettista.
3. salvare il modello nel CDE.



*Figura 32 – Modello famiglia parametrica lineare – pavimentazione stradale*

### 3.5 Modello federato

Una volta generato il DTM, e una volta definiti i modelli delle famiglie parametriche delle opere puntuali e quelle delle opere lineari, si può procedere alla vera e propria stesura del modello dell'infrastruttura, la quale conterrà tutti gli elementi che la definiscono. Questo modello in letteratura prende il nome di “*modello federato*”.

La definizione del modello federato è il cuore della progettazione dell'infrastruttura, poiché al suo interno il progettista potrà definire tutte le scelte di natura sia architettonica che ingegneristica al fine di adottare la soluzione migliore considerando tenendo conto che l'infrastruttura definirà nuovi riferimenti antropici del paesaggio e ne modificherà la percezione. In considerazione di ciò il progettista potrà definire nel modello federato, una più attenta e sensibile costruzione plano-altimetrica dei tracciati, con la possibilità di effettuare una scelta più coerente con le specificità locali in ordine alle opere d'arte da realizzare e dei materiali da utilizzare.

Pertanto la stesura del modello federato avviene secondo una definita successione di procedure atte ad integrare i modelli sviluppati a monte e le scelte progettuali, per una completa definizione del modello BIM riguardante l'infrastruttura.

Nel nostro caso specifico, dato il livello di progettazione nel quale andiamo ad operare, le fasi principali della stesura relativa al modello federato, possono riassumersi in:

- Fase 1: Importazione e georeferenziazione DTM;
- Fase 2: Importazione carte tematiche territorio;
- Fase 3: Definizione assetto plano-altimetrico tracciato stradale;
- Fase 4: Generazione modello infrastruttura;
- Fase 5: Modellazione od importazione opere d'arte maggiori ed elementi marginali;
- Fase 6: Importazione e adattamento famiglie parametriche opere d'arte minori;
- Fase 7: Coordinamento dei modelli grafici

Fase 8: Definizione tavole (viste, prospetti, sezioni).

L'iter progettuale sopra descritto si riferisce ad una modellizzazione dell'infrastruttura stradale nel suo complesso. Nel nostro elaborato di tesi, avendo come tematica specifica la modellizzazione delle opere d'arte minori, nell'approfondimento delle varie fasi di progettazione del modello federato, daremo particolare enfasi agli aspetti necessari per la modellizzazione di suddette opere.

### **3.5.1 Fase 1: Importazione e georeferenziazione DTM**

Come prima fase nella stesura del modello federato, si esegue l'importazione della superficie topografica, in formato .xml, del sito oggetto d'intervento. Tale fase implica oltre all'importazione della superficie all'interno del programma BIM, anche la sua georeferenziazione. Infatti il progettista, in questo stadio, ha la possibilità di definire il sistema di riferimento del modello all'interno del programma. Le soluzioni praticabili si riducono sostanzialmente a due, creare un sistema di riferimento locale od usufruire di un sistema geodetico di riferimento. Nel primo caso, avulso da una georeferenziazione reale, il sistema in automatico posiziona gli assi principali corrispondenti il sistema di riferimento, nel baricentro geometrico del DTM importato. La seconda soluzione è quella invece di georeferenziare i punti caratteristici della superficie topografica, rispetto ad un sistema di riferimento geodetico, dove l'origine del sistema di riferimento nel modello BIM, viene associato al centro del sistema di coordinate prescelto.

E' necessario pertanto, prima di optare per una delle due soluzioni, una attenta valutazione del progettista secondo un criterio costi-benefici.

L'utilizzo di un sistema georeferenziato permette di poter posizionare l'infrastruttura in un punto specifico del globo, e ciò risulta particolarmente utile soprattutto in fase di rendering dell'infrastruttura dove è possibile simulare graficamente l'effettivo impatto ambientale dell'opera con l'ambiente circostante.

Quest'ultimo metodo va ad utilizzare delle distanze relative tra i gli elementi del modello e l'origine degli assi molto elevate, ciò comporta che spesso i programmi BIM hanno difficoltà nell'elaborazione, generando errori durante l'importazione dei dati XML, con il risultato di una restituzione di superfici topografiche semplificate e a volte non corrispondenti alla realtà principalmente quando la distanza della superficie rispetto all'origine del sistema di riferimento supera i 33 Km. Il primo metodo, invece, posiziona automaticamente il baricentro geometrico del DTM con l'origine degli assi, riuscendo a gestire in maniera più fluida le informazioni presenti in essa, ma di fatto generando un sistema di coordinate locali.

Eseguita l'importazione della superficie topografica si può procedere alla costruzione planimetrica del tracciato. Questo procedimento può essere eseguito solo dopo individuati i vincoli fisici, ambientali e geomorfologici, che in parte vengono riprodotti nell'andamento del DTM, infatti quest'ultimo non tiene in considerazione determinati oggetti insistenti sul territorio, come vegetazione, edifici ed altri manufatti, ma riproduce esclusivamente l'andamento della superficie geodetica. Se, ad esempio, si dovesse intervenire in zone urbanizzate dove prevalgono edifici, allora si può adottare l'utilizzo del modello digitale di elevazione "DEM", che rispetto al DTM tiene in particolare considerazione la presenza di elementi antropici e vegetativi .



Figura 33 - Modelli di digitalizzazione del terreno DEM e DTM

La dove fosse necessario avere ulteriori informazioni sull'assetto morfologico del territorio e sulla sua antropizzazione, è utile procedere con l'integrazione di una cartografia tematica del loco, che si vada a sovrapporre con la superficie topografica precedentemente importata. Ovviamente anche questa cartografia dovrà essere georeferenziata con il medesimo sistema di riferimento scelto per la superficie. Ciò può realizzarsi attraverso la sovrapposizione di punti comuni della carta e della superficie.

### **3.5.2 Fase 2: Importazione carte tematiche territorio**

Come già definito nel paragrafo 3.2.2, le carte tematiche di un determinato territorio sono fondamentali per la individuazione di vincoli di natura morfologica e antropica del territorio stesso, indispensabili per la pianificazione del tracciato planimetrico stradale.

Generalmente l'utilizzo principale di tali carte avviene durante la fase del percorso tecnico di progettazione preliminare, poiché permettano la definizione e lo studio dei possibili tracciati. In fase definitiva o esecutiva, a cui fa riferiamo questo elaborato di tesi, tale tracciato è già stato definito. L'utilizzo di tali carte comunque è necessaria durante la fase definitiva ed esecutiva del tracciato per due motivi principali: anzitutto consente di verificare ,attraverso una definizione più dettagliata delle caratteristiche tecnico - costruttive e di esercizio dell'infrastruttura le congruenze e incongruenze della stessa con la morfologia e geometria della regione attraversata e soprattutto rispetto ai vincoli positivi e negativi dati dal territorio. In secondo luogo, con lo sviluppo del progetto e con l'approfondimento di informazioni riguardanti il territorio, può verificarsi l'esigenza di aggiornamento di tali carte con la definizione di nuovi vincoli che potrebbero anche condurre alla modifica del tracciato originale per risolvere eventuali nuove interferenze riscontrate. Inoltre, tali carte permettono di evidenziare la presenza o meno di corsi d'acqua, per i quali sarà necessario definire la realizzazione di opere idrauliche a difesa del corpo stradale.

L'utilizzo di queste carte tematiche in ambiente BIM viene realizzato attraverso l'importazione, sovrapposizione e successiva georeferenziazione con il modello digitale del terreno precedentemente elaborato a monte della stesura del modello federato. Tali carte, realizzate in formato .dwg, restituiscono una rappresentazione bidimensionale del territorio completa di individuazione e posizionamento dei vincoli pertanto sovrapponendo e georeferenziando, DTM e carta tematica, il progettista avrà la visione completa sia dell'assetto morfologico del territorio sia delle caratteristiche antropiche ad esso connesse.

Analogamente a quanto accennato per il DTM anche per le carte tematiche la sovrapposizione ad esse di un modello DEM determina un più accurato livello di informazioni del terreno ove si deve operare, da quanto detto ora e nel precedente

capitolo risulta evidente come il modello DEM sia un supporto utile alla definizione del territorio, ma non sufficiente a tale scopo se non accompagnato dal DTM e dalle carte tematiche

Come precedentemente esposto è possibile, in fase avanzata di progettazione, l'utilizzo di tavole come tracciato planimetrico stradale, andamento altimetrico, tavole tipologiche delle opere strutturali, ecc. come carte tematiche per permettere una più veloce modellazione BIM di tali elementi.

### **3.5.3 Fase 3: Definizione assetto plano-altimetrico tracciato stradale**

Definiti questi vincoli, in conformità alle norme vigenti sulla progettazione stradale e in particolare al D.M. 6792/01, il progettista può procedere alla definizione dei tracciati possibili fino alla definizione della geometrizzazione planimetrica ed altimetrica della linea d'asse. Ovviamente in questa fase le esigenze del committente definite dal RUP nel documento di avvio alla progettazione avranno un ruolo predominante e vincolante nella stesura del progetto.

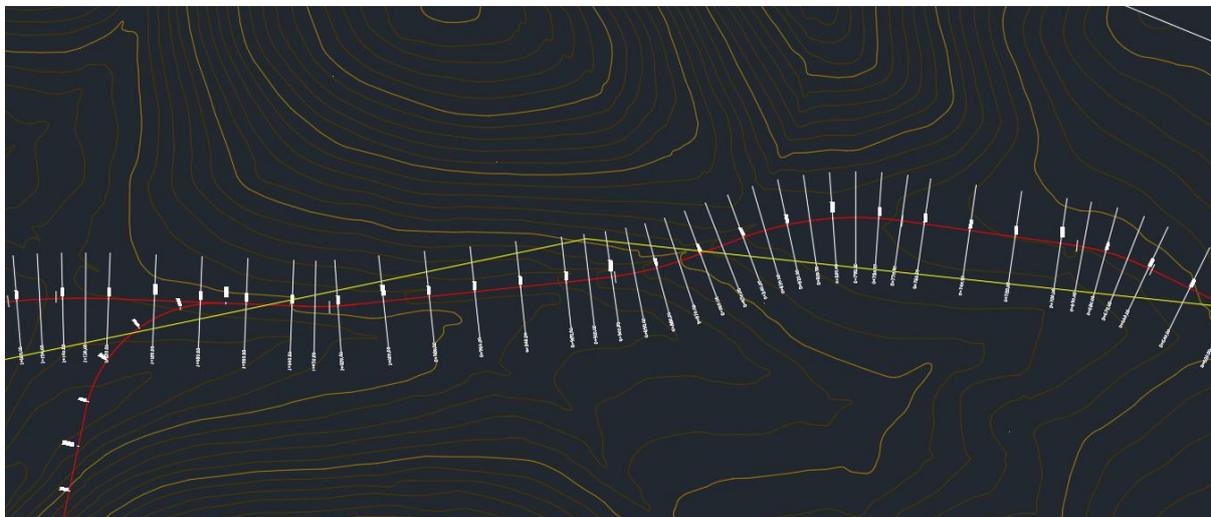
Senza entrare nello specifico sulla tecnica e sulle procedure analitiche riguardanti la progettazione degli elementi planimetrici del tracciato stradale, una volta definito l'asse del tracciato è possibile assegnare ad esso una determinata sezione trasversale, in funzione della categoria di strada che si intenda realizzare.

Possiamo definire la linea d'asse di una generica strada come una curva, la quale può anche avere anche raggio infinito, e che si sviluppa nello spazio tridimensionale. La sua progettazione è fondamentale per un corretto sviluppo del tracciato in quanto deve garantire: un'adeguata risposta meccanica al moto del veicolo (aderenza pneumatico- pavimentazione), un comfort fisiologico degli occupanti dei veicoli che la percorreranno, una sufficiente visibilità della piattaforma, tale da permettere l'esecuzione delle manovre in sicurezza e una capacità di condizionare le velocità di guida entro limiti compatibili con la tipologia di servizio offerto e l'omogeneità prestazionale del tracciato.

Va comunque sottolineato che la definizione della linea d'asse stradale non ha rilevanza per quanto attiene la modellazione di opere d'arte minori connesse con l'infrastruttura stradale, poiché per quest'ultimi è necessaria solo l'occupazione volumetrica dell'infrastruttura, quindi la definizione del suo tracciato è fondamentale per la progettazione dell'infrastruttura, ma non per la modellazione di opere d'arte minori.

È possibile, in questa fase, l'utilizzo di programmi specifici che a fronte di determinati dati di input, in ordine all'assetto morfologico del territorio ed in funzione ai parametri geometrici definiti dal progettista (rettifili, curve circolari, curve di transizione, ecc.),

permettono la definizione di possibili tracciati, ed una loro valutazione secondo un'analisi multicriterica.



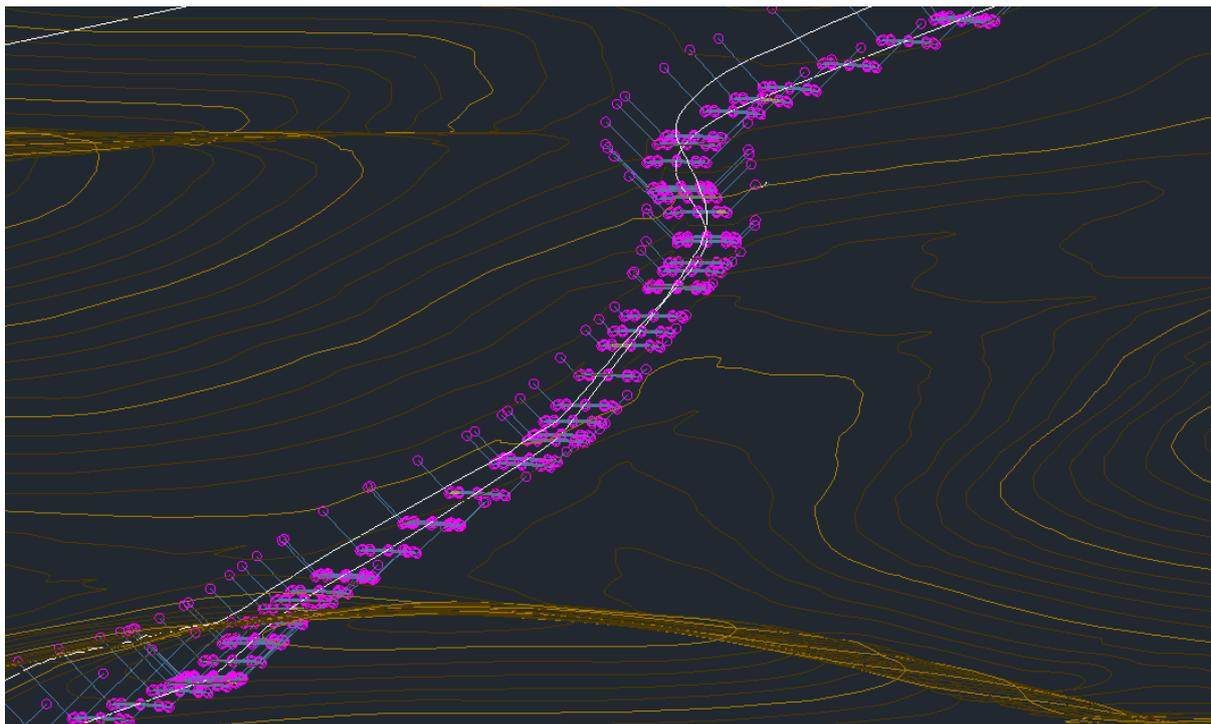
*Figura 34 - Esempio tracciato piano - altimetrico*

### **3.5.4 Fase 4: Generazione modello infrastruttura**

Una volta definito il tracciato piano - altimetrico stradale, si passa alla modellazione BIM del solido stradale. Il compito del progettista in questa sede è quello di definire il volume del corpo stradale andando a diversificare le sue componenti principali per poi verificare globalmente l'interferenza di quest'ultima con la morfologia del terreno.

Si procede inserendo all'interno del modello federato la famiglie parametriche riguardanti le sezioni trasversali stradali. Tali famiglie sono caratterizzate da punti di riferimento, definiti dal progettista, che ne consentono l'inserimento lungo lo sviluppo del tracciato.

Il tracciato stradale, come già accennato, è definito dalla successione di rettifili, archi e curve di transizione. I punti fondamentali che rappresentano tali elementi sono definiti dai nodi, che posso rappresentare l'inizio, la mezzeria, la fine, ecc., di ogni elemento costituente il tracciato. I nodi vengono modellizzati come "punti adattivi", cioè punti in cui avviene l'inserimento delle famiglie parametriche lineari; nel caso riguardante la sezione stradale, assoceremo a tali punti una sezioni tipo della strada rispetto ad un piano di riferimento, definito dal progettista, nel caso di specie, un piano normale alla direzione del tracciato stradale.

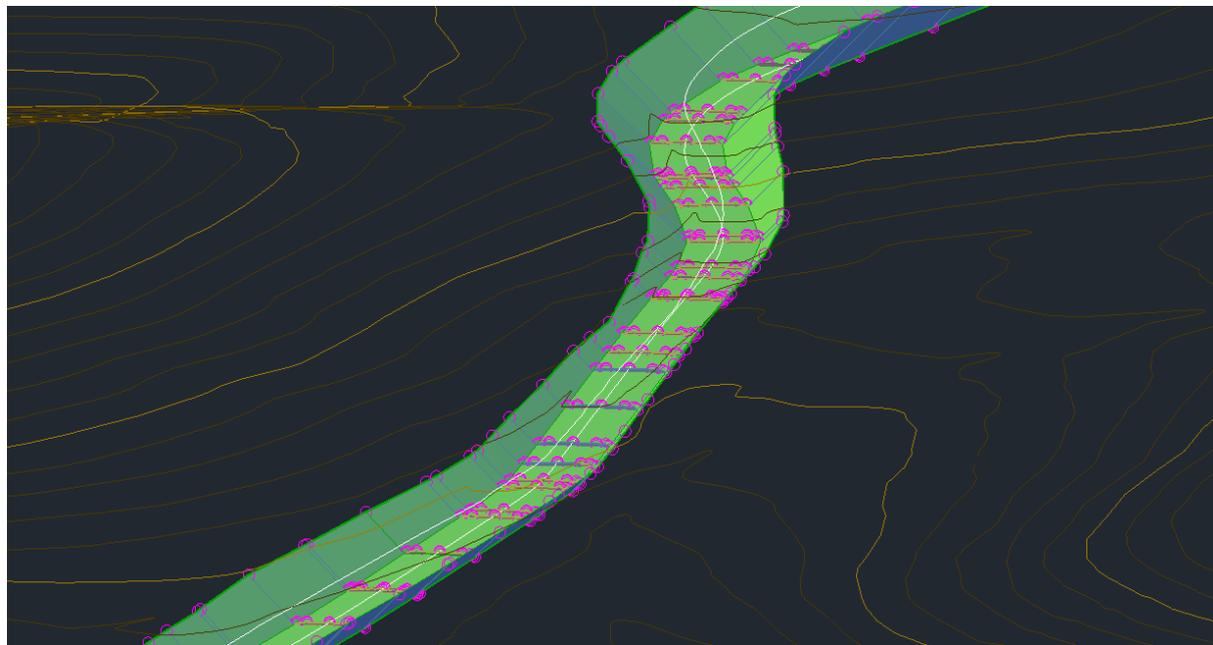


*Figura 35 - Associazione famiglia parametrica lineare - tracciato*

Il programma poi è composto da un modellatore che oltre ad associare ad ogni nodo una determinata sezione trasversale, è anche in grado di ricostruire lo sviluppo della sezione stradale lungo tutto il tracciato tenendo conto sia dell'andamento planimetrico sia di quello altimetrico dell'asse, determinando la pendenza longitudinale della stessa. E' inteso che è nell'abilità del progettista individuare i "nodi" caratteristici lungo il tracciato stradale ove le sezioni trasversali possono variare in funzioni della presenza ad esempio di particolari vincoli geomorfologici, o di geometria dell'asse stradale, il programma automaticamente genera il solido stradale compreso tra i due nodi definiti dal progettista, discorso analogo ma più complesso in ordine alla definizione dei parametri di progettazione deve essere fatto per i tratti di transizione.

Per quanto riguarda la posizione assunta della sezione stradale rispetto al piano campagna, definito dal DTM, il programma elabora in automatico le scarpate così come definite durante la modellazione della famiglia tipo nel caso sia di una sezione in rilevato, sia di una sezione di scavo e sia di una sezione in mezza costa. Inoltre, ove necessario, è possibile l'inserimento di muri di controripa, per motivi riguardanti vincoli locali o per la stabilizzazione di pendii, il posizionamento di questi elementi è

possibile o, mediante una apposita famiglia parametrica predefinita che segua i principi di opere lineari, oppure, nell'ipotesi di interventi localizzati si può procedere con l'utilizzo di modelli basati sulle caratteristiche delle opere puntuali.



*Figura 36 - Esempio modello corpo stradale*

La generazione dell'infrastruttura così come sopra descritto, restituisce un modello preliminare della stessa, costituito in questa fase solo dall'interazione del corpo stradale con la superficie topografica del terreno.

### **3.5.5 Fase 5: Importazione e modellazione di opere d'arte maggiori ed elementi marginali**

La modellizzazione del solido stradale sino ad ora descritta, rappresenta ovviamente solo quei tratti principali dell'infrastruttura, che non necessitano di opere d'arte atte al superamento di ostacoli ambientali o la realizzazione di elementi marginali, dei quali si dovrà tener conto in questa fase.

Quindi, una volta terminato il modello preliminare della strada si passa allo studio e all'eventuale inserimento di opere d'arte maggiori ed elementi marginali come ad esempio opere di scavalco, sottopassi, gallerie, corsie supplementari per veicoli lenti, o piazzole di sosta. In questo caso si dovrà procedere alla loro modellazione, internamente al modello federato.

Come già accennato precedentemente, proprio in relazione alla loro complessità tecnica e geometrica, queste opere non possono essere generate come una unica famiglia parametrica, pertanto occorre integrare il modello dell'infrastruttura stradale già elaborato con l'opera d'arte maggiore.

La definizione di tali opere può risultare particolarmente complessa e pertanto spesso affidata esternamente al team di progetto che in ogni caso dovrà modellizzare tale struttura in un ambiente BIM, in grado di inter operare con i software utilizzati nella modellazione dell'infrastruttura stradale, in quanto, una volta completato il modello, questo dovrà essere importato all'interno del modello federato e coniugarsi con l'infrastruttura, verificando la continuità dell'opere e la presenza di eventuali interferenze di natura geometrica che qualora si presentino dovranno essere risolte all'unisono all'interno del modello federato, tale procedimento viene svolto durante la fase di coordinamento grafico.

### **3.5.6 Fase 6: Importazione e adattamento famiglie parametriche opere d'arte minori;**

Definito il modello digitale del terreno, del corpo stradale e importate all'interno del modello federato le eventuali opere d'arte maggiori, il passo successivo, e oggetto principale di questa tesi è la modellazione delle opere d'arte minori all'interno dell'infrastruttura.

Riepilogando quanto specificato nei paragrafi precedenti, la peculiarità di queste opere risiede nella loro ripetitività all'interno dell'infrastruttura stradale. Si tratta pertanto di opere con caratteristiche geo-fisiche molto simili fra loro, in ordine a: dimensioni delle geometrie, forme e tipologia di materiali costituenti.

Grazie all'utilizzo dei programmi BIM è possibile ottenere un grado di dettaglio e soprattutto di gestione delle informazioni relative ad ogni singola opera d'arte che un tradizionale metodo di progettazione CAD non è ovviamente in grado di poter gestire, questa dovizia di particolari consente la corretta concretizzazione della singola opera in fase di cantiere e la sua successiva fase di gestione manutentiva.

Tale risultato è ovviamente diretta conseguenza del lavoro di creazione delle famiglie parametriche fatto in precedenza, ove l'operazione di sintesi di tutte le informazioni caratteristiche geo-fisiche dell'opera consente al progettista in questo step, di importare all'interno del programma BIM tali modelli delle opere d'arte minori, necessarie all'infrastrutture e qualora risulti opportuno, adattare in funzione alle sue esigenze specifiche.

Di fatto l'importazione consiste sostanzialmente nella generazione, all'interno del programma, di un modello standard di tale opera d'arte minore, con i relativi parametri già impostati a monte. Ogni modello delle suddette famiglie parametriche è stato modellizzato secondo un sistema di riferimento locale, durante l'importazione di tali modelli il progettista ha dunque la possibilità di inserirli all'interno al sistema assoluto del modello federato. Tale operazione si realizza sfruttando come punto di riferimento per l'inserimento l'origine degli assi del modello locale della famiglia parametrica, oppure, un punto specifico in tale spazio, opportunamente scelto dal

progettista, ciò permette al progettista di vincolare la posizione di tali modelli sia planimetricamente sia altimetricamente con il tracciato stradale in un solo passaggio.

Una volta inseriti nel programma BIM tutte le tipologie di modelli di opere d'arte minori, che l'infrastruttura richiede, la fase successiva si esplica con il loro adattamento agli altri elementi costituenti l'infrastruttura. Ovviamente le caratteristiche tecniche costruttive dell'opera stradale non rimangono costanti nel loro sviluppo, ma possono variare in funzione alla variazione della larghezza della piattaforma stradale, della pendenza trasversale o longitudinale, ecc.. Questo fa sì che il progettista, per ogni modello di opera d'arte minore importata, vada ad intervenire sui suoi parametri, generalmente geometrici, per adattare tali manufatti con le caratteristiche tecniche dell'infrastruttura.

Infatti, generalmente, tali opere minori vengono previste all'interno dell'infrastruttura per far fronte ad eventuali problematiche connesse ad essa, sia di natura strutturale, che funzionale, che di sicurezza, pertanto le proprietà intrinseche dei manufatti, possono anche dover necessariamente. Si prenda ad esempio, il dimensionamento di un tombino; se durante la verifica di una specifica opera idraulica, dovesse essere necessaria la modifica delle dimensioni interne della condotta del manufatto, un aumento o diminuzione del diametro, o della pendenza longitudinale, per permettere il corretto deflusso delle acque meteorologiche, il progettista ha la possibilità di modificare in maniera precisa e agevole i relativi parametri geometrici.

Una volta completate le eventuali procedure di adattamento di ogni singolo modello dell'opera d'arte nel modello federato, il programma BIM permette al progettista di eseguire una verifica sulle interferenze geometriche su tutti gli elementi costituenti una specifica tipologia di famiglia, o di tutti gli elementi costituenti il modello. Questa risorsa è un'ottima procedura di controllo che il programma esegue in automatico e permette di segnalare eventuali elementi che risultano in conflitto. Permettendo quindi di intervenire per risolvere l'interferenza a seguito della quale, il programma esegue di nuovo la verifica per appurare se effettivamente l'intervento abbia avuto esito positivo.

### 3.5.7 Fase 7: Coordinamento dei modelli grafici

Ultimata la definizione dei modelli grafici, i dati e le informazioni contenuti all'interno di questi, devono essere coordinati. Tale coordinamento si esplica attraverso:

1. Analisi e controllo interferenze fisiche e informative (*clash detection*)
2. Risoluzione interferenze

La fase di *clash detection*, permette di rilevare conflitti relativi:

- ad elementi di modelli separati che occupano lo stesso spazio fisico (*hard clash*), come per esempio una condotta che attraversa un muro di contenimento;
- ad elementi con parametri incompatibili (*clearance clash*), come per esempio due elementi troppo vicini tra di loro per il montaggio o la manutenzione.

Al progettista, grazie all'ambiente BIM, è permesso di definire pochi e semplici parametri (tipo di confronto, tipo di collisione, tolleranza) per effettuare automaticamente la verifica di dette interferenze in funzione del tipo di analisi che si intende eseguire (*hard clash*, *clearance clash*, ecc.) e del grado di precisione che si vuole ottenere.

Tale verifica può essere eseguita selezionando gli oggetti direttamente sul modello (in modalità visuale e grafica) oppure definendo regole personalizzate ed associando parametri di "clash" che si ritiene più opportuno. Funzioni avanzate come "Gruppi di selezione" e "Filtri di selezione" consentono di specificare i file e le entità su cui effettuare l'analisi dei conflitti. I criteri scelti per l'analisi possono essere successivamente memorizzati e quindi potranno costituire dei meta-processi di analisi ripetibili ogni volta sui modelli aggiornati. Infatti, la *clash detection* può essere ripetuta in modo automatico ad ogni aggiornamento dei modelli ed ad ogni stato di avanzamento della progettazione.

Al termine di ogni analisi di coordinamento viene redatto un rapporto delle interferenze e delle incoerenze rilevate e dei relativi soggetti, modelli, oggetti o elaborati coinvolti.

Se l'interferenza e/o l'incoerenza è univocamente attribuibile ad un soggetto responsabile, si procede con l'assegnazione della risoluzione al soggetto stesso. In caso in cui il coinvolgimento di modelli redatti da più soggetti o di possibili interferenze o incoerenze con altre discipline (e relativi modelli, elaborati od oggetti) si procede con l'indizione di briefing di coordinamento per un confronto tra i soggetti coinvolti e la definizione del processo di risoluzione.

Le attività di coordinamento delle interferenze e delle incoerenze procedono reiterativamente fino alla eliminazione di tutte le incoerenze rilevate.

### **3.5.8 Fase 8: Definizione tavole (viste, prospetti, sezioni)**

Adattate tutte le famiglie parametriche delle opere d'arte minori all'interno del modello federato, la fase successiva, se richiesta dalla committenza, riguarda la definizione delle tavole tecniche, strumento con cui il progettista trasmette le informazioni ai vari operatori per la realizzazione dei componenti che andranno a costituire l'infrastruttura.

La definizione di tale tavole, corrispondono all'insieme di una serie di viste, sezioni o prospetti di singoli elementi o sistemi di questi, con la caratteristica di raffigurare tali contenuti in un piano 2D e con un dettaglio di definizione in funzione alla scala di raffigurazione.

La generazione di tali viste viene eseguita in automatico dal programma, il progettista deve solamente definire il tipo di vista che intende raffigurare, vista planimetrica, altimetrica, una sezione, ecc., e successivamente delimitare l'area che intende analizzare con la rispettiva scala di visualizzazione. Il programma in funzione dei parametri imposti, restituirà una rappresentazione 2D degli elementi investigati. In tale raffigurazione è inoltre possibile evidenziare, oltre a e gli aspetti geometrici di tali elementi, anche informazioni di maggior dettaglio, come l'inserimento di quote, etichette descrittive dei materiali, ecc.. e ciò è reso ovviamente possibile, grazie alla quantità di dati non grafici presenti all'interno del modello federato, il software determina automaticamente la tipologia di componente o materiale che si intende descrivere, l'utilizzatore del programma deve solo selezionare l'elemento e la

tipologia di informazione che intende inserire all'interno della tavola e il programma restituisce in automatico l'informazione desiderata.

Il passaggio da un programma BIM ad uno CAD è fondamentale nell'attuale contesto di progettazione, poiché i programmi di disegno tecnico 2D, sono in grado di apportare modifiche di natura grafica che consentono di raggiungere gli standard grafici spesso richiesti dalla committenza.

Infatti il limite della visualizzazione 2D in ambiente BIM risiede nell'esigua capacità di poter assegnare ai singoli elementi del modello delle proprietà grafiche. Di conseguenza l'attuale tecnologia BIM, non consente di ottenere direttamente all'interno del programma dei livelli tali di disegno tecnico così come a volte sono pretesi da progetti pubblici e privati, ecco perché tale passaggio risulta spesso necessario.

Fondamentali sono anche i criteri di esportazione, infatti, il progettista per agevolare il lavoro di post esportazione può assegnare ad ogni tipologia di elementi diverse proprietà grafiche ed assegnargli differenti layer, operazione indispensabile nell'organizzazione del lavoro in ambiente CAD.

### 3.6 Esportazione dei dati

Una volta digitalizzati tutti gli elementi dell'infrastruttura all'interno dell'area di lavoro BIM, la modellizzazione dell'opera è di fatto terminata. Al progettista non resta che esportare le informazioni racchiuse nel programma al fine poter programmare le fasi successive di progettazione.

Le tipologie di informazioni che si possono esportare dal suddetto modello sono molteplici e variano in funzione della dimensione del modello BIM che si intenda analizzare. Infatti, dal programma BIM è possibile esportare:

- Informazioni di tipo 2D: all'interno del modello è possibile definire delle tavole che rappresentino l'infrastruttura e i suoi elementi costituenti in disegni tecnici. Questo permette di visualizzare le proprietà di tali opere in viste, sezioni, prospetti, ecc., necessari per le opere di realizzazione in cantiere;
- Informazioni di tipo 3D: raffiguranti gli aspetti geometriche tridimensionali dell'infrastruttura, nonché un suo rendering, utili al progettista per verificare eventuali interferenza di natura tecnica, che potrebbero portare ad una miglioria del progetto;
- Informazioni di tipo 4D: durante la modellazione dei singoli elementi costituenti l'infrastruttura, oltre a definire i parametri geometrici di quest'ultimi, il progettista ha potuto assegnare ad ognuna informazioni riguardanti le fasi di realizzazione. Di conseguenza, questo permette al progettista di poter esportare un cronoprogramma il quale racchiude in maniera più o meno dettagliata le fasi di costruzione dell'infrastruttura e la loro durata nel tempo. Una visualizzazione grafica di tale realizzazione, permette la combinazione più efficiente, in termini di tempo, delle varie successioni di fasi e della loro combinazione;
- Informazioni di tipo 5D: la rappresentazioni nello spazio de tutti gli elementi e la loro diversificazione in funzione alla tipologia di materiale prevista, permette di poter conoscere un prezzo totale della realizzazione dell'opera, associando ad essi un costo unitario per ogni tipologia di materiale impiegato. Questo consente di poter estrarre un computo metrico estimativo dell'opera. La

tipologia principale del file contenente tale computo è generalmente in .xls, questo permette di poter leggere tali valori attraverso un programma di fogli di calcolo e di poter modificare o aggiungere eventuali voci nel computo che non potevano essere inseriti all'interno del programma BIM.

A questo punto definiti tutti passaggi fondamentali per la modellazione, attraverso una metodologia BIM, di un'ipotetica infrastruttura stradale, andiamo ad affrontare l'applicazione di tale metodologia al nostro caso specifico tenendo presente , dato lo stato avanzato di progettazione nel quale abbiamo operato, che alcuni step sopradescritti saranno omessi in quanto già definiti ed elaborati in una fase precedente di progettazione.

## **Capitolo 4 Progettazione BIM di opere d'arte minori: applicazione a un caso studio**

In questo capitolo si ripercorrono i passi per l'elaborazione di uno specifico progetto di un'infrastruttura stradale in ambiente BIM. Si espongono quindi le scelte fatte con l'obiettivo di modulare tutte le dimensioni necessarie per rappresentare in modo efficace il modello, per poi passare allo sviluppo dei vari elementi costituenti l'opera, coerentemente con i dati disponibili ed in funzione delle disposizioni e dei vincoli stabiliti nelle fasi preliminari di progettazione e/o imposte dalla committenza.

Una volta completata la fase di illustrazione del caso di studio procederemo secondo le linee tracciate nella mappa procedurale ampiamente descritta al paragrafo 3.1, ponendosi come finalità la stesura del modello relativo ad una specifica categoria di opere d'arte minori connesse con l'infrastruttura stradale. Di conseguenza alcuni passaggi obbligati inerenti la modellazione dell'infrastruttura, saranno omessi in quanto non necessari per la digitalizzazione di tali opere d'arte minori.

Il primo step della progettazione ha riguardato la raccolta di dati, e la conseguente generazione CDE, il quale attraverso la creazione di un sistema di archivio per i file ha permesso un'adeguata conoscenza dell'opera, oltre che a costituire una piattaforma condivisa per la cooperazione dei diversi team di progetto.

Successivamente si è proceduto con la restituzione del modello rappresentativo della superficie topografica del sito oggetto di intervento. Questo passaggio è stato possibile grazie alla disponibilità di dati plano-altimetrici ottenuti dalle varie campagne di rilievo geodetiche eseguite nelle precedenti fasi di progettazione.

Il terzo step ha riguardato invece la generazione delle famiglie parametriche relative alle opere idrauliche oggetto di questa tesi, quali tombini e corrispettivi manufatti di imbocco e/o sbocco. La generazione di queste famiglie è il cardine intorno al quale si articola la progettazione BIM. In questa fase infatti si definiscono quei modelli parametrici, che, una volta inseriti nel modello federato, consentono al progettista di valutare le eventuali interferenze con l'assetto morfologico e antropico locale ed eventualmente di apportare le opportune modifiche, consentendo una notevole economia in termini di tempo di lavoro rispetto ad una progettazione tradizionale. Ne scaturisce che l'obiettivo del progettista in questa fase, è volto a definire puntualmente tutte le varie tipologie di opere d'arte minori, previste all'interno del progetto finale e le loro peculiarità, In questa fase, maggiore sarà la cura nel definire i parametri di generazione di questi oggetti, maggiore sarà la velocità di elaborazione del modello.

La quarta fase comprende la definizione del modello federato, dove i vari team di progetto riversano modelli realizzati nell'ambito della propria area di competenza (opere idrauliche, impianti illuminazione, infrastrutturistica ecc.). Nel nostro caso specifico, essendo un progetto pilota, il modello federato è composto esclusivamente del modello comprendente le opere idrauliche minori, la superficie topografica e il modello dell'infrastruttura stradale.

Ultimato il modello federato, si procede con l'esportazione di quest'ultimo in file compatibili con software CAD, passaggio ancora oggi forzato per ottenere standard di disegno tecnico, atti a soddisfare le esigenze della committenza e permette una corretta interpretazione del progetto in cantiere in sede di realizzazione dell'opera.

## 4.1 Scenario di progetto

L'oggetto di studio si inserisce nell'ambito della progettazione riguardante l'ammodernamento e l'ampliamento di un tratto autostradale italiano.

L'intervento rientra tra quelli previsti a livello nazionale, con l'obiettivo di migliorare la fluidità del traffico veicolare e l'accessibilità della rete.

In questo contesto il progetto esecutivo, oggetto di studio, prevede l'ampliamento della terza corsia di una tratta autostradale per una lunghezza complessiva di 32,477 km. In particolare l'intervento ha inizio in corrispondenza dei due rami di diversione ed immissione della stessa, in particolare alla progressiva km1+070 e termina in corrispondenza di uno svincolo presente al km 33+547, dove le terze corsie si perdono sulle rampe di diversione/immissione dello svincolo esistente.

L'andamento plano-altimetrico è caratterizzato da tratti prevalentemente in rilevato di altezze contenute con lunghi rettili e curve ad ampio raggio.

Il progetto prevede un ampliamento della piattaforma in sede e simmetrico, ad eccezione fatta per due ridotti tratti ove è stato fatto ricorso ad un ampliamento di tipo asimmetrico al fine di mitigare l'impatto ambientale dell'infrastruttura.

Il primo tratto asimmetrico (lato nord della carreggiata) è localizzato a partire dal km 1+720 sino al km 6+829. Il secondo tratto si sviluppa in carreggiata nord dal km 14+545 al km 18+354.

L'intera progettazione di realizzazione della terza corsia risponde ai requisiti stabiliti dal M.I.T. (Ministero Infrastrutture e Trasporti) nel D.M. del 5 Novembre 2001 "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*" per viabilità classificata di categoria A "Autostrade extraurbane".

Pertanto, la sezione tipo stradale prevede una piattaforma di 32,50 m di larghezza, organizzata in due carreggiate separate da un margine interno di 4.00 m. Ciascuna delle carreggiate conta tre corsie di marcia ognuna di larghezza pari a 3.75 m, per ogni senso di marcia la piattaforma autostradale si completa con una corsia di

emergenza larga 3.00 m una banchina di dimensioni minime pari a 0,70 m, Figura 37, Figura 38.

L'allargamento netto della sede stradale risulta quindi, pari a 4.90m in caso di allargamento simmetrico e a circa 10.30 m in caso di ampliamento asimmetrico.





Nell'ambito del Progetto definitivo dell'intervento di ampliamento alla terza corsia dell'autostrada, tra la progressiva di inizio intervento e la progressiva di fine intervento, è stata effettuata un'analisi volta all'individuazione degli elementi idrologici ed idraulici di partenza, sulla base si è definito gli aspetti critici e, conseguentemente, le tipologie d'intervento da applicare nella progettazione delle sistemazioni idrauliche e del sistema drenante di piattaforma.

In particolare, l'ampliamento dei manufatti di attraversamento (ponti, ponticelli, tombini), posti sui corsi d'acqua principali, secondari e minori, implica interventi di sistemazione e raccordo all'alveo originario a monte o a valle o da entrambi i lati dell'infrastruttura. Tali interventi di sistemazione si possono riassumere in cinque tipologie principali:

- A. ricalibratura dell'alveo e sistemazione del fondo e delle sponde mediante scogliera in massi di cava di opportuna pezzatura eventualmente rinverdita (se necessario cementata);
- B. ricalibratura dell'alveo e rivestimento di fondo e sponde mediante gabbioni e/o materassi eventualmente rinverditi;
- C. ricalibratura dell'alveo e sistemazione del fondo con pietrame sciolto e delle sponde con paramenti in terra rinforzata rinverdita;
- D. risezionamento dell'alveo in terra ed inerbimento delle sponde mediante idrosemina;
- E. ricalibratura della sezione e rivestimento del canale (fondo e sponde) in calcestruzzo.

Nella tabella seguente si riassumono tutte le opere idrauliche minori ampliate nel tratto in oggetto e le sistemazioni idrauliche che sono state adottate caso per caso.

Tabella 7 - Sistemazioni idrauliche in progetto

DESCRIZIONE	PROGRESSIVA ATTRAVERSAMENTO [Km]	TIPOLOGIA SISTEMAZIONE IDRAULICA
T001	1+243	D
T002	1+713	D
T003	1+912	D
T004	2+292	E
T005	2+575	E
T006	3+189	D
T007	3+476	D
T008	3+717	D
T009	3+955	D
T011	4+313	D
T012	4+568	D
T013	4+786	D
T014	4+913	D
T015	5+169	D
T016	5+374	D
T017	5+424	D
T018	5+685	D
T019	5+888	D
T020	6+117	D
T021	6+462	E
T022	6+601	D
T023	6+885	D
T024	7+168	D
T025	7+356	D
T026	7+510	D
T027	7+725	D
T028	7+880	D
T029	7+962	D
T030	7+959	D
T031	8+048	D
T032	8+100	D
T033	8+110	D
T034	8+048	D
T035	8+235	D
T036	8+424	D
T037	8+553	D
T038	8+837	D
T039	8+966	D
T040	9+175	D
T041	9+635	D
T042	9+757	D
T043	9+898	D
T044	10+314	D
T045	10+358	A
T046	10+602	D
T047	11+224	D
T048	11+484	D
T049	11+617	D

DESCRIZIONE	PROGRESSIVA ATTRAVERSAMENTO [Km]	TIPOLOGIA SISTEMAZIONE IDRAULICA
T050	11+619	D
T051	11+621	D
T052	11+624	D
T053	11+997	D
T054	12+518	D
T055	12+521	D
T056	12+528	D
T057	12+771	D
T058	12+906	D
T059	13+091	D
T060	13+171	D
T062	13+565	D
T063	13+762	E
T064	13+949	D
T065	14+143	D
T066	14+363	D
T068	14+508	D
T069	16+667	D
T070	14+854	D
T071	14+991	D
T072	15+155	D
T073	15+325	D
T074	15+711	A
T075	15+858	D
T076	16+182	D
T077	16+277	D
T078	16+368	D
T080	17+012	D
T081	17+257	E
T082	17+374	D
T083	17+509	D
T084	17+823	D
T085	18+020	D
T086	18+025	D
T087	18+159	D
T088	18+308	D
T089	18+408	D
T090	18+507	D
T092	18+660	D
T096	19+288	A
T097	19+362	D
T098	19+730	D
T100	20+420	D
T104	21+073	D
T105	21+174	D
T106	21+189	D
T107	21+802	D
T108	22+059	A
T109	22+133	D

<b>DESCRIZIONE</b>	<b>PROGRESSIVA ATTRAVERSAMENTO [Km]</b>	<b>TIPOLOGIA SISTEMAZIONE IDRAULICA</b>
T112	23+214	D
T114	23+507	D
T115	23+517	D
T116	23+761	D
T117	23+961	D
T118	24+240	D
T119	24+250	D
T120	24+868	D
T122	27+144	D
T123	27+688	D
T124	28+735	D
T125	29+110	D
T126	29+170	D
T128	29+590	D
T129	29+770	D
T130	30+016	D
T131	30+257	D
T133	30+773	D
T134	31+050	D
T135	31+190	D
T138	31+823	D
T140	32+467	D
T141	32+700	D
T142	32+967	D
T144	33+491	D

Dalla soprastante tabella si evince che lo studio specifico delle opere d'arte minori elaborate durante la stesura di questa tesi, riguarderà 122 elementi dislocati lungo tutta la tratta oggetto d'intervento, ma al momento, per mere disposizioni della committenza, la progettazione è rivolta al primo lotto riguardante il tratto di intervento, che va dalla progressiva km1+070 alla progressiva 8+500 km.

## **4.2 Dati di progetto – definizione CDE**

Tutte le tipologie di dati utilizzati per la modellazione BIM del progetto, sono state fornite dalla società incaricata dal concessionario, alla stesura del progetto definitivo.

Operando in una fase di progettazione avanzata (progetto esecutivo), si disponeva di una vasta gamma di elaborati precedentemente redatti quali, file di disegno tecnico 2D (come planimetrie, sezioni tipo, altimetrie, ecc.), relazioni tecniche, foto dell'infrastruttura esistente e delle opere ad esso connesse, ecc.. In particolare, i disegni tecnici definiti nelle fasi di progettazione precedente riguardavano, oltre la componente del corpo stradale in questione, anche tutta una serie di elaborati relativi agli elementi marginali connessi con l'infrastruttura, tra cui le opere d'arte minori idrauliche, scopo della modellazione BIM.

La prima fase è stata dunque quella di raccogliere tutti le informazioni e i dati inerenti al progetto dell'infrastruttura e catalogarli in modo tale da poter definire e valutare le componenti oggetto di modellizzazione BIM.

### **4.2.1 Rilievo topografico**

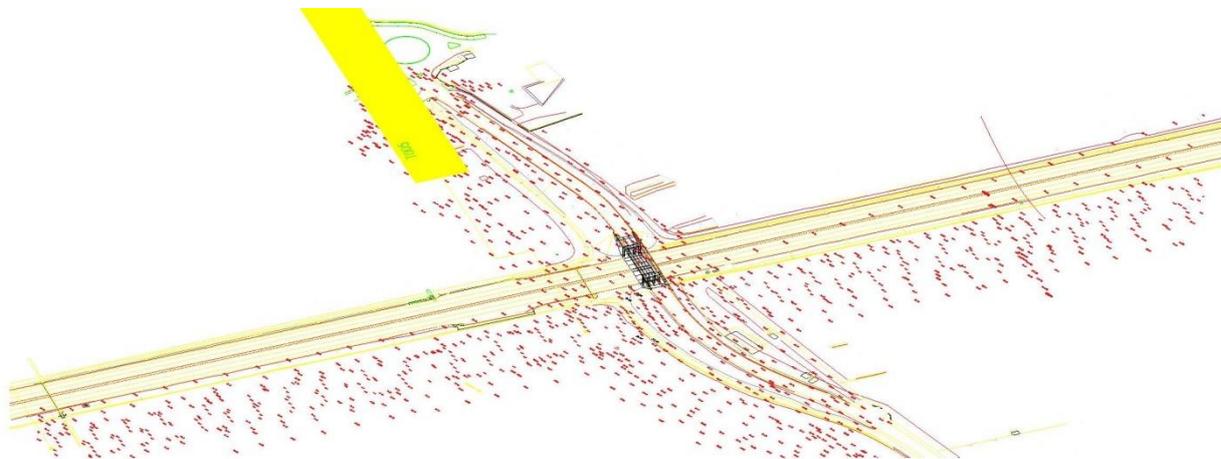
Per poter creare un modello BIM delle opere d'arte minori è stato necessario ricostruire un corretto modello digitale del terreno – DTM attraverso i dati scaturiti dalle campagne di rilievo già effettuate e restituiti in file .dwg messi a disposizione dalla commessa.

Va sottolineato che, trattandosi di ampliamento di un'infrastruttura esistente, il rilievo topografico tiene conto, ovviamente, anche del rilevato stradale esistente.

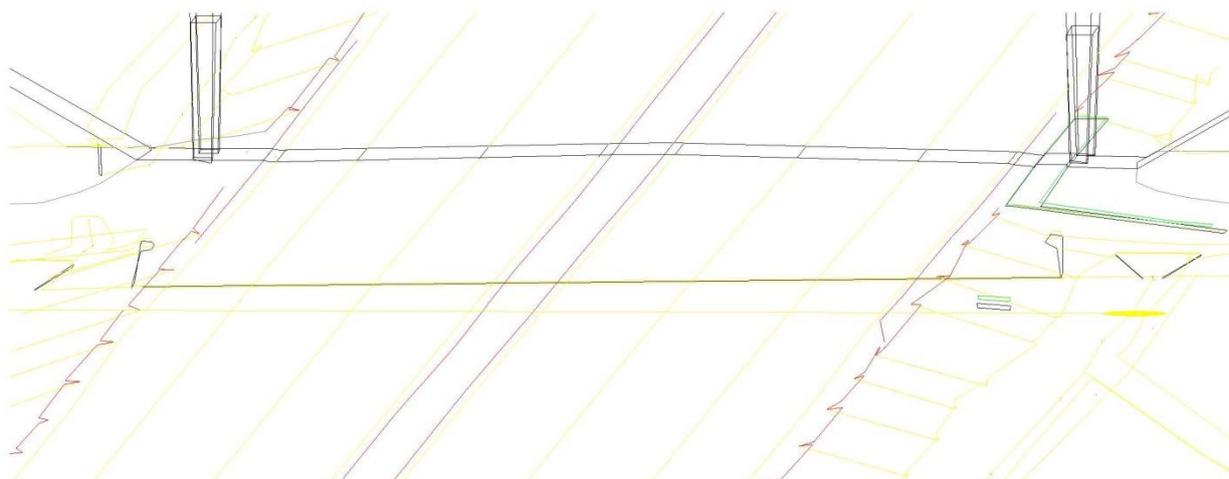
Oltre agli elaborati di rilievo di cui sopra, si è messo a disposizione un modello CAD che, attraverso una restituzione in polilinee 3D dei principali elementi costituenti l'esistente infrastruttura, ha consentito di individuarne la quota altimetrica.

Quanto sopra ci ha consentito di conoscere con estrema precisione il posizionamento nello spazio di tutti quei componenti l'infrastruttura, quali: cigli stradali, asse stradale, banchine, quota di fondo dei tombini, scarpate e l'estradosso dei manufatti di imbocco/sbocco, permettendoci l'esatto posizionamento altimetrico

all'interno del modello federato delle nuove opere d'arte minori oggetto del nostro studio.



*Figura 39 - Stralcio polilinee 3D*



*Figura 40 - Vista 3D Polilinee tombino esistente*

### **4.2.2 Carte tematiche**

Per eseguire un posizionamento dei nostri elementi parametrici all'interno del modello federato, è stato necessario raccogliere ed archiviare tutte le tavole tecniche, che descrivono oltre ai vincoli antropici ed ambientali presenti lungo il tracciato, anche l'andamento planimetrico del tratto esistente, di progetto e ed della posizione delle relative opere d'arte minori connesse con l'infrastruttura ed oggetto di sistemazione.

La sovrapposizione di tali carte con il modello digitale del terreno, a seguito di un'opportuna georeferenziazione di tali elementi all'interno del modello federato, ha consentito un posizionamento ed un adattamento delle opera d'arte minori in maniera sequenziale e rapida.

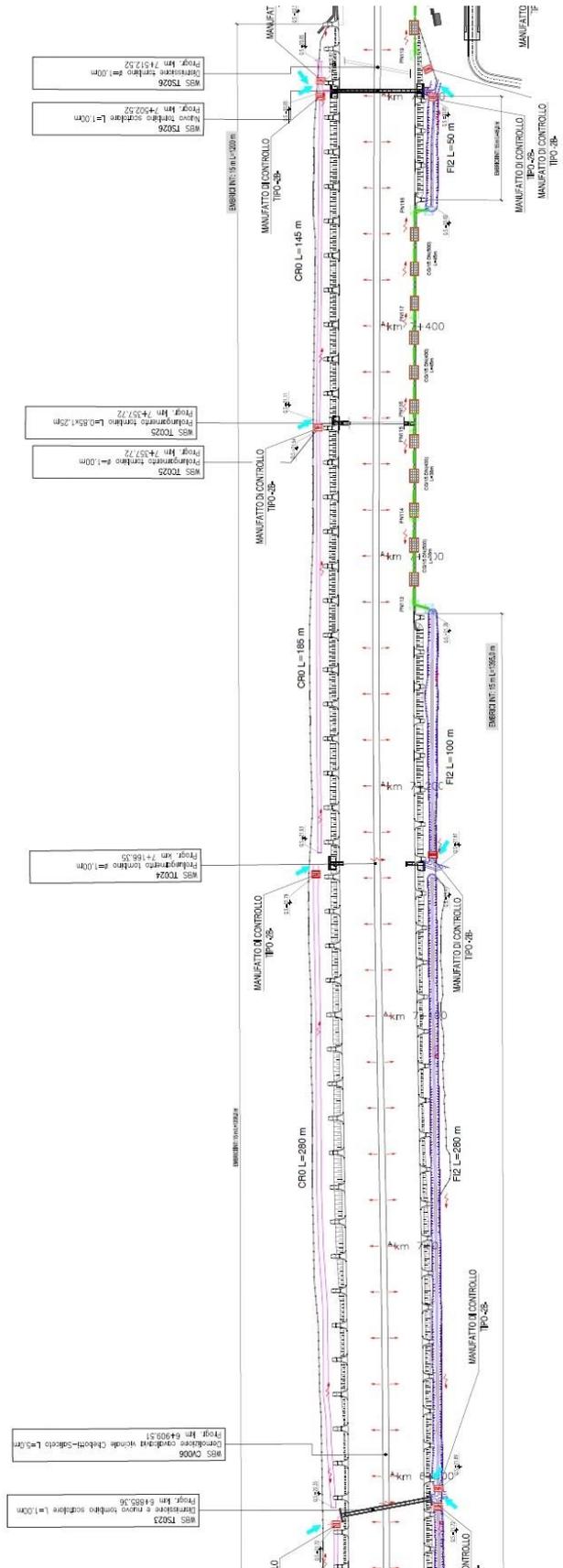


Figura 41 - Planimetria sistema di drenaggio

### 4.2.3 Opere d’arte minori

Per la definizione successiva delle famiglie parametriche raffiguranti le opere idrauliche minori, quali tombini e i manufatti di imbocco e/o sbocco, è stato necessario raccogliere tutte le informazioni di tipo carpentieristico associate ad esse. Questo oltre a permettere di rappresentare in grafica 3D tali manufatti, consentirà di associare ad ogni componente di cui sono costituiti, le proprietà fisiche e meccaniche previste in fase di progetto definitivo.

Oltre a tali tavole, per ogni singola opera idraulica, è stato possibile usufruire di schede tecniche nelle quali erano riportate: la posizione planimetrica con la progressiva associata, le dimensioni principali della condotta e una documentazione fotografica dello stato di fatto di dette opere. Si riposta un esempio di scheda dell’opera nella figura sottostante.

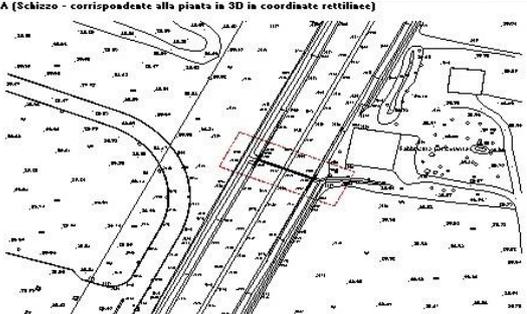
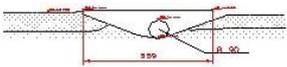
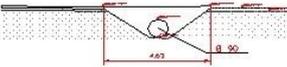
N° Scheda:	28	Rif. Files	T028.dwg	<b>SCHEDA OPERA D'ARTE</b>	Data compilazione:	19-lug-2011
Tipologia di opera:	TOMBINO DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO			Progressiva opera:	3+477	Progressiva come da As Built:
Materiale usato per la costruzione:	CALCESTRUZZO			Correggiata:		
Stato dell'opera:	<input type="checkbox"/> Buono <input type="checkbox"/> Discreto <input checked="" type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Cattivo <input type="checkbox"/> Pessimo	<b>FOTOGRAFIA</b> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">PROSPETTO EST</div>  <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">PROSPETTO OVEST</div> 				
<b>PLANIMETRIA (Schizzo - corrispondente alla piastra in 3D in coordinate rettilinee)</b> 						
<b>PROSPETTO (Schizzo - eventualmente utilizzare un'ulteriore pagina)</b> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>PROSPETTO OVEST</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>PROSPETTO EST</p>  </div> </div>						
<small>NOTA DI VERIFICA SULLA CORRISPONDENZA TRA IL RILIEVO DELL'OPERA E L'AS BUILT FORNIT</small>						

Figura 42 - Esempio scheda opera d’arte

Le tipologie di tombini oggetto di studio si possono differenziare in due categorie: tombini scatolari e tombini tubolari.

Ovviamente, le proprietà geometriche di entrambe le categorie possono variare in funzione delle caratteristiche dimensionali riguardanti i tombini esistenti oggetto di sistemazione e dalle condizioni progettuali definite dal progettista, quali lunghezza di prolungamento, inclinazione condotta, posizionamento e orientamento dei manufatti connessi con la tubazione, ecc.. Pertanto nella fase di progettazione, si è proceduto ad individuare delle tavole tipologiche raffiguranti ogni macro gruppo di opere idrauliche (tipologico dei tombini circolari, tipologico dei scatolari, tipologico dei manufatti di imbocco / sbocco), ed, una volta definite le caratteristiche geometriche e fisiche di tali opere, si sono individuate quali di queste grandezze risultavano essere comuni per ogni tipo di categoria di tombino o manufatto, e quindi costanti, e quali invece variabili, permettendo in questo modo uno sviluppo ottimale delle famiglie parametriche.

Di seguito si descriverà nel dettaglio le caratteristiche costruttive previste per la l'ampliamento o sostituzione delle opere idrauliche oggetto di intervento, diversificandole in funzione della tipologia di categoria e delle sue rispettive famiglie parametri, che sono state modellizzate in fase di progetto.

#### - *Scatolari*

Per tale famiglia d'opera d'arte minore, la struttura è di fatto condizionata dalle caratteristiche geometriche dell'opera idraulica esistente oggetto di prolungamento. Tale condotta è caratterizzata da una configurazione a telaio chiuso monocellulare e tale geometria viene mantenuta anche nell'ampliamento dell'opera medesima.

Il tombino scatolare utilizzato per la sistemazione idraulica è prevista in calcestruzzo prefabbricato di spessore pari a 16 cm, al quale verrà associata un rinfiacco con misto cementato per migliorarne la staticità e la distribuzione dei carichi gravanti sulla condotta stessa.

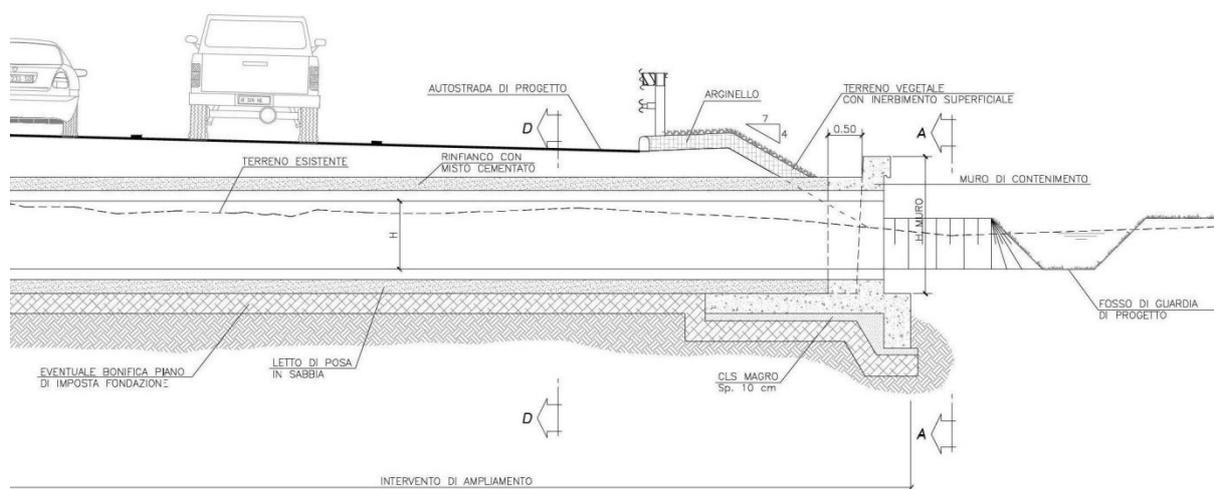


Figura 43 - Sezione longitudinale sostituzione e allungamento tombino scatolare

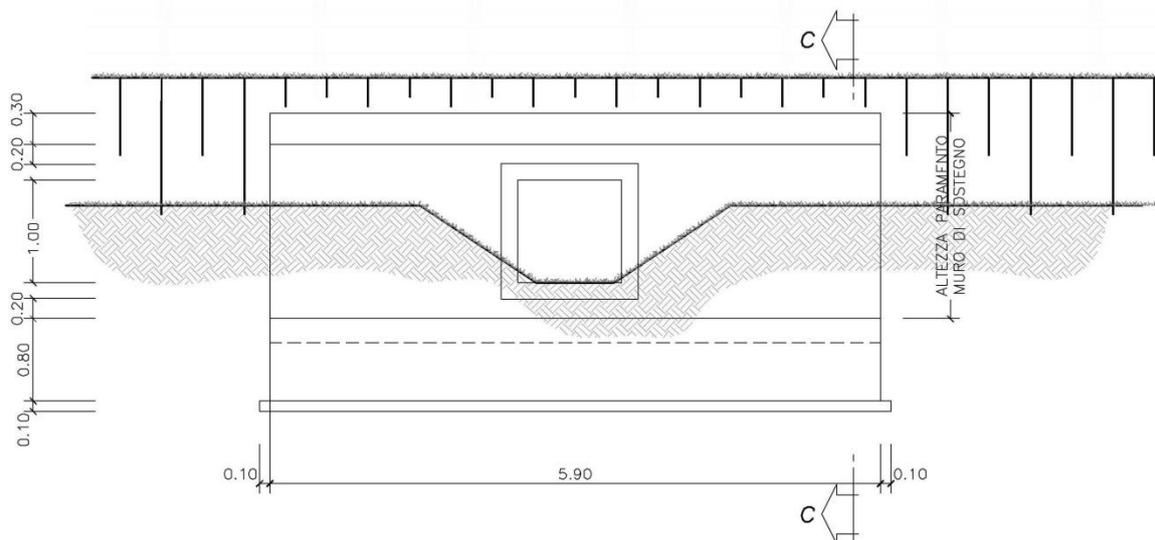


Figura 44 - Sezione trasversale sostituzione e allungamento tombino scatolare

Le fasi di lavorazione previste per tali opere prevedono:

1. scavo del rilevato stradale esistente fino alla quota di fondazione del tombino esistente;
2. demolizione del tombino esistente;
3. demolizione muri d'imbocco/sbocco esistente;
4. preparazione letto di posa nuovo tombino;

5. posizionamento nuovo tombino;
6. riempimento con misto cementato;
7. ripristino del rilevato stradale.

Va sottolineato che per quanto riguarda la procedura di sostituzione del tombino e la ricostruzione del rilevato stradale e della pavimentazione, sono state previste in un'unica fase notturna con chiusura totale dell'autostrada.

Per quanto riguarda la solidarizzazione del tombino di prolungamento con l'esistente, in progetto è previsto la chiodatura della porzione in ampliamento all'esistente, senza però realizzare una continuità strutturale, in modo da non alterare il quadro tensionale su quest'ultima.

Tutte queste informazioni sono state analizzate per poi elaborare la corrispondente famiglia parametrica.

Un'esempio tavola di carpenteristiche è possibile visionarla in allegato 1.

#### - *Tombini tubolari*

Le caratteristiche generali di questa specifica categoria segue la linea di principio definita per le opere scatolari, nonché, le strutture esistenti di questa categoria, hanno una geometria a sezione longitudinale di tipo tubolare e tale viene mantenuta anche nell'ampliamento dell'opera.

La costruzione in prolungamento sarà composta da un serie di conci prefabbricati di lunghezza unitaria pari a 2 metri, ad esclusione dell'ultimo concio (quello in corrispondenza del manufatto di bocco o imbocco), il quale verrà tagliato in opera, in funzione della lunghezza prevista di prolungamento.

Per le caratteristiche geometriche riguardanti i conci prefabbricati, i quali andranno a costituire la condotta circolare, sono stati considerati i parametri forniti dalla ditta costruttrice, la quale eseguirà alla fornitura di tali elementi. Tali informazioni verranno utilizzati per la modellazione parametrica di tali strutture.

Tabella 8 - Dimensioni tubo in calcestruzzo vibrocompresso della lunghezza utile di 200 cm

Ø interno [mm]	Ø esterno [mm]	Spessore [mm]	Lunghezza [mm]	Peso [Kg]
200	270	35	2.000	51
300	370	40	2.000	97
400	480	45	2.000	129
500	590	55	2.000	207
600	700	60	2.000	285
800	930	65	2.000	375
1.000	1.150	75	2.000	532

Per quanto riguarda gli altri elementi strutturali che completano l'opera di prolungamento, come si evince dalle **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono costituiti da uno strato di bonifica sopra la quale è posto in opera uno strato di calcestruzzo magro e una soletta calcestruzzo armato, sulla quale poggeranno i vari conci. Mentre nella parte superiore e adiacente ai prefabbricati verrà realizzato un rinfiacco con misto cementato.

Infine, la solidarizzazione tra la struttura esistente e quella in ampliamento avviene tramite barre fiorettate lungo tutta la superficie di contatto che hanno il solo scopo di limitare i cedimenti differenziali.

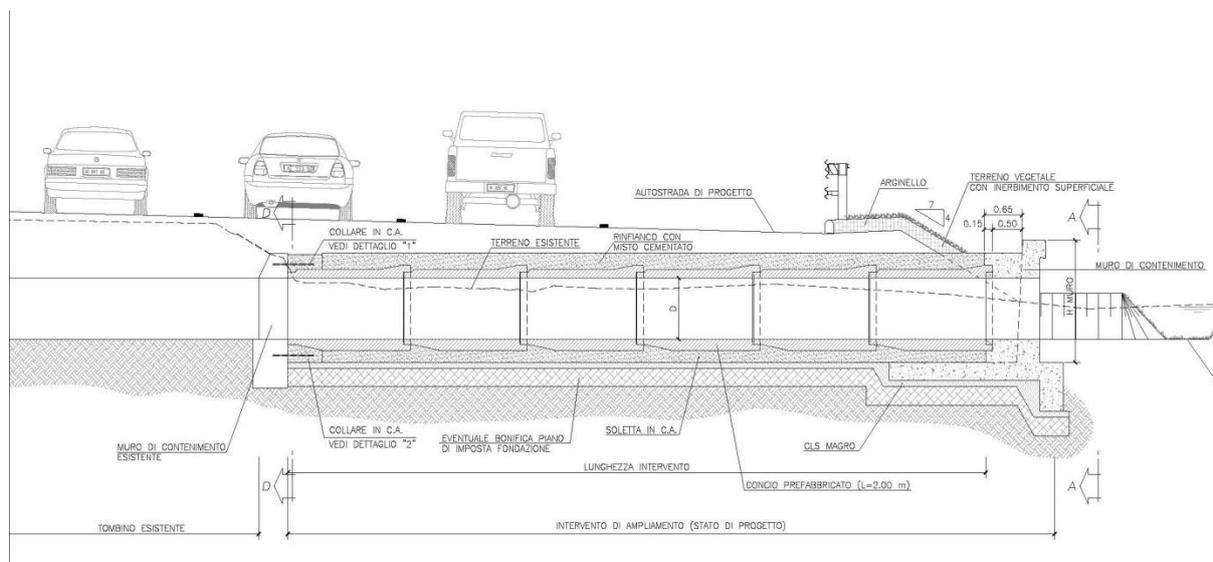


Figura 45 - Sezione longitudinale tipologica tombino circolare

La visione della tavola di carpenteria definita in fase progetto definitivo per tale tipologia di opera idraulica è riportata nell'Errore. L'origine riferimento non è stata rovatà..

Per entrambe le tipologie di tombini è stato eseguita la stesura di una tabella che elencasse tutte le varie opere oggetto di ampliamento o sostituzione con le varie proprietà costruttive, come: tipologia di opera, dimensioni condotta, tipologia di intervento, ecc. Tale tabella ha permesso una definizione dei modelli costituenti le singole famiglie parametriche ed un controllo durante l'inserimento di quest'ultime all'interno del modello federato.

Tabella 9 - Tombini circolari lotto 1

CODICE	PROGRESSIVA [km]	TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA	DIMENSIONI NETTE [m]	TIPOLOGIA INTERVENTO	TIPOLOGIA PROLUNGAMENTO
T001	1+232	Condotta circolare	0.40	Prolungamento tombino circolare	Simmetrico
T002	1+714	Condotta circolare	1.00	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T003	1+912	Condotta circolare	1.00	Dismissione tombino	Non previsto
T004	2+292	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T005	2+575	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T006	3+189	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico

T007	3+477	Condotta circolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
<b>CODICE</b>	<b>PROGRESSIVA [km]</b>	<b>TIPOLOGIA OPERA IDRAULICA</b>	<b>DIMENSIONI NETTE [m]</b>	<b>TIPOLOGIA INTERVENTO</b>	<b>TIPOLOGIA PROLUNGAMENTO</b>
T008	3+718	Condotta circolare	0.80	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
T009	3+956	Condotta circolare	1.00	Dismissione tombino	Non previsto
T010	4+199	Scatolare	1.00	Non previsto	Asimmetrico
T011	4+315	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T012	4+569	Condotta circolare	1,5 x 2,17	Prolungamento Ponticello scatolare	Asimmetrico
T013	4+787	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T014	4+914	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T015	5+170	Scatolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
T016	5+375	Condotta circolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
T017	5+423	Condotta circolare	1 x 1,84	Prolungamento tombino scatolare	Asimmetrico
T018	5+686	Condotta circolare	1.00	Dismissione tombino	Non previsto
T019	5+888	Condotta circolare	1.00	Nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T020	6+118	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T021	6+464	Condotta circolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
T022	6+601	Scatolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
T023	6+885	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T024	7+166	Condotta circolare	1.40	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
T025	7+357	Condotta circolare	0,8 X 0,8	Prolungamento tombino scatolare	Asimmetrico
T026	7+512	Condotta circolare	1 x 1	Dismissione e nuovo tombino scatolare	Asimmetrico
T028	7+880	Scatolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Asimmetrico
T029	7+962	Condotta circolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Simmetrico
T030	7+967	Condotta circolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Simmetrico
T031	8+048	Scatolare	1.00	Dismissione tombino	Non previsto

T032	8+103	Scatolare	1.00	Prolungamento tombino circolare	Simmetrico
------	-------	-----------	------	---------------------------------	------------

- *Manufatti di imbocco e di sbocco*

Per garantire stabilità strutturale alle condotte idrauliche è stato previsto l'inserimento di manufatti di imbocco o sbocco, a seconda se si trovi a valle o monte del tombino.

E' stato previsto che questi elementi strutturali siano gettati in opera e armati, con dimensioni geometriche standard. L'unica variazione di tipo geometrico che si prevede riguarda sostanzialmente la dimensione e la tipologia dell'apertura in corrispondenza del tombino.

L'altezza del manufatto, è anch'essa standard e di valore pari a 2 m. E' stata comunque verificata che la scarpata adiacente alla piattaforma stradale non vada a sovrastare la testata di cordolo della struttura presa in considerazione. Laddove tale verifica dia esiti negativi, si sono adottate delle opportune modifiche progettuali che hanno previsto l'aumento dell'altezza utile del muro di contenimento o un'ulteriore prolungamento del tombino.

Di seguito si riportano la geometria dei suddetti elementi strutturali.

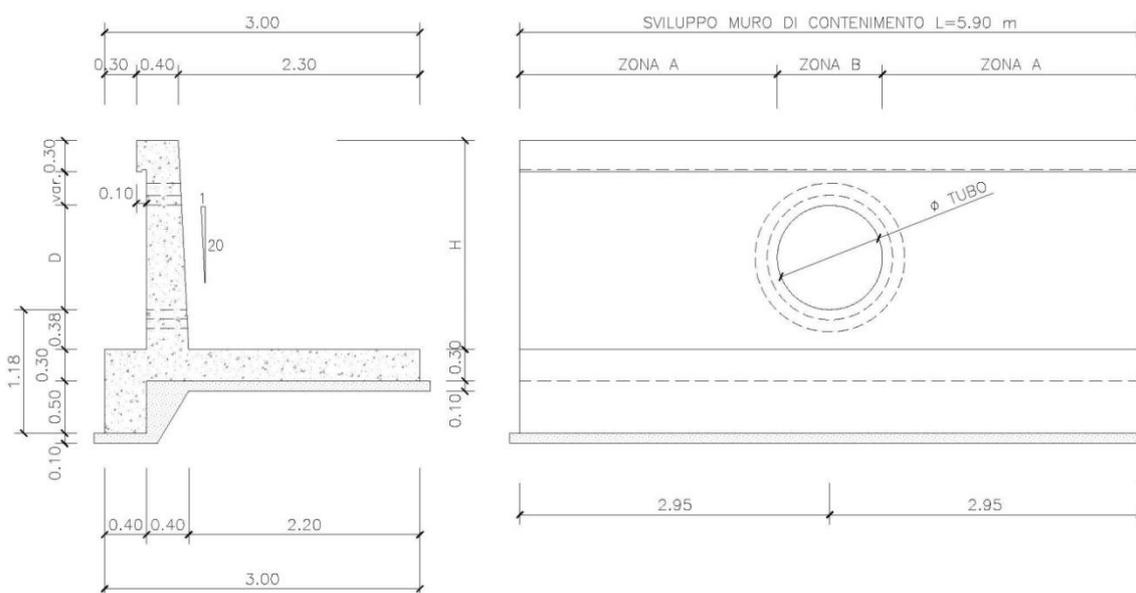


Figura 46 – Sezione longitudinale e trasversale tipologica muro di imbocco / sbocco

Per ulteriori e più specifiche informazioni inerenti la carpenteria di tali manufatti si rimanda agli Allegati 1 e 2.

#### 4.2.4 Riferimenti normativi

Prima di procedere con la modellazione delle opere annesse all'infrastruttura si riportano i riferimenti normativi utilizzati per il dimensionamento geometrico degli elementi marginali e delle opere d'arte:

- D. Lg.vo n. 285/92 e s.m.i.. "Nuovo codice della Strada";
- D.P.R. n. 495/92 e s.m.i.. "Regolamento di esecuzione e di attuazione del Nuovo Codice della Strada".
- D.M. 5.11.2001 n. 6792 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (G.U. n. 3 del 04.01.2002);
- D.Lgs. 27.06.2003 n.151 - Modifiche ed integrazioni al codice della strada
- D.M. 22.04.2004 n. 67/s "Modifica del decreto 5 novembre 2001, n. 6792, recante «Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade»" (G.U. n. 147 del 25.06.2004);

- RD 25/07/1904 n° 523 Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.
- UNI 11337 “Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni”

### **4.3 Elaborazione del modello digitale del terreno del tratto autostradale**

Durante questa fase si eseguirà la realizzazione di un modello 3D, raffigurante la superficie topografica, partendo da file 3D CAD, salvati all'interno del CDE durante la fase precedente.

Nel nostro caso specifico il rilievo è stato eseguito mediante laser scanner, questa metodologia permette di ottenere una raffigurazione dei punti discreti dell'infrastruttura stradale georeferenziati rispetto ad un sistema di riferimento cosiddetto lineare utilizzato per i tracciati autostradali.

Pertanto i dati utilizzati per la modellazione del DTM erano riferiti ad un sistema locale di coordinate, tale sistema si è utilizzato anche nelle fasi successive di modellazione per consentire una corretta sovrapposizione dei modelli successivi.

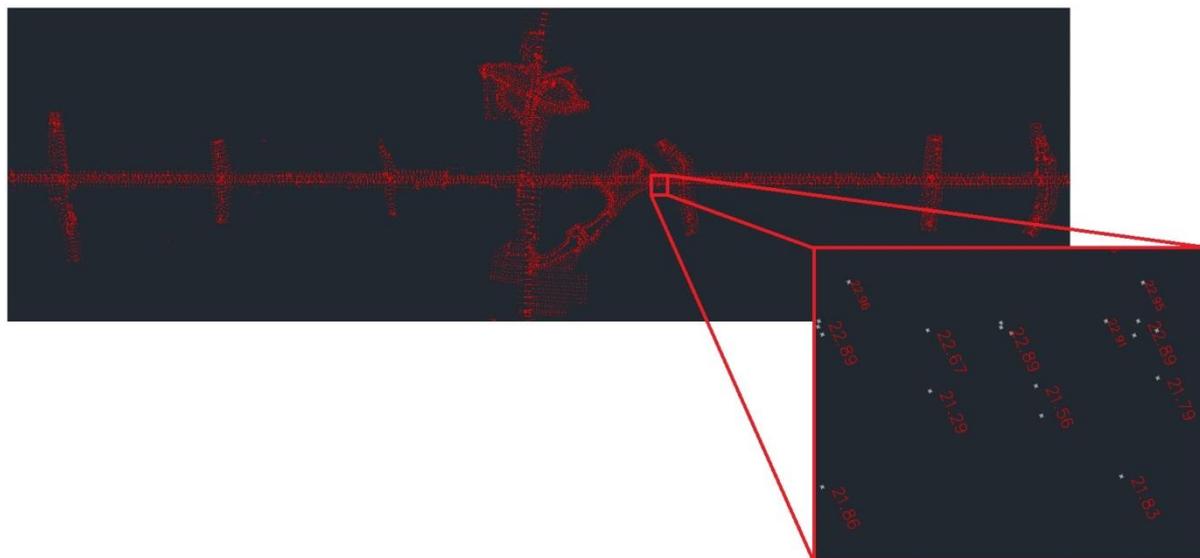
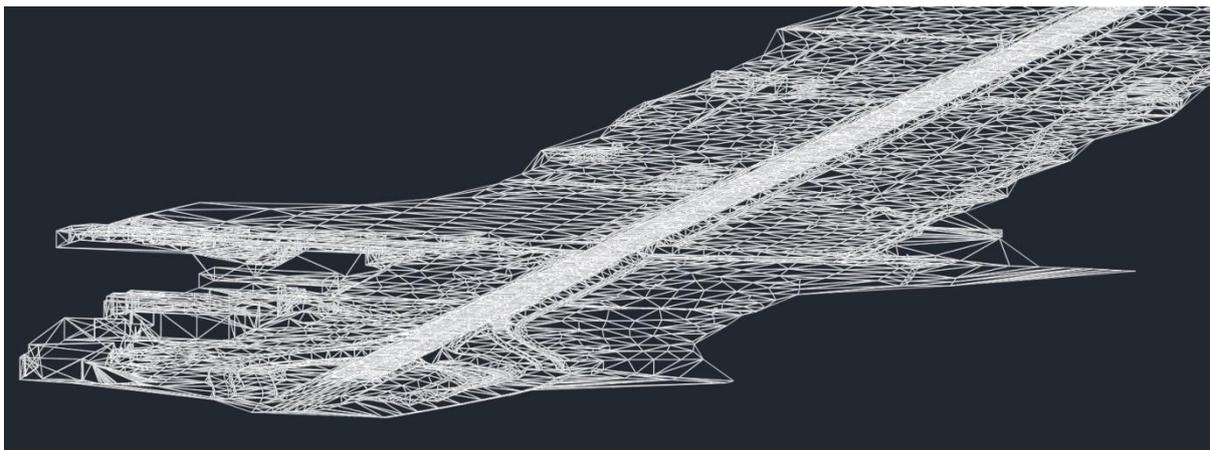


Figura 47 - Stralcio rilievo topografico

Il passo successivo è stato quello di importare tale file, all'interno di un programma BIM specifico per le infrastrutture, con il quale è stato possibile eseguire la modellazione del terreno (DTM). Una volta importata la nuvola di punti, per la definizione del modello relativo alla superficie topografica, è necessario selezionare i punti interessati dallo sviluppo di tale modello, il programma restituisce la superficie mediante una triangolazione dei punti selezionati.

Tale procedura risulta al livello computazionale molto complessa e con tempi di elaborazione assai lunghi, per tanto al fine di snellire il carico di lavoro della macchina sono stati utilizzati per la modellazione esclusivamente i punti raffiguranti l'infrastruttura e le aree limitrofe ad essa, trascurando tutte le infrastrutture ausiliare non oggetto di studio.

Il risultato di tale modellazione è stato sottoposto ad un controllo preliminare per la verifica di eventuali errori di computazione o dalla presenza di eventuali punti associati a grossolani errori di rilievo.



*Figura 48 – Stralicio DTM*

Eseguita la post elaborazione, si proceduto all'esportazione di tale superficie in formato .xlm, in modo tale da poter essere correttamente letta dal software BIM utilizzato per la definizione del modello federato.

#### **4.4 Modellazione BIM in famiglie parametriche delle opere d'arte minori**

Eseguita la modellizzazione del DTM, la fase successiva risiede nella modellizzazione delle famiglie parametriche delle opere d'arti minori. Come ampiamente illustrato nei paragrafi precedenti, questo procedimento ci permetterà di inserire ed adattare modelli standard di manufatti, nel nostro caso specifico di opere idrauliche, secondo le esigenze tecniche del progettista e dai vincoli sia ambientali che imposti dalla committenza.

Già esposto nel paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, le tipologie di opere d’arte minori da modellizzare sono essenzialmente appartenenti due categorie: tombini e manufatti di sbocco/imbocco. A sua volta la categoria tombini si suddivide in due famiglie: tombini circolari e tombini scatolati in funzione della forma geometrica della condotta. Analogamente, anche i manufatti di sbocco/imbocco si dividono in due tipologie in funzione della geometria dell’apertura del muro . Infine, in funzione dei dati dedotti dal progetto definitivo, è stato possibile avere informazioni non solo sulla tipologia ma anche sulle dimensioni previste per ogni singola condotta. Sulla base di ciò è stato quindi possibile definire le varie tipologie di famiglie parametriche per un successivo utilizzo nella realizzazione del modello federato.

Si riassume mediante lo schema ad albero sottostante, la configurazione di famiglie parametriche usate per la modellizzazione BIM dei tombini.

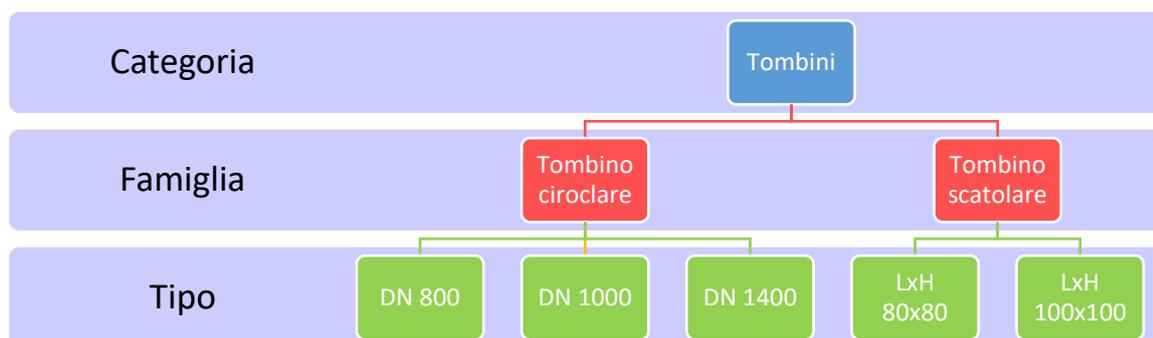
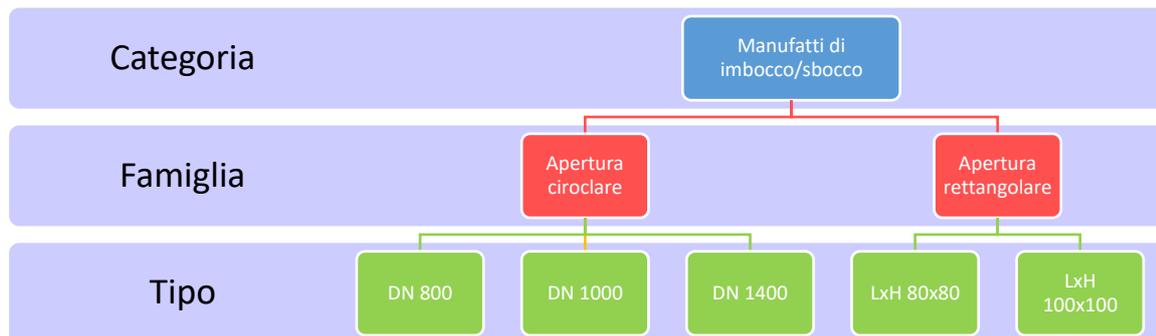


Figura 49 - Schema famiglia parametriche Tombini



*Figura 50 - Schema famiglie parametriche Manufatti di imbocco/sbocco*

Prima di eseguire l'effettiva modellizzazione, si sono analizzati i dati raccolti ed inseriti all'interno del CDE, che descrivono le caratteristiche geometriche e fisiche di tali opere. Attraverso questi elaborati, è stato possibile definire, per ogni tipologia di famiglia parametrica, quali siano le caratteristiche geometriche fisse, e quali, invece, risultino variabili per ogni tombino o manufatto imbocco/sbocco. Questa analisi risulta fondamentale per una corretta modellizzazione di famiglie parametriche e agevola il lavoro del progettista, durante l'adattamento delle famiglie parametriche all'interno del modello federato.

Il primo passo da eseguire nella modellazione parametrica risiede nell'impostazione dei piani di riferimento Figura 51. Tali piani definiscono la geometria di massima e permettono al progettista di individuarne due i quali definiranno il punto di inserimento dell'oggetto BIM all'interno del modello federato. Questo aspetto permette al progettista di definire lo sviluppo del modello in relazione alla posizione di tali piani e quindi decidere, quale punto del modello del tombino verrà utilizzato per la georeferenziazione con l'infrastruttura. Un esempio di quanto asserito lo si può riscontrare tra le proprietà dei piani di riferimento selezionati in blu nella Figura 51.

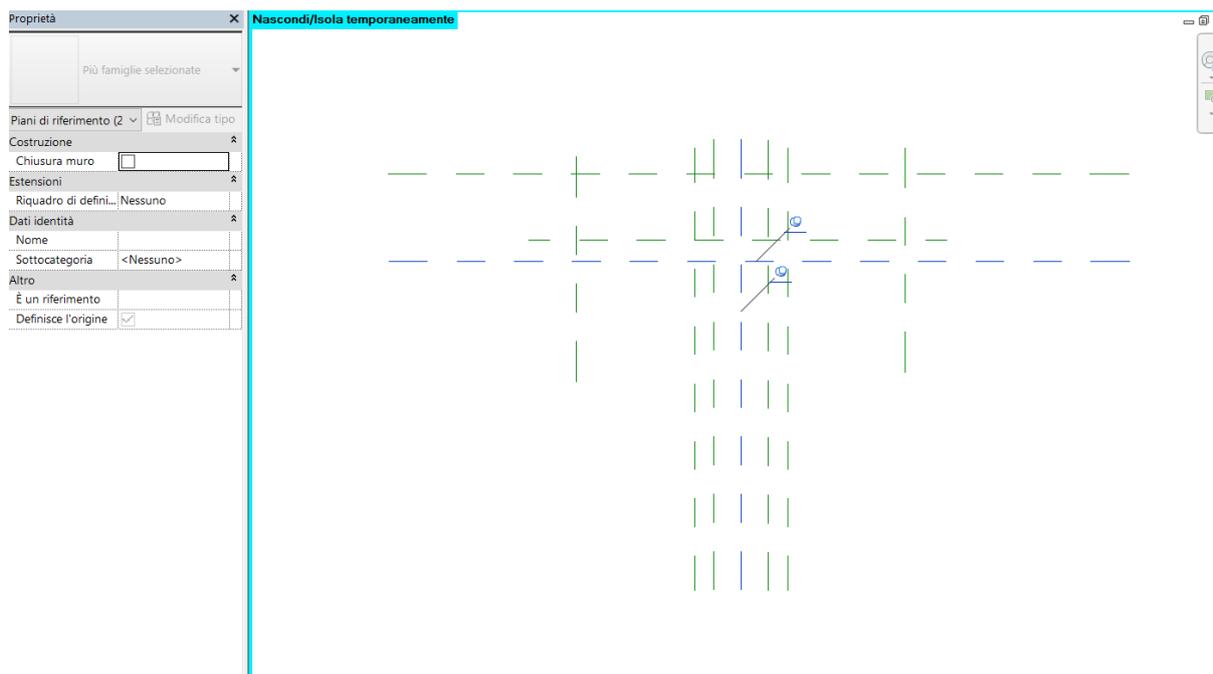


Figura 51 – Piani di riferimento adottati per la modellazione di famiglie parametriche dei tombini

Successivamente si è definita una prima bozza del modello BIM dei tombini, mediante l'utilizzo di figure tridimensionali, ovvero una geometria standard di questa famiglia. Risulta evidente che tale operazione va eseguita per ogni singola tipologia costituente la categoria della famiglia parametrica, nel caso dei tombini il lavoro è stato eseguito singolarmente sia per i tombini circolari sia per quelli scatoleari, analoga operazione è stata fatta ovviamente anche per i manufatti di imbocco/sbocco..

Delineata la struttura geometrica della specifica categoria, nella fase successiva si definiscono i parametri all'interno del modello. Questa fase rappresenta una vera innovazione ed è ciò che differenzia una normale rappresentazione grafica tridimensionale di un oggetto, da un modello in ambiente BIM il quale restituisce, oltre alla parte meramente grafica, tutta una serie di informazioni che possono riguardare le proprietà fisiche, quelle chimiche ed ogni altro dato si ritenga utile conoscere. .

Il primo passaggio eseguito ha riguardato l'assegnazione ad ogni elemento costituente l'oggetto BIM una specifica tipologia di materiale. Questo permette di poter assegnare alle singoli componenti diverse proprietà grafiche e

fisico/meccaniche. Tale diversificazione sulla assegnazione dei materiali si è basata sulle disposizioni definite in fase di progetto definitivo.

The screenshot shows a window titled "Tipi di famiglia" with a search bar and a table. The table has four columns: "Parametro", "Valore", "Formula", and "Blocca". The table is titled "Materiali e finiture" and lists various material types and their corresponding values and formulas.

Parametro	Valore	Formula	Blocca
<b>Materiali e finiture</b>			
Bonifica piano di imposta fondazione	Bonifica piano di imposta fondazione	=	
cls	Calcestruzzo	=	
cls Magro	Calcestruzzo Magro	=	
Concio prefabbricato	Concio prefabbricato	=	
cls - Muro di contenimento	Muro di contenimento	=	
Rinfianco con misto cementato	Rinfianco con misto cementato	=	
cls - Scatolare	Scatolare	=	
cls - tubo est	Calcestruzzo Tubo esterno	=	

Figura 52 – Esempio tipologia di materiali adottati per la definizione delle famiglie parametriche

Per ogni tipologia di materiale è stato assegnato una serie di dati quali: proprietà grafiche, aspetto, proprietà fisiche e proprietà termiche.

All'interno della sezione *grafica* è stato possibile assegnare tre tipologie di visualizzazione del materiale: ombreggiatura, motivo di superficie e motivo di sezione. In pratica le ultime due permettono al progettista di assegnare un tipo di retino e colore che definisce univocamente un determinato materiale, tale operazione consente di preimpostare una veste grafica per ogni tipo di materiale che consentirà un'immediata visualizzazione nel disegno tecnico.

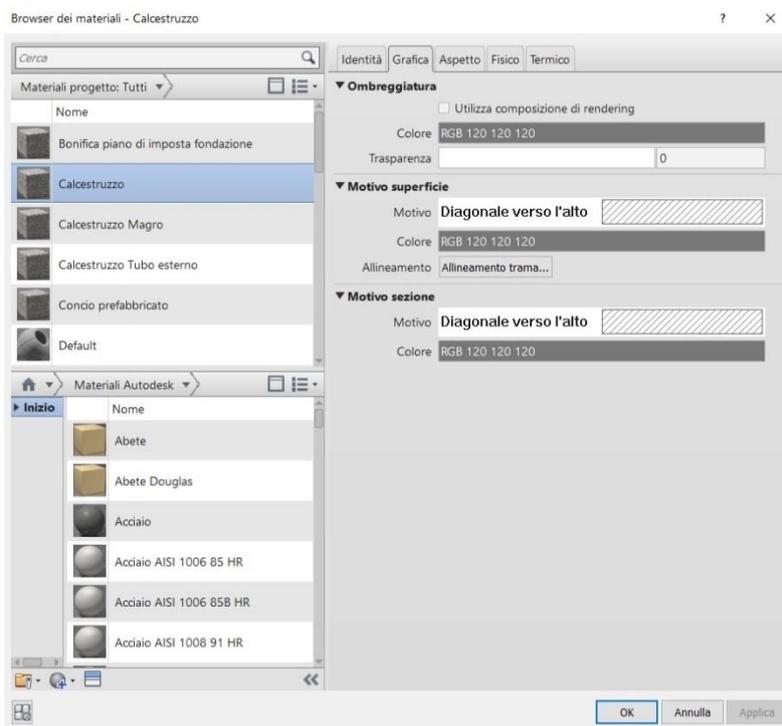


Figura 53 – Esempio impostazioni grafiche del materiale

Inoltre è anche possibile assegnare ad ogni singolo materiale una trama specifica, ciò consente in fase di rendering una visualizzazione realistica dei vari materiali.

Si passa poi alla sezione *fisico* ove è stato possibile definire per ogni materiale tutte le proprietà fisico/meccaniche (densità, resistenza a compressione del calcestruzzo, modulo di young, ecc.) indispensabili per la successiva fase di verifica strutturale

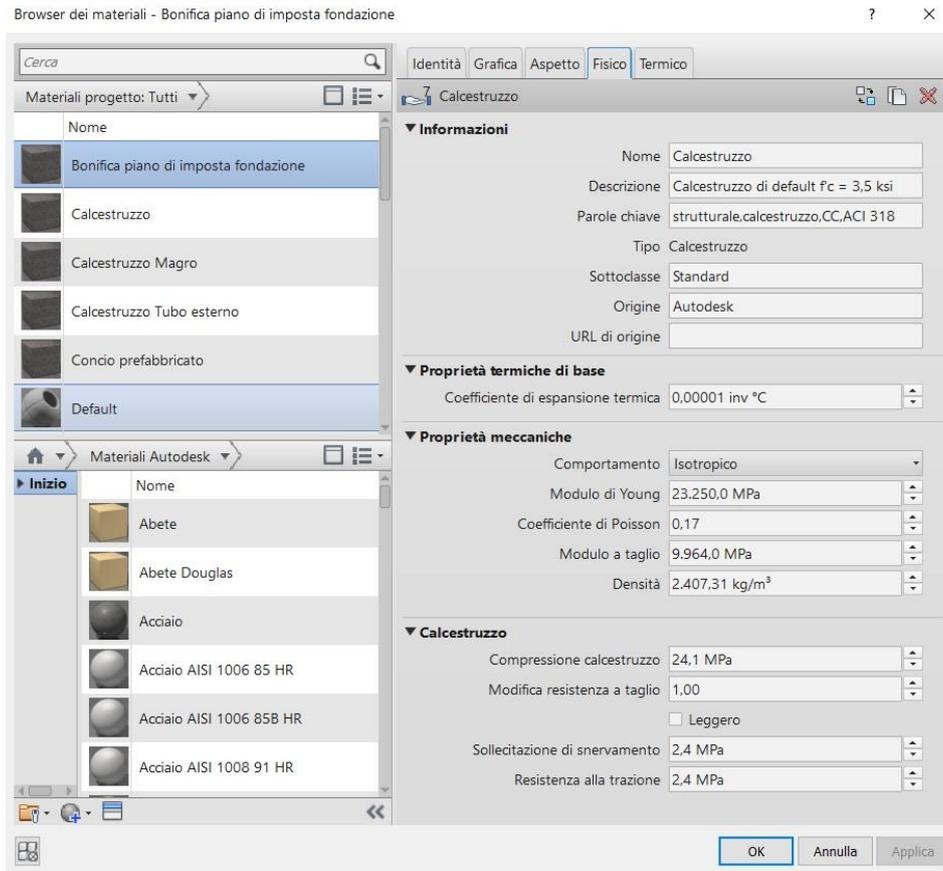


Figura 54 - Esempio informazioni fisiche materiale

Infine, nell'ultima sezione *termico* sono state impostate le caratteristiche termiche per ogni singolo materiale, conducibilità termica, calore specifico, ecc.

Tutte queste informazioni sebbene prive di rilevanza ai fini del nostro caso di studio, risultano indispensabili qualora si voglia elevare il grado di progettazione BIM inserendo ad esempio ulteriori dimensioni come l'analisi energetica (6D) e il ciclo di vita (7D).

La fase successiva ha riguardato la definizione di una serie di istanze, parametri e vincoli dimensionali che hanno permesso, una volta importati all'interno del modello federato, di adattare tali elementi in funzione delle esigenze di progettazione e dei vincoli interferenti con l'opera.

Nel nostro caso specifico i parametri variabili comuni ad ogni opera idraulica oggetto di intervento sono essenzialmente di due tipologie:

1. *Lunghezza condotta*: la quale ha permesso la definizione dell'entità del prolungamento di tombino, ovviamente variabile da caso a caso;
2. *Inclinazione condotta*: tale parametro è risultato funzione dell'inclinazione della condotta esistente e, per scelta progettuale, si è deciso di mantenere tale inclinazione anche per l'ampliamento.

Oltre a tali parametri sono stati impostati tutta una serie di vincoli che, oltre a permettere un mantenimento delle caratteristiche geometriche tra i vari elementi costituente l'oggetto BIM, hanno conferito maggiore versatilità a fronte di eventuali variazioni progettuali.

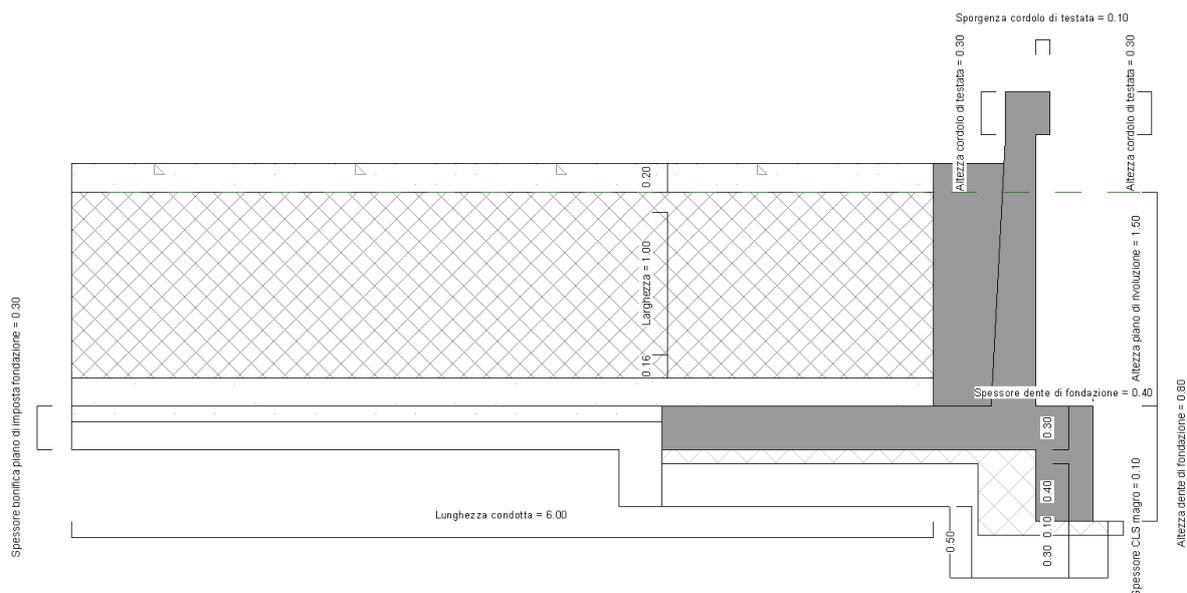


Figura 55 - Esempio parametri dimensionali tombino scatolare

Tipi di famiglia

Nome del tipo: Scatolare

Parametri di ricerca

Parametro	Valore	Formula	Blocca
<b>Dimensioni</b>			
Altezza cordolo di testata	0.3000	"	<input checked="" type="checkbox"/>
Altezza dente di fondazione	0.8000	"	<input type="checkbox"/>
Altezza paramento	2.5000	"	<input type="checkbox"/>
Altezza piano di rivoluzione	1.5000	"	<input type="checkbox"/>
Blocco 0	0.0000	"	<input checked="" type="checkbox"/>
Blocco 1	0.1400	"	<input checked="" type="checkbox"/>
Inclinazione condotta	0.1500	"	<input type="checkbox"/>
Larghezza (default)	1.0000	"	<input type="checkbox"/>
Larghezza collare	1.1000	"	<input type="checkbox"/>
Larghezza fondazione (default)	6.0000	"	<input type="checkbox"/>
Larghezza base condotta (default)	1.5000	=Larghezza + 0.5 m	<input type="checkbox"/>
Lunghezza collare	0.5000	"	<input checked="" type="checkbox"/>
Lunghezza concio	2.0000	"	<input checked="" type="checkbox"/>
Lunghezza condotta (default)	6.0000	"	<input type="checkbox"/>
Rientranza cordolo di testa	0.4000	"	<input type="checkbox"/>
Spessore fondazione	0.3000	"	<input checked="" type="checkbox"/>
Spessore CLS magro	0.1000	"	<input checked="" type="checkbox"/>

Gestisci tabelle di ricerca

OK Annulla Applica

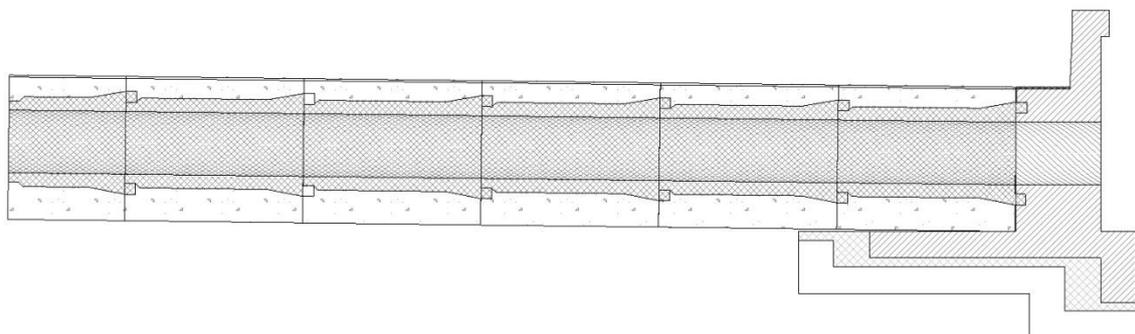
Come gestire i tipi di famiglia

Figura 56 - Esempio tabella parametri geometrici tombino scatolare

Discorso leggermente diverso è stato affrontato per la modellazione della famiglia parametrica raffigurante i tombini circolari. In questo caso, a causa della composizione costruttiva della condotta in conci prefabbricati, non è stata possibile associare a quest'ultima un parametro dimensione che permettesse idealmente di modificare la lunghezza della condotta da un valore nullo ad uno tendente ad infinito.

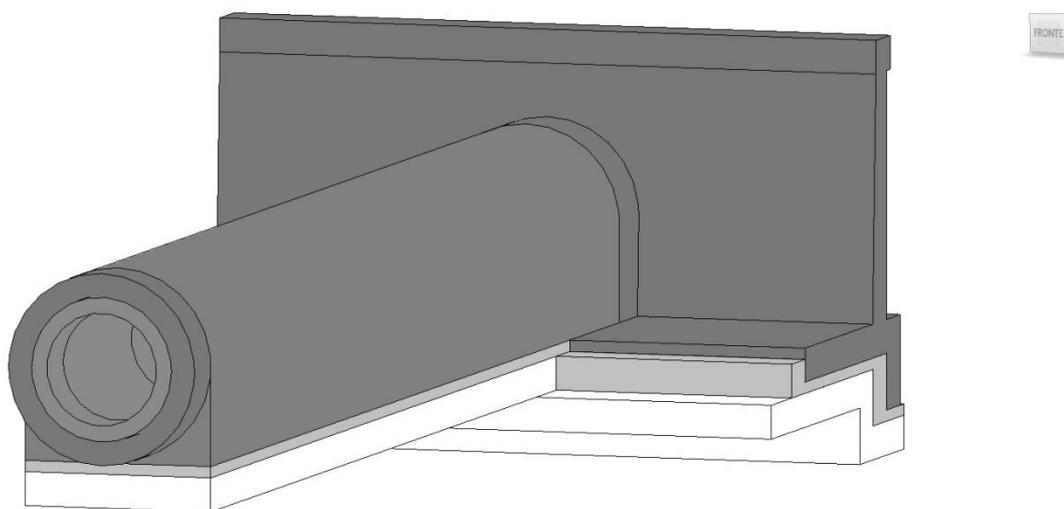
In questo caso infatti, trattandosi della ripetizione in serie di elementi, è stato necessario predisporre una serie di tipologie di famiglie parametriche composte da un numero crescente di conci, nel nostro caso specifico da una famiglia tipo costituita da un concio fino ad una costituente 20 conci.

In tali famiglie oltre ad essere definite da un numero fisso di conci modulari tutti di 2 m di lunghezza, è stato previsto l'inserimento di un ultimo concio che rappresentasse, l'elemento a lunghezza variabile, quindi di fatto, un concio la cui lunghezza risultasse variabile da 0 m a 2 m in modo tale da poter soddisfare la progettazione di condotte con una qualsivoglia lunghezza.

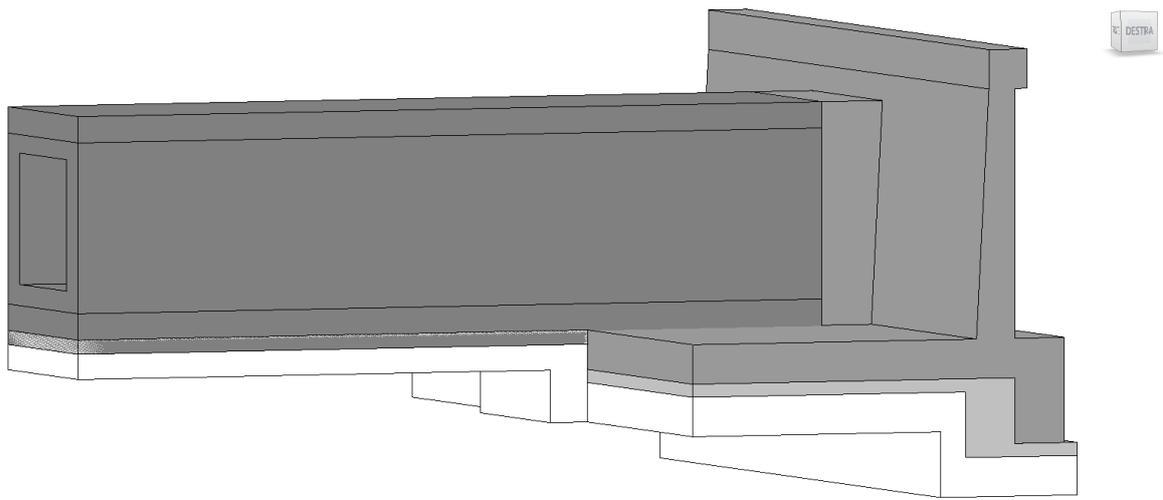


*Figura 57 - Famiglia parametrica tombino circolare - vista sezione*

Una volta ultimate tutte le tipologie di famiglie parametriche sono state salvate all'interno del CDE, per permettere poi la loro successiva importazione all'interno del modello federato.



*Figura 58 - Modello parametrico: tombino circolare*



*Figura 59 - Modello parametrico: tombino scatolare*

## **4.5 Elaborazione del modello federato: applicazione ad un caso autostradale**

Come anticipato nel paragrafo 3.5, ultimata la modellazione delle famiglie parametriche, si predispone il modello finale dell'infrastruttura comprendente tutti gli elementi costituenti quest'ultima, ovviamente relativamente al nostro caso di studio, seguiremmo esclusivamente i passaggi che permettano la definizione del modello delle opere d'arte minori.

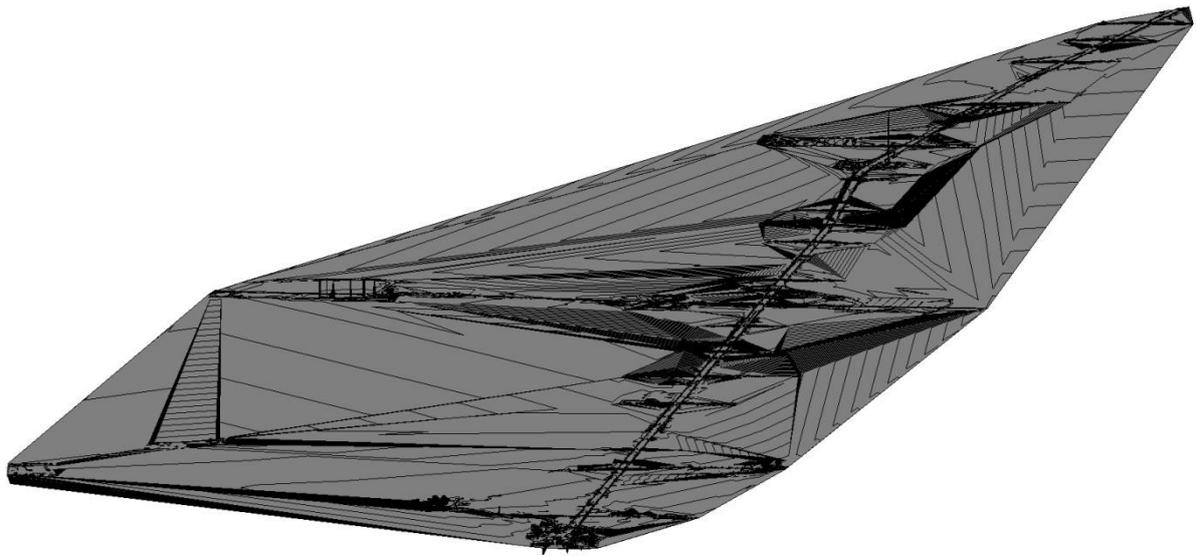
### **4.5.1 Modellazione DTM**

Il primo passo corrisponde a l'importazione e posizionamento del DTM all'interno del programma BIM utilizzato per la stesura del modello federato. Tale importazione prevede l'inserimento all'interno del programma della superficie topografica in formato .xml. Il programma permette all'utente di classificare la superficie importata tra "stato di fatto" e "stato di progetto", permettendo così, durante la fase di modellazione, la visualizzazione di una od entrambe le superficie.

Definita tale classificazione, il programma esegue la creazione della superficie all'interno del nuovo ambiente BIM, non prima però di aver definito il tipo di sistema di riferimento a cui associare tale superficie, la scelta si esplica essenzialmente in due direzioni .

- Assegnare la superficie ad il sistema di riferimento precedentemente adottato nel programma BIM;
- Assegnare un nuovo sistema di riferimento con origine degli assi posizionati sul baricentro della figura.

Generalmente risulta più opportuno utilizzare la seconda opzione in quanto in sede di elaborazione il procedimento risulta più preciso. Questo approccio implica la definizione di almeno due punti di coordinate note per permettere così la sovrapposizione delle varie superfici topografiche (stato di fatto e progetto) e delle carte tematiche utilizzate per il posizionamento e adattamento delle opere d'arte minori.

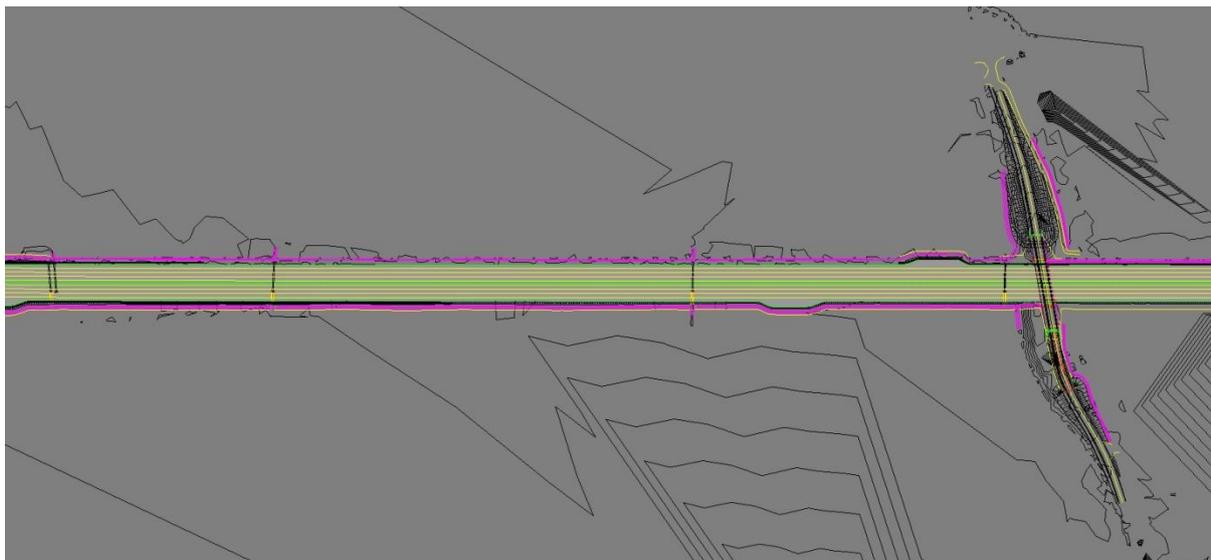


*Figura 60 - Importazione DTM*

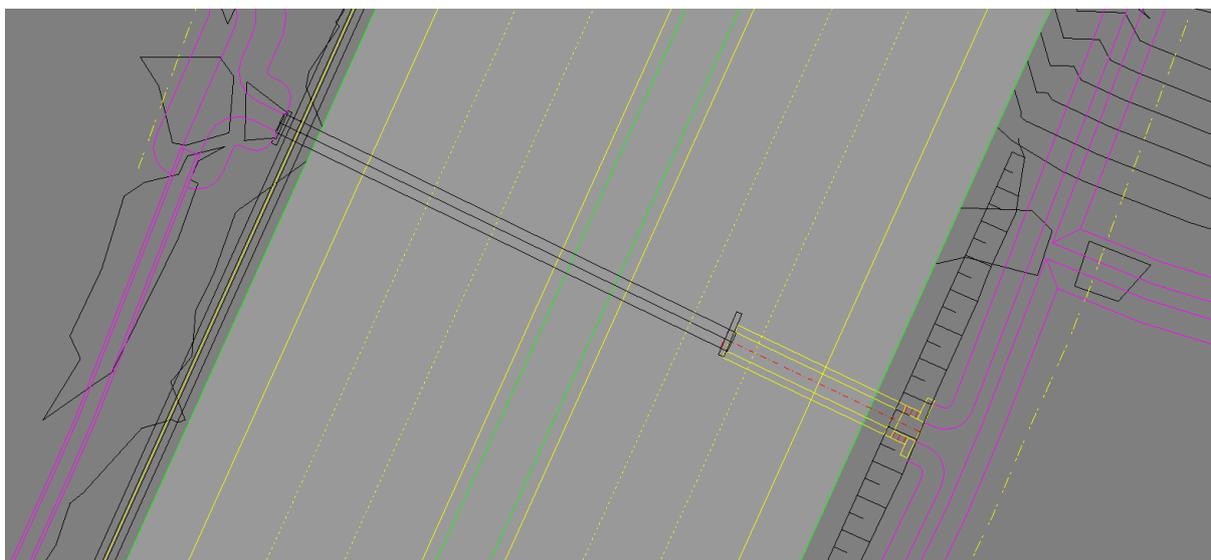
#### **4.5.2 Importazione carte tematiche**

Eseguita l'importazione ed il posizionamento del DTM, si procede con l'importazione e successiva sovrapposizione dei file DWG, ossia delle tavole tecniche, forniti direttamente dal progetto definitivo Figura 61. All'interno di queste troviamo anche informazioni, specificatamente utili al nostro caso di studio, riguardanti l'andamento planimetrico del tracciato, nonché la posizione e la relativa lunghezza di ampliamento prevista per le opere idrauliche minori o, se definita, la demolizione dei tombini esistenti con la realizzazione delle nuove opere idrauliche Figura 62.

Le carte tematiche, importate nel modello BIM, sono state georeferenziate rispetto al sistema locale di riferimento per avere una corretta sovrapposizione dei file CAD con il modello digitale del terreno.



*Figura 61 - Sovrapposizione stralcio planimetrico tacciato di progetto e DTM*



*Figura 62 - Prolungamento tombino vista dall'alto*

### **4.5.3 Importazione Famiglie Parametriche**

Ultimata la fase di inserimento delle carte tematica, si esegue l'inserimento e adattamento delle famiglie parametriche.

Unitamente all'inserimento delle famiglie parametriche è opportuno eseguire il trasferimento standard di progetto, che permette di associare all'interno del modello federato tutte le proprietà grafiche associate alle varie tipologie di materiali, costituenti le opere d'arte minori.

Successivamente, seguendo le informazioni contenute nella Tabella 9 - Tombini circolari lotto 1 Tabella 9, si è scelto per lo specifico tombino la tipologia di famiglia parametrica che definisse correttamente le caratteristiche dimensionali dell'opera in questione, analizzando in particolar modo forma e dimensioni interne della condotta. Al fine di semplificare questa operazione all'interno delle carte tematiche relative al tracciato planimetrico e delle sistemazioni degli interventi idraulici sono state inserite delle etichettature riportanti dati caratteristici di ogni opera minore quali: Codice identificativo, tipologia d'intervento, tipologia di tombino, dimensioni interne condotta e progressiva.

Selezionata la famiglia parametrica più idonea, il software modella un oggetto BIM standard di quella specifica famiglia, a questo punto il progettista esegue un suo accurato posizionamento planimetrico e altimetrico utilizzando le metodologie già descritte nei precedenti paragrafi.

Una volta completato il posizionamento, si procede con l'analisi, per ogni singolo tombino, della lunghezza prevista in ampliamento e della pendenza dell'esistente condotta, tale procedura permette di poter intervenire sui parametri che precedentemente abbiamo definito come variabili.

Proprietà	
	SOLO condotta inclinata Cond. Scat. L=1.00 m
Modelli generici (1)	Modifica tipo
Vincoli	
Livello	0 - Piano Terra
Host	Livello : 0 - Piano T...
Offset	28.8507
Sposta con l'ogge...	<input type="checkbox"/>
Dimensioni	
Inclinazione	-0.11°
Larghezza	1.0000
Lunghezza bonifica	8.4210
lunghezza	10.3110
Volume	24.622 m <sup>3</sup>
Dati identità	
Immagine	
Commenti	
Contrassegno	
Fasi	
Fase di creazione	Stato di Progetto
Fase di demolizio...	Nessuno

Figura 63 - Proprietà famiglie parametriche

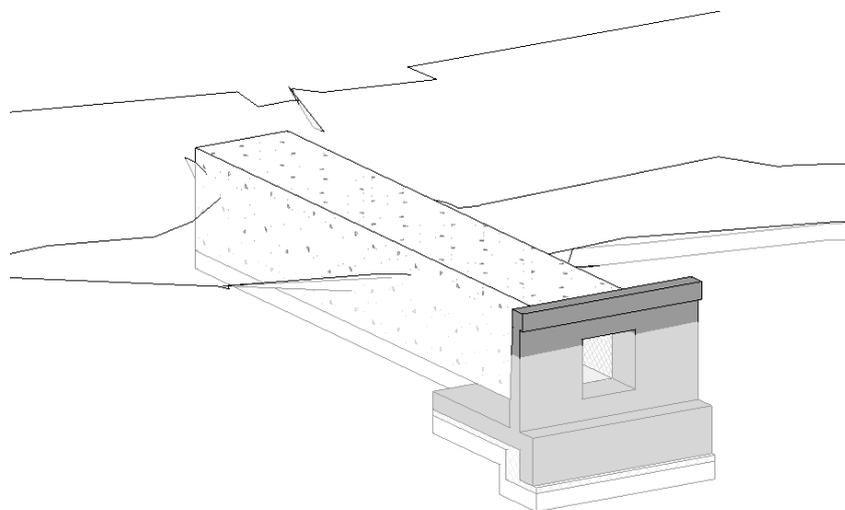
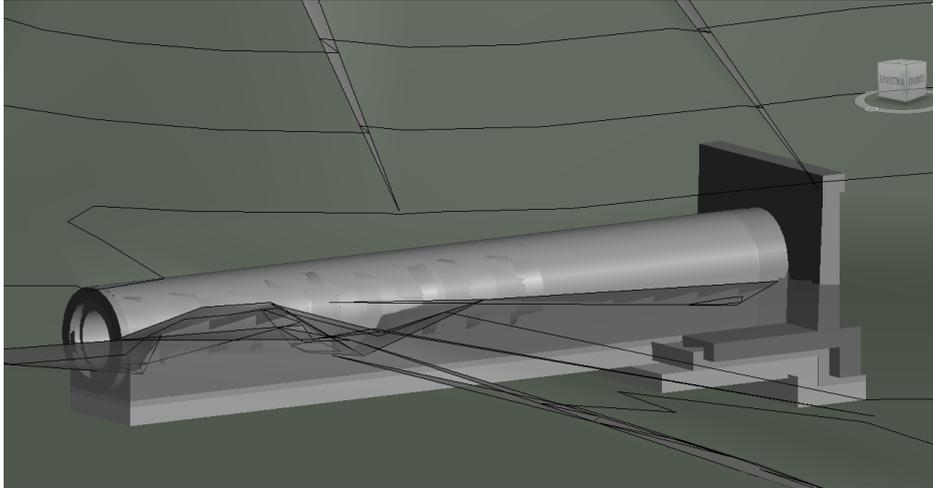


Figura 64 - Adeguamento elemento scatolare. Stile visualizzazione: linea nascosta



*Figura 65 - Adeguamento elemento circolare. Stile visualizzazione: ombreggiato*

#### 4.5.4 Coordinamento modelli grafici

Una volta generati i modelli delle opere idrauliche minori, si è proceduto importando, all'interno del modello federato, tutti i modelli grafici, redatti dai diversi soggetti del team di progettazione, al fine di eseguire il loro coordinamento. Tale procedura consente di identificare eventuali interferenze e collisioni. Nel nostro caso, i modelli uniti sono risultati quelli riguardanti: le opere idrauliche minori, stato di fatto (importato precedentemente) e piattaforma stradale di progetto.

Uniti tali modelli grafici si sono eseguite le seguenti verifiche:

- *hard clash*: per verificare la presenza di collisioni fisiche tra diversi elementi dei modelli;

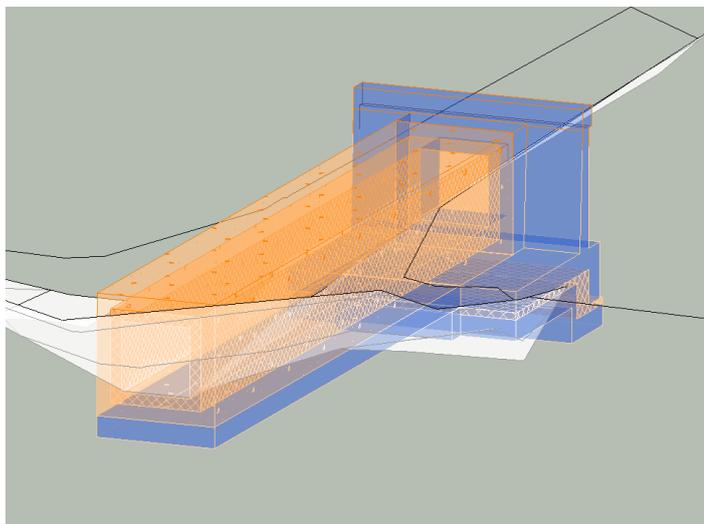


Figura 66 - Hard clash tra l'oggetto condotta scatolare e il manufatto di sbocco

- *clearance clash*: per verificare che la profondità dell'estradosso della condotta ripesto al piano di rotolamento del corpo stradale, risultasse maggiore di 20 cm e che la scarpata del rilevato stradale non superasse il cordolo del muro di bocco/sbocco.

Definiti tali parametri, si è eseguita automaticamente la verifica delle interferenze, la quale ha portato alla luce una serie di conflitti che sono stati tutti singolarmente risolti.

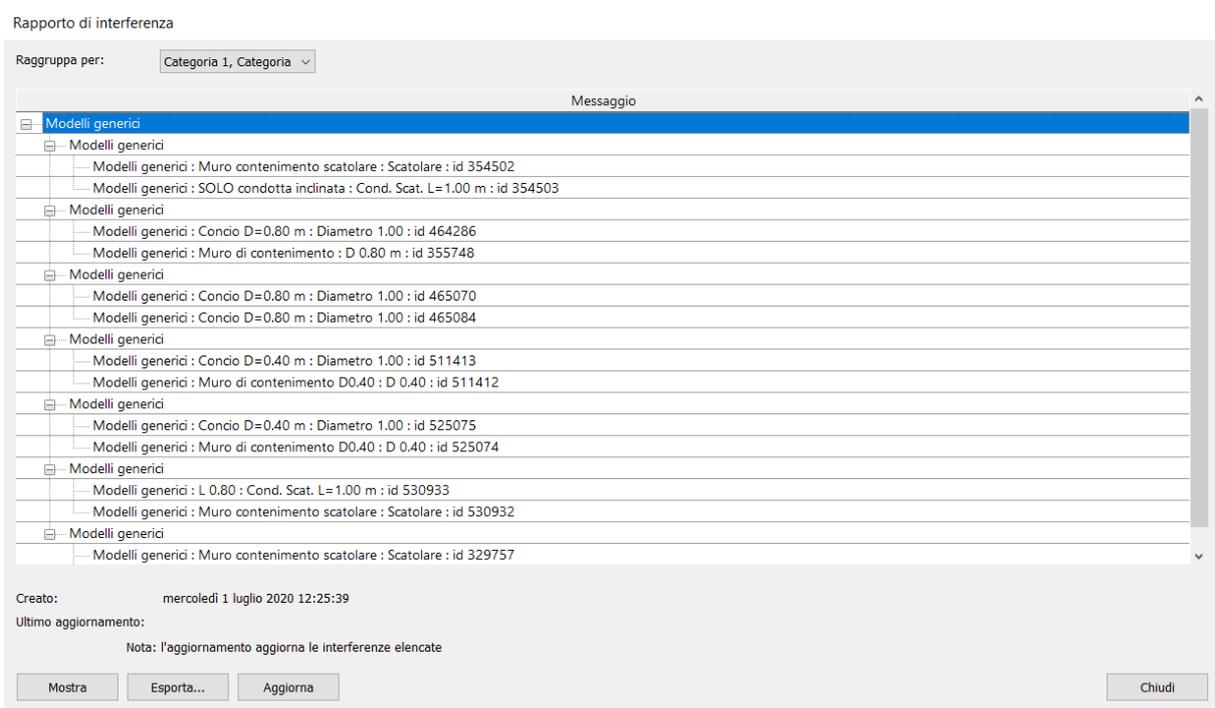
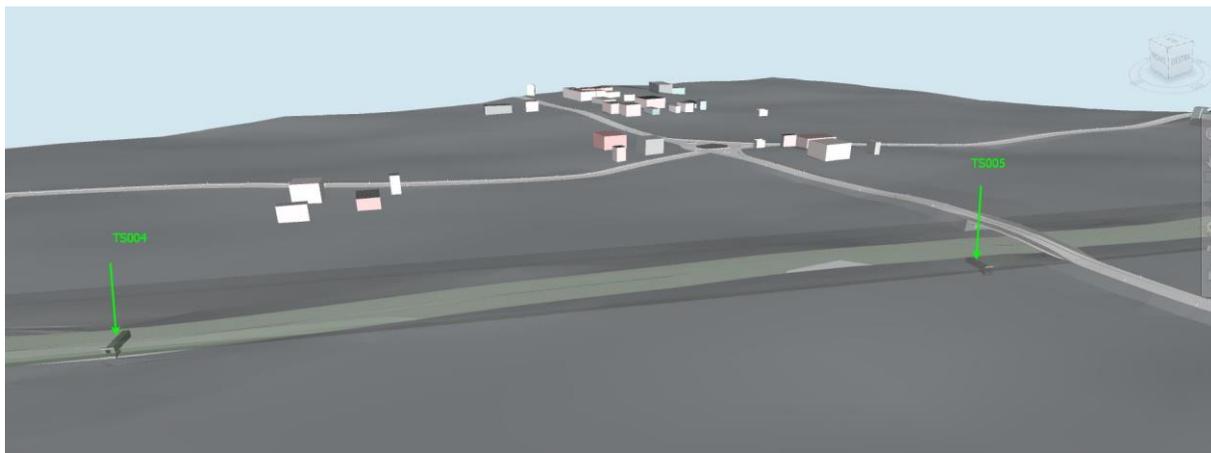


Figura 67 - Rapporto di interferenza

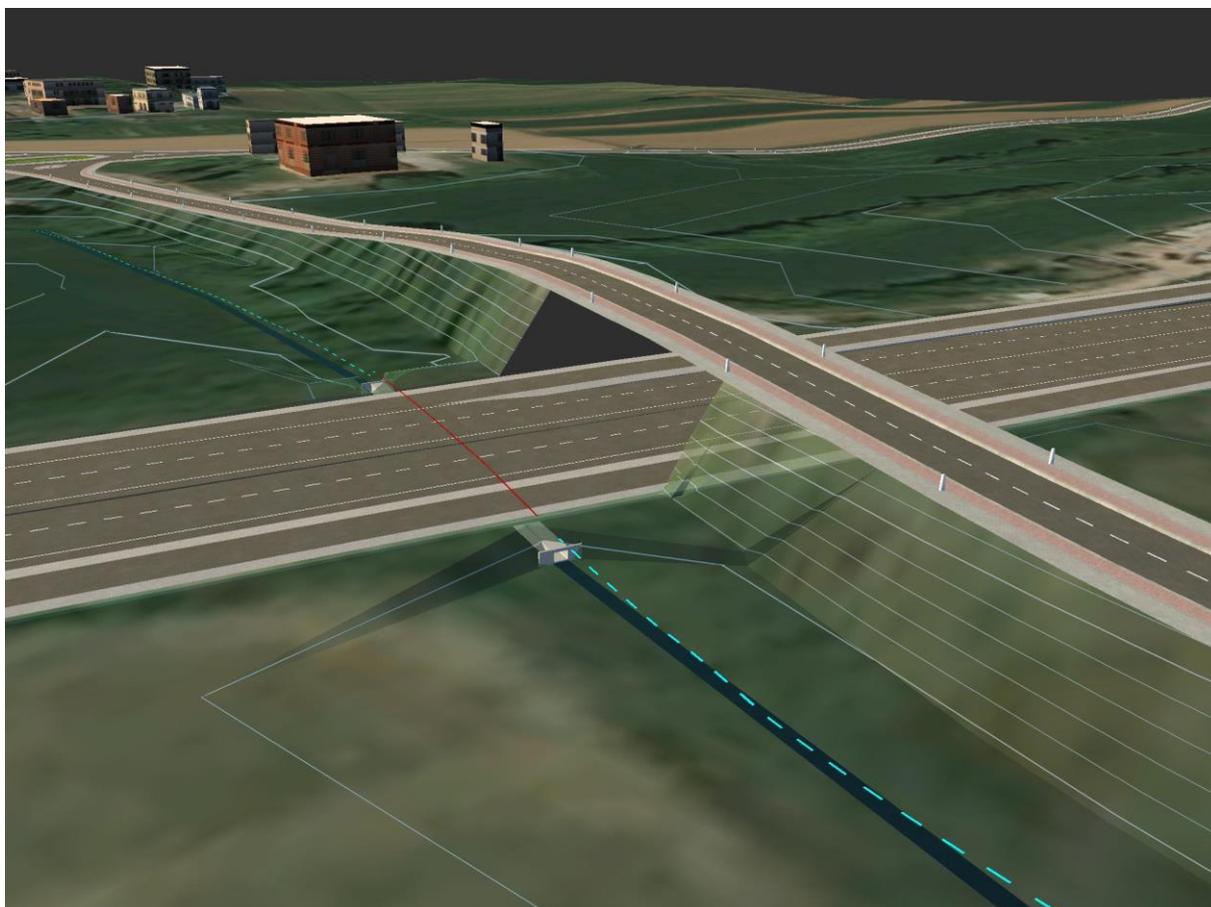
Le soluzioni adottate hanno previsto:

- nel caso di *hard clash*, una risoluzione della collisione tra i singoli elementi
- nel caso di *clearance clash*, si è proceduto in via prioritaria ad un'ulteriore prolungamento della condotta tale da assolvere alla verifica della specifica interferenza, mentre ove tale operazione risultava impraticabile in quanto la profondità tra estradosso condotta e pavimentazione era insufficiente, è stato previsto l'eliminazione del rifianco di misto cementato nella parte superiore della condotta o, nel caso che tale soluzione risultasse non sufficiente operando attraverso una variazione di sezione della condotta, diminuendo l'altezza utile ed aumentando la larghezza ma mantenendo costate la superficie interna.

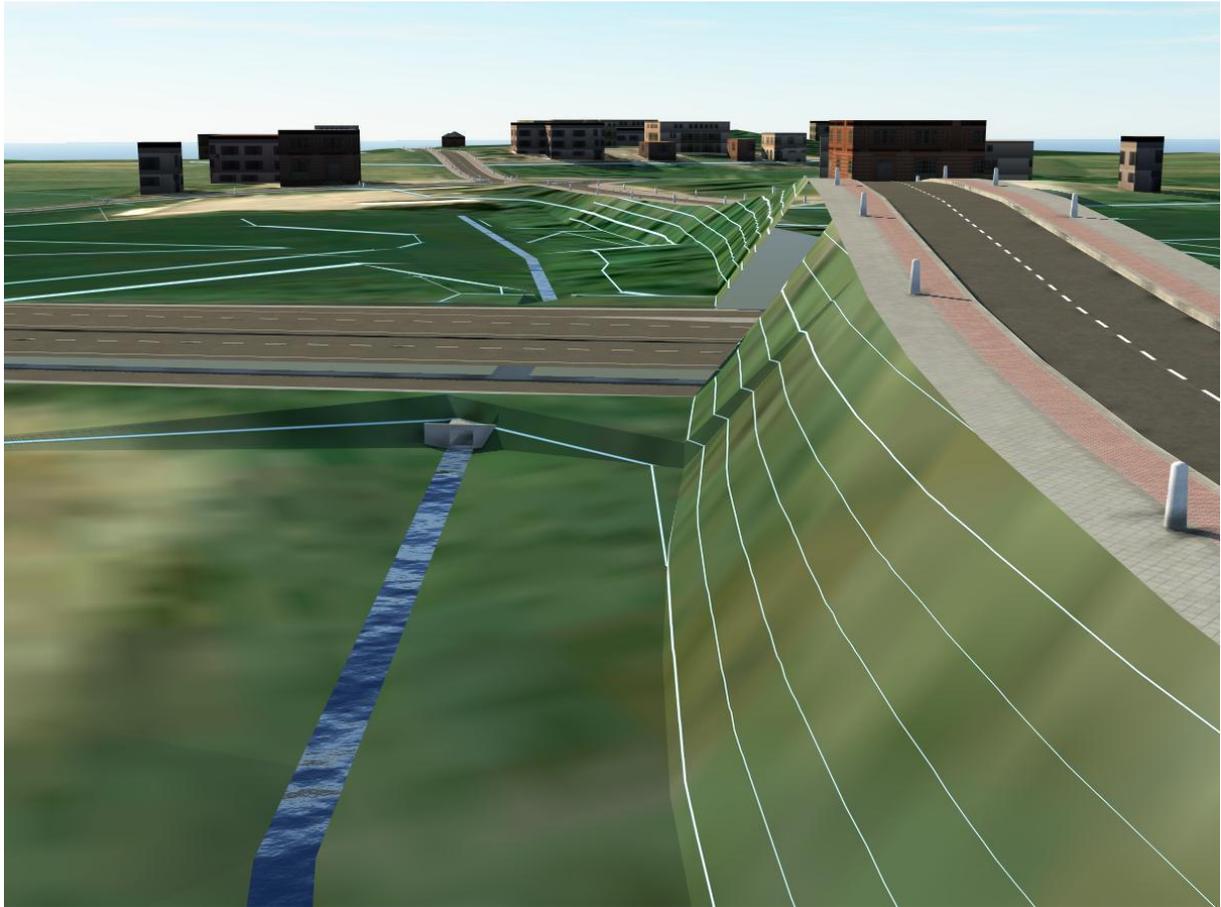
Risolte tutte le interferenze e incoerenze all'interno del modello federato, il lavoro di modellazione risulta di fatto ultimato.



*Figura 68 - Vista modello federato. Stile visualizzazione: colori omogenei*



*Figura 69 - Vista modello federato. Stile visualizzazione: realistico*



*Figura 70 - Vista modello federato. Stile visualizzazione: raytrace*

#### 4.5.5 Generazione tavole

Eseguita la modellizzazione del modello federato inerente al tratto autostradale, si è proceduto alla definizione delle tavole di carpenteria relative alle opere di nostra competenza. A tale scopo, al fine di trasformare la visualizzazione grafica degli elementi 3D in tavole 2D, il progettista definisce una serie di piani di sezione e di prospetto, tramite i quali in automatico il software BIM restituisce tavole tecniche dell'elemento desiderato.

Le viste, corrispondenti alle tavole tecniche elaborate per ogni singola opera idraulica, sono:

- Planimetria del nuovo tombino o prolungamento;
- Pianta carpenteria;
- Sezione carpenteria;
- Sezioni in corrispondenza del manufatto di sbocco/imbocco.

Generate le tavole tecniche, sono state inserite ad ogni vista delle specifiche etichettature, atte a descrivere da un punto di vista tecnico e geometrico gli elementi selezionati dal progettista.

Le etichette adottate risultano essere:

- Quota lineari;
- Quote altimetriche;
- Etichetta materiale;
- Titolo vista;
- Piani di sezione;
- Etichette generiche.

Definite ed assegnate le varie annotazioni all'interno delle viste, le tavole di carpenteria generate in ambiente BIM risultano completate.

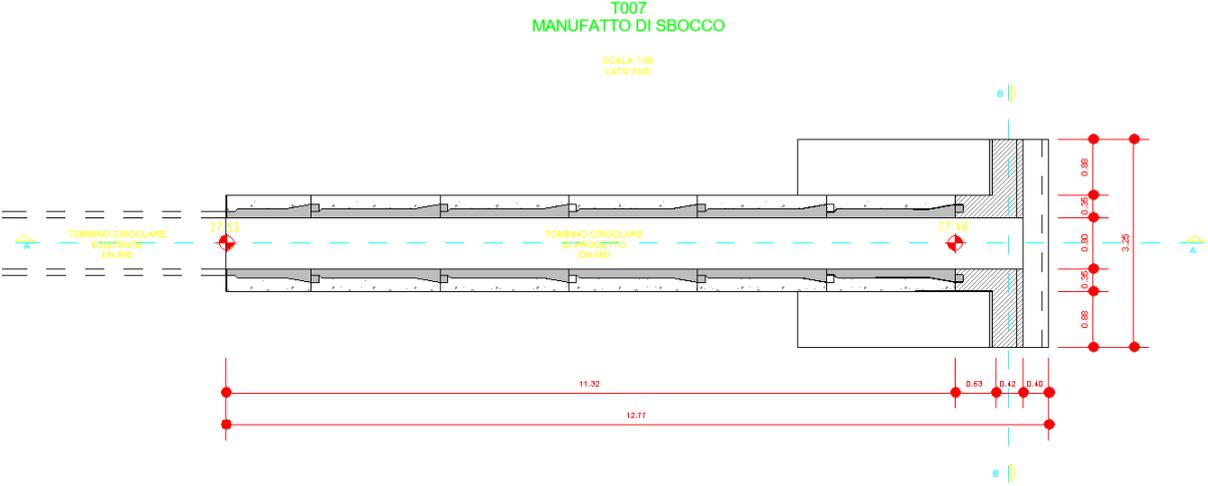


Figura 71 - Pianta carpenteria

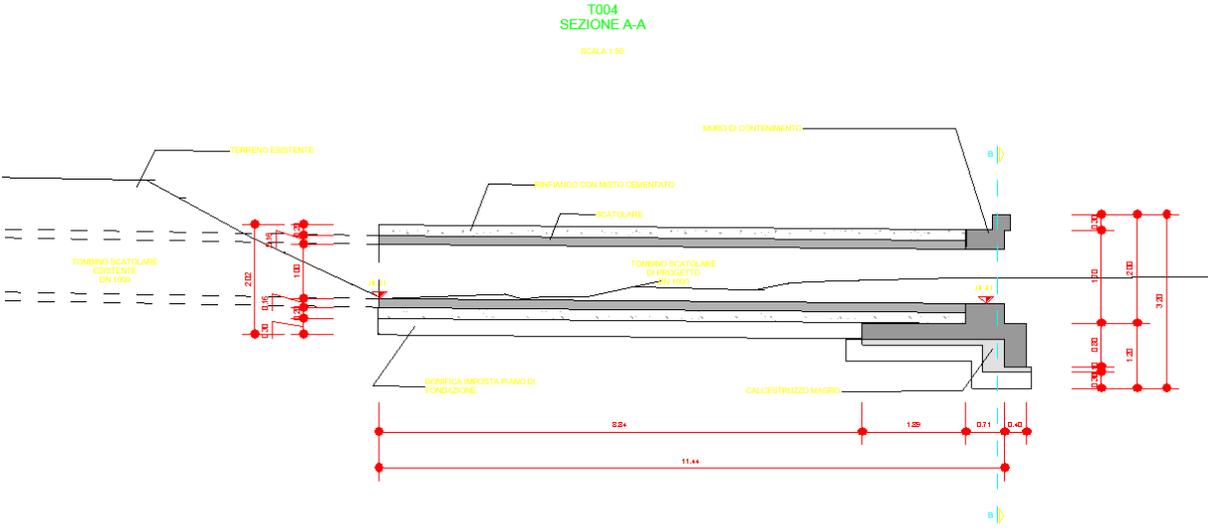


Figura 72 - Sezione longitudinale carpenteria

# T004

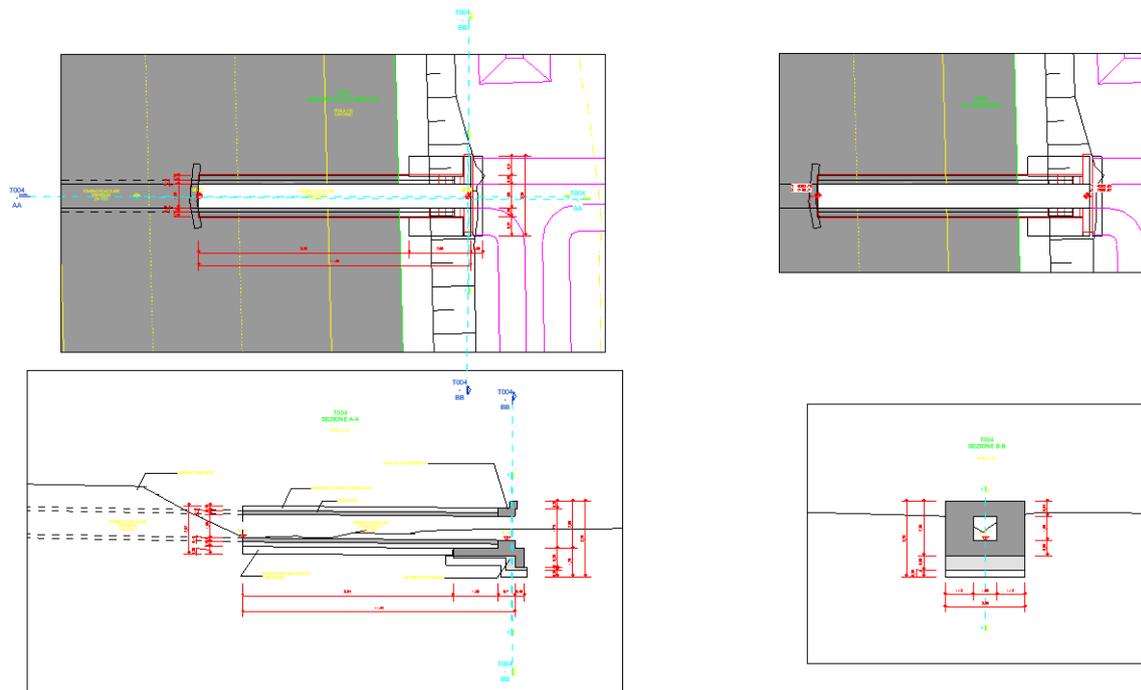


Figura 73 - Tavola carpenteria T004

## 4.6 Esportazione delle tavole grafiche

Terminato il modello si è potuto procedere all'esportazione delle tavole tecniche in formato leggibile da software idoneo al disegno tecnico, nel caso di specie si è deciso di esportare in formato dwg. L'obiettivo, come già sottolineato, è stato quello di raggiungere standard grafici e di definizione tecnica, tali da soddisfare le richieste dall'impresa committente.

Tale procedimento implica, all'interno del programma BIM, il settaggio di una serie di impostazioni quali ad esempio la definizione dei layer, dello stile di linee, dei motivi, dello stile dei testi e caratteri, colori, tipologia di solidi, unità di misura e coordinate, da poter assegnare ad i singoli oggetti BIM costituenti il modello.

Il programma associa in automatico ad ogni tipologia di elemento un determinato layer, il progettista può, qualora la progettazione lo richieda, modificare le associazioni create anche intervenendo sulla loro nomenclatura analogo discorso fatto pocanzi per i layer può essere semplicemente esteso per la gestione ed eventuale modifica di tutte le altre impostazioni sopradescritte.

Modifica impostazione di esportazione DWG/DXF

Selezionare impostaz. esportaz.  
<impostazione esportazione non salvata>  
Esportazione

Layer Linee Motivi Testo e caratteri Colori Solidi Unità di misura e coordinate Generale

Esporta opzioni layer: Esporta proprietà categoria BYLAYER e sostituzioni BYENTITY

Carica layer da standard: Standard American Institute of Architects (AIA)

Categoria	Proiezione		
	Layer	ID colore	Modificatori layer
Quote	IDR_QUOTE	1	
Quote altimetriche punto	IDR_QUOTE ALT	1	
Regione di pianta	G-ANNO-NPLT	191	
Riempimento colore condotti	M-HVAC-PATT	2	
Riempimento colore tubazioni	M-PIPE-PATT	2	
Riferimento a vista	G-ANNO-SYMB	111	
Riquadri di definizione	G-ANNO-SYMB	111	
Riquadri di sezione	G-ANNO-SYMB	111	
Sezioni	IDR_SEZIONI	111	
Simboli armatura su area strut...	S-RBAR-SYMB	2	
Simboli armatura su percorso ...	S-RBAR-SYMB	2	
Simboli controvento in vista di...	S-BRAC-SYMB	32	
Simboli di connessione	S-ANNO-SYMB	2	
Simboli rinforzo rete strutturale	S-RBAR-SYMB	2	
Simbolo direzione orditura	S-FLOR-SYMB	171	
Simbolo direzione orditura del...	S-FNDN-SYMB	1	
Titolo della vista	TITOLO VISTA	2	
Categorie del modello analitico			
Categorie importate			
Modificatori			
Altri			
Estremità del livello	A-FLOR-LEVL	51	

Espandi tutto Comprimi tutto Aggiungi/cambia modificatori per tutto...

Figura 74 - Esempio impostazione layer per esportazione tavole

Una problematica da tener presente in fase di esportazione riguarda il numero di elementi che possono essere esportati. Infatti, la velocità di esportazione e la complessità di elaborazione del processo sono diretta conseguenza della quantità di dati da esportare ed elaborare, pertanto prima di esportare un modello BIM, è opportuno limitare la geometria del modello per migliorare le prestazioni del processo.

Riducendo la quantità di geometria del modello esportato e i relativi dati sottostanti, è possibile ottenere i seguenti vantaggi:

- Migliorare il processo di esportazione;
- Ridurre le dimensioni del file esportato;
- Migliorare le prestazioni nell'applicazione in cui si importa il file;
- Ridurre il numero di elementi non essenziali presenti nel file esportato e di conseguenza il tempo necessario ad eliminare tali oggetti dopo l'importazione del file in un'applicazione.

Per ridurre la quantità di geometria da esportare, si possono utilizzare diversi metodi, tra di essi:

- Disattivare la visibilità degli elementi grafici. In questo modo si riduce il numero di oggetti e la quantità di dati esportati dal programma BIM e importati in un'altra applicazione e si migliorano le prestazioni;
- Utilizzare un riquadro di sezione o una regione di taglio. Per definire una specifica parte del modello da esportare, si può utilizzare un riquadro di sezione in una vista 3D o una regione di taglio in una vista 2D. Gli elementi che si trovano completamente al di fuori del riquadro di sezione o della regione di taglio non vengono inclusi nel file di esportazione. Questo metodo è particolarmente utile nei modelli di grandi dimensioni, come il nostro caso. Infatti, tale procedura è stata eseguita per esportare una vista 3D e 2D delle singole opere d'arte minori e ignorando il resto dell'infrastruttura;

- Impostare il livello di dettaglio. Questa strategia migliora le prestazioni nell'applicazione in cui il file viene importato. All'interno del programma è possibile selezionare il livello desiderato, ovvero basso, medio o alto. Specificando un livello di dettaglio basso o medio è possibile ridurre la quantità di dettagli presenti nella vista del software BIM. In questo modo è possibile ridurre il numero di oggetti da esportare e le dimensioni del file esportato.

Una volta definite tutte le impostazioni necessarie per un'adeguata esportazione, il programma, in funzione dei parametri assegnati, crea un file .dwg che successivamente viene elaborato dal progettista all'interno del programma CAD per raggiungere i livelli di definizione disposti dalla committenza.

Tale procedura ha permesso di ottenere delle tavole di carpenteria finali per ogni opera idraulica minore oggetto di studio. Un esempio di tali elaborati è riportato negli allegati 3 e 4.

# Conclusioni

Al termine di questo percorso è necessario operare una sintesi di quanto emerso durante la fase applicativa e di studio della metodologia BIM sia in ordine agli obiettivi che si prefiggeva questa tesi sia, ed in particolar modo, per dare validazione ai modelli che quest'analisi ha prodotto.

L'aspetto innovativo di un approccio alla progettazione attraverso la metodologia BIM risiede principalmente nella interoperabilità e nella velocità di esecuzione progettuale. Con questa tesi si è tentato di tracciare un iter procedurale nella metodologia di progettazione in ambiente BIM al fine della sua applicazione specifica al nostro caso di studio.

Durante lo studio del caso pratico oggetto del lavoro di tesi è emerso con chiarezza l'enorme potenziale insito nella metodologia BIM che, sebbene ancora in una fase embrionale di sviluppo, mostra già enormi vantaggi rispetto ad una progettazione tradizionale. L'essere un sistema nuovo ed innovativo è al momento il suo più grande limite in quanto il suo sviluppo risulta ad oggi ancora limitato, anche se i margini di progresso che manifesta hanno prodotto un enorme interesse e attenzione verso questo approccio progettuale.

Il primo dato che è emerso durante tutta la fase di studio e sperimentazione oggetto specifico di questa tesi, è l'enorme velocità di progettazione che l'ambiente BIM consente di disporre soprattutto in ordine ad elementi che si ripetono con una certa frequenza quali ad esempio le nostre opere d'arte minori. E' evidente come la velocità di progettazione e quindi una contrazione dei tempi della medesima comporti per quanti decidono di optare per tale metodologia di progettazione, una economia dei tempi e di conseguenza un economia dei costi.

---

Con particolare riferimento al nostro caso di studio, la velocità progettuale è frutto principalmente della semplicità, una volta realizzata la modellazione parametrica, di inserimento ripetitivo all'interno del nostro progetto di infrastruttura stradale.

Con l'utilizzo di tale metodologia, una volta eseguita l'importazione all'interno del modello federato, è stato inoltre possibile, con estrema semplicità e velocità, da un lato adattare le istanze dei singoli oggetti BIM in funzione delle specifiche e contingenti situazioni ambientali e vincoli antropici, dall'altro verificare eventuali incoerenze ed interferenze con altri elementi della infrastruttura o con vincoli normativi e procedere quindi alla loro risoluzione.

Un ulteriore aspetto innovativo che accompagna un approccio progettuale attraverso questa metodologia è la possibilità di definire l'opera non solo da un punto di vista grafico. Infatti, l'ambiente BIM consente di associare ad ogni elemento nozioni di dettaglio in ordine alla sua natura fisica, meccanica o qualsiasi altra informazione si ritenga necessaria o utile non solo per la fase progettuale e realizzativa dell'opera ma anche per la successiva fase di manutenzione della medesima.

Tali informazioni arricchiscono il modello e rendono più semplice la sua comprensione poiché forniscono tutta una serie di dati utili che agevolano, sia la fase di progettazione e realizzazione dell'opera, sia un'accurata pianificazione di tutti gli interventi manutentivi futuri.

Va inoltre sottolineato che tale metodologia progettuale non ha termine con la conclusione del progetto ma assume una propria identità nella fase gestionale dell'opera. Consente, infatti, un aggiornamento costante dei dati da parte del gestore durante tutto il ciclo di vita dell'infrastruttura e permette una precisa e puntuale azione di monitoraggio che consente una gestione degli interventi mirata ed accurata.

Ad ogni buon conto, nello studio condotto durante il lavoro di tesi, questa metodologia ha mostrato anche alcuni limiti con particolare riferimento alla progettazione autostradale: limiti legati principalmente all'aspetto grafico che ad oggi non raggiunge ancora gli standard di qualità che offrono i tradizionali software di progettazione richiesti dalle stazioni appaltanti. È pertanto ancora necessario

integrare tale metodologia con i tradizionali software di progettazione grafica. Tuttavia, la natura embrionale di questa tipologia progettuale fa supporre una prospettiva di sviluppo ed implementazione notevole e relativamente rapida. Ciò consentirà di disporre in breve tempo di programmi BIM che potranno supplire al gap oggi esistente con i più importanti software di grafica.

Nell'applicazione della metodologia BIM lo studio ha evidenziato l'importanza di implementazione e sviluppo del modello federato: la modellizzazione e l'inserimento al suo interno di tutti gli elementi e le opere d'arte minori e maggiori ricorrenti per un'infrastruttura stradale consente la verifica della corretta coesistenza di tutti gli elementi appartenenti anche a discipline diverse. La focalizzazione della tesi sulla possibilità di implementare attraverso modelli parametrici BIM le opere d'arte minori, ha evidenziato, non solo la possibilità ma soprattutto l'opportunità di integrare tali modelli con ulteriori dati non grafici per raggiungere successivi livelli dimensionali.

Un'altra delle principali innovazioni e potenzialità introdotte dall'ambiente BIM risiede nella possibilità di estrapolare misure geometriche dal progetto, atte a definire la quantità di materiale necessaria per uno o più elementi modellizzati al fine di restituire un computo metrico estimativo che si aggiorna in automatico ogni qual volta si interviene con modifiche ed aggiustamenti del modello. Di pari passo consente, tramite l'applicazione del relativo prezzo unitario, di determinare il costo complessivo dell'opera o almeno di parte di essa.

Risulta evidente quale sia il vantaggio di un sistema che consente in maniera automatizzata di trasferire a cascata tutte le modifiche che in sede progettuale è necessario o si ritiene effettuare. Al di là dell'immediato riscontro dell'impatto economico derivante da una potenziale modifica, tale automazione riduce, se non azzerava completamente, la possibilità di errore nella computazione delle varianti in quanto sostituisce l'opera del progettista nella computazione metrica dell'opera.

Lo studio ha inoltre evidenziato come la predisposizione e definizione del CDE per tali tipologie di opere d'arte minori possa essere in futuro facilmente utilizzato, anzi riutilizzato nella progettazione di infrastrutture stradali o anche in contesti similari, laddove sia necessario l'utilizzo di tali opere d'arte. L'applicazione metodica e sistematica della metodologia BIM consentirà al progettista di costruire una sorta di

---

banca dati che si implementa nel tempo e che risulterà un ausilio irrinunciabile nelle procedure di progettazione in ogni tipo di contesto.

Per migliorare ulteriormente l'efficacia dell'approccio proposto in questa tesi, ritengo sia necessaria una revisione dei metodi e delle procedure inerenti al processo di progettazione. Da un punto di vista applicativo ciò comporterà la nascita di nuove figure professionali (quali BIM coordinator e BIM manager) per aumentare la competenza e l'efficienza lavorativa ed operativa del team work.

Da quanto asserito sino ad ora risulta chiara ed evidente l'importanza e l'urgenza di sviluppo e utilizzo di tecnologia BIM. Lo studio infatti non ha solo consentito di valutare gli indiscutibili vantaggi nell'applicazione di detta metodologia, ma sono stati rilevati ed identificati anche i gap della ricerca da colmare e gli orientamenti futuri da perseguire.

Vorrei concludere con un'ultima considerazione anch'essa frutto di questo studio: la metodologia BIM non è patrimonio esclusivo del settore edile da cui trae origine, ma può essere utilizzata con successo e con enormi vantaggi anche in ambito infrastrutturale. I risultati dello studio condotto ne sono ampia testimonianza.

# Allegati

- Allegato 1. Progetto definitivo: Tombini scatolari elaborati generali - Stralci planimetrici e sezioni.
- Allegato 2. Progetto definitivo: Tombini scatolari elaborati generali - Carpenteria tipologica e tabelle caratteristiche attraversamenti.
- Allegato 3. Progetto definitivo: Tombini circolari elaborati generali - Carpenteria tipologica e tabelle caratteristiche attraversamenti.
- Allegato 4. Progetto esecutivo: Opera d'arte minore TC019 - Inquadramento generale e carpenteria.
- Allegato 5. Progetto esecutivo: Opera d'arte minore TS020 - Inquadramento generale e carpenteria.

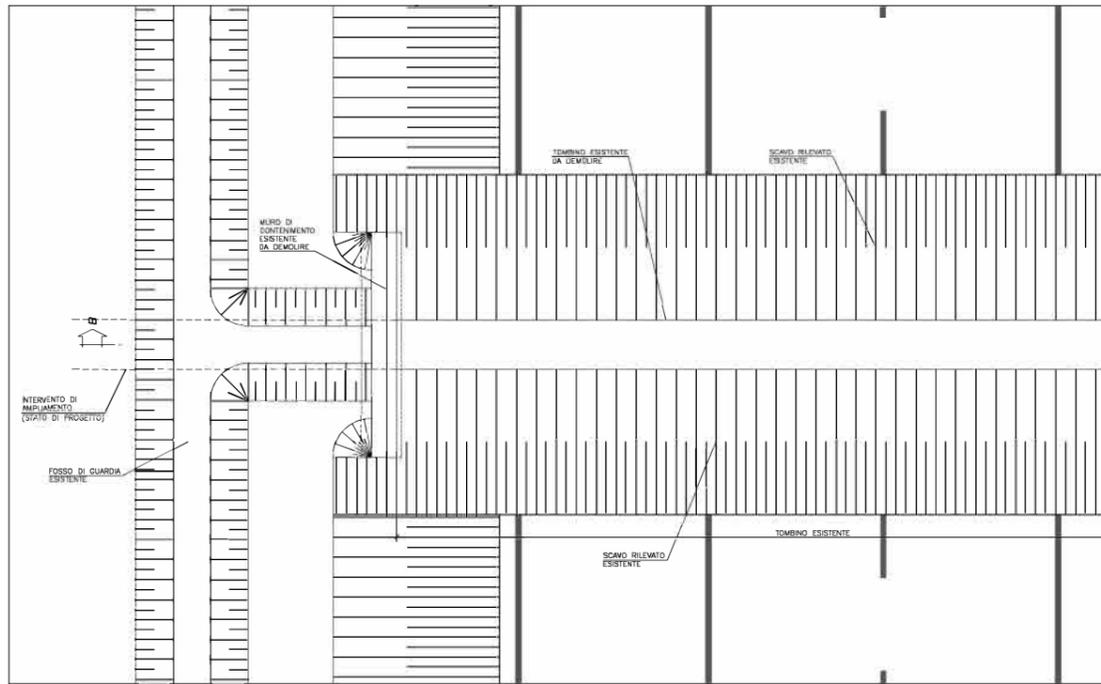


# Bibliografia

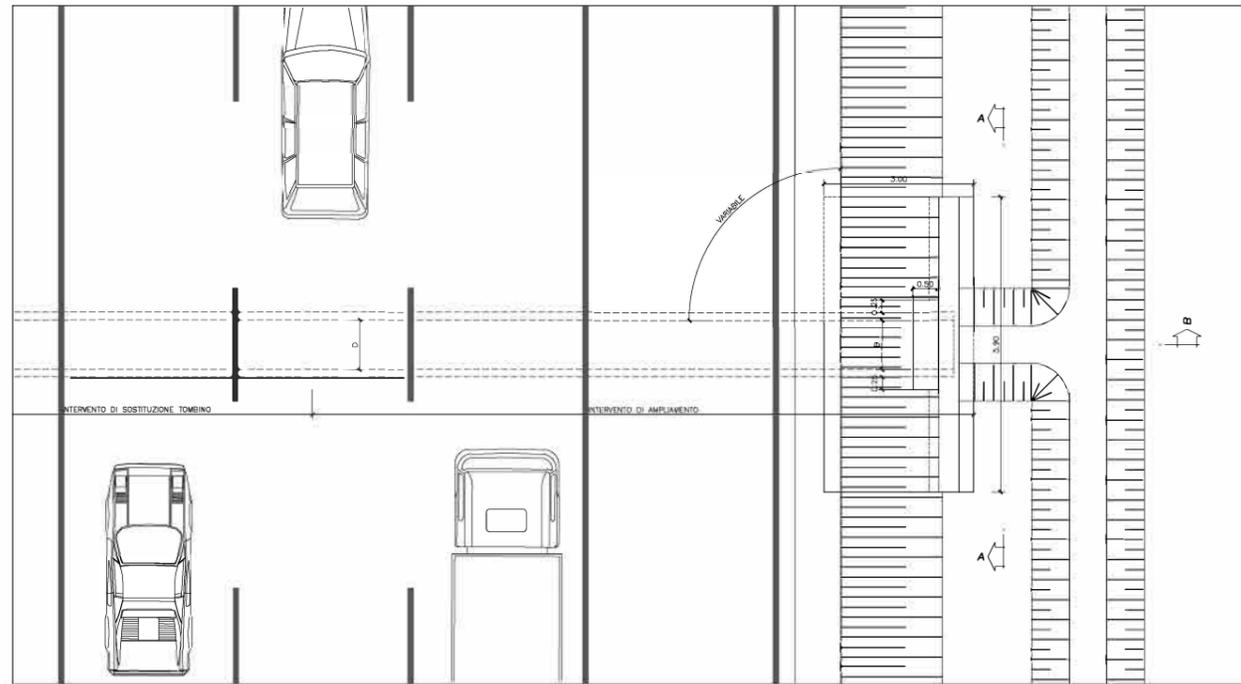
1. **Barnes P., Davies N.** *BIM in Principle and Practice*. London : ICE Publishing, 2014.
2. **A., Osello.** *Il futuro del disegno con il BIM per Ingegneri e Architetti*. Palermo : D. Flaccovio, 2012.
3. **Eastman C., Teicholz P., Sacks P., Liston K.** *BIM Handbook. A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, 2011.
4. **BIMForum.** *Level of development (LOD) specification part I & commentary - For Building Information Models and Data*. 2019.
5. **National Institute of Building Sciences.** *National Building Information Modeling Standard, version 1*. 2007.
6. **Institution, The British Standards.** *PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*. s.l. : BSI Standards Limited, 2013.
7. **NBS.** *National BIM Report* . 2015.
8. **Dell'Acqua, Gianluca.** *BIM per infrastrutture - Il Building Information Modeling per le grandi opere lineari*. s.l. : EPC, 2018.
9. **11337, UNI.** *Edilizia e opere di ingegneria civile - Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni*. 2017.
10. **Toraldo, Emanule.** *Disense del corso "Progetto di strade"*. s.l. : Politecnico di Milano, 2018/2019.
11. **De Gaetani, Carlo.** *dispense del corso "BIM fundamentals and applications"*. s.l. : Politecnico di Milano, 2018/2019.

# Sitografia

1. [HTTPS://WWW.PROGETTIAMOBI.COM/BLOG/APPROFONDIMENTI/I-GRADI-DEI-LOD/](https://www.progettiamobim.com/blog/approfondimenti/i-gradi-dei-lod/)
2. [HTTP://WWW.INFRAMOD.IT/INDEX.PHP/COMPONENT/CONTENT/CATEGORY/79-BLOG](http://www.inframod.it/index.php/component/content/category/79-blog)
3. [HTTP://BIM.ACCA.IT/BIM-MANAGEMENT-IL-CDE-COMMON-DATA-ENVIRONMENT/](http://bim.acca.it/bim-management-il-cde-common-data-environment/)
4. [HTTP://WWW.BUILDINGSMART.ORG](http://www.buildingsmart.org)
5. [HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/MAPS](https://www.google.com/maps)
6. [HTTPS://IT.WIKIPEDIA.ORG](https://it.wikipedia.org)
7. [HTTPS://WWW.INGENIO-WEB.IT](https://www.ingenio-web.it)



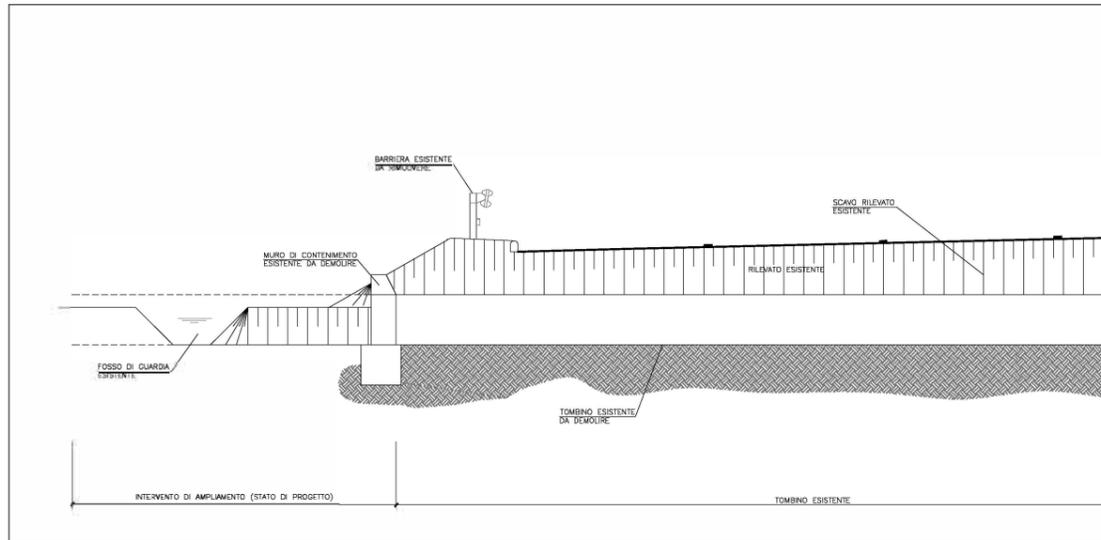
**1 Stralcio planimetrico scavi**  
Scala 1:50



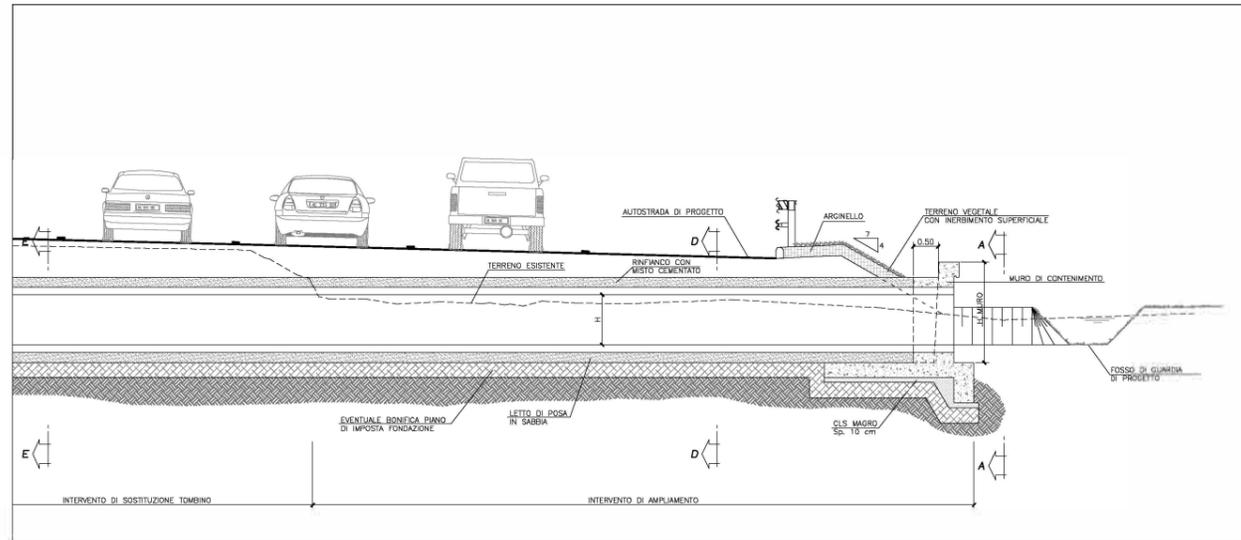
**2 Stralcio planimetrico sostituzione e allungamento tombino**  
Scala 1:50



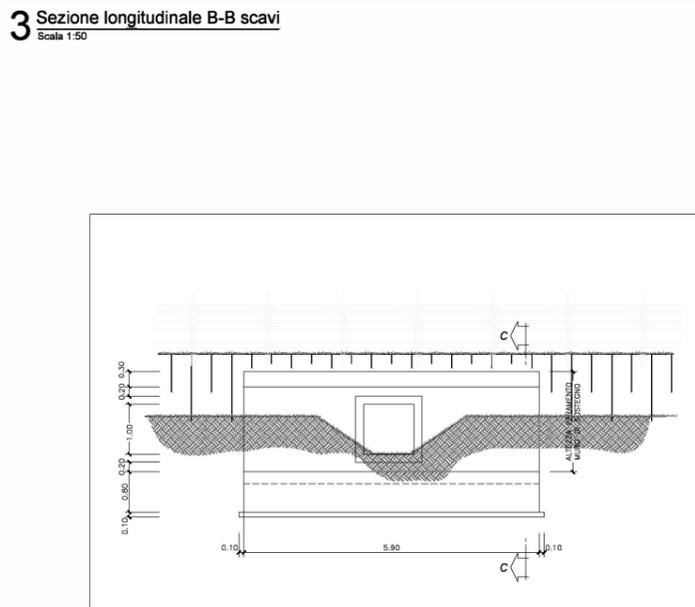
**7 Planimetria di inquadramento**  
Scala: accattamento



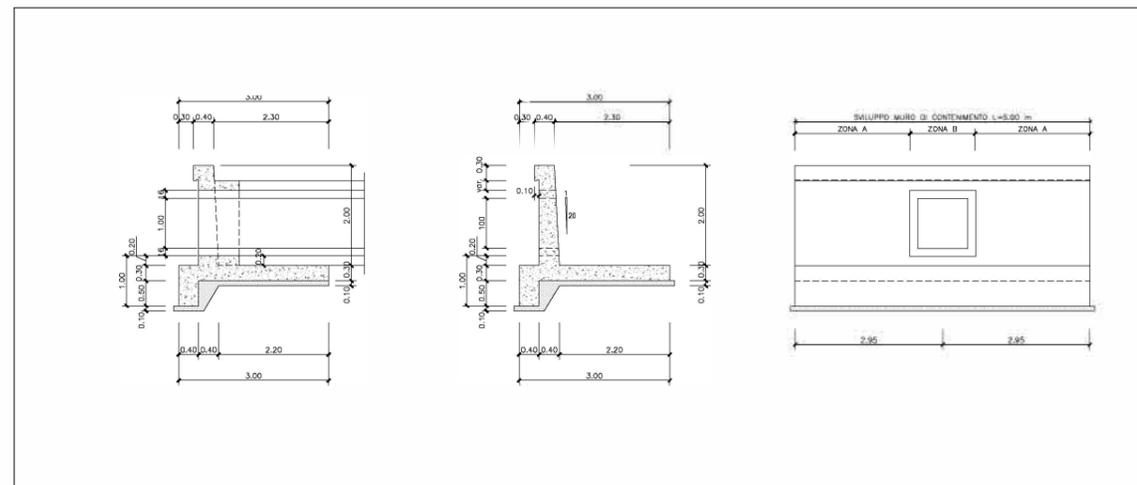
**3 Sezione longitudinale B-B scavi**  
Scala 1:50



**4 Sezione longitudinale B-B sostituzione e allungamento tombino**  
Scala 1:50



**5 Sezione trasversale A-A di imbocco/sbocco**  
Scala 1:50



**6 Sezione C-C muro di contenimento + sezione in asse**  
Scala 1:50

# ALLEGATO 1

**AU - CORPO AUTOSTRADALE**  
OPERE D'ARTE MINORI  
TOMBINI SCATOLARI  
TOMBINI TIPOLOGICI  
NUOVO TOMBINO SCAVO IN SEDE - STRALCI PLANIMETRICI E SEZIONI

00  
000000000000000000 STR0250-00

00  
WARE

8  
1  
2  
3  
4

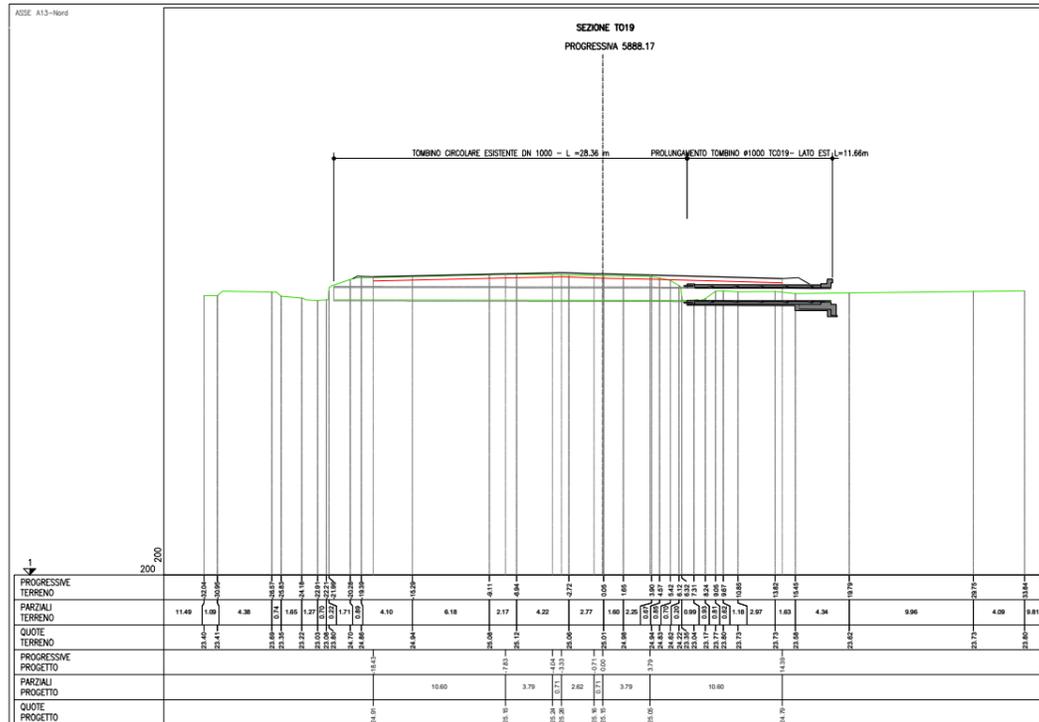




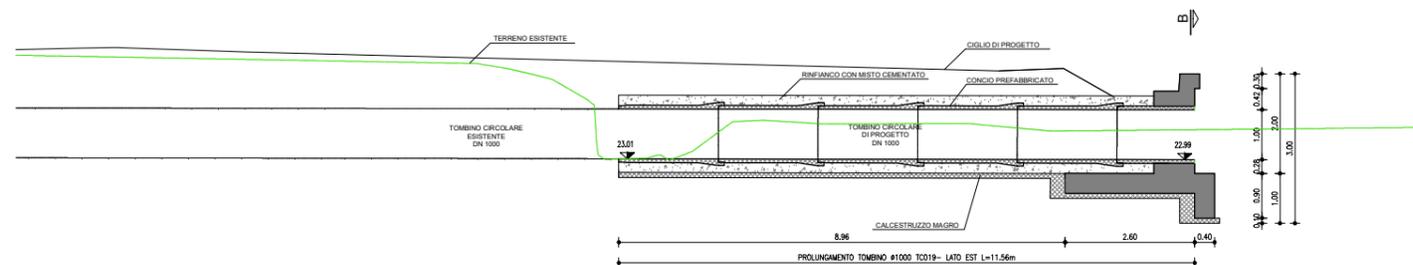
PLANIMETRIA PROLUNGAMENTO TOMBINO CIRCOLARE  
SCALA 1:100



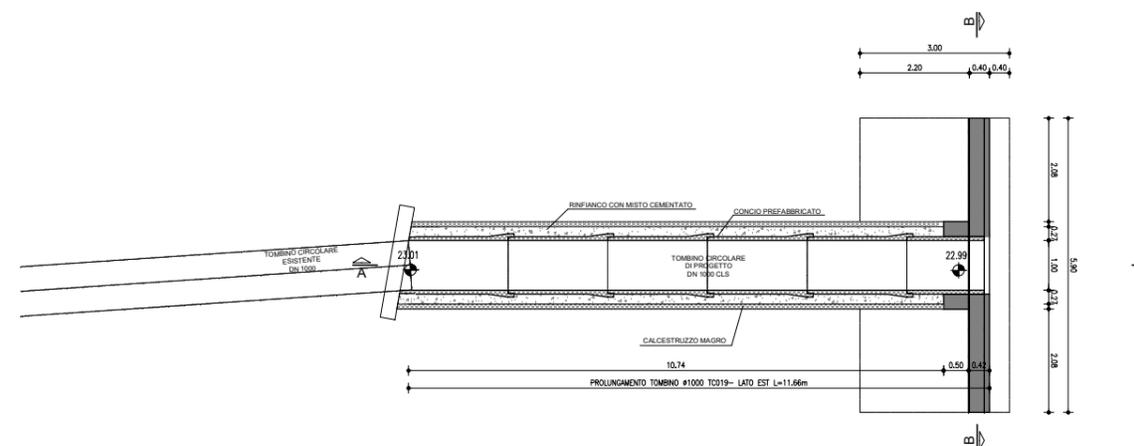
PROFILO LONGITUDINALE PROLUNGAMENTO TOMBINO CIRCOLARE  
SCALA 1:200



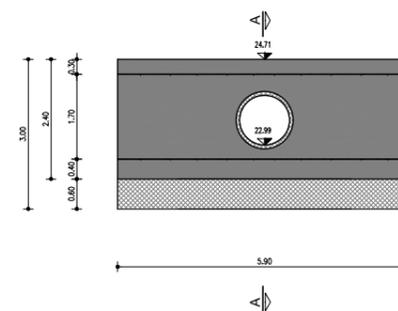
SEZIONE CARPENTERIA  
SCALA 1:50



PIANTA CARPENTERIA  
SCALA 1:50



SEZIONE B-B  
SCALA 1:50



QUADRO DI UNIONI

PER QUANTO NON SPECIFICATO NEL SEGUIRE, IN PARTICOLARE RELATIVAMENTE ALLE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI, ALLE SPECIFICHE PER L'ESECUZIONE DEI LAVORI ED AI CONTROLLI DA ESEGUIRE, SI DEVONO FARE RIFERIMENTO ALLE NORME TECNICHE D'APPALTO.

TABELLA MATERIALI	
<b>MAGLIONE DI SOTTOFONDO</b> - Classe di resistenza minima C12/15 - Classe di esposizione XC3	<b>CALCESTRUZZO PER PREFABBRICATI</b> - Classe di resistenza minima C32/40 - Classe di esposizione XC2
<b>CALCESTRUZZO (EN1206 - CNR-UNI1104)</b> - Classe di resistenza minima C25/30 - Classe di esposizione XC2 - Copriferro nominale (EN1992-1-1) 80mm	<b>BLASTRE E PREDALLES</b> - Classe di resistenza minima C32/40 - Classe di esposizione XC2 - Copriferro nominale (EN1992-1-1) 30mm
<b>COROLI FORA</b> - Classe di resistenza minima C32/40 - Classe di esposizione XC2 - Copriferro nominale (EN1992-1-1) 40mm	<b>ELEMENTI A PANNELLO</b> - Classe di resistenza minima C35/45 - Classe di esposizione XC2 - Copriferro nominale (EN1992-1-1) 30mm
<b>FONDAZIONI MUR</b> - Classe di resistenza minima C28/35 - Classe di esposizione XC2 - Copriferro nominale (EN1992-1-1) 40mm	<b>MICROPALI PER PARATE PROVVISORIE</b> - Classe di resistenza minima C28/30 - Classe di esposizione XC2 - Eventuali additivi secondo NTA
<b>ELEVAZIONI E CONSOLI MUR</b> - Classe di resistenza minima C32/40 - Classe di esposizione XC2 - Copriferro nominale (EN1992-1-1) 40mm	<b>ACCIAIO ARMATURA</b> - Profilo liscio senza salditore S3552 - ANCORAGGI PASSIVI IN BARRA - Tipo SVEZIONE (EN1992-1-1) 40mm
<b>REPIANTO ELEMENTI BLASTRA</b> - Classe di resistenza minima C25/30 - Classe di esposizione XC2	<b>TIPO INIEZIONE</b> - Multiple e ripetute - MALTE E MISCELE CEMENTIZIE - Classe di resistenza minima C25/30
<b>ACCIAIO PER ARMATURA LENTA</b> - Acciaio in barre B450A - Rati B450A - Sovraposizione 60 elementi	<b>ACCIAIO</b> - Tipo SVEZIONE S=950MPa, f <sub>w</sub> =1050MPa

ALLEGATO 4

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA

PROGETTO ESECUTIVO

AU - CORPO AUTOSTRADALE

OPERE D'ARTE MINORI

CS003 da pk 1+720.48 a pk 6+829.48

TC019-Tombino diam. 1.00m-Pk 5+888.17

INQUADRAMENTO GENERALE E CARPENTERIA

REVISIONE		REVISIONE	
DATA	CAUSA	DATA	CAUSA

