POLITECNICO DI TORINO
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
INGEGNERIA CIVILE

INFRABIM: CLASH DETECTION TIME AND COST SCHEDULING FOR THE PREPARATORY PHASES OF EXCAVATION IN AN URBAN CONTEXT

Research Project

Studente:
Michael Bjorn Miletto

Relatore:
Prof.ssa ANNA OSELLO
Correlatore:
ARIANNA FONSATI

ANNO ACCADEMICO 2017-2018

Gran professione quella dell'ingegnere!
Con l'aiuto della scienza ha il fascino di trasformare un pensiero in linee di un progetto per realizzarlo poi in pietra o metallo o energia. Quindi creare lavoro e case per gli uomini elevando il tenore di vita e aggiungendone conforto.
Questo è il grande privilegio dell'ingegnere e anche il grande rischio perché le sue opere, a confronto di quelle di altri uomini e professionisti, sono all'aperto, sotto lo sguardo di tutti.
I suoi atti – passo, passo – sono di dura materia.
L'ingegnere non può seppellire i suoi errori nella tomba come i medici; né può trasformarli in aria sottile o darne colpa ai giudici come gli avvocati. Egli non può coprire i suoi insuccessi con alberi o rampicanti come gli architetti, né, come i politici, riversare gli errori sugli oppositori sperando che la gente dimentichi. L'ingegnere, semplicemente, non può negare quello che ha fatto e viene condannato se l'opera non regge.
D'altra parte, in contrasto con quella dei medici, la sua non è vita in mezzo ai deboli, né la distruzione è il suo scopo, come per i militari, e le contese non sono il suo pane quotidiano come per l'avvocato.
All'ingegnere compete rivestire di vita, conforto e speranza lo scheletro della scienza.
Con il passare degli anni senza dubbio la gente, se mai lo ha saputo, dimentica l'ingegnere che ha costruito. Qualche politico avrà posto il suo nome o quella sarà stata attribuita a qualche promotore che ha fatto uso del denaro altrui.
L'ingegnere, con una soddisfazione che poche professioni conoscono, gode dei benefici senza fine che scaturiscono dai suoi successi: il verdetto dei suoi colleghi è il solo titolo d'onore che egli desidera.
(“Herbert Hoover”).

INDICE

INDICE .....

INDICE FIGURE .....

ABSTRACT .....

INTRODUZIONE 1

CAPITOLO 1 STATO DELL'ARTE 2

1.1 Building Information Modelling 2

1.1.1 Dimensioni del BIM 2

1.1.2 Metodologia progettuale BIM 4

1.1.3 I software del processo BIM 4

1.1.3.1 BIMoriented 5

1.1.3.2 Convenzionali 6

1.1.4 L'interoperabilità 7

1.1.5 Formati di esportazione 7

1.2 Il BIM nel mondo 9

1.2.1 Il BIM in Italia 10

1.2.1.1 UNI 11337 12

1.2.1.2 Parte 1 14

1.2.1.3 Parte 2 16

1.2.1.4 Parte 3 16

1.2.1.5 Parte 4 17

1.2.1.6 Parte 5 18

1.2.1.7 Parte 6 19

1.2.1.8 Parte 7 20

1.2.1.9 Parte 8 21

1.2.1.10 Parte 9 22

1.2.1.11 Parte 10 22

1.2.2 Normative Europee per il BIM 22

1.3 Strumenti per il presente e per il futuro 23

1.3.1 Il co-working 23

1.3.2 Implementazione con VR e AR 24

1.3.2.1 Autodesk Live 24

CAPITOLO 2 CASO STUDIO 26
2.1 Stato dell'arte 27
2.2 Finalità 30
CAPITOLO 3 MODELLAZIONE 32
3.1 Tipologie di Modellazione affrontate 33
3.1.1 CONTESTO 35
3.1.2 MEP 39
3.2 Il modello BIM 41
3.2.1 Organizzazione per fasi 41
3.2.2 Codifica elementi 42
3.2.3 Abachi 44
3.3 Dal modello all'esportazione di dati 45
3.3.1 Tipologie di dati esportati 46
3.3.2 Gestione dati esportati 46
3.3.3 Problematiche e criticità 47
CAPITOLO 4 PROJECT MANAGEMENT 48
4.1 Quadro normativo: UNI 11648 49
4.2 Concetti fondamentali 50
4.2.1 Figure in gioco 51
4.2.2 Variabili di progetto 51
4.2.2.1 Tempo 51
4.2.2.2 Costo 55
4.3 Work Flow 56
4.3.1 Pianificare le attività WBS 56
4.3.2 Assegnare le Risorse OBS 58
4.3.3 Assegnazione delle responsabilità RAM 59
4.3.4 Salvare la Baseline di Progetto 60
4.3.5 Aggiornare il Progetto 61
4.3.6 Reporting e Lesson Learning 62
4.4 Software per il Project Management 63
4.4.1 Microsoft Project 64
4.4.2 Excel 64
4.5 Interoperabilità 65

CAPITOLO 5 SIMULAZIONE DI CANTIERE 66
5.1 Naviswork 66
5.2 4D Simulation 67
5.2.1 Importazione del Gantt 68
5.2.2 Associazione elementi alle fasi di progetto 69
5.2.3 Clash Detective 70
5.2.4 TimeLiner Animation 72
5.2.5 Problematiche e Criticità 75
CAPITOLO 6 WORK FLOW IN CASE OF STUDY: INFRABIM:CLASH DETECTION,TIME AND COST SCHEDULING FOR THE PREPARATORY PHASES OF EXCAVATION IN AN URBAN CONTEXT 76
6.1 Dagli elaborati 2D al Modello Federato 78
6.2 Clash Detection 80
6.3 Generate 3D Phase Model 80
6.4 Modello di Coordinamento 4D 81
6.5 Facility Management 82
CONCLUSIONI 83
BIBLIOGRAFIA 85
1. Fonti 85
2. Sitografia 87
3. Bibliografia di Riferimento 88
ALLEGATI 89
1 Tipi di LOD 89
2 Stati di Lavorazione, Elaborati Informativi, Entità e LOD 93
3 Abachi 95
4 Codifica e WBS 98
5 Tavola Ergotecnica 99
6 Elaborati 3D 100
7 Report Clash Detection 112

INDICE FIGURE

Figura 1 Dimensioni del BIM (Immagine tratta da biblus.accasoftware.com) 3
Figura 2 Diffusione del BIM nel mondo 10
Figura 3 BIM Maturity Level (Immagine tratta da www.inconcreto.net) 11
Figura 4 Infografica sull'obbligatorietà del BIM in Italia (Immagine tratta da 12
Figura 5 Parti UNI 11337:2017 14
Figura 6 Struttura dati, informazioni, modelli UNI 11337-1.....14
Figura 7 Elaborati e Modelli.....15
Figura 8 Confronto tra Stadi di progetto e Fasi di progetto UNI 11337-1 15
Figura 9 Principali database per il sistema di classificazione UNI 11337-2 16
Figura 10 Es schede informative UNI 11337-3 17
Figura 11 Usi ed obiettivi del modello UNI 11337-4.....18
Figura 12 Screenshot del modello del Contesto in Autodesk Live.....25
Figura 13 Schema "tipo" modello di coordinamento caso studio Parigi-SEB.....30
Figura 14 Flow-chart 31
Figura 15 LOD utilizzati nel modello.....33
Figura 16 Differenze tra reale e modello Infraworks 360 34
Figura 17 Tool's della scheda "Volumetria e Planimetria".....35
Figura 18 Definizione stratigrafia Marciapiedi e Strade 36
Figura 19 Confronto tra Modello & Realtà (vista dall'alto).....37
Figura 20 Modellazione 3D Fase 1 38
Figura 21 Modellazione 3D Fase 9.2.....38
Figura 22 Tipi, diametri e livelli dei sottoservizi.....39
Figura 23 Vista degli impianti nello stato di fatto e nella fase finale 40
Figura 24 Impostazione Browser di Progetto 42
Figura 25 Livelli di Codifica Elementi 43
Figura 26 Esempio di Abaco del modello "Contesto" 44

Figura 27 Andamento dei Volumi e dei Pesi trasportabili per ogni fase 45
Figura 28 Esempio di Abaco del modello "MEP" 45
Figura 29 Attività che compongono i Task 53
Figura 30 Variabili delle attività che compongono i Task.....53
Figura 31 Produzione giornaliera martellone [m³/giorno].....54
Figura 32 PDF Fase 1 54
Figura 33 CDF Fase 1.....55
Figura 34 Flussi Cassa con andamento tri-mestarle 56
Figura 35 Esempio WBS SEB.....58
Figura 36 Esempio di una RAM (Immagine tratta da www.wikipedia.org) 59
Figura 37 Baseline (Immagine tratta da www.wikipedia.org).....60
Figura 38 Opzioni d'esportazione Revit to Naviswork.....66
Figura 39 Stato del modello all'atto dell'importazione in Naviswork.....67
Figura 40 Struttura di Selezione Naviswork.....69
Figura 41 Schermata di verifica delle interferenze.....70
Figura 42 Proprietà degli elementi coinvolti nella clash Detection.....71
Figura 43 Impostazioni per Clash Detection 72
Figura 44 Elementi del file di Report 72
Figura 45 Configurazione opzioni di visualizzazione TimeLiner 73
Figura 46 Informazioni visualizzate durante la riproduzione della Timeline.....73
Figura 47 Esempio di animazione della Timeline 74
Figura 48 QR Code simulazione cantiere.....74
Figura 49 Flow Chart.....77
Figura 50 Esempio elaborato 2D del Contesto 78
Figura 51 Esempio elaborato 2D del MEP 78
Figura 52 Assonometrie dell'area interessata dallo scavo 79

ABSTRACT

Le grandi opere infrastrutturali sotterranee, sviluppate in un contesto fortemente urbanizzato, presentano una geometria complessa la quale deve però scontrarsi con un limitato spazio a disposizione che può portare a "*spatiotemporal clashes*". Per questo, il più delle volte, sono necessari lavori preparatori i quali hanno il compito di riuscire ad interfacciare al meglio la nuova infrastruttura con il costruito. Mantenendo un flusso di traffico accettabile tale da non compromettere la sicurezza.

Questa tesi vuole proporre un nuovo metodo nella gestione delle fasi di cantierizzazione propedeutiche alla costruzione dell'infrastruttura. Rappresentando il contesto nella sua interezza con lo scopo di ottenere un ottimale gestione delle fasi. Attraverso una modellazione 4D e 5D. Limitandone tempi, attraverso una valutazione prima deterministica e poi probabilistica, e costi.

La fattibilità del metodo proposto è esplorata attraverso un caso di studio.

INTRODUZIONE

In quest'ultimi anni la figura dell'ingegnere, nel campo dell'edilizia, sta subendo un cambiamento profondo.

L'avanzare delle nuove tecnologie e procedure sta facendo sì che nascano nuove figure lavorative ad alta specializzazione. Figure poliedriche che riescano ad interfacciarsi col calcolo strutturale a cui si aggiungono doti di gestione delle risorse e del flusso di lavoro. In un'ottica "4.0" dove ogni cosa è interconnessa. Il tutto attraverso l'uso di nuovi applicativi che hanno come scopo principale quello di racchiudere al proprio interno tutte le informazioni utili al progetto. Si va oltre al mero 2D o 3D. Si sta prefigurando un futuro nel quale un "progetto" inteso come modello tridimensionale racchiuda al suo interno informazioni inerenti ai costi, tempi di realizzazione, sostenibilità, gestione ed amministrazione dell'edificio.

Si capisce ben presto la portata di questa rivoluzione. La mercificazione della figura dell'ingegnere "classico" è in atto ormai da anni. Coadiuvata da un sistema universitario che mal digerisce i cambiamenti. Gli studenti vengono formati per una professione che tra pochi anni non esisterà più per come siamo abituati a conoscerla.

Questa tesi ha come obiettivo di proporre un nuovo approccio di lavoro. Che coniughi bene le metodologie da tempo affermate con le nuove che si stanno facendo strada. Il tutto in un'ottica condivisione dell'informazione tra i vari professionisti che collaborano al progetto. Senza tralasciare però l'efficienza.

Si cercherà quindi attraverso la simulazione delle fasi di cantierizzazione di capire come le nuove tecnologie possano interfacciarsi con procedure già consolidate.

Si definiranno quindi nuove procedure per il *Project Management*, con l'ausilio di programmi di pianificazione sempre più interconnessi al metodo BIM.

Capitolo 1
STATO DELL'ARTE

1.1 **Building Information Modelling**

Con l'acronimo BIM si indica "*Building Information Modelling*" un'attività che ha radici nel passato. Nonostante ai più suoni come una recente innovazione.

"Come attività, il BIM è dunque costituito dall'insieme dei processi applicati per realizzare, gestire, ricavare e comunicare informazioni tra soggetti a livelli differenti, utilizzando dei modelli creati da tutti i partecipanti al processo edilizio, in tempi diversi ed anche per scopi non uguali tra loro, per garantire qualità ed efficienza attraverso l'intero ciclo di vita di un manufatto". [1]

Il primo passaggio da una modellazione fisica bidimensionale a quella digitale è da attribuire alla Graphisoft di Budapest. Quando a metà degli anni 80 furono i fautori della prima piattaforma per la modellazione digitale, conosciuta tuttora col nome di ArchiCAD.

L'introduzione di questa innovazione diede grande vigore al mercato del "disegno tecnico" dell'epoca. Tutte le società, studi di ingegneria e architettura mostrarono un enorme interesse. Nacque quindi un nuovo mercato; quello delle *Software House*.

Dal 1986 ad oggi sono stati fatto innumerevoli passi in avanti con l'implementazione di più interessanti e funzionali *feature*. Sempre nell'ottica di procedere verso una progettazione efficiente e collaborativa tra le diverse piattaforme per garantire enormi vantaggi agli operatori del settore.

1.1.1 *Dimensioni del BIM*

Il BIM è diventato una realtà. L' ambiente edilizio è esposto a nuovi input e maggiori informazioni sulla digitalizzazione e sull'informatizzazione di questo settore.

Ogni volta che nel modello viene specificato un tipo di informazione, viene impostata una dimensione diversa e, per questo motivo, sono state generate varie

dimensioni. Di fatto, secondo i fondamenti del BIM vi sono sette "dimensioni" riconosciute.

Le classiche 3 dimensioni sono generalmente sufficienti per scopi geometrici. D'altra parte, possiamo "definire" nuove modalità descrittive e fare riferimento ad altre dimensioni, come tempo, costi, ecc., Così da introdurre un diverso tipo di informazione.

Gli aspetti tecnici di un progetto basato sul BIM possono essere illustrati come segue:

Figura 1 Dimensioni del BIM

(Immagine tratta da [biblus.accasoftware.com)](biblus.accasoftware.com)

- 3D: rendering tridimensionale del manufatto
- 4D: analisi della durata
- 5D: analisi dei costi
- 6D: valutazione della sostenibilità
- 7D: fase di gestione di ciò che è stato costruito

1.1.2 *Metodologia progettuale BIM*

Lo scopo di questa tesi è proprio quello di dimostrare la fattibilità di un intervento complesso, come quello preso in esame, svolto con la procedura BIM.

Mira quindi a coniugare più lavori di diverse figure professionale in un unico "sistema" informativo capace di auto adattarsi alla variazione di alcuni parametri.

Il processo si articola in una prima fase di modellazione del costruito in superfice e dei sottoservizi. Operata idealmente da due figure professionali distinte, il cui lavoro convoglierà in un unico modello federato nel quale ogni categoria professionale potrà operare modifiche solo nella sua area di competenza.

Il modello federato viene quindi convertito ed aperto in un'area di coordinamento nella quale si potranno valutare interferenze ed assegnare correzioni ai membri del team. Il modello federato torna quindi indietro con le correzioni da apportare al fine di essere funzionale al risultato finale.

La figura del PM (*Project Management*) in questa fase di coordinamento è fondamentale. Coniugare in maniera efficiente più figure professionali che collaborano in sincronia alla realizzazione del progetto vuol dire ottenere un risultato quanto più scevro da errori nel minor tempo possibile.

Fare questo è possibile grazie ai nuovi strumenti digitali forniti al PM.

Nei capitoli successivi verranno chiariti i principali passaggi di questo processo. Vedi capitolo 5.

1.1.3 *I software del processo BIM*

Si è precedentemente affermato che il BIM è un metodo e non un insieme di software. Di seguito sono illustrati gli applicativi che hanno reso possibile lo svolgimento della tesi.

Iniziamo col dire che non tutti i software rispettano i parametri di certificazione della BuldingSMART, regolamentati della ISO 16739:2013, la quale disciplina la capacità dei software di interfacciarsi con altre piattaforme.

Viene da sé la necessità di distinguere gli applicativi BIM*oriented* e quelli convenzionali.

1.1.3.1 *BIMoriented*

REVIT2018

"Si tratta di un software che, in un'unica e specifica piattaforma BIM multidisciplinare rende possibile l'attuazione – oltre che l'ideazione – di tutte le fasi che principalmente precedono, ma anche accompagnano e seguono per tutto il percorso la costruzione e la conseguente gestione di un edificio.

La possibilità più importante è quella data dal fatto che si tratta di un software attraverso il quale è del tutto possibile avere un pieno e fedele esempio della realtà attraverso elementi tridimensionali, assonometrici e prospettici, senza il benché minimo errore." [7s]

NAVISWORK 2018

"Navisworks di Autodesk è un software che gestisce il coordinamento, l'analisi e la pianificazione dei tempi e dei costi di costruzione, in ambiente BIM. I professionisti dei settori architettonici, ingegneristici ed edili vengono aiutati a collaborare nella revisione di modelli e dati integrati, per un controllo più efficace sui risultati dei progetti.

Si tratta quindi di uno strumento molto importante per ottimizzare i costi, che possono incidere in maniera decisiva nella progettazione di un'infrastruttura o di un edificio.

Navisworks raccoglie in un unico progetto dati e modelli BIM provenienti da tutte le applicazioni più diffuse, sia quelle di Autodesk sia quelle di altre marche concorrenti: Civil 3D, Microstation, ArchiCAD, Revit, 3ds Max, Inventor, Rhino e Solidworks." [21s]

INFRAWORKS 360

"È la tecnologia più innovativa per la pianificazione territoriale, la costruzione delle città digitali, la progettazione BIM delle infrastrutture e delle reti tecnologiche. Dal punto di vista delle funzionalità, Autodesk InfraWorks 360 Pro permette di Progettare in 3D, in modo semplice ed efficace, perché tiene conto del contesto territoriale ed ambientale.

Per ottenere questo notevole risultato, Autodesk InfraWorks 360 Pro prima di tutto accede ai dati territoriali, GIS, Open ed architettonici, compresi i rilievi e le nuvole di punti da laser scanner, per ricostruire il contesto ed ambientare i progetti. All'interno di questo contesto permette di progettare in 3D, grazie a strumenti intuitivi, strade, ferrovie, ponti, edifici, acquedotti, fognature e così via. Oppure di importare i progetti da AutoCAD Civil 3D ed Autodesk Revit. Il tutto rispettando la logica dei modelli intelligenti BIM." [22s]

1.1.3.2 *Convenzionali*

AUTOCAD 2018

Piattaforma di disegno 2D e 3D tra le prime apparse sul mercato intorno agli anni 80 ad opera della *software house* Autodesk. Tutt'oggi il suo uso è largamente diffuso sia in ambito lavorati che in campo accademico/scolastico.

PROJECT 2016

Applicativo della famosa casa di Redmond che permette una facile organizzazione di personale e risorse tramite il facile utilizzo di un foglio elettronico preimpostato e pronto all'uso. Strumento approvato dalle maggiori istituzioni in materia di PM come la PMBOK (*Project Management Body of Knowledge*) e la PMI (*Project management Istitute*). Il quale output è perfettamente compatibile con Naviswork.

EXCEL 2016

Il più famoso programma di fogli elettronici. Il suo output risulta essere compatibile con i più comuni software di gestione di dati. Questo lo rende un perfetto strumento per il calcolo e la contabilità in generale

1.1.4 *L'interoperabilità*

Questo è il concetto alla base del sistema BIM. Con questa parola si identifica la capacità del programma in uso di interfacciarsi con altre piattaforme in varie forme.

La migrazione di dati da un sistema ad un altro è alla base della creazione di una rete di collaborazione, cosi come un idioma comune permette il dialogo tra due o più individui.

Da questo contesto si evince che maggiori sono i linguaggi conosciuti, maggiore sarà il suo grado di interoperabilità. Tuttavia, questa non è *condicio sine qua non* per ottenere una perfetta migrazione di dati, informazioni da una ad un'altra piattaforma. Si vedrà in seguito come anche nel passaggio tra due piattaforme appartenenti alla medesima *software house* si registri una perdita parziale d'informazioni.

1.1.5 *Formati di esportazione*

Abbiamo analizzato nei capitoli precedenti come i formati di esportazione permettano la comunicazione tra i diversi programmi. Tuttavia, la qualità di questo processo non dispende dal solo formato utilizzato ma anche da una corretta procedura di impostazione del file.

Ne consegue che il dialogo tra i vari programmi avviene più o meno correttamente in funzione del formato scelto e della natura di informazione che è nostro interesse tramettere. Anche quest'ultimo punto è fondamentale. Risulta scontato che in un processo di migrazione di dati da una piattaforma all'altra l'obiettivo ultimo sia l'esportazione di dati riguardati le sole informazioni degli oggetti di modellazione, come per esempio costo e tempo di realizzazione, da utilizzare nei programmi di destinazione. Tralasciando quindi le altre informazioni, tipo geometria ecc., che appesantirebbero il file.

Seguirà quindi un elenco dei principali formati utilizzati:

- DWG

  formato principe nell'ambito del disegno 2D di proprietà della casa Autodesk. Ormai utilizzato come standard anche da altri competitor data la grande diffusione
- RVT

  Formato standard di Revit per esportare i propri modelli parametrici. Immagazzina al suo interno tutte i dettagli architettonici legati al progetto, le viste, le immagini, le texture dei materiali e tutte le informazioni legate agli oggetti interne al modello (codici, dimensioni, fasi di progetto, caratteristiche fisico-tecniche).
- RFA

  Identifica i file creati nell'editor delle famiglie di Revit. Identificano le informazioni collegate ad un singolo componente inserito all'interno del modello. rvt.
- NWC

  Consente di migrare tutte le informazioni contenute sul modello di Revit in Naviswork. È in grado di trametterе tutte le informazioni inerenti oggetti e metadati associati. Si registra una notevole compatibilità con Revit anche perché il formato. nwc nasce con questo intento.
- MPP

  questo tipo di file appartiene a Microsoft Project e contiene tutte le informazioni sullo stato di avanzamento lavori. Pur non essendo un programma all'interno del metodo BIM si registra una buona interoperabilità tra Project e Naviswork che si è rilevata di notevole aiuto nella gestione del modello nell'ambito del PM.
- IFC

  L'IFC (*Industry Foundation Classes*) è un formato dati aperto, non controllato da un singolo operatore, nato per facilitare l'interoperabilità tra i vari operatori. Ha lo scopo di consentire l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati o informazioni. L'IFC è stato progettato per elaborare tutte le informazioni dell'edificio, attraverso l'intero suo ciclo di vita, dall'analisi di fattibilità fino alla sua

realizzazione e manutenzione, passando per le varie fasi di progettazione e pianificazione.

1.2 **Il BIM nel mondo**

Il BIM per molti paesi nel mondo risulta ormai essere una procedura consolidata. Con normative ad *hoc* e regole di presentazione di elaborati. Per altri invece un obiettivo da raggiungere per il prossimo futuro.

È quindi scontato come i professionisti del settore, architetti e ingegneri, debbano confrontarsi ed adattarsi a questa innovativa metodologia di progettazione.

Quest'ultimo è un processo articolato, non scontato, che oltre alla sua difficoltà intrinseca incontra anche la riluttanza di figure professionalmente già formate che non vedono di buon occhio una virata verso un mondo a loro sconosciuto. Come tale presenterà una curva di apprendimento con una pendenza decisamente bassa nel primo periodo. Scoraggiando la maggior parte dei professionisti che si affacciano al cambiamento. Questo è anche dovuto al fatto che le piattaforme non sono *user friendly*. Senza dimenticare che la stragrande maggioranza degli studi professionali non ha tempo e risorse da investire in formazione.

Il processo di "migrazione" può essere sintetizzato in 3 macro-fasi. Così articolate:

- Conoscenza dei software,
- Studio tecnologia costruttiva moderna,
- Consapevolezza delle norme e delle leggi che regolano il processo.

La tesi cercherà di sviscerare questi tre aspetti. Cercando di fornire le basi necessarie all'attuazione del processo di PM nell'ottica di un intervento di deviazione dei sottoservizi in un'area relativamente estesa all'interno di un contesto urbano.

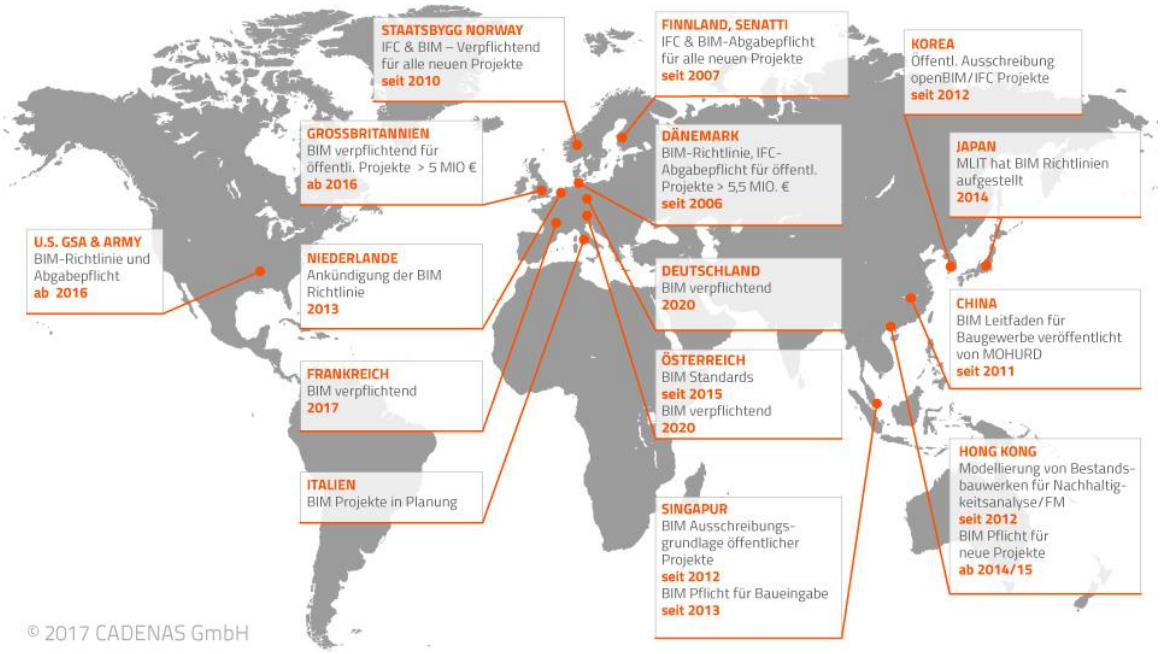


Figura 2 Diffusione del BIM nel mondo

(Immagine tratta da www.cadenas.de)

1.2.1 *Il BIM in Italia*

Il livello di utilizzo del BIM in Italia allo stato attuale risulta, nella maggioranza dei casi, sporadico e mal gestito. Un'idea più chiara sullo stato dell'arte può essere data dall'infografica in calce. Quest'ultima raffigura sullo sfondo il triangolo di *Brew* dove vengono rappresentati i 4 livelli di maturità della procedura BIM con i riferimenti normativi per ogni livello. In primo piano abbiamo invece lo stato di utilizzo nei principali paesi nell'area Europea. [23s]

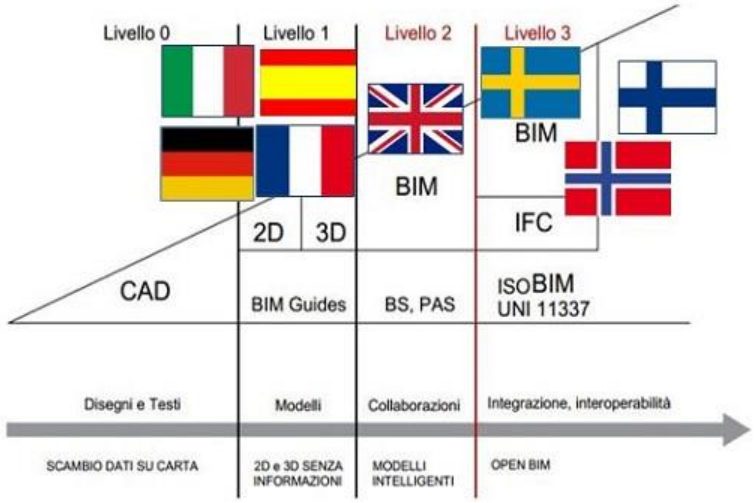


Figura 3 BIM Maturity Level

(Immagine tratta da www.inconcreto.net)

I motivi principali di questa situazione sono da ricercare anche in una mentalità italiana ancorata al passato che si riflette anche in una tardiva emanazione di Norme ad *hoc* per la gestione del processo.

Un primo passo è stato fatto nel 2016, sotto la spinta dell'unione Europea, è stato emanato il Nuovo Codice per gli Appalti Pubblici con l'introduzione del mezzo BIM. Composta da 8 parti nelle quali vengono regolati i processi informativi e gestione digitali delle costruzioni.

Un anno più tardi, ovvero dicembre 2017, è stato firmato dell'allora ministro dei trasporti, Graziano Delrio, il Decreto BIM. Quest'ultimo definisce tempistiche e modalità di introduzione della metodologia. Le stazioni appaltanti dovranno in un futuro garantire:

- Un processo di formazione del proprio personale, in relazione alla posizione occupata, sull'uso del BIM;
- Un adeguamento hardware e software per fronte ai processi di gestione e controllo;
- Un atto organizzativo che contenga esplicitamente un riferimento al processo di controllo e gestione.

Il tutto nell'ottica dell' introdurre graduale la metodologia. Dal 2019 solo per opere pubbliche per un importo superiore ai 100 milioni di €. Abbassando gradualmente "l'asticella" a 1 milione di € nel 2025.

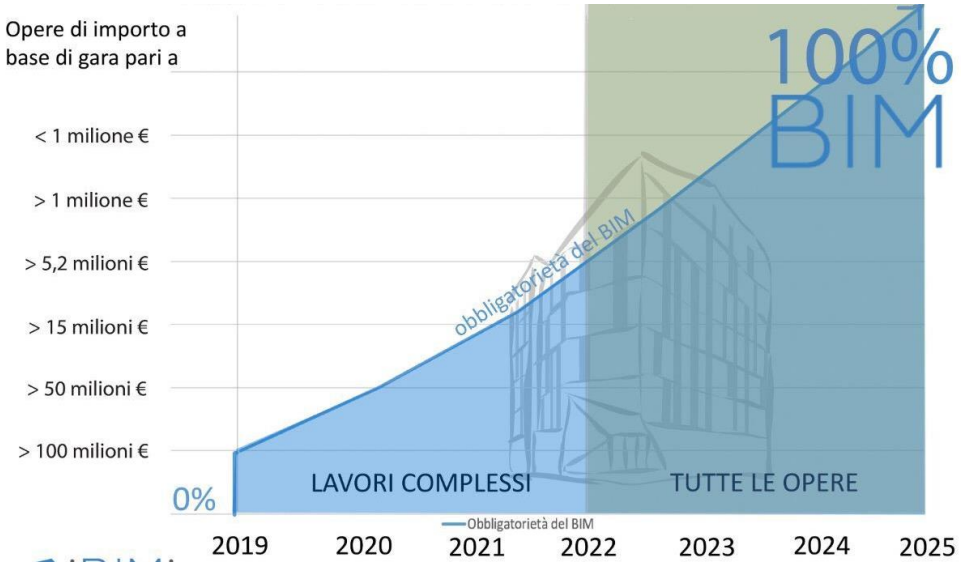


Figura 4 Infografica sull'obbligatorietà del BIM in Italia
(Immagine tratta da www.ibimi.it)

1.2.1.1 *UNI 11337*

"Era il 2009 quando uscì la norma UNI 11337 introducendo la metodologia BIM quale sistema di gestione strutturata e digitale dei dati e dell'informazione per il settore delle costruzioni. Nella parte 1 della versione del 2009 si spiegavano i concetti di base del BIM e dell'interoperabilità, mentre nella parte 3 si proponeva la scheda digitale dei prodotti contente tutti gli attributi informativi geometrici e non. Antesignana degli attuali LOI (Level of lnformation) e dei futuri LOG (Level of geomtry) alla base dei oramai noti LOD degli oggetti (Level of Development).

Tutto ciò accadeva ben prima della oramai famosa PAS 1192 parte 2 inglese, ma, probabilmente, la forma ancora embrionale, di mera introduzione al problema, della norma italiana non ne ha poi permesso eguale sviluppo e successo. Con pieno merito, invece, per la PAS e per quel sistema paese che ne ha invece intuito la portata e sostenuto l'applicazione.

Passati alcuni anni, dopo l'esperienza del progetto INNOVance e della prima piattaforma digitale della filiera delle costruzioni che, seppure non abbia ancora visto il passaggio da prototipo a strumento operativo, ha, di fatto, mosso verso il BIM l'intero settore, la ricerca e la politica, dopo INNOVance dicevamo ci siamo di nuovo

riuniti per definire il percorso nel frattempo fatto e fissare le prime regole condivise in argomento.

La vecchia norma è stata ritirata e, dopo due anni di lavoro intenso, a gennaio, uscirà il cuore della nuova norma UNI 11337:2017.

Usciranno le parti 1, 4 e 5 (modelli, oggetti, LOD, clash e code, capitolato informativo –EIR - e piano di gestione informativa - BEP) seguite a primavera dalla parte 6 (esempio di capitolato informativo), in autunno dalle parti 2 e 3 (classificazione, LOI e LOG) per finire, a dicembre, con la parte 7 (qualificazione figure professionali) e, ci auguriamo, 8 (qualificazione dell'organizzazioni).

Due anni di lavoro duro con un *pannel* di soggetti, pubblici e privati, che fa del tavolo "BIM" uno dei più numerosi e significativamente rappresentati oggi attivo in UNI. Ed al quale ancora oggi, a metà del cammino, sempre nuovi soggetti si aggiungono per portare il proprio prezioso contributo. Un gruppo di lavoro che ha consentito all'Italia di ritornare a sedersi ai tavoli normativi sia in ambito ISO, dove stiamo collaborando alla scrittura della ISO 19650 "information management", ultimo capitolo delle norme ISO sul BIM (dopo IFC, IFD e IDM), ed in ambito CEN, dove stiamo collaborando alla scrittura della futura norma EN sul BIM.

Tavolo, quest'ultimo, comunitario, che alla recente riunione di Berlino, ha visto con particolare interesse il lavoro di UNI recependo con favore alcune posizioni italiane come l'importanza di concetti come "obiettivo" e "uso" dei modelli o innovazioni come i LOD di gestione, oltre l'as-build, od i LOD delle macchine ed i mezzi e quelli, davvero innovativi, pur riguardando il passato, dedicati al restauro di beni storico artistici.

L'Italia con la nuova UNI 11337:2017 si dota di regole condivise per operare su questo nuovo mercato e partecipa attivamente (per la prima volta in materia BIM) alla scrittura delle nuove regole comunitarie ed internazionali. Una norma che arriva oggi nel momento di predestinata esplosione del fenomeno BIM sul mercato proprio per aiutare gli operatori e le istituzioni ed evitare una giungla improduttiva per tutti." [8]

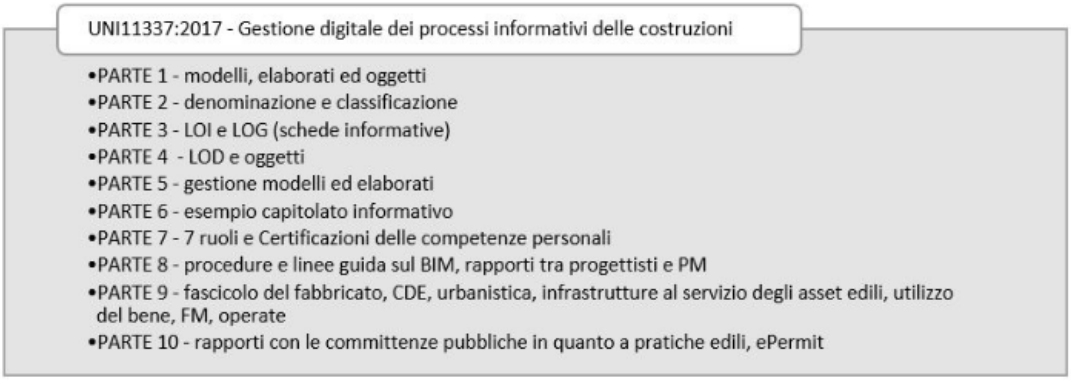


Figura 5 Parti UNI 11337:2017

1.2.1.2 *Parte 1*

La parte 1 parla di modelli, elaborati ed oggetti. In questa parte si introduce la problematica e quindi viene spiegato cosa sono i dati, la loro struttura in informazioni e la strutturazione delle informazioni in contenuti informativi.

Quest'ultimi hanno un driver di rappresentazione che rappresenta l'elaborato. Il foglio word, le tavole grafiche, il dwg che rappresentano ciò che in questo momento viene fatto nella professione.

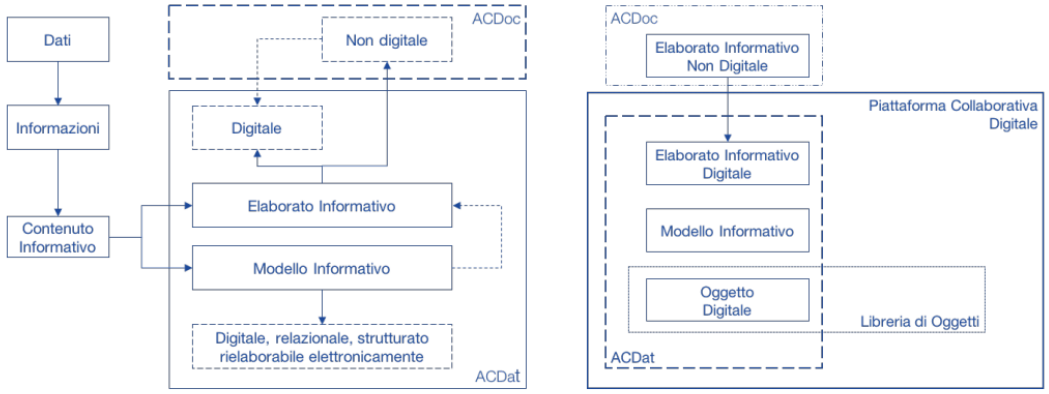


Figura 6 Struttura dati, informazioni, modelli UNI 11337-1

Invece una evoluzione nella loro forma verso la "virtualizzazione" che è il *core* del BIM. Nella norma viene introdotto questo concetto sia in senso grafico sia documentale. Quindi i fogli word e i dati statici ed invece in metadati che possono essere rielaborati dalla macchinina fino al formato multimediale. Quindi la

comprensione nel mondo digitale anche di date informazioni che vengo trasmesse attraverso foto, nuvole di punti termografia e tomografie.

Inserendo quindi tutto un mondo che in questo momento non viene considerato generatore di dati ma che nel prossimo futuro sarà invece la fonte principale di acquisizione dell'informazioni.

Si definiscono gli elaborati, ciò che è digitale ma non è relazionabile, il modello e gli oggetti digitali che costituiscono il vero passaggio a questa nuova frontiera.

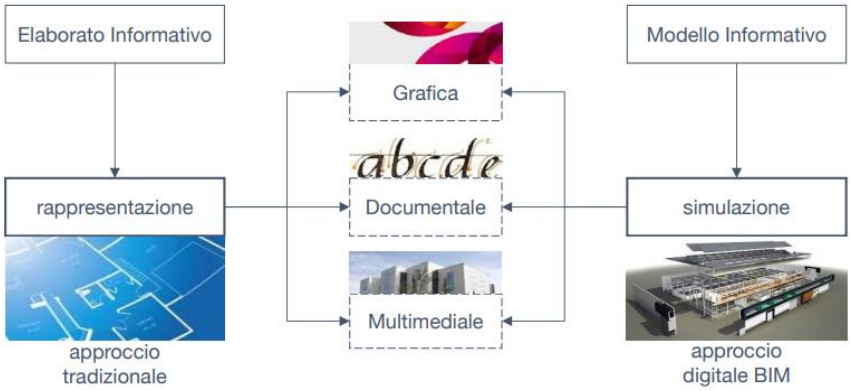


Figura 7 Elaborati e Modelli

Nella norma viene affrontato anche il concetto di maturità digitale. Avremo quindi: livello non digitale, base, elementare, avanzato e ottimale.

Questa prima parte introduce quindi la problematica della gestione del processo informativo del dato e ridisegna il processo informativo delle costruzioni introducendo il concetto di Fase.

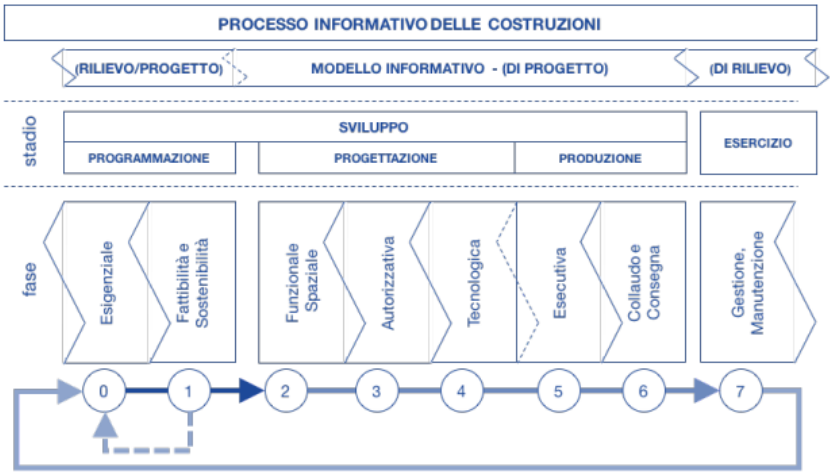


Figura 8 Confronto tra Stadi di progetto e Fasi di progetto UNI 11337-1

1.2.1.3 *Parte 2*

Nella parte due della norma viene affrontato un problema atavico per il settore. Cioè quella della denominazione e della classificazione. La terminologia nel settore delle costruzioni è sempre stato un problema. Dovuto al fatto che molte terminologie dialettali ed arcaiche sono ancor ‘oggi spesso utilizzate. Ne consegue che un linguaggio così disomogeneo porti ad un difficile passaggio informativo tra i diversi attori partecipanti al progetto. Quindi il principale obiettivo della norma nella sua parte due è proprio quello di andare ad uniformare sotto il termine del lessico il mondo delle costruzioni. Per permettere una facile fruizione delle informazioni.

Figura 9 Principali database per il sistema di classificazione UNI 11337-2

1.2.1.4 *Parte 3*

Nella parte tre, che in realtà è già norma dal 2009 solo nel riferimento ai prodotti da costruzione atta a creare campi di database per i prodotti e non dei pdf apparentemente inservibili. La nuova parte terza amplia questo concetto alle schede informative dell’intera opera, dei mezzi, delle lavorazioni, dei lavoratori che compiranno quell’operazione. Queste schede andranno a riprendere il concetto dei LOI ed oltra a questi andranno a definire compiutamente tutti i contenuti alfanumerici e multimediali che aiuteranno l’operatore a comprendere gli attributi, le performance di tutti i prodotti ma anche delle opere e dei mezzi.

Informazioni identificative del fabbricante						
Denominazione						
Ragione sociale						
Codice Fiscale/P.IVA						
Sito WEB						
Sede legale	Indirizzo	Nazione	Prov.	Città	Via/piazza, n° civico	CAP
	Telefono	Prefisso		Numero		
	Fax	Prefisso		Numero		
	E-mail					
Stabili-mento di produ-zione	Indirizzo	Nazione	Prov.	Città	Via/piazza, n° civico	CAP
	Telefono	Prefisso		Numero		
	Fax	Prefisso		Numero		
	E-mail					

Posa in opera/installazione				
Specifiche tecniche		Caratteristica	Unità di misura	Valore
Materiali e prodotti correlati	Idonei			
	Incompatibili			
Tipologia di movimentazione dall'area di stoccaggio alla zona di lavorazione				
Precondizioni necessarie per la posa				
Prescrizioni d'uso				
Modalità di posa				
Criteri di accettazione				

Figura 10 Es schede informative UNI 11337-3

1.2.1.5 *Parte 4*

Con questa parte entriamo in un punto caldo della norma sul digitale delle costruzioni e tutto quello che è il mondo BIM. Vengono introdotti gli oggetti digitali e soprattutto i LOD (level of definition) che nella versione italiana diventano LOD (livello di definizione degli oggetti digitali). Mantengono quindi l'acronimo pur essendo tradotti in italiano.

Viene cambiato l'approccio che non sarà più a partire dagli oggetti ma a partire dalle fasi. Quelle identificate dalla Parte 1 della norma qui ci servono per definire gli obiettivi di fase e sulla base di quest'ultimo definire il fine ed usi del modello.

Questo è un passaggio totalmente nuovo, non presente nelle PAS e al BIMForum, che rende molto più chiaro e fluido l'utilizzo dei LOD.

Quindi la prima cosa che il committente deve definire è: qual è l'obiettivo del modello, definito quest'ultimo quali sono gli usi che ne deriveranno. Se per esempio il modello mira ad attenere i pareri della PA (Pubblica Amministrazione) l'uso del modello sarà di estrapolare le lavorazioni per eseguire il computo metrico.

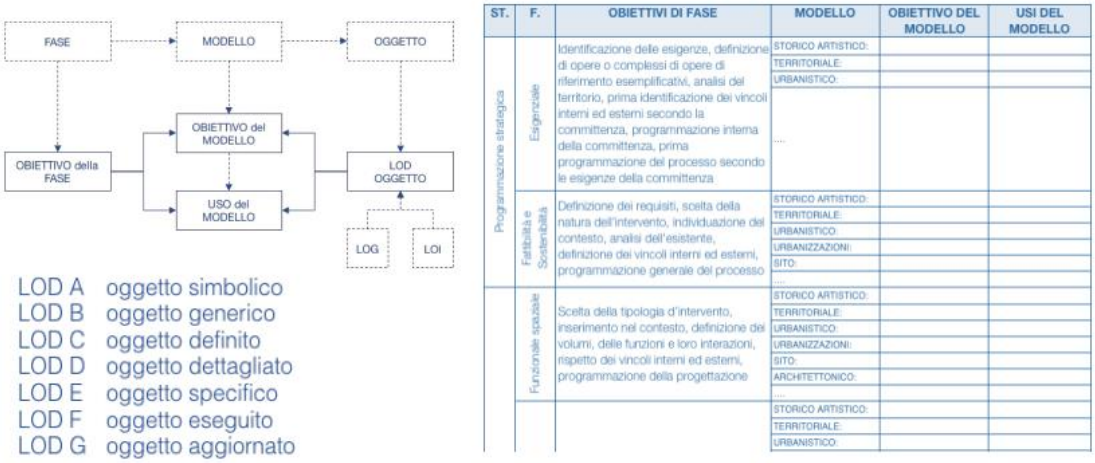


Figura 11 Usi ed obiettivi del modello UNI 11337-4

Si e quindi seguito con l'introduzione di LOD che risentono molto dei cugini anglosassoni (USA & UK) fusi in una struttura il più possibile organica e che tenesse conto del modo di operare delle prassi italiane. Si è anche abbandonata la classificazione numerica in favore della letterale da A ad F e si è introdotto un nuovo livello per quanto riguarda la manutenzione.

Vengono anche introdotte nuove categorie di LOD per lo spazio, l'architettura, strutture, murature portanti, impianti, facciate continue, terreno, infrastrutture, edifici, macchine-attrezzature e restauro. (vedi allegato 1)

In ultimo viene sistematizzato ciò che nella PAS era solo in parte abbozzato. Cioè gli stati di lavorazione e approvazione. Vengono anche fornite tabelle le quali contrassegnano gli elaborati richiesti in funzione delle fasi prima definite nella parte uno. (vedi allegato 2)

1.2.1.6 *Parte 5*

Si affronta il problema della gestione dei modelli. Si inizia introducendo quelli che sono dei documenti contrattuali assolutamente nuovi che introducono questo nuovo metodo di approccio digitale alla filiera delle costruzioni.

Si introduce il capitolato informativo, l'offerta per la gestione informativa e il BEP[1] contrattuale.

[1] BIM Execution Plan , rappresenta il piano preparato dal team di progettazione e dall'Appaltatore per illustrare come si intendono raggiungere e rispettare gli obiettivi e i requisiti definiti dal Committente nell'Employer's Information Requirement

Vengono introdotti i modelli di coordinamento tra i vari modelli col LC1 e LC2. Introducendo anche un nuovo livello, non presente nelle PAS, LC3 quale tiene in considerazione il coordinamento tra modelli ed elaborati interni ed esterni al progetto.

In quest'ultima parte si è quindi voluto analizzare l'interferenza geometrica e regolamentare.

Il passaggio successivo è stato quello di andare ad intervenire sui livelli di verifica del modello e quindi si è introdotti i livelli:

1. Di verifica interna formale
2. Di verifica interna sostanziale del modello
3. Di verifica esterna formale e sostanziale

A cascata si è affrontato il problema dell'approccio collaborativo.

Si è quindi affrontato la gestione del dato all'interno dell'ambiente condiviso di dati che non può più essere un deposito di file ma deve sempre più andare verso un luogo dove si vada a relazionare, gestire, collegare il dato in sé e non il singolo file.

Da questo nuovo modo di gestione nascono nuove figure professionali come il gestore delle informazioni, il coordinatore delle stesse e quello che poi andrà a modellarle.

1.2.1.7 *Parte 6*

Lo scopo della parte 6 della UNI 11337 è quello di fornire indicazioni procedurali e uno schema generale del "Capitolato Informativo", documento già introdotto nei suoi aspetti essenziali nella UNI 11337-5.

L'esempio proposto non è ovviamente esaustivo, essendo tale documento da redigere a cura del Committente secondo le sue finalità di economicità, efficienza e efficacia del processo.

Tale aspetto viene ulteriormente sottolineato facendo rilevare come il "Capitolato Informativo" sia da considerarsi come un documento contrattuale di commessa tra un soggetto proponente (Committente) e un soggetto contraente (Affidatario).

La struttura di "Capitolato informativo" proposta dalla norma è organizzata in quattro parti:

I – Premesse

II – Riferimenti normativi

III – Sezione tecnica

IV – Sezione gestionale

1.2.1.8 *Parte 7*

La parte 7 definirà, essendo in fase d'inchiesta pubblica, i requisiti che dovranno possedere le varie figure professionali protagoniste della pratica applicazione del processo BIM, costituendo un riferimento per le attività di formazione, qualificazione e certificazione delle specifiche competenze.

Le figure professionali identificate sono:

- BIM Manager: Il gestore dei processi digitalizzati (BIM Manager) è una figura che si relaziona principalmente al livello dell'organizzazione, per quanto attiene alla digitalizzazione dei processi posti in essere dalla stessa. Avendo eventualmente la supervisione o il coordinamento generale delle commesse in corso. II BIM manager opera a supporto dell'allocazione delle risorse umane specializzate presso le diverse commesse. Egli si occupa della designazione di uno o più BIM coordinator, insieme a colui che nell'organizzazione gestisce l'insieme delle commesse. II BIM manager si occupa di redigere:
  - il capitolato informativo (CI). quando il BIM manager è interno alla committenza o in tutti gli altri casi in cui si renda necessaria la redazione di tale documento;
  - l'offerta di gestione informativa (oGI), quando il BIM manager è interno a un possibile affidatario.
  - il piano di gestione informativa (pGI).
- BIM Coordinator: Il coordinatore dei flussi informativi di commessa (BIM coordinator) opera a livello della singola commessa, di concerto con i vertici dell'organizzazione e secondo le indicazioni del BIM manager nella gestione complessiva dei processi digitalizzati. Il BIM coordinator si pone come garante della efficienza e della efficacia dei processi digitalizzati della organizzazione con riferimento alla specifica commessa, presentando modalità di lavoro differenti a seconda che essa operi in un contesto mono-disciplinare o pluridisciplinare. Egli agisce in stretta collaborazione con il BIM manager, a cui risponde del proprio operato, e con il responsabile di commessa (project manager, design manager, construction manager, ecc.).

- BIM *Specialist*: soggetto in grado di introdurre nelle modalità operative della modellazione e della gestione informativa le conoscenze disciplinari; possiede la capacità operativa sulle funzionalità di specifici applicativi ed è in grado di tradurre e di trasferire in termini digitali le competenze specialistiche disciplinari, collaborando attivamente con gli specialisti disciplinari stessi, o coincidendo con essi, a supporto del BIM coordinator. Possiede una preparazione che gli consente di inserire la propria attività all'interno dei flussi di lavoro digitale previsti dal BIM coordinator, tra cui il supporto alla redazione di un piano di gestione informativa (pGI) se necessario. Inoltre, analizza i principali contenuti del capitolato informativo e del piano di gestione informativa per operare in accordo con essi ed esegue alcune verifiche preliminari sul modello informativo.
- Gestore del CDE: è il gestore dell'ambiente di condivisione dei dati. Lo scopo principale è quello di relazionare il contenuto informativo dei modelli in essi contenuti e le informazioni pertinenti all'organizzazione o alla commessa presenti originariamente in formato digitale. In accordo con il BIM manager è una figura che deve garantire il flusso di informazioni tra le varie fasi e figure.

1.2.1.9 *Parte 8*

Il testo normativo riguarda il rapporto che intercorre tra Informazione e Decisione nell'Era della Digitalizzazione, vale a dire, la relazione che sussiste tra il *Digitally Enabled Information Management* e il *Digitally Enabled Project Management*, due discipline che, nella loro storia analogica, hanno goduto di molti punti di contatto, in materia di sistemi informativi, ma che oggi appaiono differenziate.

L'auspicio, peraltro, è che la norma possa fungere da riferimento metodologico assieme a documenti di altra natura che regolino gli aspetti giuridico-contrattuali inerenti a procedimenti e a commesse governate da logiche digitali, più o meno collaborative, in cui la trasparenza e la tracciabilità di elementi sensibili siano giustificate e convenienti per entrambe le parti in causa, oltre che unitamente a Linee Guida Aziendali.

1.2.1.10 *Parte 9*

Nella parte 9 verranno normati: la "*Due Diligenge*" ed il rilievo digitali (nuvole di punti, termografie, tomografie, ecc.), le regole di costruzione delle "Piattaforme di Collaborazione" aziendali (al di sopra delle librerie di oggetti e degli ambienti di condivisione di commessa ACDat/CDE) e, soprattutto, il "Fascicolo del Costruito" digitale: oltre il fascicolo del fabbricato (per comprendere non solo l'edilizia ma anche le infrastrutture e l'ambiente antropomorfo); oltre lo stadio di sviluppo per comprendere la gestione informativa in esercizio, nel ciclo di vita.

1.2.1.11 *Parte 10*

In ultimo, affronta le nuove tematiche del BIM verso gli aspetti di gestione amministrativa; quello che in *Building Smart International* (BSI) prende il nome di *E-permit* BIM. Dopo la presentazione a Barcellona (BSI 2017) dei test eseguiti su: SCIA, DIA e Permesso di Costruire (Comune di Milano, Politecnico di Milano, Ordini degli Architetti e degli Ingegneri di Milano, Harpaceas, OneTeam e Autodesk Italia) ed il confronto con i lavori di Korea e Giappone, il tavolo UNI ha deciso di affrontare anche questo aspetto della gestione informativa digitale.

1.2.2 *Normative Europee per il BIM*

La prima normativa Europea che regola l'uso della metodologia BIM è la Direttiva Europea 2014/24/EU che regola anche gli appalti nel settore edile.

Ne riporterò alcuni estratti per analizzarla nei suoi passaggi salenti.

Il comma 22 c.4 riporta "Per gli appalti pubblici di lavori e i concorsi di progettazione, gli Sati membri possono richiedere l'uso di strumenti elettronici specifici, come ad esempio gli strumenti di simulazione elettronica per le informazioni edilizie o simili". Si evince come l'abrogazione della vecchia metodologia verso l'adozione della nuova non solo sia a discrezione dei singoli stati membri ma non vengono neanche fornite indicazioni sui mezzi più adatti per poter uniformare la procedura.

La direttiva si esprime anche sui parametri di scelta dei progetti, dichiarando che: "L'aggiudicazione dell'appalto dovrebbe essere effettuata applicando criteri obiettivi che garantiscano il rispetto dei principi di trasparenza, di non discriminazione e di parità di trattamento per garantire un confronto oggettivo del valore delle offerte al

fine di determinare, in condizioni di effettiva concorrenza, quale sia l'offerta economicamente più vantaggiosa. […] l'offerta economicamente più vantaggiosa dovrebbe essere valutata sulla base del miglior rapporto qualità/prezzo […]". Nel seguito dell'articolo si introduce anche un nuovo concetto. Quello di costo/efficacia. Rimettendo in discussione la pratica che il minor costo, in fase di consegna dell'appalto, corrisponda alla scelta migliore da effettuare.

Si sottolinea come il progetto debba contemplare sia l'aspetto economico ovviamente ma senza tralasciare quello energetico, qualitativo, dell'innovazione tecnologica e della futura manutenzione dell'edifico. Ne consegue quindi un criterio di scelta in funzione di più parametri dove il costo non più l'unica discriminate.

1.3 **Strumenti per il presente e per il futuro**

1.3.1 *Il co-working*

Il processo di sviluppo di progetti per la costruzione è caotico. Genera un grande spreco di tempo e risorse. Diversi problemi di incompatibilità nelle informazioni generate durante il processo di progettazione possono essere osservati nella fase di esecuzione. Questo problema è aggravato dalla natura complessa dell'architettura, dell'ingegneria e delle imprese di costruzione (AEC), dai numerosi interessi in gioco e dai frammentati processi di gestione che rendono il progetto un "figura" governata da una molteplicità di parametri, processi ed interessi difficili da gestire.

In questo contesto molti sforzi sono stati fatti per migliorare la situazione; sia sotto il profilo degli strumenti che sotto quello procedurale. Come risultato di questo sforzo è stata ottenuta una procedura basata sull'uso di applicativi BIM. Causando un cambiamento nella tecnologia e nel processo di sviluppo del progetto stesso.

Si mira quindi ad ottenere una procedura che azzeri, o riduca all'osso, i cosiddetti "*bottlenecks*" durante i vari step della realizzazione (progettazione e costruzione) di un'opera, qualsiasi essa sia.

La cattiva gestione delle informazioni e del processo riduce drasticamente le prestazioni attese comportando con se una mole di costi considerevole.

L'obiettivo finale è quello arrivare ad una procedura tale dove ogni figura partecipante al processo possa: collaborare, modificare e redigere elaborati (solo nel suo ambito di pertinenza) su un unico file comune accessibile da tutte le figure in gioco. Così da favorire lo scambio d'informazioni e il dialogo tra i professionisti.

1.3.2 *Implementazione con VR e AR*

Realtà virtuale e realtà aumentata sono due strumenti imprescindibili per il futuro nel mondo delle costruzioni. Il loro principale pregio, oltre alcune chiare applicazioni durante i processi costruttivi in cantiere, è quella di far avere una percezione chiara, visibile e col tempo tangibile di quella che è l'idea del progettista.

Un'esperienza immersiva come quella della VR fa comprendere a fondo quello che sarà il progetto, quella che è l'idea progettuale più di quanto potrà mai fare un disegno 2D o un plastico.

Questo strumento è di fondamentale importanza nell'ottica dello *stakeholder management*. Dove figure che per la maggiorparte sono estranee al settore delle costruzioni mal volentieri comprendono a pieno le problematiche di cantiere o riescono ad immaginarsi la struttura, l'infrastruttura nella sua interezza.

1.3.2.1 *Autodesk Live*

Autodesk Live ed è uno strumento di visualizzazione e navigazione dei modelli tridimensionali informativi. Non si tratta quindi solo di un modulo di rendering: dal progetto si passa a una realtà virtuale immersiva ispirata a quanto già si sta facendo nel campo della cinematografia e dei videogiochi.

Autodesk Live, già noto come Project Expo, serve soprattutto a mostrare ai committenti che esperienza si ha muovendosi all'interno degli ambienti progettati con Revit. Il software può integrare i modelli di quest'ultimo con le informazioni sull'ambiente per introdurre gli edifici nel loro contesto, arricchendoli con elementi accessori come la vegetazione e variando la visualizzazione in funzione dell'ora del giorno e del momento dell'anno (virtuali).

Da un punto di vista più tecnico-progettuale, Autodesk Live permette anche di verificare come si "comporta" una struttura per come è descritta nel sistema di *Building*

Information Management (BIM). In questo senso è come avere una simulazione iperrealistica e non solo visiva di un edificio ancora prima di iniziare a costruirlo.

Autodesk Live è studiato per gestire la visualizzazione degli ambienti virtuali su una vasta gamma di dispositivi che spaziano da iPhone e iPad sino agli *headset* per realtà virtuale HTC Vive e Oculus Rift.

L'hardware di HTC per la VR messo a disposizione dal laboratorio "*Drawing TO the Future*" è stato utilizzato per comprovare la validità di un'esperienza immersiva, come quella della VR, al servizio del mondo delle costruzioni civili.

Si è quindi esportato con un semplice click il modello di Revit in Live ed è stato fin da subito possibile esplorare e navigare il modello con estrema facilità. Si ritiene che l'utilizzo del software in questione sia un *quid* fondamentale per i progetti infrastrutturali. Sia per l'estrema facilità d'utilizzo e sia per il fatto che il lavoro aggiuntivo richiesto al progettista è pressoché nullo. Tuttavia, si registrano anche limiti legati all'impostazione dei materiali, che non sempre vengono riconosciuti correttamente e comunque non possono essere modificati direttamente nel software.

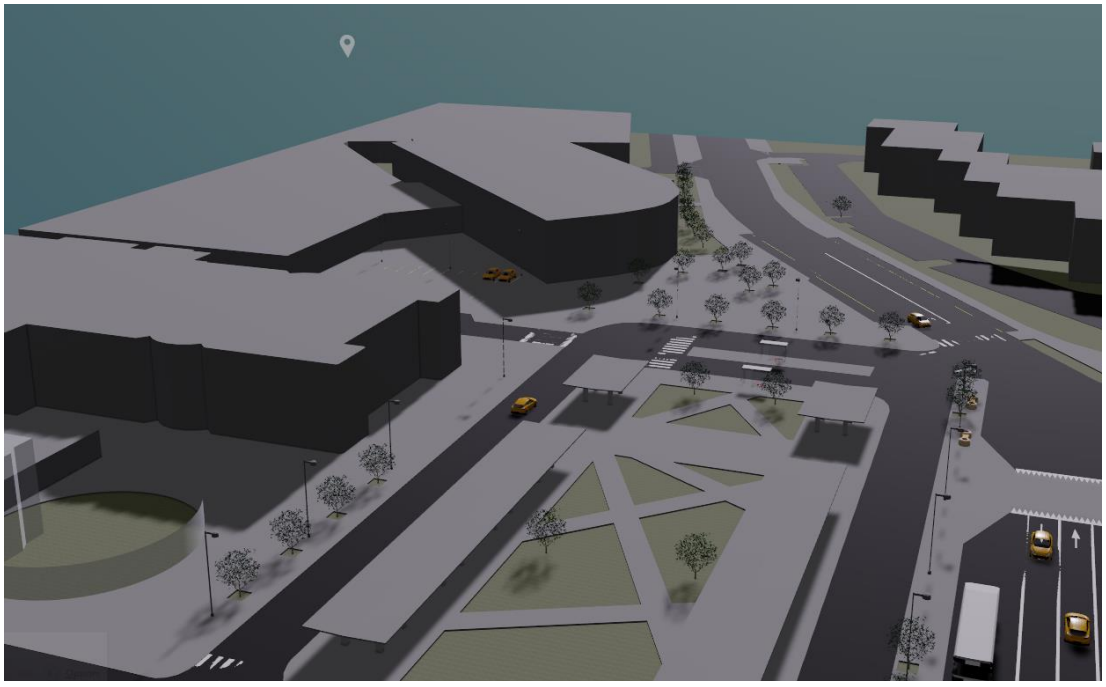


Figura 12 Screenshot del modello del Contesto in Autodesk Live

Capitolo 2
CASO STUDIO

Il fattore più importante nelle fasi preparatorie per l'inserimento di una grande infrastruttura in un contesto fortemente urbanizzato è il tempo. La durata di questa fase infatti non riguarda solo i fruitori delle strade ma interessa anche l'intera comunità limitrofa all'area di progetto.

Da ciò si evince come sia necessario avere una pianificazione più che dettagliata a causa della complessità e dell'impatto sociale che può avere il progetto.

La redazione di una pianificazione delle fasi ottimale è tutt'altro che banale. Data la moltitudine delle variabili in gioco è un'operazione assai complessa. È necessario un elevato livello di coordinamento tra tutte le figure professionali coinvolte per ottenere *l'optimum phasing plan*.

Nasce proprio da qui la necessità di avere in un unico file la moltitudine di informazione necessarie al coordinamento ed alla gestione di una così complessa fase della costruzione. Con l'unico fine di evitare errori di *Workflow Cash*, cioè un conflitto di tipo temporale che si verifica quando due oggetti del cantiere sono progettati in modo da collidere o sovrapporsi in fase di montaggio. Tutto ciò va gestito e pianificato agendo lungo la quarta dimensione. Permettendo sì la presenza di due "elementi" nella medesima posizione ma in tempi distinti.

Il lavoro che ne seguirà sarà quello di ottenere un piano di *phasing* di costruzione fattibile e ottimale valutando il rischio di potenziali scontri spazio-temporali. Il tutto nell'ottica dinamica di tenere traccia di tempi e costi al semplice variare di talune o altre variabili.

I vantaggi del metodo proposto sono evidenziati e la sua fattibilità è esplorata attraverso un caso studio.

2.1 **Stato dell'arte**

La pianificazione, organizzazione e gestione del cantiere tramite una metodologia BIM (4D e 5D) non è stato oggetto di uno studio specifico. Si è quindi attinto da lavori di ricerca mirati ad una gestione temporale delle fasi di costruzione e demolizione quanto più simili al lavoro in oggetto. Il tutto con lo scopo di ricavare una metodologia di base per poi sviluppare un approccio consolidato.

In prima battuta si propone uno studio condotto dal Politecnico di Torino a cura di Antoniello Matteo [1] nel quale si prefigura la metodologia del PM applicata al caso studio di un intervento industriale il tutto sviluppato con la procedura BIM.

L'intervento prevedeva la sostituzione del vecchio impianto di aspirazione a pavimento con un nuovo sistema. In questo studio sono state sviscerate parte delle problematiche legate alla modellazione di elementi in diverse fasi di costruzione. Nello specifico lo studio prendeva in esame due fasi distinte; lo stato di fatto e l'intervento.

La fase di modellazione geometrica ed informativa è stata gestita dal software Autodesk Revit dalla quale si è poi passato ad un modello di coordinamento su Autodesk Naviswork il tutto gestendo il cronoprogramma dall'applicativo Microsoft Project.

Si è dimostrato come, nonostante l'apparenza delle due piattaforme alla medesima *Software House*, si riscontrassero dei problemi a livello di migrazione delle fasi di costruzione (nonostante fossero solo due) e nel renderizzare alcune texture dei materiali.

Degno di nota è lo studio condotto da Mohammed Mawlana, Faridaddin Vahdatikhaki, Ahmad Doriani, Amin Hammad [2] i quali hanno analizzato le problematiche di costruzione di un'autostrada sopraelevata in un contesto fortemente urbanizzato. Dove; una complessa geometria dell'opera e spazio per la realizzazione limitato portano facilmente a delle criticità di "*spatiotemporal clashes*".

Questo articolo propone un nuovo metodo per generare e valutare piani di *phasing* della ricostruzione e calcolare la probabilità di scontri spazio-temporali, associati al piano delle fasi ottimali e fattibili. Un approccio di valutazione del piano delle fasi che

utilizza un vincolo di sistema basato sulla modellazione 4D è presentato per definire le sequenze possibili in cui i "segmenti" di strada possono essere costruiti o demoliti.

Il risultato di questo passaggio è un piano di fasi ottimali, fattibile che soddisfa un insieme di vincoli predefiniti e non crea conflitti spazio-temporali. Questo viene quindi esaminato per calcolare la probabilità di potenziali scontri spazio-temporali che possono verificarsi.

La probabilità che si verifichino o meno è definita dall'intersezione di due pdf (*probably density function*), le quali rappresentano la distribuzione delle durate per i processi di demolizione e ricostruzione dei tronconi della sopraelevata. La fattibilità del metodo proposto viene poi esplorata attraverso un caso di studio di una ricostruzione di un autostrada cittadina.

Un altro importante studio fonte di ispirazione è stato quelle condotto da Martijn Trebbe,Timo Hartmann, André Dorée [3] dell'università di Twente in Olanda . Quest'ultimi hanno analizzato le diverse criticità che si possono creare quando in un grande cantiere vengono a trovarsi diverse squadre di lavoro di diverse società. I compiti devono essere allineati per consentire la consegna nei tempi stabiliti del progetto. Per fare ciò si sono avvalsi di una modellazione 4D di tutte le fasi del progetto (caso studio ristrutturazione stazione ferroviaria) nel quale andavano ad investigare le possibili interferenze tra le diverse operazioni.

Altro studio degno di nota è quello effettuato dalla Korea Institute of Construction Technology condotto da HyounSeok Moon [4] nella quale non ci si limita alla valutazione delle interferenze dei "corpi" della costruzione. Bensì affronta il problema del *Work-Space conflicts*, cioè l'inefficienza del processo di costruzione dovuta alla presenza, su una medesima area di lavoro, di più squadre di persone che, per forza di cose, tendono ad ostacolarsi l'un l'altro.

In particolare, se le attività devono essere svolte in sequenza l'area in cui saranno svolte sarà soggetta a "conflitti" provocati dalla contemporanea presenza di più persone in un'area limitata.

Il documento presenta un metodo per identificare le aree conflittuali e, una volta identificate, un algoritmo pianificherà al meglio la zona di lavoro. È stato inoltre

sviluppato un sistema di "*Conflict verification*" per analizzare le informazioni dell'area di lavoro integrando algoritmi che includono la generazione automatica di modelli dell'area di lavoro e un controllo automatico dell'area di lavoro conflitto all'interno di un simulatore 4D. Se un *Project Manager* può identificare l'area di lavoro soggetta a conflitti utilizzando il sistema descritto, le attività sovrapposte possono essere ripianificate per ridurre al minimo i contrasti.

Per comprovare la vanità del metodo è stato condotto un caso studio sulla costruzione di un ponte.

Sempre protagonista la modellazione 4D nello studio di P.P.A Zanen [5] della Twente University dove affronta le problematiche legate alla costruzione di un'autostrada in un contesto urbano e come quest'ultimo influenzi la vita della popolazione limitrofa all'intervento.

Propone una modellazione 4D nella quale viene esposto chiaramente il come ed il quando gli interventi saranno realizzati. Il tutto in un'ottica di maggiore comprensione verso i non addetti; rispetto ad un classico disegno 2D.

Quindi oltre ad una prima attività di PM vengono anche affrontate le problematiche culturali di far apprendere con maggior chiarezza alla popolazione interessata la "crescita" dell'opera e dell'impatto che potrà avere sulle vite di quest'ultima.

Analizzato largamente la quarta dimensione del progetto soffermandosi su uno studio della The Hong Kong University condotto da QiqiLu [6] il quale approccia il problema dei costi del progetto sotto un'altra ottica. Prende per assodata la metodologia del BIM 5D per tenere sotto controllo i flussi di cassa in uscita ponendo l'attenzione sui flussi in entrata. Fondamentali per la riuscita del progetto.

Esempi illustrativi sono dimostrati per convalidare la struttura proposta considerando due scenari ipotetici. I risultati mostrano che il framework può aiutare gli appaltatori ad analizzare il flusso di cassa e prendere le decisioni appropriate per diverse alternative di schemi di progettazione e di pagamento nei progetti di costruzione.

2.2 **Finalità**

Le principali finalità dello studio che si andrà a proporre sono la creazione di una procedura standard e delineata, in accordo con la UNI 11337, della gestione delle attività di cantiere che precedono uno scavo di grandi dimensioni in un'area fortemente urbanizzata, il tutto inserito in una procedura generale che comprenderà l'intero svolgimento del progetto. Gestito con gli strumenti del PM, in accordo con la norma UNI 11648, nell'ambito BIM.

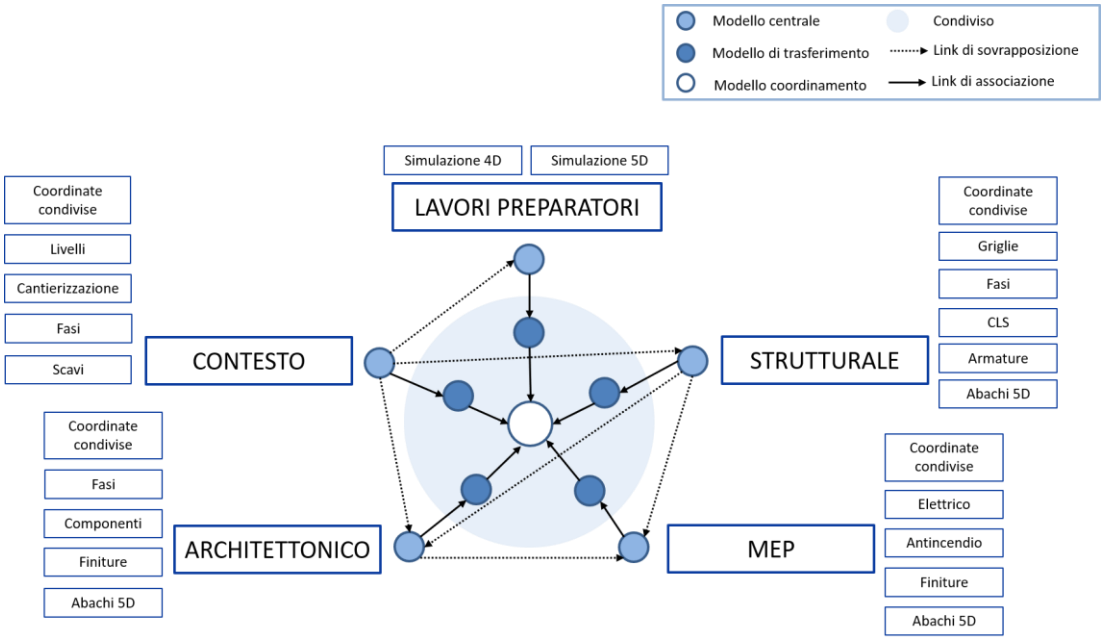


Figura 13 Schema "tipo" modello di coordinamento caso studio Parigi-SEB

In questa tesi ci occuperemo quindi di 3 vertici di questo pentagono. Il contesto, MEP e i lavori preparatori.

Si riporta in seguito un *flow-chart* nel quale vengono rappresentate le operazioni svolte nell'elaborato di tesi, che saranno sviscerate nei capitoli successivi.

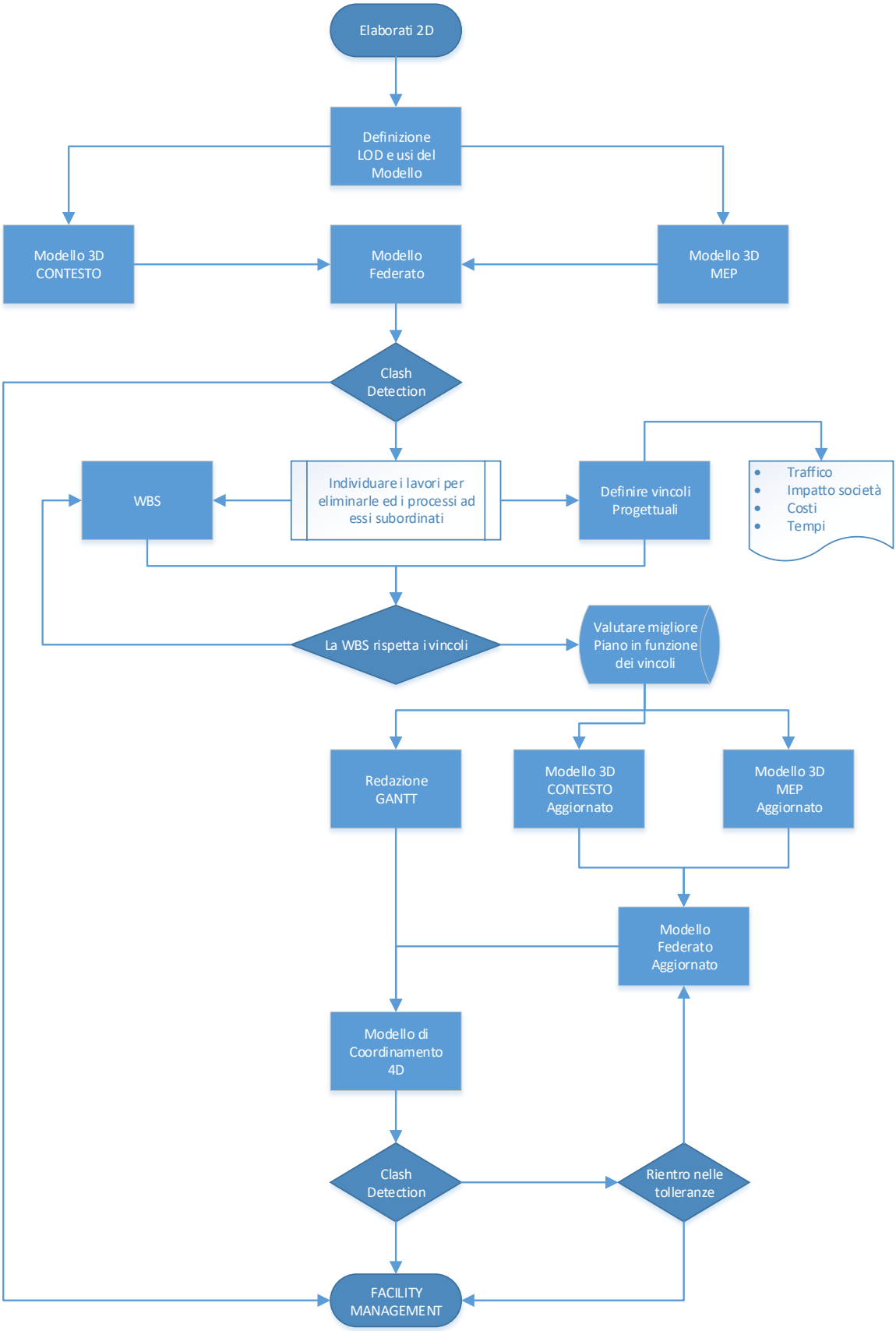


Figura 14 Flow-chart

Capitolo 3
MODELLAZIONE

Il primo passo nel processo di progettazione di un intervento edilizio, qualunque esso sia, è la necessità di inserire nel modello quante più informazioni possibili rigiuranti lo spazio interessato e la struttura stessa.

Tuttavia, il livello di dettaglio della modellazione segue precise regole, in funzione del tipo di intervento da progettare e della scala di rappresentazione.

D'altro canto, quante più informazioni saranno inserite nel modello, tanto più sarà facilmente fruibile dai professionisti che seguiranno nell'iter di progettazione o della manutenzione. I vantaggi di una progettazione che segue queste prerogative sono molteplici. Basti pensare come può essere d'aiuto in una valutazione energetica sapere l'esatta stratigrafia di ogni elemento strutturale e non presente nell'edificio. Altro esempio è di come la modellazione MEP[2] torni utile in una prima fase per evitare interferenze tra impianti ed elementi strutturali e nella manutenzione stessa dell'impianto.

Tutto questo per evidenziare come la modellazione con applicativi quali; Revit o Microstation, vadano in questa direzione ormai da anni. Si passa quindi dal semplice disegno, come avveniva con AutoCAD, ad una rappresentazione sempre più fedele della realtà nelle tre dimensioni in tutti i sui aspetti: strutturale, impiantistico, energetico, meccanico etc.

Tutte queste informazioni saranno poi così facilmente richiamabili attraverso degli abachi (vedi 2.2.4). Nell'ottica di una sempre più facile fruizione dell'informazione.

Come detto in precedenza il livello di dettaglio è quindi funzione dell'obiettivo del modello. Si riportano nel seguito le tabelle informative che andranno a definire il

[2] Mechanical, Electrical and Plumbing, racchiude i tre settori del settore edile seguiti da una società di ingegneria dedicata

livello di dettaglio utilizzato nella modellazione. Il tutto in accordo con la UNI 11337-4. (vedi paragrafo 1.2.1.1)

Definiremo quindi l'obiettivo del progetto in caso; quello di uno studio di fattibilità. Ci si colloca quindi nelle fasi che compongo il processo informativo delle costruzioni in "Fattibilità e Sostenibilità".

Vengono quindi definiti in tabella i LOD, in accordo con la UNI 11337, nella tabella seguente per gli oggetti modellati.

Fattibilià e Sostenibilità		
Oggetto	Categoria LOD	LOD
Edifici	Edifici	A
Macchinari	Macchine ed Attrezzature	C
Strade	Infrastrutture	D
Impianti	Impianti	C
Terreno	Terreno	A
Reti	Facciate Continue	C

Figura 15 LOD utilizzati nel modello

3.1 **Tipologie di Modellazione affrontate**

Data la natura sperimentale del caso studio non vi era una strada delineata da seguire per giungere allo scopo di modellare correttamente il progetto. Con i livelli di dettaglio e le fasi definite.

È stato effettuato un primo test di modellazione tramite l'applicativo Autodesk Infraworks 360. (vedi 1.1.2.1)

Tuttavia, nonostante le potenzialità del software, non si è raggiunto il risultato sperato. Le prime difficoltà sono apparse subito, durate la creazione del modello da parte del *model builder*. Quest'ultimo infatti risultava dissimile dalla realtà, dovuto anche alla complessità del sito, minandone l'effettiva utilità. Si è preceduto quindi, in un primo momento, alla correzione del modello andando ad editare coi *tools* del programma quelle che erano le inesattezze.

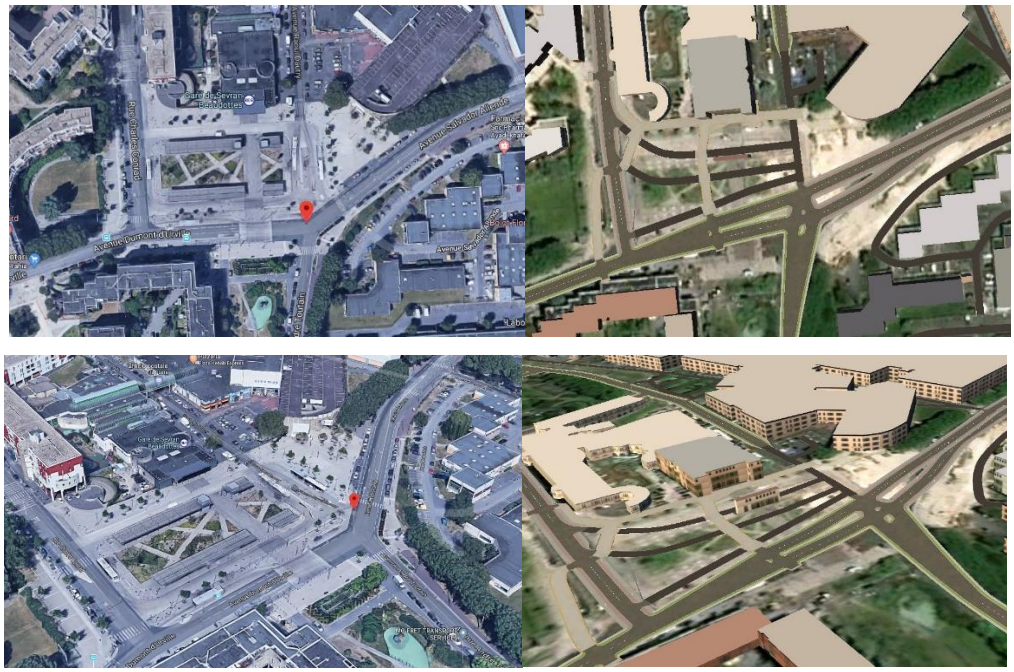


Figura 16 Differenze tra reale e modello Infraworks 360

Una volta ottenuto un risultato congruo con i LOD definiti del capitolo precedente si è iniziato ad elaborare le fasi del progetto ed alla loro modellazione.

Qui si è riscontrato un altro limite del software. Quest'ultimo infatti dà la possibiltà di creare più scenari possibili all'interno di uno stesso modello ma quest'ultimi non hanno memoria. Mi spiego meglio; all'atto della creazione degli scenari sarà poi necessario migrare il "processo/progetto" verso una piattaforma di coordinamento di tempi e costi. È proprio in questa fase che si sono verificate le principali criticità:

- La non capacità di esportazione dell'intero progetto ma ben si solo della fase visualizzata a schermo;
- Gli elementi strade vengo "letti" come un unico grande elemento e ciò rende difficoltosa la gestione nell'ottica di simulare interventi stradali in diversi lassi temporali;
- Incapacità del software di ricreare, più o meno fedelmente, una viabilità non banale come quella in esame (per non banale si intende un incrocio nel quale convergono quattro strade ed una di servizio).

Per tutte queste ragioni si è ritenuto opportuno abbandonare lo strumento Naviswork 360 in favore di una piattaforma ben più gestibile e strutturata come Revit.

Si è quindi potuto progettare il lavoro in ambiti d'intervento, simulando cioè quello che dovrebbe avvenire nella pratica professionale in un'ottica di *co-working*.

Cioè ogni specialista opera nella sola sua area di competenza in un file satellite che invia continui aggiornamenti ai modelli disciplinari. L'interazione di questi modelli è gestita tramite strumenti di *clash detection* che avvertono il team di progetto di eventuali errori ed incongruenze.

3.1.1 *CONTESTO*

Nel corso della tesi l'obiettivo ha previsto la modellazione del contesto. Con gli strumenti forniti dalla scheda "Volumetria e Planimetria", si è ricreato quanto più fedelmente il contesto generale rispettando i criteri dei LOD definiti nella Fig. 11.

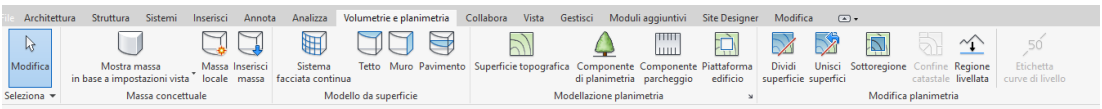


Figura 17 Tool's della scheda "Volumetria e Planimetria"

Il primo passo è stato quello di creare una superfice topografica di un'estensione tale che ben rappresentasse tutti gli elementi in gioco. Data la natura in essere del sito, quasi pianeggiante, si è deciso per semplicità di assumere una superfice pianeggiante.

Si è adoperato lo strumento "sotto-regione", il quale permette la definizione di un'area all'interno di una superfice topografica ma non ne determina la divisione.

Tuttavia, è possibile applicare a quest'area delle proprietà specifiche come composizione, spessore, strati etc.

Si è quindi proceduto alla rappresentazione delle attività di cantierizzazione definite nella WBS organizzando il lavoro per macro-fasi. Ben presto ci si è resi conto di come lo strumento utilizzato per la creazione del contesto, sotto-regione, evidenziasse degli enormi limiti nella gestione delle operazioni eseguite in diverse fasi temporali. Rappresentate dalle fasi.

Lo stesso è accaduto con lo strumento "Piattaforma Edifici"; benché sicuramente più adatto rispetto al precedente, risultava anch'esso di difficile utilizzo in previsione di un'organizzazione per molte fasi di progetto.

In *extrema ratio* si è provato ad utilizzare lo strumento "Site Designer" il quale grazie al tracciamento di linee *master* ricalca su di esse superfici stradali delineate nelle famiglie. Mezzo indubbiamente performante che però mal si adatta ad una realtà di lavoro preparatori. Dove porzioni di strade vengono demolite e ricostruite in ogni fase; risultando quindi di difficile gestione.

Alla luce dei risultati ottenuti si è quindi virato verso un *tool* non pensato per gli elementi di planimetria e contesto ma che ben si adattasse allo scopo. Permettesse una gestione dinamica durante le fasi di progetto e che consentisse un adeguato livello d'informazione da estrapolare, sotto forma di abaco, alla fine del progetto.

Lo strumento in questione è "Pavimento" nella scheda Architettura. Si sono definiti due tipologie di quest'ultimo; uno che rappresentasse il manto stradale ed un per i marciapiedi.

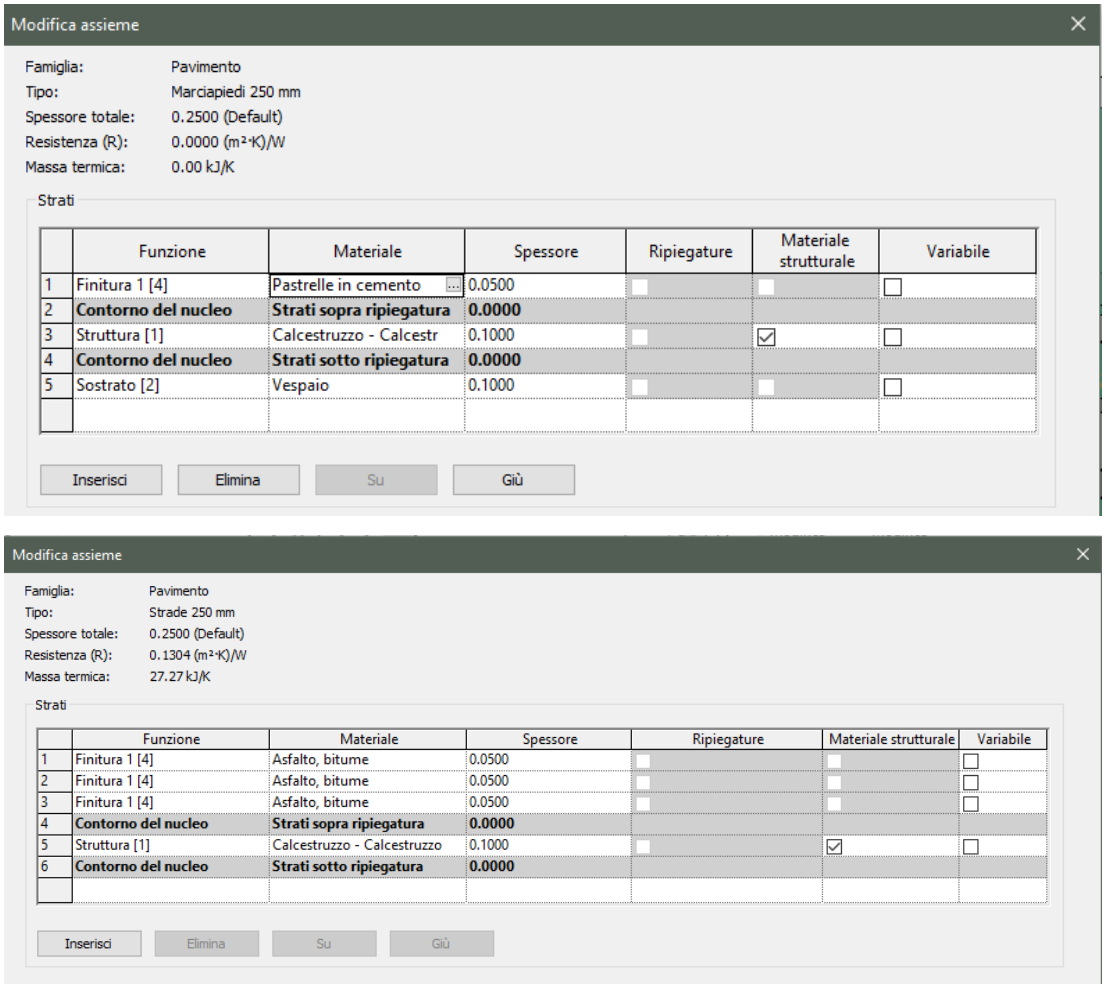


Figura 18 Definizione stratigrafia Marciapiedi e Strade

Definite queste due categorie si è passato alla fase di modellazione e ricreazione delle fasi preparatorie. Arricchendo il modello con diversi elementi di dettaglio; alcuni in funzione del progetto, altri per il solo aspetto visivo.

Si riportano a titolo d'esempio il confronto tra il reale ed il modello allo stato di fatto. Il restante output grafico della modellazione viene riportato in allegato 6.

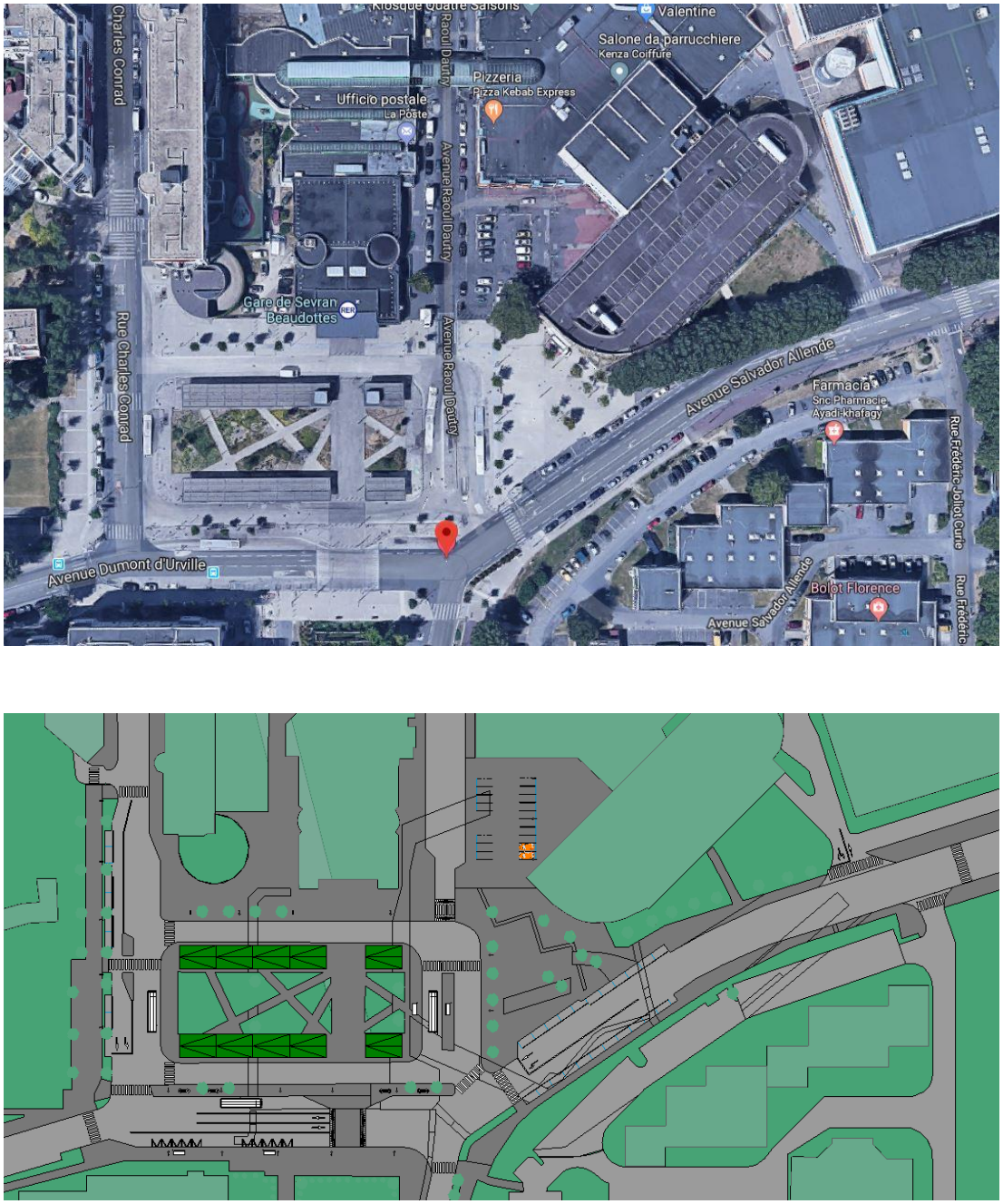


Figura 19 Confronto tra Modello & Realtà (vista dall'alto)

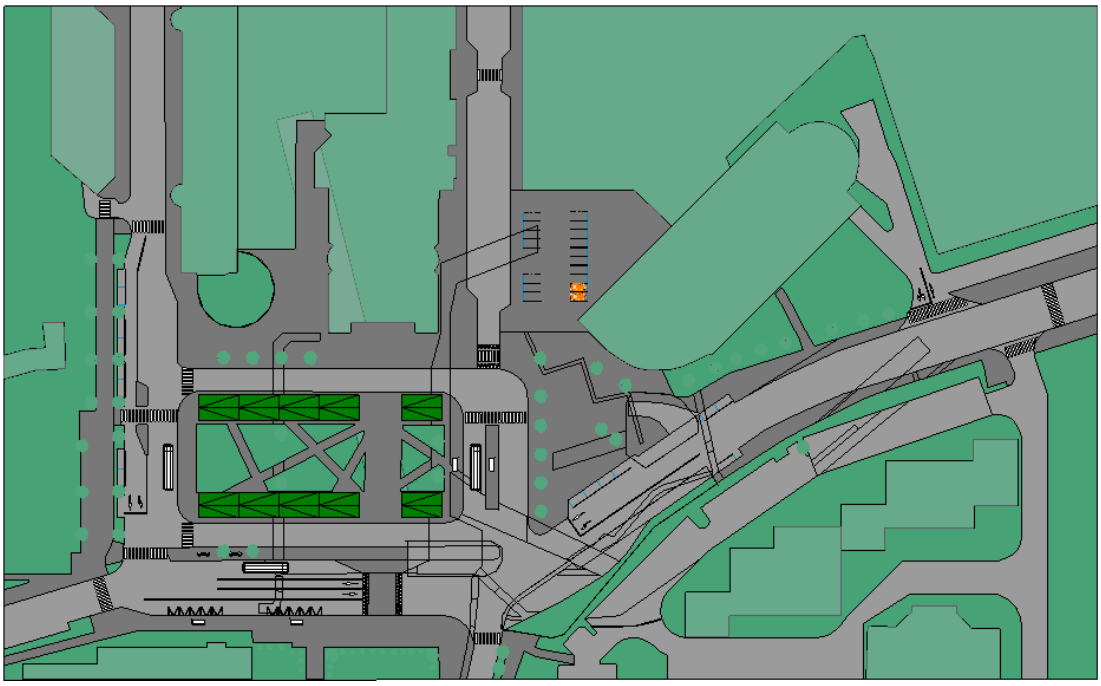


Figura 20 Modellazione 3D Fase 1

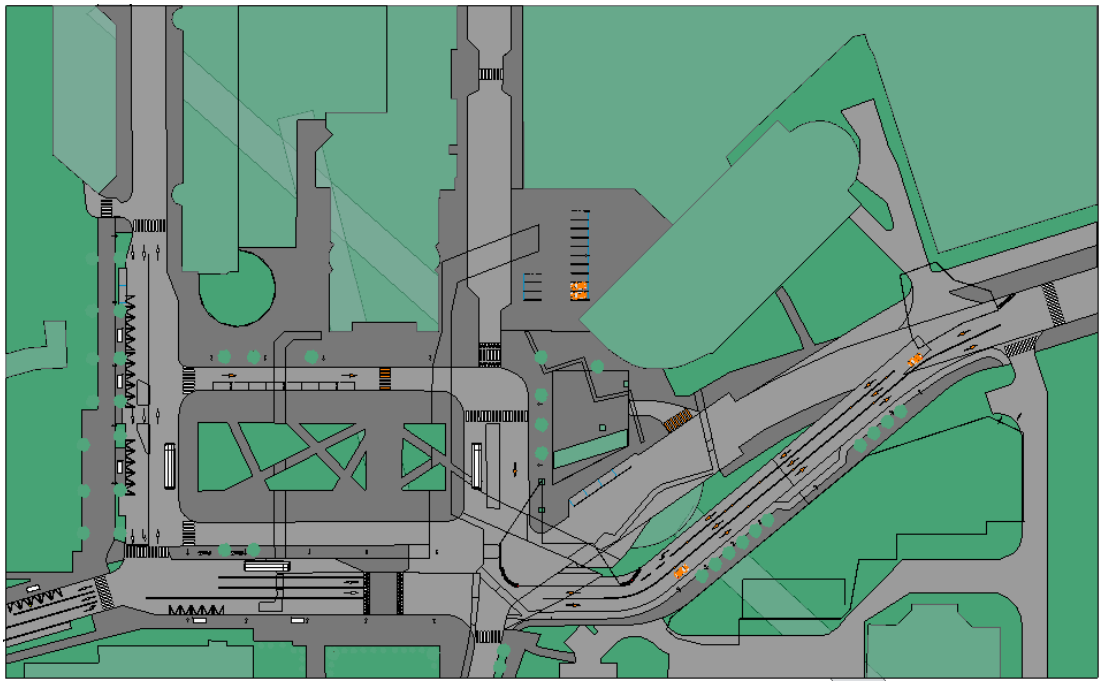


Figura 21 Modellazione 3D Fase 9.2

3.1.2 *MEP*

Questa fase di modellazione è stata gestita e prodotta in un altro modello Revit. Il tutto per simulare un ambiente di *co-working*. Si è quindi proceduto con la ricreazione fedele dell'esistente nella zona d'interesse per poi perdere di dettaglio nelle zone periferiche del modello.

Gli elementi modellati in questa fase sono molteplici, tra i più importanti troviamo la rete di deflusso idrico nominata "DEA". La quale sarà oggetto di un importante lavoro di deviazione data la sua collocazione in corrispondenza dello scavo.

Anche altri sottoservizi come rete idrica, elettrica, teleriscaldamento e gas metano sono state oggetto di deviazioni più o meno marcate in funzione della loro posizione.

Si precisa come questa fase di modellazione è stata condotta imponendo alcune ipotesi dovute alla mancanza di informazioni fondamentali per la redazione di un modello preciso. Come per esempio la mancanza delle quote di passaggio dei sottoservizi, eccezion fatta per la DEA. Si son presi quindi come riferimento i livelli minimi da normativa.

Tipo	Livello[m]	ϕ[mm]	Codice
Elettricità (ERDF)	-1	ϕ40	E.HTA
Elettricità (ERDF)	-1	ϕ40	E.BTA
Sistemi in Pressione			
teleriscaldamento	-0.7	ϕ125	CHA
fornitura di acqua potabile	-0.5	ϕ100	AEP
acqua non potabile	-0.5	ϕ100	ENP
Gas	-0.8	ϕ125	GrDF
Sistemi a Gravità (0.1%)			
acqua piovana	<-4.78	ϕ1800	EPD
acque di scarico dipartimentali	<-4.78	ϕ800	EUD

Figura 22 Tipi, diametri e livelli dei sottoservizi

Partendo quindi dalla cartografia impiantistica in 2D, importata su Revit, è stato sviluppato il modello in 3D.

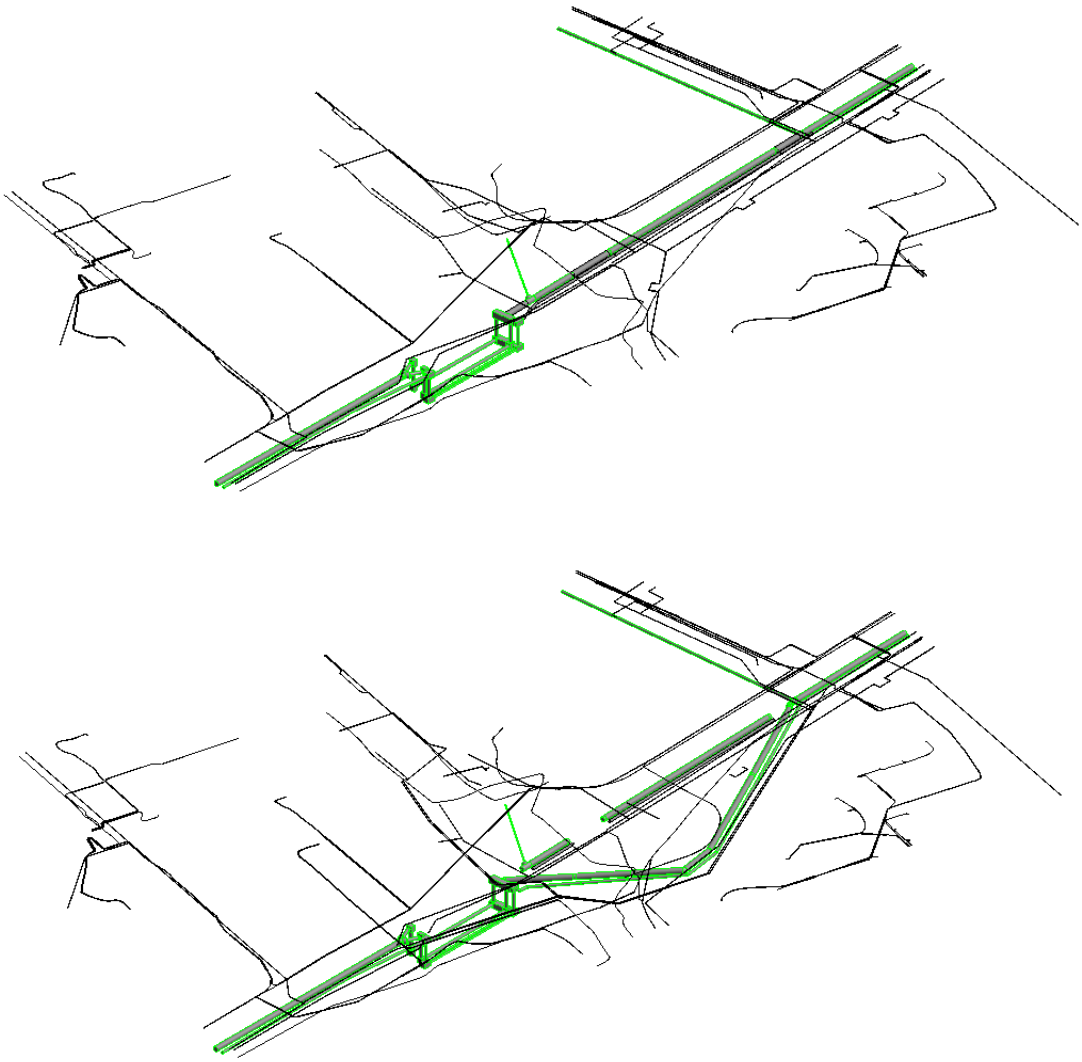


Figura 23 Vista degli impianti nello stato di fatto e nella fase finale

Cosa fondamentale nell'ottima del *co-working* è quella di definire a priori un'impostazione univoca del modello in termini di: nomi delle fasi, parametri condivi, modelli di vista etc. Cosi che quando i modelli satellite convoglieranno del modello centrale si avrà una perfetta cooperazione tra i modelli. Il tutto a vantaggio del modello di coordinamento dove, per esempio, non si avranno una ridondanza di Fasi di progetto; ma quelle col medesimo nome, quindi tutti gli elementi associati, convoglieranno in un'unica Fase.

3.2 **Il modello BIM**

Si è già ampiamente discusso delle diverse tipologie di modellazione in campo BIM utilizzando il software Revit; in questo passo, cercheremo di porre attenzione su quali siano le caratteristiche e gli aspetti principali di un "*Modello BIM Oriented*".

Con queste parole si vuole andare a rappresentare un approccio alla progettazione che prende le distanze dal passato, non vuole più essere una modellazione puramente formale ma una modellazione d'informazioni.

Una costruzione progettata mediante questa filosofia ha delle potenzialità infinite, con enormi sbocchi per implementazioni future.

Basti pensare alla quantità d'informazioni utili portate dal fatto che ogni progettista, figura professionale, ente che collabora o contribuisce alla realizzazione dell'opera implementi all'interno di un unico modello informazioni riguardanti il suo settore. Va a crearsi quindi un database di informazioni che non sono immobili, statiche.

Alla base del processo vi è infatti il concetto che non solo questi dati posso interagire tra loro, e quindi creare nuove informazioni, ma anche che al variare di parametri fisici e meccanici il modello 3D si aggiorni.

3.2.1 *Organizzazione per fasi*

Nell'ottica di una simulazione in 4D la fasizzazione dell'opera infrastrutturale assume un significato fondamentale. A questo proposito è necessario definire una corretta codifica delle fasi di demolizione e costruzione all'interno del modello. Ogni fase può poi essere suddivisa in diverse attività, codificate in modo da riflettere la successione temporale e il costo relativo.

La nomenclatura adottata prevede un duplice livello:

- Il primo livello definisce la macro-fase di appartenenza;
- Il secondo livello invece è definito attraverso un numero progressivo rispetto al numero di macro-fase.

Esempio:

1. Fase 1
   1.1. Demolizione che separa il viale pedonale Dumont d'Urville incluso l'abbattimento di 2 alberi
   1.2. Rimozione parziale dei parcheggi e attraversamento pedonale totale su Allende Avenue East…
   1.3. Lavori stradali prima dell'installazione dell'area di stoccaggio del rivenditore compreso l'abbattimento di 2 alberi.

Un altro passaggio per organizzare al meglio il lavoro ed avere una più facile e chiara comprensione è quella di organizzare il Browser di Progetto per Fasi e poi per Discipline.

Vediamo come nell'esempio in calce si mettano in evidenza tutte le macro-fasi, indicizzate come descritto pocanzi, ed al loro interno una separazione che avviene per le 3 discipline; quali Elettrico, Idraulico e Meccanico.

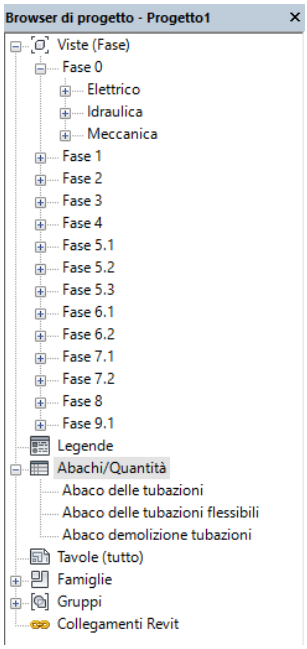


Figura 24 Impostazione Browser di Progetto

3.2.2 *Codifica elementi*

Nei modelli complessi sono presenti una moltitudine di oggetti di varia natura; dallo strutturale, all'architettonico, impiantistico etc.

Qualora si avesse la necessità di richiamare uno di questi componenti, il software offre una classificazione per famiglie e tipologia tale da richiamare l'oggetto. Questo sistema entra in crisi qualora il modello presenti al suo interno molteplici informazioni. Vi è quindi la necessità di associare ad ogni elemento un codice, in maniera tale che quando richiamato si identifichi esattamente famiglia di appartenenza e posizione dell'oggetto. Per il nostro caso il codice identificativo prende il nome di "Codice

Elemento". Questo permetterà anche una più facile creazione di gruppi di selezione all'interno del software Naviswork.

La codifica degli elementi è regolata dalla UNI 8290 che suddivide in categorie i materiali edili in funzione della loro destinazione d'uso, seguito dalla tipologia dell'elemento ed infine un codice progressivo che ne identifica la posizione all'interno del sistema globale.

Questo utile strumento di codifica tuttavia mal si adattava alle esigenze di progetto. Si è quindi progettato, sulla base dell'UNI 8290, un nuovo codice che comprendesse tutti i parametri necessari per identificare correttamente tutti gli oggetti.

Il codice si compone di compone di 4 livelli, composti come mostrato in Fig. 24, in seguito viene riportato un esempio: ES: SEB_STD_PI_1.1

Livelli	Desrizione
0	progetto appartenenza
1	posizione
2	tipo elemento
3	fase

Figura 25 Livelli di Codifica Elementi

In allegato 4, in calce al documento, viene riportato l'intero sistema di codifica.

Un altro utilizzo che implementa il sistema BIM è quello di associare ad ogni codice un URL o un documento che arricchisca di informazioni che non sono presenti nel modello. Prendendo come esempio i condotti di deviazione della DEA, sarà possibile allegare in pdf la scheda ergotecnica (vedi allegato 5) o collegare direttamente al sito del produttore con le tecniche di montaggio ed installazione.

Il procedimento può essere ulteriormente implementato; andando ad assegnare per ogni elemento del cantiere, che necessita di particolari lavorazioni, un codice a barre che potrà essere scansionato/letto con un qualsiasi dispositivo mobile o smartphone collegato alla rete per poter scaricare e visionare le informazioni.

Immaginiamo come questo processo possa migliorare l'attività di stoccaggio del materiale. Le informazioni posso essere visualizzate in tempo reale, senza più perdite

di tempo e quindi riducendone le tempistiche. Da queste non posso che derivarne benefici organizzativi e minor costi.

3.2.3 *Abachi*

Questi sono viste del software utilizzato (Revit) per riportare dati alfanumerici. Sono tabelle, elenchi, computi creati tramite le informazioni contenute all'interno del modello. Quest'ultimi sono a tutti gli effetti viste di modello con le loro relative informazioni. Uno dei punti di forza del sistema BIM è proprio la capacità di modifica, aggiornare questi abachi molto velocemente. La caratteristica principale degli abachi è che si avrà una corrispondenza biunivoca tra abaco e modello, quindi; la modifica su un abaco comporterà la modifica del modello e viceversa. Questi strumenti assumono tanta più importanza quanto più sono le informazioni all'interno del modello.

Una delle principali caratteristiche è che possono essere esportati in file .txt il quale sarà poi facilmente letto dall'applicativo Microsoft Excel per creare dei veri e proprio database.

Nel caso oggetto di studio in questa tesi sono stati estrapolati diversi tipi di abachi in funzione del tipo di modello (Contesto e MEP) con la finalità di gestione dei costi nelle diverse fasi che costituiscono l'opera.

Nel modello "Contesto" sono stati creati due abachi distinti: il primo per rendicontare la costruzione di marciapiedi e strade ed il secondo per la demolizione di quest'ultimi. (vedi allegato 3)

Abaco strade/marciapiedi_Demolizioni								
fase	codice elemento	Descrizione	Area [m²]	Volume [m³]	V. sciolto [m³]	Peso [t]	Fase di creazione	Fase di demolizione
Fase 1								
1.1	SEB_STS_I_1.1	Marciapiede	96	23.91	28.69	50.21	Esistente	Fase 1
1.2	SEB_STS_M_1.3	Marciapiede	225	56.3	67.56	118.23	Esistente	Fase 1
1.3	SEB_ZS_MST_1.3	Marciapiede	85	21.32	25.58	44.77	Esistente	Fase 1
			406.00	101.53	121.84	213.21		

Figura 26 Esempio di Abaco del modello "Contesto"

Una volta in possesso di questi dati è possibile tenere sotto controllo il progetto sotto ogni suo aspetto. Riportiamo come esempio un grafico nel quale si vanno a rendicontare flussi e pesi che dovranno essere traportatati nelle varie fasi di demolizione.

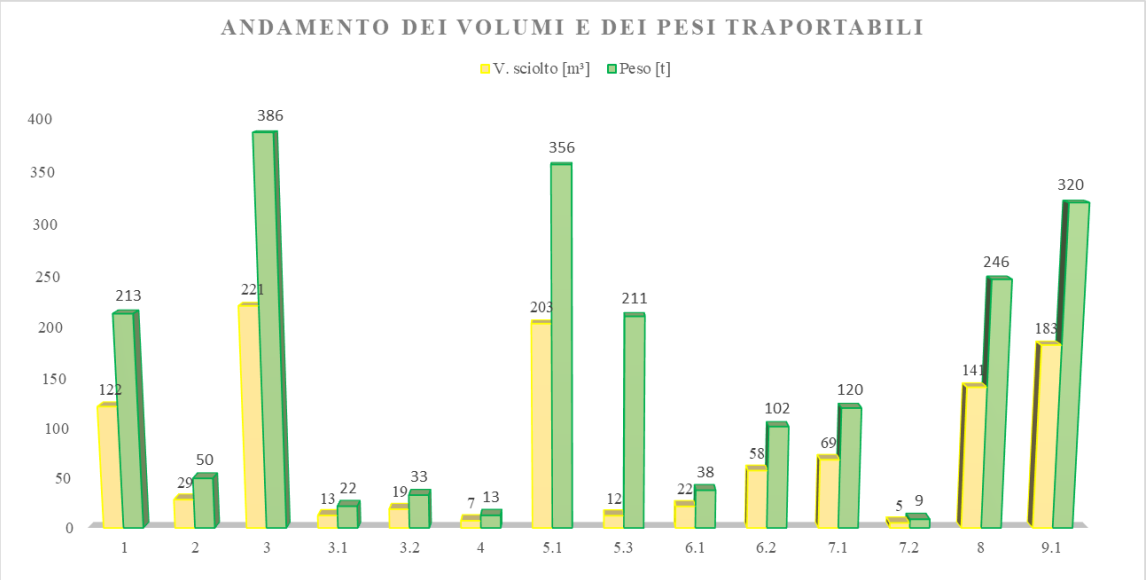


Figura 27 Andamento dei Volumi e dei Pesi trasportabili per ogni fase

Nel secondo modello, quello riguardante il MEP, sono stati estratti abachi per tener conto dei materiali utilizzati. Così da poter eseguire un computo rigoroso e scevro da errori. Se ne riposta un piccolo esempio in Figura 27. Per consultare l'intero abaco vedi allegato 3.

Abaco delle tubazioni							
codice elemento	fase	Fase di creazione	Fase di demolizione	Diametro	Lunghezza [m]	Costo[€/m]	Total Cost [€]
Fase 2							
SEB_SS_EPD_2.1	2.1	Fase 2	Nessuno	1800 mm	16.46	150	2469
SEB_SS_EUD_2.1	2.1	Fase 2	Nessuno	800 mm	13.58	100	1358

Figura 28 Esempio di Abaco del modello "MEP"

3.3 **Dal modello all'esportazione di dati**

Come si è ormai chiaramente compreso l'esecuzione del progetto, qualunque esso sia, prevede una cooperazione di più figure professionali. Cosi come la redazione dello stesso.

Nonostante le grandi potenzialità del software Revit è necessario effettuare un'esportazione del modello, con esso anche le informazioni che contiene, verso applicativi pensati per compiere operazioni specifiche; come per esempio quella della gestione di tempi e costi delle operazioni (BIM 4D&5D).

In questa tesi è stata esplorata la capacità di migrazione delle informazioni tra due applicativi della stessa *software house* come Revit e Naviswork; i quali hanno dimostrato una buona capacità di comunicazione.

3.3.1 *Tipologie di dati esportati*

È di primaria importanza in questa fase capire quale tipologia di dati risulteranno utili ai fini dell'analisi. Come detto a più riprese i modelli BIM sono un insieme di molteplici informazioni con diversi formati. I software utilizzati successivamente all'esportazione utilizzeranno sono parte di essi, non tutti saranno importabili.

Il primo processo di esportazione affrontato è quello riguardante gli abachi di Revit, che come ampiamente detto nel capitolo 2.2.3 sono di notevole importanza per la loro capacità di sistemi delle informazioni contenute nel modello.

Dal modello è anche possibile esportare elaborati grafici ricavati dalle viste di progetto. È possibile la creazione di layout personalizzabili ricchi di infinite annotazioni grafiche e testuali proprie del disegno tecnico. La potenzialità del modello 3D sta poi nel fatto che è possibile ricavare un innumerevole numero di tavole aggiuntive sfruttando gli strumenti di vista di Revit, come richiamare le informazioni riguardanti gli impianti antincendio, mette in evidenza le uscite di sicurezza o anche creare rendering fotorealistici o concettuali del progetto in ogni sua parte.

In ultimo l'esportazione delle sole geometrie, cioè tutti i punti di calcolo presenti nel modello.

3.3.2 *Gestione dati esportati*

In questa sezione si approfondirà l'utilizzo che verrà poi fatto dei dati esportati elencati nel capito precedente.

Dall'informazione di tipo tabellare è possibile ricavare i rapporti più disparati. Fondamentale in questo processo è l'interoperabilità tra output di Revit per gli abachi (.txt) e gli applicativi della casa di Redmond quali: Excel e Word. Un esempio di questo processo è riportato al capitolo 2.2.3.

L'intero modello è stato infine traferito nell'applicativo Naviswork avendo cura di esportare tutte le informazioni riguardanti il processo di fasizzazione (operazione

possibile collocandosi nell'ultima fase di progetto ed operando sul filtro di fasi impostandolo su "Nessuno").

3.3.3 *Problematiche e criticità*

In questo capitolo affronteremo i principali problemi d'affrontare una modellazione di un contesto così ampio per il programma Revit.

Partiamo col dire che trovare la via di modellazione adeguata a ricreare le fasi di demolizione e creazione del manto stradale e dei marciapiedi ha richiesto molteplici settimane. Come spiegato all'inizio del capito "Modellazione" si è dovuto intraprendere un'azione di ripiego. Questo perché le vie più consone, per un contesto planimetrico, mal si adattavano alla creazione e demolizione di uno stesso elemento in diversi lassi temporali nella medesima posizione.

Altro punto problematico è stato quello dell'esportazione dei dati in Naviswork. Quest'ultima ha dovuto essere intrapresa per tentativi fino al raggiungimento del risultato atteso. Il tutto per la mancanza di una chiara guida delle impostazioni di settaggio degli strumenti di esportazione.

Capitolo 4
PROJECT MANAGEMENT

"In ingegneria gestionale ed economia aziendale, con l'espressione *project management* (gestione di progetto) si intende l'insieme delle attività di *back office* e *front office* aziendale, svolte tipicamente da una o più figure dedicate e specializzate dette *project manager*, volte all'analisi, progettazione, pianificazione e realizzazione degli obiettivi di un progetto, gestendolo in tutte le sue caratteristiche e fasi evolutive, nel rispetto di precisi vincoli (tempi, costi, risorse, scopi, qualità)."[18s]

Secondo una guida internazionale molto nota, il *Project Management Body of Knowledge* [8], il project management è l'applicazione di conoscenze, attitudini, strumenti e tecniche alle attività di un progetto al fine di conseguirne gli obiettivi.

"La collocazione in un arco temporale finito distingue il progetto dai processi operativi di un'azienda (le cosiddette attività di routine) che sono invece permanenti o semi-permanenti e sono diretti a produrre in modo ripetitivo lo stesso prodotto o servizio. Proprio la diversa natura di queste attività richiede lo sviluppo di filosofie, attitudini e approcci diversi per la loro gestione." [18s]

"La sfida principale del project management è quella di raggiungere gli obiettivi del progetto restando all'interno del perimetro costituito dai classici vincoli determinati dal contesto del committente, solitamente il costo, il tempo e lo scopo (nel senso anche della qualità). La sfida secondaria - ma non meno ambiziosa - è quella di ottimizzare l'allocazione delle risorse e integrare gli input necessari a raggiungere gli obiettivi definiti. Queste sfide infine devono essere portate avanti risolvendo i problemi e mitigando i rischi che ciascun progetto, in misura diversa, troverà comunque lungo la sua strada." [18s]

4.1 **Quadro normativo: UNI 11648**

Il Project manager è il cosiddetto "responsabile di progetto", ove si intenda con progetto un processo gestionale che da un concetto o idea inziale porta alla realizzazione di un nuovo sistema, prodotto tecnologico, opera pubblica o nuovo servizio, software e simili. Si tratta quindi di un ampio spettro di attività, che coinvolge tutti i settori produttivi.

La norma UNI 11648 "Attività professionali non regolamentate - *Project manager* - Definizione dei requisiti di conoscenza, abilità e competenza" fa proprio questo: definisce la figura professionale del *Project manager*, segnando un passo avanti significativo per il riconoscimento di questa professione nel nostro Paese.

"La norma UNI 11648 stabilisce un insieme di criteri o requisiti di base per la qualifica professionale di questa figura, in termini di standard di conoscenze, abilità e competenze; a questi potrà riferirsi il mercato o tutti gli operatori economici. Lo stesso riferimento, seppure riferito ad una qualifica professionale 'non ordinistica', cioè non inquadrata nei tradizionali ordini professionali, può in realtà servire a tutte le attività professionali interessate al *project management*, sia a tempo pieno che parziale, per professionisti operanti anche in altri ruoli organizzativi". [9]

Recentemente anche in sede internazionale la figura del *Project manager* è stata definita dalla norma ISO 21500, successivamente recepita e pubblicata in Italia come UNI ISO 21500 "Guida alla gestione dei progetti (*project management*)".

"La norma UNI 11648 acquisisce e incorpora la stessa UNI ISO 21500 quale base delle conoscenze del project manager. Si tratta di uno schema di conoscenze e *best practice* allineate agli altri standard di fatto del mercato, orientati ai processi, quindi utilizzabili anche negli schemi di qualità, anch'essi '*process-oriented'*, della ben più nota UNI EN ISO 9001 sui sistemi di gestione della qualità". [9]

Parlando delle qualità e delle caratteristiche che vengono richieste a questi professionisti, Pier Luigi Guida specifica a [25s] che si tratta di "caratteristiche ad ampio spettro e polivalenti". "Queste naturalmente - prosegue Guida - riguardano le più tradizionali competenze 'dure' (cosiddette '*hard skills'*) relative alle tecniche di programmazione e controllo dei progetti, in particolare in termini essenziali di tempi, costi e qualità, alle quali si devono affiancare altre competenze e abilità in termini di multidisciplinarietà, attitudine alle relazioni umane e di crescita dei collaboratori,

assertività ed equilibrio, specie nelle situazioni più 'stressanti' del lavoro, e una certa capacità di gestione dei rischi che ciascun progetto comporta (le cosiddette '*soft skills*')".[9]

Il lavoro di studio sulla nuova norma UNI 11648 è stato condotto dal gruppo di lavoro UNI "*Project management*", un gruppo misto tra la commissione "Servizi" e la commissione "Gestione per la qualità e metodi statistici", a testimonianza della trasversalità del tema trattato. Un'attività congiunta, quindi, che ha richiesto molto tempo e per la quale il gruppo di lavoro nutre grandi aspettative.

"L'obiettivo generale - dichiara Guida - è senz'altro quello di un riconoscimento sempre più ampio della figura del *Project manager* e, soprattutto, delle conoscenze e competenze che lo stesso deve avere quando opera in qualità di responsabile o coordinatore di progetto. Un altro aspetto resta la conoscenza dei concetti di base e della terminologia della disciplina, che può senz'altro servire a migliorare la professionalità e le abilità di comunicazione di chi opera sui mercati internazionali, in progetti europei e simili. In termini più pratici, si auspica che le norme UNI 11648 e UNI ISO 21500 siano sempre più riconosciute e diffuse quali standard da adottare da parte di organizzazioni e imprese nel nostro Paese". [9]

"In particolare – conclude Guida - la norma UNI 11648 si allinea al *framework* europeo delle qualifiche posizionandosi al livello 6 (sugli 8 previsti). Ciò in pratica significa che si è voluto privilegiare l'accesso e il riconoscimento del ruolo di *project manager* a figure professionali relativamente giovani, come livello di ingresso alla professione. Naturalmente sarà cura di ciascuna organizzazione curarne lo sviluppo professionale a livelli di competenza e di esperienza più elevati o richiesti dal mercato in specifici contesti". [9]

4.2 **Concetti fondamentali**

In questo capitolo definiremo i concetti fondamentali e le procedure per comprendere al meglio come vengono trattate alcune tematiche all'interno del *project management*.

4.2.1 *Figure in gioco*

Nella gestione di un progetto si deve necessariamente tenere in conto le figure che concorrono alla realizzazione dell'opera. In funzione degli operatori coinvolti nel processo bisognerà redigere un piano tale da coordinare tutti verso il raggiungimento dell'obiettivo comune. Ogni partecipante al processo avrà delle esigenze, caratteristiche che dovranno essere tenute in conto in fase di programmazione.

- *Stakeholder*: è genericamente un soggetto (o un gruppo) influente nei confronti di una iniziativa economica, una società o un qualsiasi altro progetto. Fanno dunque parte di tale insieme clienti, fornitori, finanziatori (es. banche e azionisti, o *shareholder*[3]), collaboratori, dipendenti ma anche gruppi di interesse locali o esterni, come i residenti di aree limitrofe a un'azienda e le istituzioni statali relative all'amministrazione locale.

4.2.2 *Variabili di progetto*

Definiremo nel seguito le principali variabili presenti nella stesura del progetto. Si osservi come volutamente non si faccia riferimento alle risorse. Questo è dovuto al fatto che una volta redatta la WBS si dovranno definire se esistono dei vincoli temporali per la realizzazione dell'opera. Se esistono ne consegue che il carico di risorse sarà redatto in funzione dei vincoli temporali imposti. Nel caso invece non fossero presenti vincoli temporali sarà possibile eseguire una valutazione sulla configurazione di equilibrio tra costo risorse/tempo.

4.2.2.1 *Tempo*

La valutazione delle tempistiche di progetto segue comunemente due tipi di procedure:

- Deterministico
- Probabilistico.

Entrambe mirano a stimare la tempistica di realizzazione di ogni task che sommati daranno la durata totale di progetto.

[3] soggetto che legalmente possiede una o più azioni.

Il metodo deterministico si basa sull'esperienza dell'operatore che redige il piano delle fasi. Cioè in base al suo *background* riuscirà a stimare, in maniera più o meno accurata, le tempistiche necessarie alla realizzazione del processo.

Questo metodo, nonostante sembri il più approssimativo, è quello di maggior uso in campo professionale. Soprattutto in uno studio di fattibilità come quello preso in esame dove una stima qualitativa delle tempistiche è sufficiente.

Il metodo probabilistico mira ad effettuare stime più attendibili per progetti complessi che presentano un grado d'incertezza elevato. Dove la stima a singolo valore risulta poco idonea, mentre la stima PERT a tre valori mitiga meglio le incertezze del progetto. Identificheremo quindi la terna di valori:

- T_m: durata probabile,
- T_o : durata ottimistica,
- T_p: durata pessimistica.

I valori elencati vengono comunque redatti dall'esperienza del *project manager*. Dopo la definizione dei tre valori si supporrà che le durate delle attività siano variabili aleatorie rappresentabili con una funzione di probabilità Beta[4] la quale deviazione standard viene così definita:

$$\sigma = \frac{(Tp - To)}{6}$$

La durata attesa T_e nella distribuzione Beta è approssimata dalla seguente formula:

$$Te = \frac{1}{6} \cdot (4Tm + To + Tp)$$

Data la natura sperimentale di questa tesi si è voluto proporre, quindi utilizzare, un ulteriore metodo per la stima dei tempi dei *task*. Il processo si basa su quello probabilistico e sulla possibilità di riuscire a scomporre in processi elementari ogni task data la natura ripetitiva dell'intervento.

Il primo passo è stato quello di andare ad indentificare le lavorazioni che compongono l'attività di deviazione dei sottoservizi. Lavorazioni le quali dovranno

[4] è una distribuzione di probabilità continua definita da due parametri Alpha e Beta sull'intervallo unitario [0,1].

essere parametrizzate in maniera tale da ben adattarsi a tutti le fasi di progetto. Per esempio, le attività di scavo sono state parametrizzate in funzione dei m^3 dello stesso.

Riportiamo in Figura 28 le singole attività che compongono i *Task*.

codice attività	Operazioni	tempo minimo[m]	tempo massimo [m]	η min	η max
0	caricare cammion	4	6		
1	delimitazione cantiere	10	15		
2	asportazione manto stradale			0.5	0.8
3	scavo			0.5	0.8
4	posa	60	120		
5	rinterro			0.5	0.8
6	ripristino manto stradale			0.5	0.8
7	rimozione cantiere	4	6		

Figura 29 Attività che compongono i Task

N.pannelli	50
Superficie scavo[m^2]	300
Volume scavo[m^3]	900
Lunghezza Tubo [m]	25
Po pala[m^3/h]	135
Po martellone [m^3/h]	1.25
s. manto stradale [m]	0.3
Profondità scavo [m]	3

Figura 30 Variabili delle attività che compongono i Task

In Figura 29 vengono riportati i parametri necessari a rendere dinamico il processo di stima dei tempi. Si osservi come le variabili siano facilmente ricavabili interrogando il modello di Revit o gli abachi ad esso collegati.

Per le attività 0,1,4 e 7 sono stati definiti un tempo massimo ed un minimo per espletare la singola attività con variabile imposta uguale all'unità. Agendo quindi su quest'ultima si ricaverà un *range* temporale. Si precisa come le tempistiche in input siano state frutto di un confronto con un'azienda specializzata nella deviazione di reti sotterrane.

L'attività 2 è stata definita imponendo un mezzo (martellone) e usando la sua Produzione Oraria per il calcolo delle tempistiche. Imponendo nella figura 30 il *range* di variazione dell'efficienza del cantiere.

Il medesimo concetto è stato applicato per l'attività 3,5 e 6.

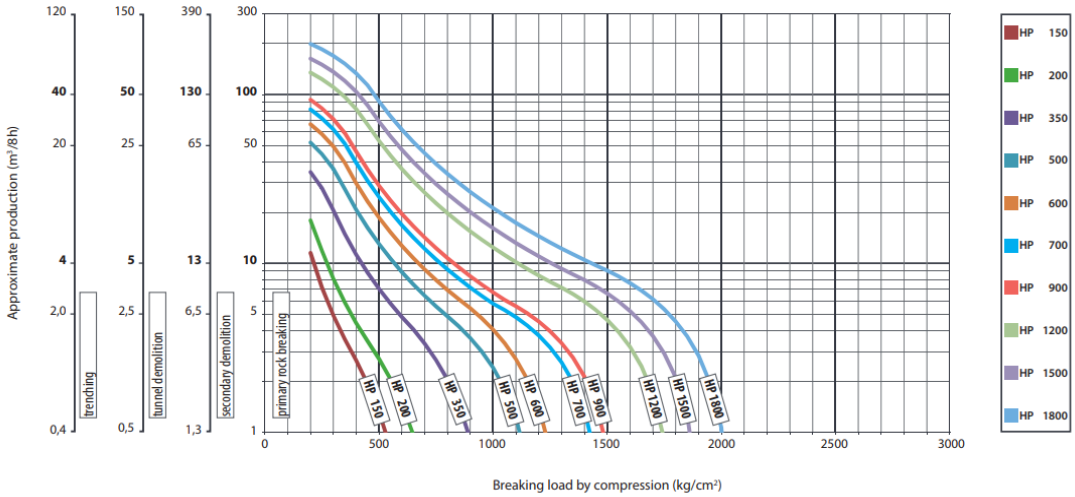


Figura 31 Produzione giornaliera martellone [m³/giorno]

Ricavati quindi i range temporali di tutte le attività che compongono i *Task* si è proceduto con una simulazione Montecarlo (1000 cicli) così da poter costruire *pdf* (*probability density function*) e *cdf* (*cumulative density function*) dell'attività considerata. Si precisa che l'operazione risulta lecita in quanto si opera con somme variabili casuali le quali si distribuiranno su una Gaussiana.

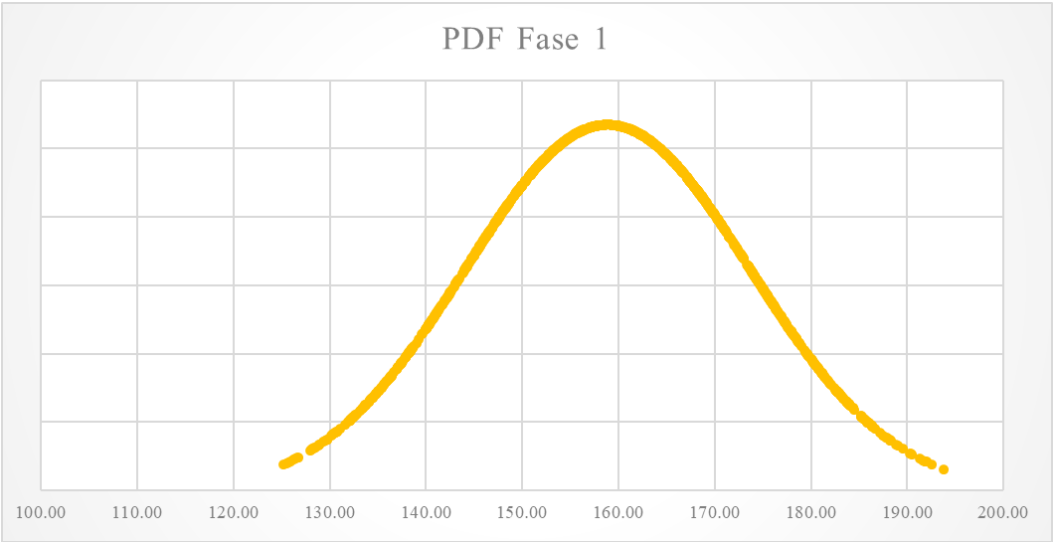


Figura 32 PDF Fase 1

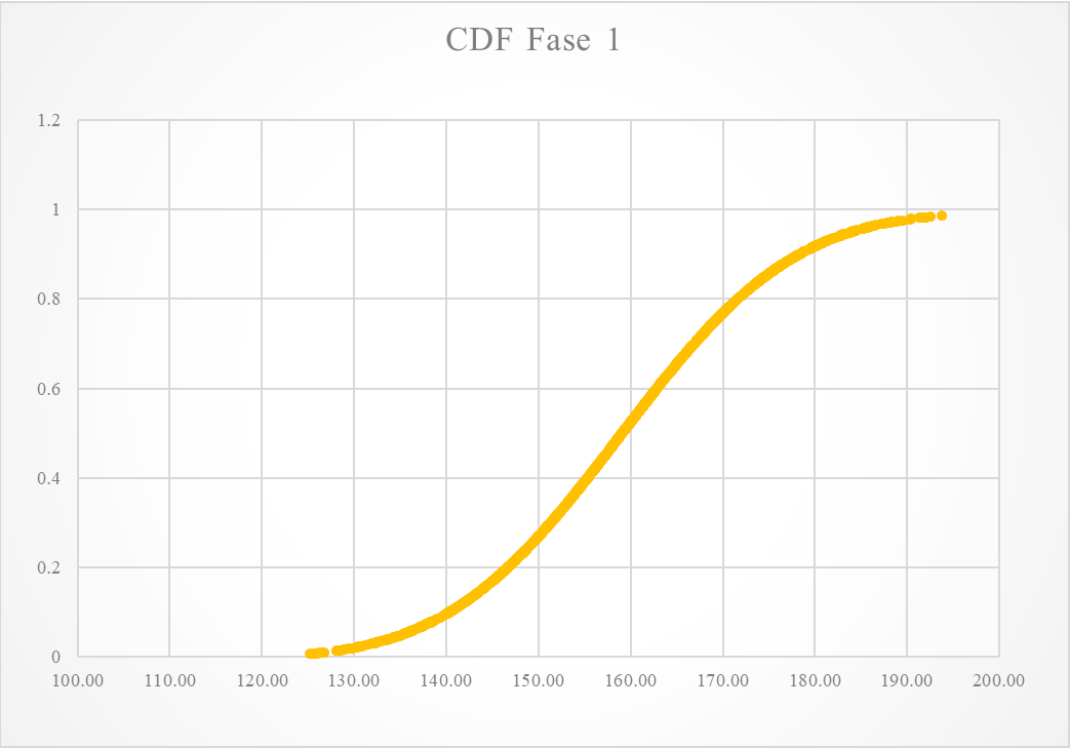


Figura 33 CDF Fase 1

Così facendo si ha la possibilità di redigere una tempistica associata ad una quantità di rischio ed osservare la probabilità di possibile interferenza dall'intersezione delle *pdf* dei vari Task.

4.2.2.2 *Costo*

Per quanto concerne i costi dei materiali sono stati facilmente ricavati dagli abachi di Revit una volta impostati i costi dei singoli componenti. Per valutare il costo della forza lavoro è stato ipotizzato l'impiego di una squadra da 5 persone per quanto riguarda i lavori di deviazione dei sottoservizi, 4 per la demolizione dello ZAI e 3 per lo smaltimento dell'amianto.

Si vuole sottolineare come i valori numerici in questa fase siano al solo scopo dimostrativo. La gestione dell'intero processo di posa può essere rendicontato in maniera dinamica e con esso gli output di lavorazione.

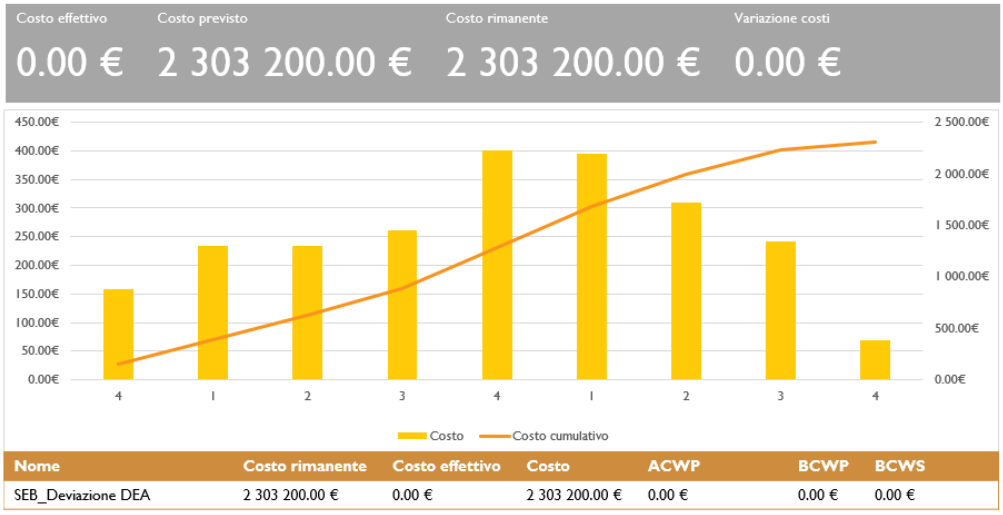


Figura 34 Flussi Cassa con andamento tri-mestarle

4.3 **Work Flow**

In questa parte verranno descritte ed elencate le principali azioni da compiere durante la pianificazione di progetto. Fino alla redazione di una *baseline* ed al relativo monitoraggio dello stato di avanzamento della stessa. Il tutto finendo con il *reporting* ed il *lesson learning*.

4.3.1 *Pianificare le attività WBS*

WBS non è nient'altro che l'acronimo delle parole inglesi "*Work Breakdown Structure*" anche detta struttura di scomposizione del lavoro. Con questo termine vanno intese tutte le attività presenti nel progetto, organizzate secondo requisiti di tempo, risorse e fattibilità delle operazioni.

Si presentano con una struttura ad albero gerarchico orientato al prodotto (*deliverable*[5]) suddiviso in tutte le parti che lo compongono. Il suo sviluppo è curato dall'ingegneria sistemistica sviluppata all'apertura del progetto. Di fondamentale importanza in questa fase identificare tre cose: *milestone*[6], *deliverables* ed attività.

La struttura gerarchica deve sottostare a regole fondamentali definite da processi logici, buonsenso e dà le Practice "*Standard for Work Breakdown Structures":*

[5] indica un oggetto materiale o immateriale realizzato (fornito/consegnato) come risultato di un'attività del progetto

[6] Indica importanti traguardi intermedi nello svolgimento del progetto

- Regola del 100%

  « La regola del 100%... precisa che la WBS debba includere il 100% del lavoro definito dal progetto e includere tutto il necessario - interno, esterno e appaltato - alla realizzazione del progetto, inclusa la gestione del progetto stesso. La regola del 100% è una delle più importanti linee guida per lo sviluppo, la decomposizione e la valutazione della WBS. La regola si applica a tutti i livelli della gerarchia: la somma del lavoro dei livelli "figli" deve essere uguale al 100% del lavoro rappresentato dal loro "padre" e la WBS non dovrebbe includere alcun lavoro al di fuori dai limiti del progetto, ovvero non può includere più del 100% del lavoro. È importante ricordare che la regola del 100% si applica anche al livello di attività, Il lavoro rappresentato dalle attività in ciascun pacchetto di lavoro deve dare, sommato, il 100% del lavoro necessario per completare il pacchetto. (p. 8)» [9]
- Programmazione dei risultati

  se il progettista della WBS tenta di comprendere ogni operazione che contempla il processo di costruzione otterrà due risultati: il primo di avere una serie di processi elementari che fanno divergere la WBS ed il secondo è quella di svilire gli operatori sul campo;
- Schema di codifica

  gli elementi della WBS, i *task*, devono essere organizzati secondo una struttura gerarchica. Riconoscendo tramite imposizione di un codice numerico su più livelli

Per il progetto in esame sono state tenute conto di queste regole e redatta una WBS (vedi allegato 4) organizzata in micro e macro-attività per le operazioni di cantierizzazione che porteranno alle preparazioni del sito di scavo.

macro	micro	attività
1	1	Demolizione che separa il viale pedonale Dumont d'Urville incluso l'abbattimento di 2 alberi
	2	Rimozione parziale dei parcheggi e attraversamento pedonale totale su Allende Avenue East
	3	Lavori stradali prima dell'installazione dell'area di stoccaggio del rivenditore compreso l'abbattimento di 2 alberi
2	1	Prima fase di deviazione DEA (inizio della traversata del viale Salvadore Allende, fase provvisoria verso i sifoni esistenti) compreso l'abbattimento di un albero
	2	Realizzazione dell'area di stoccaggio del rivenditore incluso abbattimento di 3 alberi

Figura 35 Esempio WBS SEB

4.3.2 *Assegnare le Risorse OBS*

L'OBS (*Organization Breakdown Structure*) non è altro che una struttura analitica nella quale si definisce puntualmente la responsabilità di progetto. Ha la principale funzione di realizzare un sistema coerente di deleghe nella gestione del progetto.

Anche chiamata struttura analitica dell'organizzazione l'OBS si colloca logicamente e temporalmente dopo la WBS. Infatti, solo dopo aver redatto un'analisi delle fasi e delle attività (WP[7]) di cui si compone un progetto, è possibile assegnare ciascun WP ad un responsabile che ne garantisca la realizzazione nei modi, tempi e costi previsti.

Per il progetto oggetto di studio si è ipotizzato una struttura gerarchica composta da:

- l'impresa appaltante responsabile dei lavori di deviazione degli impianti
- l'impresa che si occuperà della demolizione dell'edifico ZAI
- l'impresa per lo smaltimento dell'amianto presente nella copertura dello ZAI
- Project Manager
- Direttore lavori
- Stakeholder

[7] Con la sigla WP (*Work Package*) corrisponde al componente di livello più basso della WBS

4.3.3 *Assegnazione delle responsabilità RAM*

Con la parola inglese "R*esponsibility Assignment Matrix"* si indica l'operazione che mette in relazione le risorse con le attività, o con loro aggregazioni. Con questo strumento viene indentificato "chi fa cosa" all'interno di un progetto.

La matrice viene composta dall'incrocio della WBS e della OBS andando a completare il tutto con i ruoli che hanno i vari attori del processo nello svolgimento dell'attività in questione:

- *Responsible* (R): colui che esegue l'attività
- *Accountable* (A): colui che ha la responsabilità sul risultato dell'attività
- *Consulted* (C): è la persona che aiuta e collabora con il Responsible per l'esecuzione dell'attività.
- *Informed* (I): è colui che deve essere informato al momento dell'esecuzione dell'attività.
- *Verifier* (V): è colui che verifica che il deliverable rispetti i criteri di accettazione.
- *Signatory* (S): è colui che approva la decisione del *Verifier*

Viene riportato a titolo informativo un esempio di RAM. Nell' allegato 4 è possibile trovare quella riferita al caso studio.

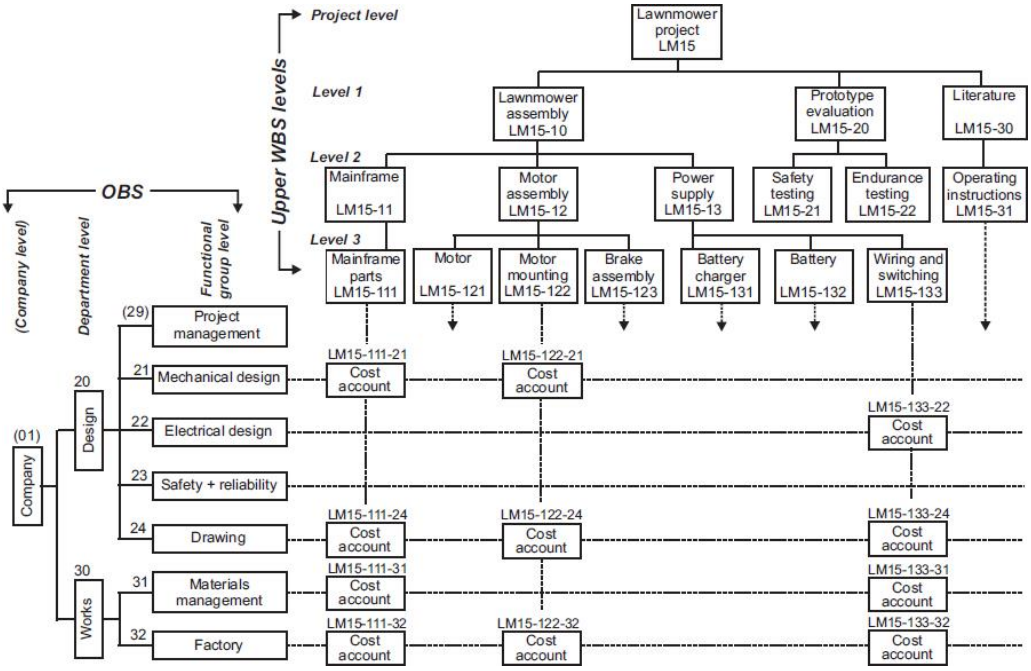


Figura 36 Esempio di una RAM (Immagine tratta da www.wikipedia.org)

4.3.4 *Salvare la Baseline di Progetto*

La Baseline di progetto viene utilizzata per misurare il modo in cui le prestazioni si discostano dal piano. La misurazione della performance sarebbe significativa solo se avessi una *Baseline* accurata.

Quest'ultima è un'indicazione generale, riguardante, tempi, costi e la pianificazione originali. Deve essere completamente definita e documentata prima che possano iniziare le attività di esecuzione e controllo del progetto.

Una volta che il progetto inizia l'esecuzione, la *Baseline* viene messa sotto il controllo delle modifiche per aiutarti a valutare eventuali ulteriori cambiamenti e il suo impatto sul progetto. Non è possibile effettuare misurazioni significative se l'ambito, i costi e il programma non sono soggetti a rigorose discipline di controllo dei cambiamenti.

Se viene approvata una modifica, la nuova *baseline* viene ridefinita come il piano originale più la modifica approvata. È una buona idea tenere registri che mostrano come il piano è progredito e cambiato nel tempo.

Richieste frequenti di modifiche ai requisiti del progetto possono indicare l'esistenza di un'analisi dei requisiti iniziali incompleta o la mancanza di comunicazione significativa con utenti e clienti all'inizio della fase di avvio del progetto.

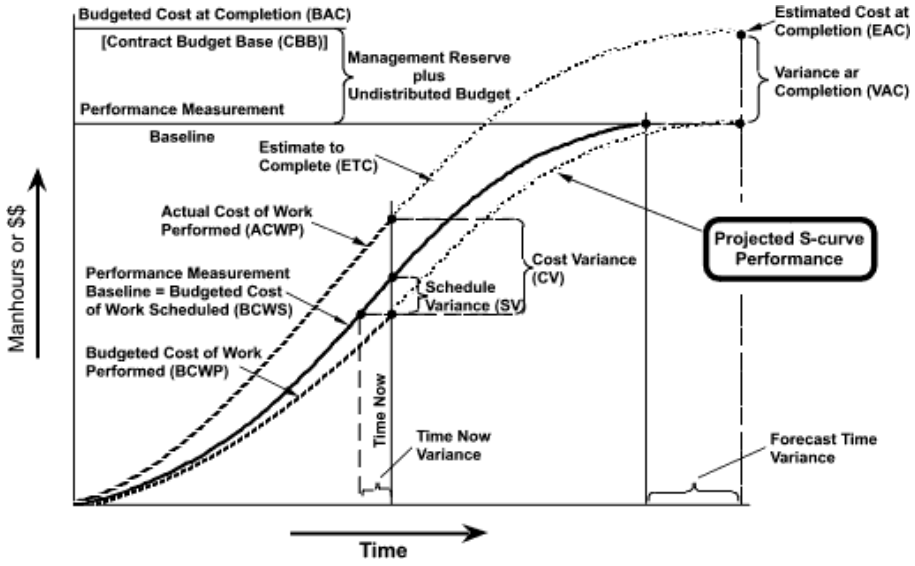


Figura 37 Baseline (Immagine tratta da www.wikipedia.org)

Vediamo dall'immagine riportata in figura come la *Baseline* rappresenti, in parole povere, la cumulata dei costi rispetto ai tempi del progetto. Il tutto calcolato stimando le variabili di base. Va da sé che il suo aggiornamento durante il progetto sarà fondamentale.

Definiremo quindi in questa fase il:

- BSWS (*Budgeted Cost of Work Scheduled*) il quale rappresenta il costo pianificato per realizzare le attività di progetto alla data corrente;
- BAC (*Budget at Completion*) valore iniziale previsto per la realizzazione del progetto

4.3.5 *Aggiornare il Progetto*

Aggiornare il progetto è l'unico modo per essere sicuri che esso sia in linea con il piano originale ma mano che il lavoro viene eseguito. Il PM deve focalizzarsi sulla gestione delle "*Change Requests*[8]".

Gestire le richieste di cambiamento richiede la modifica delle durate, date, dipendenze, assegnazioni risorse o attività non appena uno *stakeholder* fa una richiesta o si prende conoscenza di nuove informazioni/situazioni.

Le modifiche effettuate incideranno anche sul grafico di tempi e costi; sul quale andremmo ad agire in tempo reale per visualizzare la discrepanza tra effettivo e previsto delle variabili del grafico. Definiremo quindi:

- ACWP (*Actual Cost of Work Performed*) il costo effettivamente sostenuto alla data corrente;
- BCWP (*Budgeted Cost of Work Performed*) rappresenta il valore del progetto alla data corrente;
- EAC (*Estimated at Completion*) BAC rivisto allo stato corrente del progetto;
  EAC=ACWP+ETC
- ETC (*Estimate to Complete*) Valore stimato per la realizzazione delle rimanenti attività necessarie al completamento del progetto;

[8] Viene così definita una richiesta di modifica alla configurazione del software.

- CV (*Cost Variance*) Indica se il valore del costo realmente maturato è maggiore, uguale o minore rispetto al costo effettivo. È un indicatore di produttività o efficienza soprattutto nei confronti del Management dell'azienda. Se CV > 0 significa che il progetto produce con maggior efficienza (minor costo) rispetto a quanto pianificato, viceversa se negativo;
  CV = BCWP – ACWP
- SV (*Schedule Variance*) Indica se si è in linea, in anticipo o in ritardo rispetto alla schedulazione delle attività di progetto pianificate nella baseline. È un indicatore di efficacia soprattutto nei confronti del Cliente. Se SV > 0 significa che il progetto sta producendo (ossia rilasciando deliverable) con maggior velocità a quanto pianificato, viceversa se negativo;
  SV = BCWP – BCWS
- BV (*Budget Variance*) Indica se alla data corrente si è speso di più o di meno rispetto a quanto previsto a budget alla data corrente. È un indicatore che ha un valore unicamente contabile e finanziario. Se BV > 0 significa che il progetto sta spendendo il proprio budget con minor velocità di quanto pianificato, viceversa se negativo. Il fatto di spendere più velocemente il budget non ha nulla a che fare con il risparmio che se ne può avere, rappresentato invece da CV.
  BV = BCWS – ACWP

4.3.6 *Reporting e Lesson Learning*

Il report di chiusura deve contenere due diverse tipologie di informazioni:

- una formale richiesta di chiusura corredata da valutazioni e analisi sugli esiti;
- la storia del progetto con la documentazione di supporto.

Il *Final Report* è il documento che formalizza la chiusura del progetto. È predisposto dal *Project Manager* e presentato al *management* e/o al cliente per l'approvazione. In questo ambito il *project manager* dovrebbe ricercare la collaborazione del team di progetto, del cliente, degli utenti finali ed in generale degli

stakeholders per raccogliere la loro visione degli esiti del progetto. Può essere utile quindi farlo precedere da un'analisi di *customer satisfaction*.

La storia del progetto deve integrare tali valutazioni con:

- l'organizzazione adottata e le *skills* richieste/create;
- i criteri di schedulazione (punti di forza/debolezza);
- i criteri adottati per la gestione dei rischi;
- le procedure adottate per la gestione delle modifiche e della qualità;
- le modalità di comunicazione e di gestione degli incontri di lavoro e di controllo dell'avanzamento;
- le tecniche adottate per la verifica dei requisiti;
- i fattori critici di successo e le particolari strategie adottate;
- i dati finanziari (pianificati ed effettivamente conseguiti);
- le lezioni apprese;
- le raccomandazioni per progetti futuri.

Al termine di un progetto sarebbe auspicabile svolgere un *workshop* per condividere con il resto dell'organizzazione ciò che è andato bene e ciò che è stato fatto per superare le criticità emerse (*lesson learned*).

4.4 **Software per il Project Management**

Avendo compreso nella sua completezza il progetto ne segue la fase di pianificazione, come per quasi tutte le pratiche lavorative oggi giorno, sfruttando i diversi applicativi è possibile supportare, organizzare la gestione di risorse, lavoro e mano d'opera. In seguito, specificheremo i programmi utilizzati e le loro principali funzioni che si sono utilizzate per il caso studio in oggetto.

La scelta di alcune piattaforme rispetto ad altre è ovviamente frutto di molteplici variabili. Come per esempio l'interoperabilità, il costo e le licenze messe a disposizione dall'ateneo nel mio caso specifico. Va da sé che si vuole proporre una procedura tipo in funzione delle risorse a mia disposizione.

Nel caso in esame sono stati utilizzati Microsoft Project, Autodesk Revit e Autodesk Naviswork.

4.4.1 *Microsoft Project*

Microsoft Project (o MSP) è un software di pianificazione (utilizzato anche nel *project management*) sviluppato e venduto da Microsoft. È uno strumento per assistere i *project manager* nella pianificazione, nell'assegnazione delle risorse, nella verifica del rispetto dei tempi, nella gestione dei budget e nell'analisi dei carichi di lavoro.

L'interfaccia è molto *user-friendly* e permette una facile programmazione delle attività. Essa può avvenire sia impostando manualmente le date o in maniera del tutto automatica assegnando ad ogni *task* delle dipendenze. Così facendo il progetto ed il Gantt collegato risultano una struttura dinamica. Modificando una sola data, impostando gerarchia e dipendenze in maniera ottimale, tutte le altre si aggiorneranno in funzione della durata prevista e del calendario di lavoro.

Nel caso studio il piano di lavoro è stato redatto utilizzando le ipotesi fatte al capitolo 3.2.3/3.2.4 organizzando il tutto per macro-fasi congruentemente con quanto detto al capitolo 3.3.1 con l'accortezza di suddividere ogni macro-fase in due lassi di tempo. Il primo di demolizione ed il secondo di costruzione; così da simulare al meglio il processo nella simulazione di cantiere con Naviswork. Quest'ultimo in grado di recepire al meglio le *Timeline* redatte da *Project*.

4.4.2 *Excel*

Programma che non necessita di presentazioni. In un certo senso *Microsoft Project* non è altro che un foglio Excel programmato alla redazione di piani di lavoro.

Per questo motivo ho deciso di riportare il programma in questa sessione. Per sottolineare il fatto di come una stesura su Excel, con un adeguata formattazione, di un piano di lavoro permetta di avere il medesimo risultato in Naviswork. Questo nell'ottica di riduzione di spesa e rendersi indipendenti da applicativi specifici.

Va da sé che la redazione del cronoprogramma sarà più laboriosa. Soprattutto se si vogliono mantenere le modalità di aggiornamento dei *Task* in funzione delle gerarchie.

4.5 **Interoperabilità**

Si è avuto modo in precedenza di dire come la *Timeline* redatta su *Project* sia leggibile e fruibile da Naviswork. Tuttavia, sia registra di come i costi delle risorse, dei materiali ed ingenerale qualsiasi altra variabile inserita, ad eccezion fatta per il tempo, non venga trasmessa. Questo prevede quindi un rifacimento di un'operazione già effettuata. Non il massimo tenendo conto della moltitudine di variabili in gioco e del macchinoso metodo, in Naviswork, per l'inserimento dei costi.

Capitolo 5
SIMULAZIONE DI CANTIERE

In questo capitolo cercheremo di convogliare tutte le informazioni redatte in un unico output testando i possibili risultati verificandone l'utilità nella gestione del cantiere di grandi opere di deviazione come quella in esame.

Questa fase è quindi decisiva per la sperimentazione in atto, potrà quindi considerarsi un successo se tutti i documenti redatti riusciranno a relazionarsi e ad offrire in uscita le info caricate.

5.1 **Naviswork**

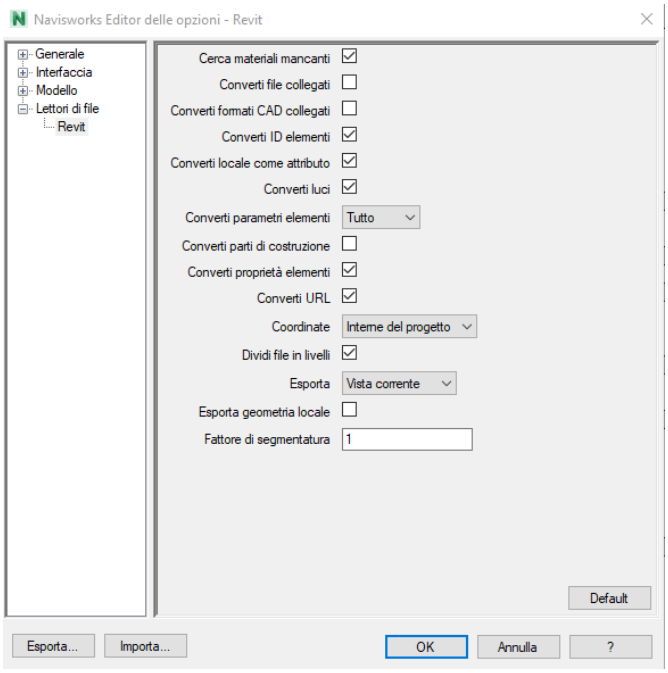


Figura 38 Opzioni d'esportazione Revit to Naviswork

Per questa procedura di coordinamento delle informazioni si è utilizzato il software di casa Autodesk.

L’importazione del modello è avvenuta tramite un *tool* proprio di Revit il quale permette di selezionare varie impostazioni d’esportazione. Proprio su questo frangente soffermerei l’attenzione andando a riportare le corrette voci da selezionare per una corretta esportazione del modello. Comprendendo quindi parametri condivisi, fondamentali per le fasi successive, proprietà dei materiali etc.

Fondamentale in questo passaggio disabilitare le opzioni di compressione presenti nel pannello modello. Le quali pregiudicherebbero la bontà delle informazioni trasmesse.

Figura 39 Stato del modello all'atto dell'importazione in Naviswork

Dalla figura qui in alto prossimo vedere come, all’atto dell’importazione, il modello si presenti molto confusionario. Ciò è dovuto al fatto che in questo spazio di gestione ogni elemento risulta ancora slegato dalla variabile temporale.

Starà poi a noi andare a legare ogni elemento alla sua fase temporale. Così da creare una *Timeline* degli eventi.

5.2 **4D Simulation**

Disporre di ambienti digitali in 4D, contribuirebbe alla probabilità di creare processi costruttivi che riducano lo spreco di materiali, tempi e sforzi, generando il massimo valore economico possibile nella soddisfazione delle richieste del cliente. Inoltre, una migliore interoperabilità, migliorerebbe anche la qualità della realizzazione dei progetti per un’impresa di costruzioni.

Il *4D Modeling* può diventare un supporto decisivo, poiché le risorse 3D (risorse umane, attrezzature, spazi e materiali) vengono collegate alle attività pianificate, permettendo una gestione più agevole sia delle sequenze di costruzione che delle eventuali variazioni. Il risultato è un processo di lavoro molto più efficiente, affidabile e sicuro, che ben si sposa con tutte le fasi di gestione di un progetto: risparmiando tempo e denaro.

Il progettista e/o il tecnico d'impresa esperto possono beneficiare di tutti i livelli di controllo a cui il 4D può condurre, collegando l'esperienza e le capacità individuali con le potenzialità dell'*Information Communication Technology*: potenza di calcolo, condivisione delle informazioni, modalità mobile ed applicazioni della realtà aumentata.

Tuttavia, è importante ricordare che se da una parte l'innovazione tecnologica permette di raggiungere nuovi standard qualitativi, dall'altro lato è giusto non dimenticare che ad utilizzare tali risorse siano professionisti del settore delle costruzioni con esperienza e/o formazione specifica completa. L'adozione di metodi o strumenti digitali come il 4D non serve a nulla se dietro non vi è un team esperto e preparato.

5.2.1 *Importazione del Gantt*

Come detto a più riprese il Gantt è stato redatto tramite Microsoft Project e salvato nel suo formato proprietario. L'importazione è stata possibile grazie alla lettura da parte di Naviswork di questo formato, cosi da semplificare notevolmente il processo di costruzione del modello in 4D. la potenzialità del processo sta nel fatto che una volta importata l'origine di dati, cosi viene definita da Naviswork, è possibile aggiornarla con lo stato di avanzamento lavori senza perdere le selezioni associate alle fasi.

Questa procedura può anche essere gestita sulla stessa piattaforma tramite quelle che vengono definite: Fine effettiva e Inizio previsto agendo poi sulla rappresentazione grafica degli elementi durante la simulazione.

Tuttavia, questa procedura risulta ridondante una volta deciso di proseguire con l'applicativo di casa Microsoft in quanto sono operazioni che svolge egregiamente ed

in più vengono percepite ed aggiornate in Naviswork una volta eseguito un *refresh* dell'origine di dati.

5.2.2 *Associazione elementi alle fasi di progetto*

Questa è una delle fasi principali del processo. In questo frangente aver in precedenza seguito una progettazione BIM *oriented* è fondamentale. Infatti, sarà necessario associare ad ogni elemento una posizione nella linea temporale. Questo processo sarà tanto più facile quanto in Revit si sarà operato in quest'ottica.

La selezione degli elementi da associare alla *Timeline* è avvenuta principalmente attraverso due metodologie che hanno reso il processo molto veloce.

La prima quello dello sfruttare la buona impostazione delle fasi in Revit. Vediamo infatti come all'interno dell'albero di selezione si ritrovino le diciture:

- Fase di Creazione;
- Fase di Demolizione;

cosi sarà necessario andare ad associare ad ogni elemento evidenziato dalla selezione la posizione della *Timeline* desiderata.

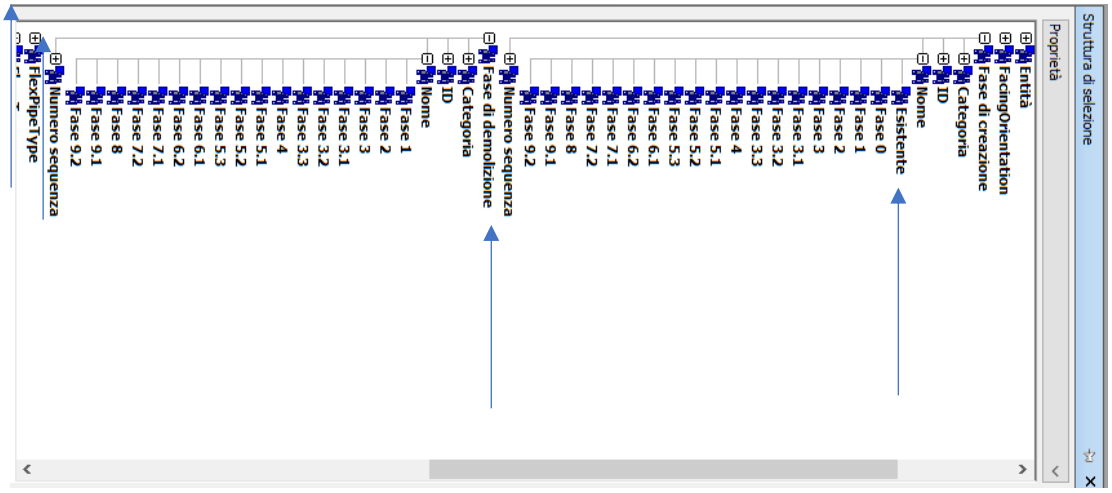


Figura 40 Struttura di Selezione Naviswork

Procedura parallela e con la medesima efficacia è quella di andare a sfruttare il codice attributo ad ogni elemento così da poter identificare facilmente la fase ad esso corrispondente grazie al quarto livello del codice.

5.2.3 *Clash Detective*

Navisworks permette di verificare la *clash detection*, ovvero un controllo accurato delle interferenze, che rappresenta un passaggio fondamentale per individuare i problemi e risolverli quando ancora si è nella fase di progettazione. In questo modo, si evitano le perdite di tempo ed i costi aggiuntivi che invece andrebbero affrontati in caso di rilevazione della criticità a cantiere aperto.

Nel caso studio in esame è stato uno strumento di fondamentale importanza. Grazie ad esso infatti, si è effettuato una prima analisi d'interferenza tra il costruito (MEP) e l'area di scavo. Questo ha permesso di riuscire a rilevare tutti i sottoservizi intercettati dallo scavo e redigere un piano di coordinamento delle deviazioni.

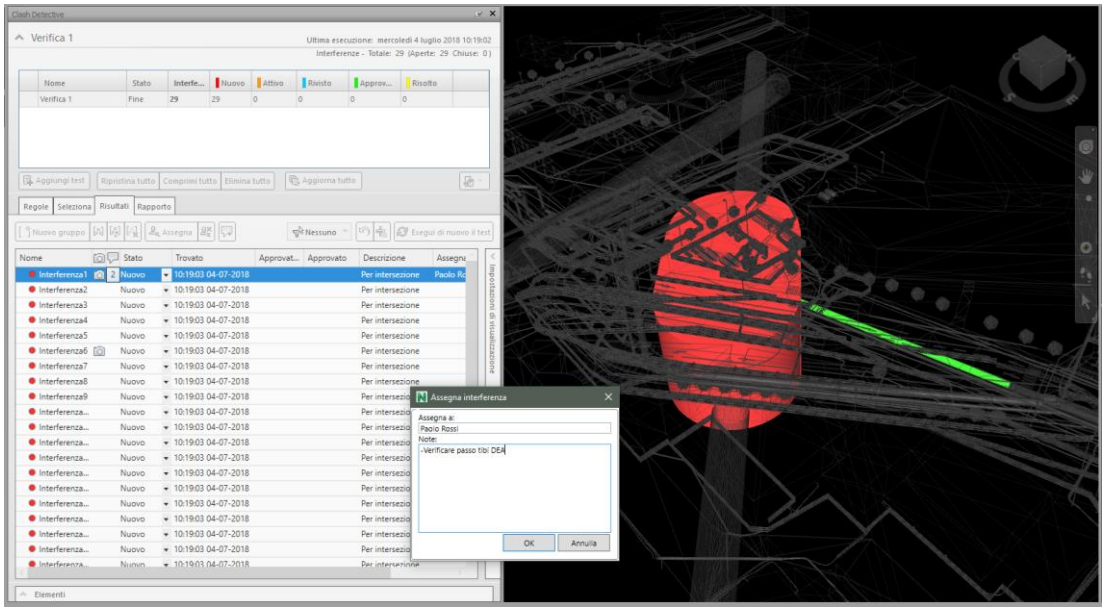


Figura 41 Schermata di verifica delle interferenze

Nella figura qui in alto è possibile vedere output della *Clash Detection*. Vediamo conferma di quello detto pocanzi. Cioè ad ogni interferenza rilevata è possibile assegnare una risorsa del team di progettazione la correzione lasciando scritto anche alcune note.

Tutto questo nell'ottica di un lavoro coordinate su un modello federato. I membri del team riceveranno le correzioni da effettuare da parte del BIM PM ed agiranno sulla porzione di modello ad essi assegnata. Così facendo più elementi collaborano al medesimo modello riuscendo quindi ad aumentare l'efficienza del progetto.

Laddove la visualizzazione risulti carente o il contesto molto complicato da impedire il riconoscimento degli elementi coinvolti nelle interferenze ci viene in aiuto il pannello delle Proprietà; sotto la scheda Entità. Al suo interno compaiono informazioni di tutti i tipi tra le quali ritroviamo anche il codice elemento impostato in Revit, il diametro, la fase di creazione, la quota ed il tipo di sistema. Ne consegue che il riconoscimento è più che agevole ed avviene in modo univoco.

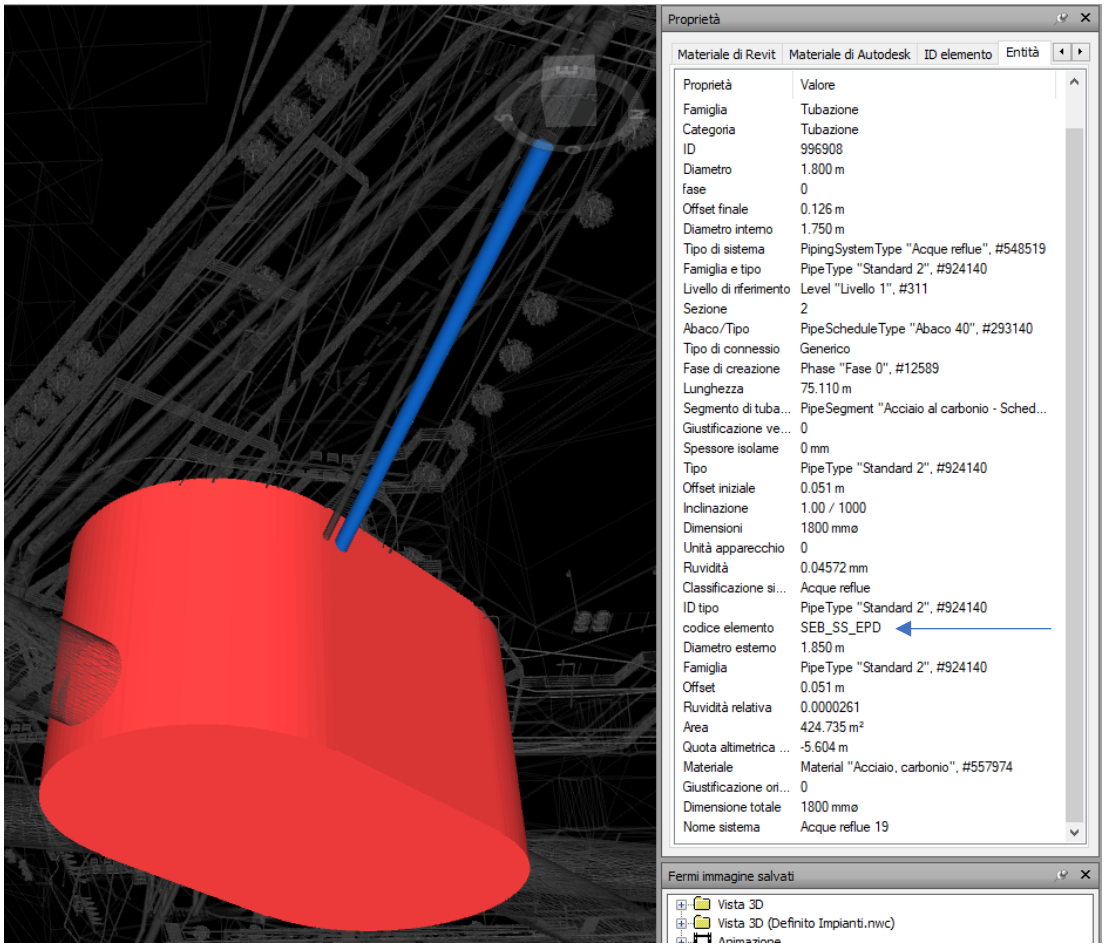


Figura 42 Proprietà degli elementi coinvolti nella clash Detection

Di fondamentale importanza in questa fase sono le "regole" impostate per la *Clash Detection*. È possibile impostare il tipo di interferenza: intersezione (da me utilizzata), margine di spazio e duplicati. La tolleranza impostata a 5 cm ed il passo di controllo temporale a 0.1 secondi.

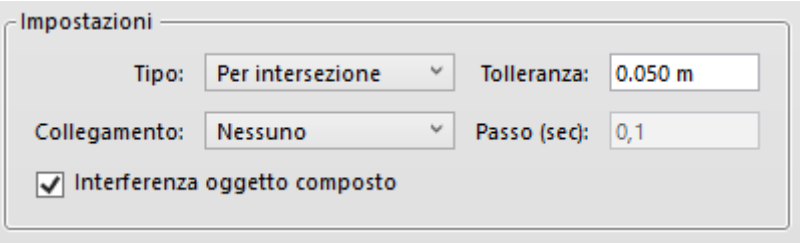


Figura 43 Impostazioni per Clash Detection

Una volta eseguita l'analisi è possibile esportarne i risultati sotto forma di rapporto in vari formati (HTML, XML, Testo) nel quale è possibile inserire un enorme quantità di informazioni automaticamente tramite la semplice spunta da un elenco.

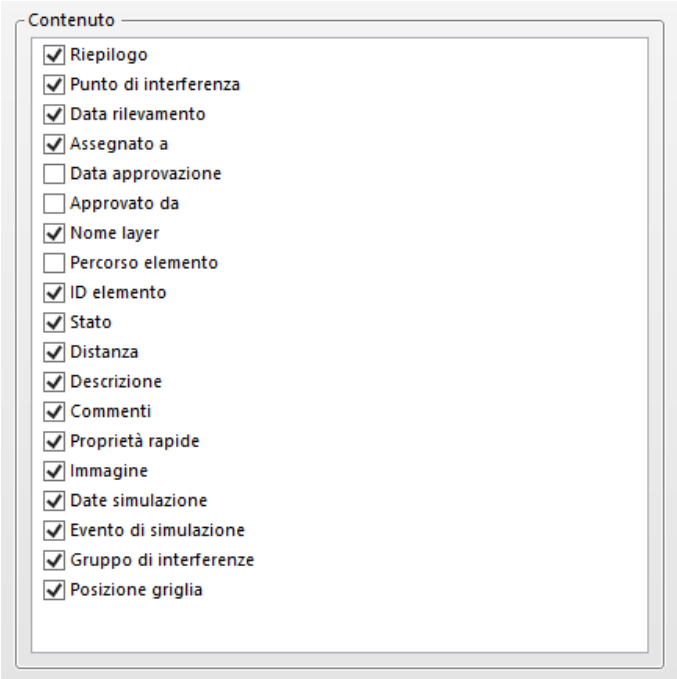


Figura 44 Elementi del file di Report

Cosi da rendicontare al meglio i risultati della *Clash Detection*. In allegato 7 ne viene riportato un esempio.

5.2.4 *TimeLiner Animation*

Una volta definita la posizione temporale di ogni elemento è possibile eseguire una simulazione del processo nella quale, in funzione delle opzioni di visualizzazione, scorreranno le scene del processo di modellazione.

La visualizzazione degli elementi viene regolata dal pannello “configura” della scheda *TimeLiner*. Quest’ultima permette di definire le opzioni di visualizzazione durante il processo di simulazione. È possibile dare una trasparenza/colori agli elementi che concorrono alla creazione dell’opera in oggetto.

Nel nostro caso si è scelto una visualizzazione in linea con quelle utilizzate normalmente nelle costruzioni. Il verde associato alla fase di costruzione ed il rosso alla fase di demolizione.

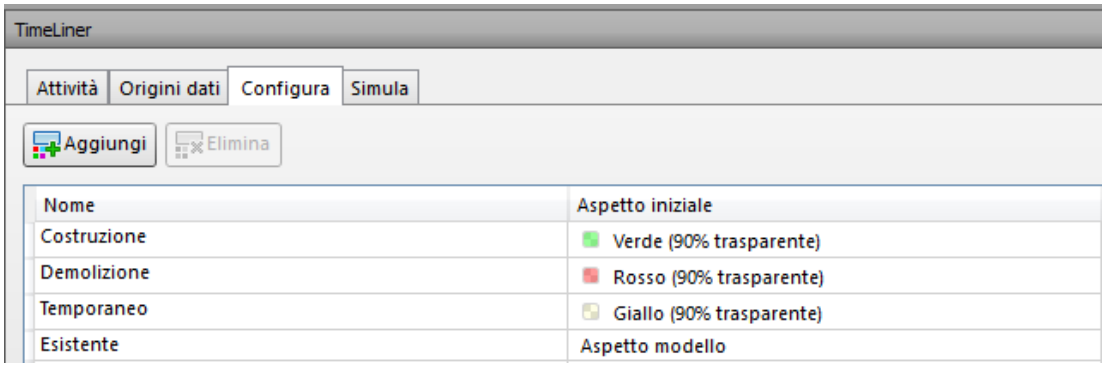


Figura 45 Configurazione opzioni di visualizzazione TimeLiner

Finita la fase di settaggio della visualizzazione si è passato all’arricchimento delle informazioni a video durante la simulazione del processo. È possibile infatti inserire innumerevoli informazioni durante il procedere della simulazione.

Nel nostro caso sono stati inserite informazioni a carattere:

- Temporali: data, giorno, settimana;
- Fase: indicazioni sulla percentuale di completamente sulla Fase in corso di simulazione;
- Costo: indicazioni sul costo totale dell’opera, del materiale, della forza lavoro e del costo delle imprese appaltanti per la bonifica e demolizione dello ZAI.

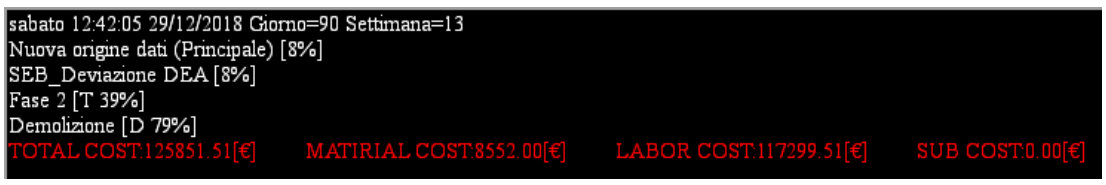


Figura 46 Informazioni visualizzate durante la riproduzione della Timeline

Altro strumento utile durante la riproduzione della *Timeline* per aumentarne la comprensione è l'animazione delle operazioni. Questo è possibile grazie alla scheda *Animator* di Naviswork. In questa sessione è possibile associare movimenti spaziali agli aggetti durante la riproduzione.

Nel nostro caso questa funzione è stata implementata per enfatizzare il processo di rimozione/installazione dei sottoservizi. Cosi che durante la riproduzione fossero ben chiari gli elementi in gioco.

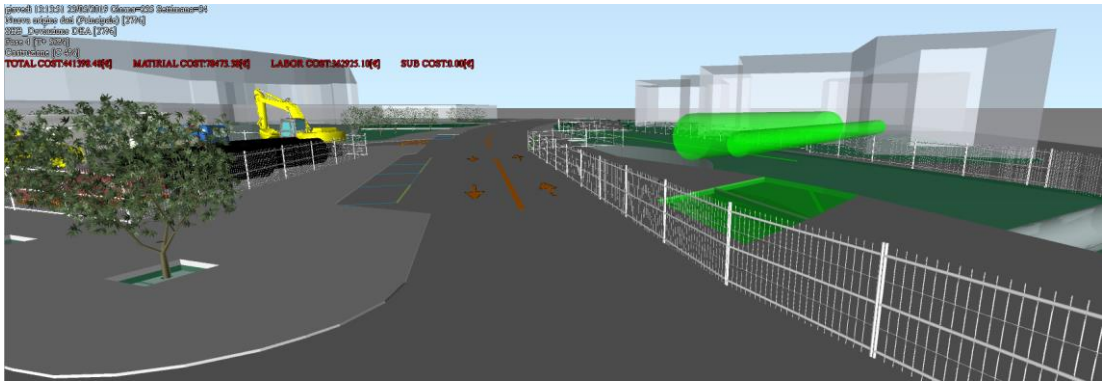


Figura 47 Esempio di animazione della Timeline

Nella figura 42 è riportato un frangente dell'animazione nella quale si può apprezzare la Fase 4. La deviazione della DEA viene calata dall'alto per poi prendere posto sotto il manto stradale nella posizione desiderata.

L'intera simulazione può essere visionata scannerizzando il seguente QR code:

Figura 48 QR Code simulazione cantiere

5.2.5 *Problematiche e Criticità*

Come più volte sottolineato in questa tesi i software utilizzati si sono rilevate decisamente performati ed adatti allo scopo. Quello di coordinare un progetto di queste dimensioni interfacciando le dinamiche del *Project Management* e quelle della metodologia BIM.

Nei paragrafi seguenti si tenterà di riassumere quelle che invece sono le problematiche riscontrate durante l'uso del software.

- Texture: quest'ultime venivano modificate rispetto a quelle impostate su Revit;
- Si riscontra una mancata cura verso l'utente finale nell'uso del software che risulta poco User Friendly. Questo dovuto al fatto che passando il mouse sulle icone il comando selezionato non venga brevemente spiegato come accade per esempio in Revit;
- La mole di lavoro addizionale per la redazione dell'elaborato fa sì che la procedura sia adatta a cantieri i quali vedono una quantità di attori in gioco, una complessità un giro d'affari tale da dover necessariamente utilizzare strumenti per la gestione ed il controllo delle risorse.

Capitolo 6
WORK FLOW IN CASE OF STUDY: INFRABIM:CLASH DETECTION,TIME AND COST SCHEDULING FOR THE PREPARATORY PHASES OF EXCAVATION IN AN URBAN CONTEXT

In questo capitolo ci concentreremo sul flusso di lavoro proposto per affrontare la casistica del caso oggetto di studio. Cioè la redazione di un progetto preliminare riguardante la deviazione di sottoservizi intercettati dal sito di scavo di una stazione della metropolita "*Grand Paris Express*[9]". Il tutto sviluppato nell'ottica BIM.

Questa sessione sarà quindi una sorta di mappa che guiderà il lettore nelle fasi salienti della progettazione. Mentre i capitoli precedenti allo lo scopo di inquadrare il singolo problema, in questa fase se ne analizza l'insieme.

La procedura seguirà rigorosamente il *Flow Chart* proposto in figura analizzandone per capitoli i tratti più salienti e citando semplicemente quelli più elementari rimandando ai capitoli precedenti se gli argomenti sono stati già trattati.

[9] Grand Paris Express è un progetto di rete composto da quattro linee di metropolitana automatica regionale ad anello attorno a Parigi e di due prolungamenti di due linee di metropolitana esistenti. Con una lunghezza totale di 200 km, dovrà essere realizzato congiuntamente da Société du Grand Paris (SGP) e Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF).

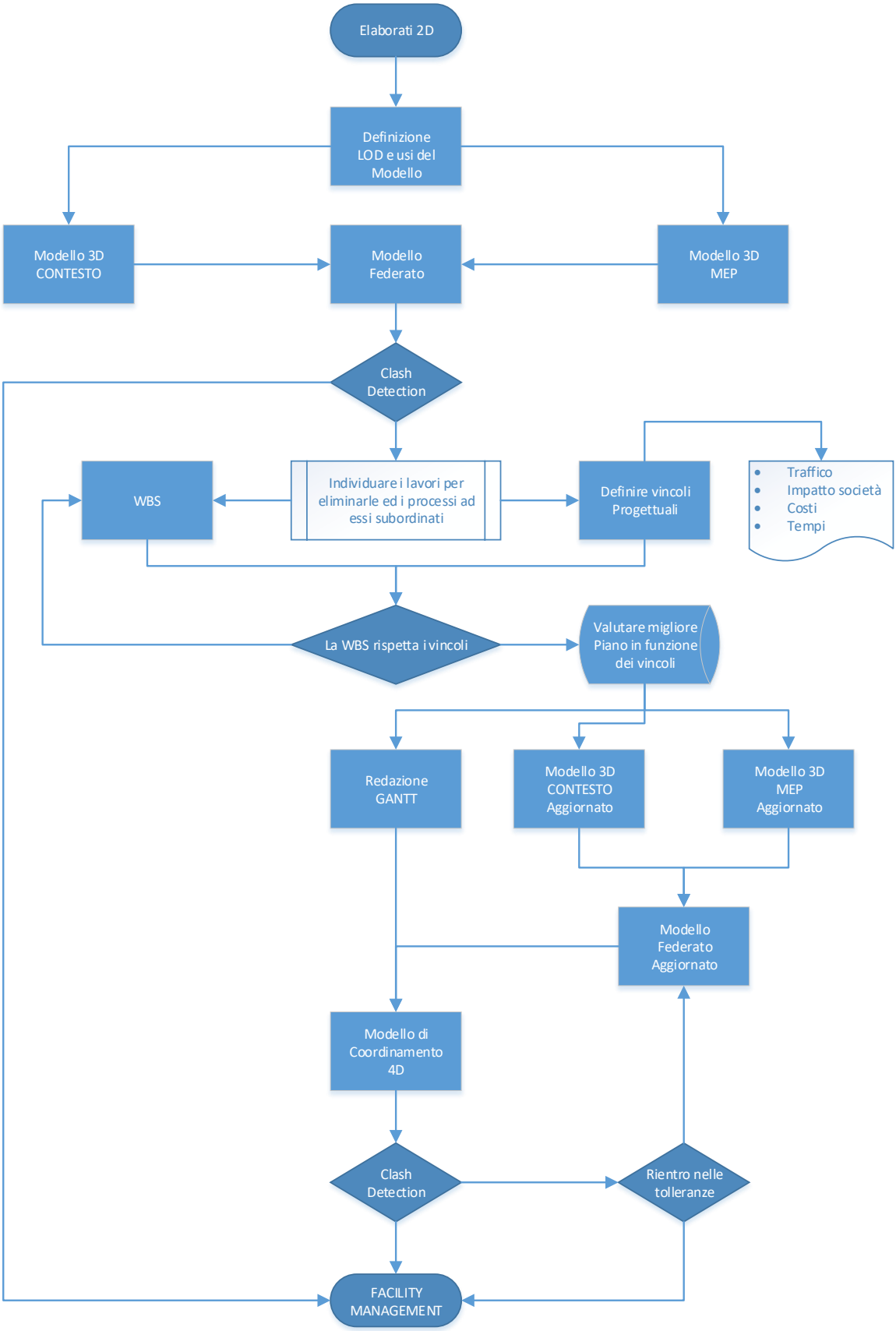


Figura 49 Flow Chart

6.1 **Dagli elaborati 2D al Modello Federato**

In questo capitolo analizzeremo le fasi che portano dalla ricezione degli elaborati 2D alla costruzione del modello federato.

Il primo passo è stato quindi quello redigere gli elaborati 2D, in questo caso forniti dall'azienda di progettazione, e usarli come base per la costruzione del modello del Contesto e MEP.

Figura 50 Esempio elaborato 2D del Contesto

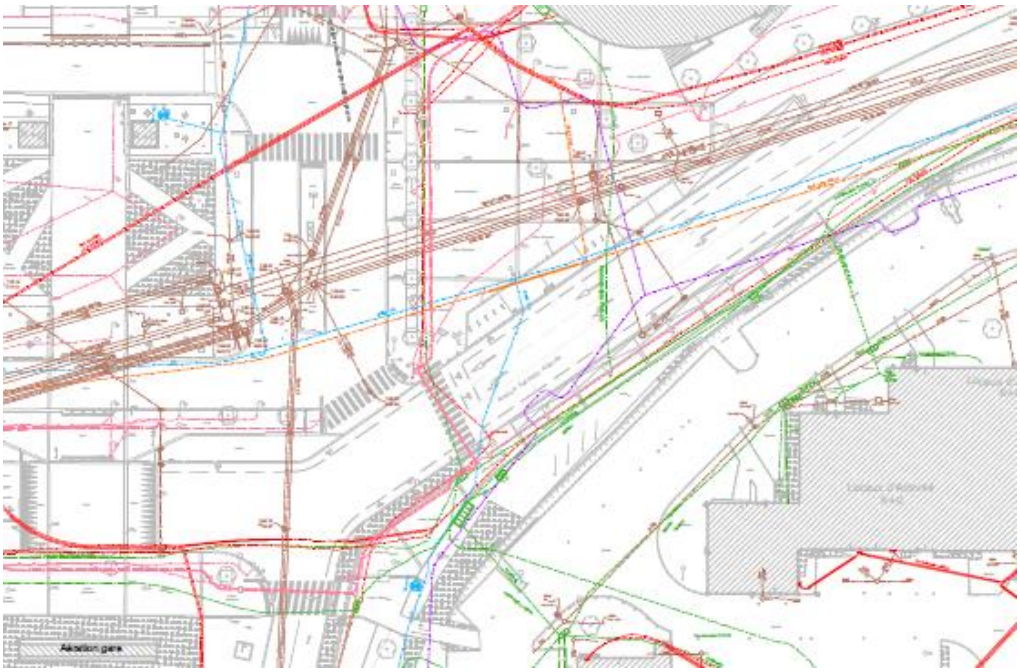


Figura 51 Esempio elaborato 2D del MEP

Si sono quindi importati i file CAD su Revit e si sono rispettivamente creati i modelli del Contesto e del MEP come precedentemente descritto nel capitolo 2 sia per quanto riguarda la modellazione e sia per la definizione dei LOD.

A questo punto, nel modello del contesto, è stata aggiunta la sagoma dell'ingombro dello scavo, il tracciato della TBM ed il tunnel della RER[10] che interessa la zona investigata.

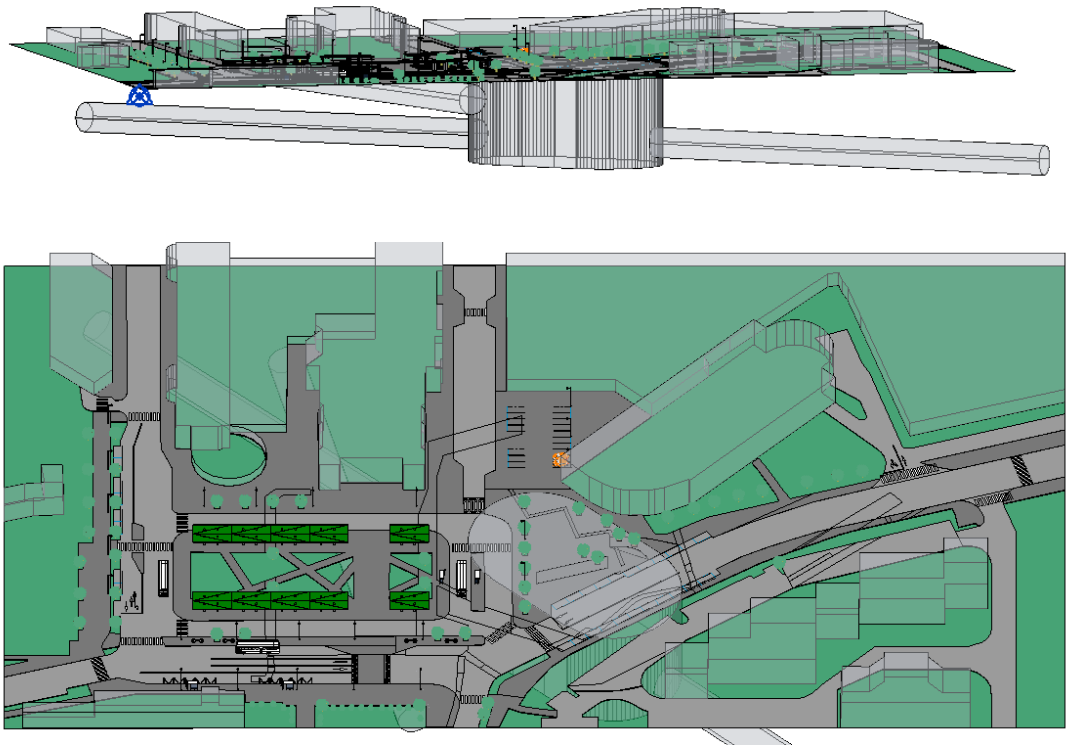


Figura 52 Assonometrie dell'area interessata dallo scavo

Fatto ciò i due modelli sono stati linkati in un modello federato nell'ottica di una collaborazione tra più figure professionali.

[10] Il Réseau express régional d'Île-de-France (spesso abbreviato in RER, in italiano Rete espressa regionale) è il nome, introdotto nel 1969, del servizio ferroviario urbano e suburbano dell'area metropolitana di Parigi, sviluppato sul collegamento di linee ferroviarie passanti attraverso gallerie nel sottosuolo del centro parigino.

6.2 **Clash Detection**

Il modello federato è stato quindi convertito in un file. nwc così da poter essere poi letto da Naviswork.

Fatto ciò è stato possibile eseguire una *clash detection* così da verificare quali elementi del modello MEP fossero in conflitto con quelli del modello Contesto. Le regole e la procedura sono descritte al capito 4.

Ora se nel progetto non vi sono interferenze tra ingombro dello scavo e sottoservizi la procedura è conclusa sarà quindi possibile delimitare l'area di scavo, eseguire lavori di deviazione stradale se necessari ed iniziare con l'attività di costruzione dell'opera d'arte.

Tuttavia, se la *clash detection* rilevasse un certo numero di interferenze sarà necessario individuare i lavori per eliminarle ed i processi ad essi subordinati.

6.3 **Generate 3D Phase Model**

A questo punto ci troviamo di fronte a due operazioni da svolgere simultaneamente. La prima è la definizione dei vincoli progettuali, quali:

- Traffico: cioè come le operazioni di deviazioni ipotizzate possono influenzare sul traffico stradale;
- Impatto sulla società: ogni opera di civile di grande portata influenzerà, direttamente o indirettamente, durante la sua costruzione le vite della popolazione limitrofa a sito;
- Tempi: senza alcun dubbio è una variabile fondamentale nella redazione di un progetto. Tant'è che tendenzialmente viene definito a priori il tempo necessario, grosso modo, al completamento dell'opera ed in funzione di esso si stabilisce il carico risorse/macchinari;
- Costi: voce strettamente collegata alla variabile precedente, pare ovvio però che soluzioni troppo articolate o fantasiose, se non strettamente necessarie, possono implicare una maggior spesa.

La seconda è la redazione della WBS che dovrà seguire le regole descritte nel capitolo 3.

Definiti questi due elementi si passa alla fase di controllo. La WBS redatta rispetta i vincoli di progetto? Se la risposta è negativa si dovrà redigere una nuova WBS tenendo ben presente i vincoli di progetto. Alternativamente il piano delle Fasi viene salvato è posto tra le alternative per la realizzazione. Questo presuppone che nel processo precedente vi sia più di una WBS che rispetti i vincoli progettuali.

Si selezionerà quindi il pano delle Fasi migliore e lo si comunicherà ai professionisti specifici per la redazione del:

- Modello 3D del CONTESTO Aggiornato,
- Modello 3D MEP Aggiornato,
- GANTT.

Con i due modelli aggiornati si andrà a comporre il Modello Federato aggiornato.

6.4 **Modello di Coordinamento 4D**

Dal modello Federato sarà possibile esportarlo in Naviswork con la medesima procedura eseguita precedentemente.

Una volta redatto il Gantt, come descritto nel capito 3, sarà possibile importarlo in Naviswork ed associare ad ogni elemento la fase temporale. Questa operazione viene descritta nel capito 4.

Si eseguirà una nuova Clash Detecnion per verificare che le modifiche apportate al modello abbiamo portato i risultati sperati e che quest'ultimi rientrino nelle tolleranze prestabilite.

Ciò non accadesse o si riscontrassero ancora delle interferenze il processo verrà rimandato alla modifica del modello federato per correggere gli errori ancora presenti.

D'altro canto, se non vengono riscontrati problemi, la procedura può dirsi conclusa e si può proseguire con l'aggiornamento dei tempi del modello durante la sua esecuzione.

6.5 **Facility Management**

Nella redazione convenzionale di un progetto di questo tipo gli elaborati finali rimangono fine a se stessi. Cioè; svolta la funzione per la quale vengono redatti, vengono messi da parte e non più utilizzati. Questo accade perché le informazioni sono "disperse" e quindi di difficile gestione in un'ottica di manutenzione del manufatto appena costruito.

Seguendo la procedura illustrata, invece, sarà possibile un riutilizzo ed eventualmente aggiornamento del modello. Dovuto al fatto che le informazioni sono tutte contenute all'interno di esso.

Basti pensare come a distanza di anni, nell'ottica di eseguire una manutenzione, si debba reperire qualche informazione riguardante la costruzione del manufatto. Si prenda ad esempio il caso analizzato volendo operare nella medesima zona sui sottoservizi. Interrogando il modello sarà possibile sapere esattamente dove si trovino gli elementi (x,y,z), la loro funzione, la composizione etc.

Con gli elaborati 2D si rimane ancorati a convenzioni adottate da singoli professionisti che vengono spiegate in relazioni tecniche che col tempo tendono a perdersi.

CONCLUSIONI

Per concludere tiriamo le fila di tutte le riflessioni fatte durante lo svolgimento del lavoro di tesi. Il lavoro svolto ha fatto si che si potesse comprendere una nuova frontiera della progettazione e interfacciare quest'ultima con strumenti di PM molto utili non solo nel contesto sviluppato. Anzi, tutt'altro sono strumenti poliedrici dei quali farò sicuramente tesoro in futuro.

L'argomento è senza alcun dubbio complesso e necessita di un'analisi più approfondita in alcuni fondamentali aspetti.

La produzione grafica, quella tabellare in questo elaborato hanno un unico punto in comune, cioè quella della progettazione preliminare. Ogni passo successivo è pregiudicato dalla qualità del processo che l'ha anticipato.

Mettendo da parte il discorso legato al passaggio delle informazioni da una piattaforma/professionista all'altra/o rimane di fondamentale importanza la progettazione ad un adeguato livello di dettaglio. Congruamente con i livelli di LOD definiti.

Ergo: se la progettazione fosse stata di tipo "Esecutivo" e non "Preliminare" il processo di modellazione sarebbe stato eccessivamente esoso in termini di tempo, senza contare che per la redazione di un preciso modello 3D si passa per ora dalla stesura di tavole 2D. Quindi, concludo dicendo che una progettazione di questo tipo va ad aggiungersi a quella 2D e non la sostituisce per ora.

Sotto il lato gestionale la procedura utilizzata mostra tutte le sue qualità rispetto a quella tradizionale, statica. Ogni fase affrontata in questo lavoro è facilmente modificabile agendo sulle variabili di progetto, le quali faranno variare in maniera dinamica il modello e la *Timeline* così da non perdere tempo in improvvise variazioni o capricci da parte degli *stakeholder*.

La figura del *Project Manager* atta a gestire più livelli troverà in questa procedura un facile aiuto per il coordinamento del personale, gestione dei costi e delle risorse.

Senza alcun dubbio le potenzialità maggiori del processo proposto sono la riduzione degli errori di cantiere ed i costi ad esso collegato. Basti pensare come se non ci fosse un coordinamento monte le figure professionali adoperate per la realizzazione del processo si finirebbe per perdere in efficienza. Avremmo più figure, mal coordinate, che lavorano sulla medesima porzione di terreno facendo lievitare tempi e costi. Ricordiamo come in questi tipi di progetti, in generale, la voce più cospicua in termini di costi è proprio la forza lavoro. Va da sé che, limitare questa voce, comporti un notevole risparmio.

Ecco spiegata la necessità di creare una WBS adeguata alla situazione con il giusto livello di dettaglio cercando di limitare gli scontri tra le squadre presenti sul sito.

Per ogni tesi a carattere sperimentale, come quella svolta, ci saranno sempre delle potenzialità future da implementare. Per quanto concerne questa branca dell'ingegneria, ovvero la gestione dei progetti, è importante analizzare come si discosti fondamentalmente dal direttore lavori. In quanto non si assicura della bontà del lavoro svolto ma bensì che quest'ultima venga completato nei tempi e costi prestabiliti. Vengono quindi a delinearsi nuove figure professionali come quella del *Project Manager* che viene regolamentata da una norma UNI per le attività non regolamentate.

Fatta questa doverosa premessa è facile pensare come la realtà aumentata possa migliorare l'esperienza del cantiere. Come possa coinvolgere maggiormente i non addetti ai lavori come gli *Stakeholder* e possa facilitare il lavoro in cantiere del direttore lavori.

BIBLIOGRAFIA

1. **Fonti**

[1]ANNA Osello, in "*Il future del disegno con il BIM per ingegneri e architetti*", Flaccovio, Italia, 2012.

[2]ANTONIELLO Matteo, *Project Management*, Relatore: Anna Osello, 2016

[3]MAHOMMED Mawlana, "*Automation in Costruction*", in "*Integrating 4D modeling and discrete event simulation for phasing evalution of elevated urban highway reconstruction roject*", Elsevier, Canada, 2015.

[4]MARTIJN Trebbe, "*Automation in Costruction*", in "*4D CAD model to support the coordination of construction activities between contractor*", Elsevier, Olanda, 2015.

[5]HYOUNSEOK Moon, "*Advance Engineering Informatics*", in *" Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule*", Elsevier, Repubblica di Korea, 2014.

[6] P.P.A Zanen, "*Advance Engineering Informatics*", in *" Development of workspace conflict visualization system using 4D object of work schedule*", Elsevier, Olanda,2015.

[7]QIQI Lu, "*International jornal of PM*", in *"A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM)*", Elsevier, Hong Kong, 2015.

[8] ABERTO Pavan, *Istruzioni sulla Nuova Norma UNI 11337:2017 in fase di inchiesta pubblica*

[9]PMI, "*Project Management Body of Knowledge*"

[10]PMI, "*Practice Standard for Work Breakdown Structures*"

2. **Sitografia**

[1S] WWW.INGENIO-WEB.IT

[2S] WWW.UNI.COM

[3S] WWW.HUMANWAREONLINE.COM

[4S] WWW.BIMACADEMY.IT

[5S] WWW.PROCAD.PL

[6S] APOLLO.EMI.UNISALENTO.IT

[7S] WWW.AUTODESK.COM

[8S] WWW.MICROSOFT.COM

[9S] WWW.CADENAS.DE

[10S] WWW.SPERASTUDIO.IT

[11S] WWW.ABITARE.IT

[12S] WWW.EVOLVE-CONSULTANCY.COM

[13S] WWW.BIMON.IT

[14S] WW.123RF.COM

[15S] WWW.EXPERENTI.EU

[16S] WWW.VISUAL.LY

[17S] WWW.RINNOVABILI.IT

[18S] IT.WIKIPEDIA.ORG

[19S] WWW.TO.CAMCOM.IT

[20S] AECMAG.COM

[21S] WWW.BIMPORTALE.COM

[22S] WWW.GISINFRASTRUTTURE.IT

[23S] WWW.INCONCRETO.NET

[24S] WWW.IBIMI.IT

[25S] WWW.LAVORIPUBBLICI.IT

3. **Bibliografia di Riferimento**

A. Hammad, M. Mawlana, A. Doriani, D. Chedore, Simulation-Based 4D Model- ing of Urban Highway Reconstruction Planning, Transportation Research Board (TRB) 91st Annual Meeting, Transportation Research Board, Washington, D.C, 2012.

Hassanein, O. Moselhi, Planning and scheduling highway construction, J. Constr. Eng. Manag. 130 (5) (2004) 638–646.

C.H. Kuo, M.H. Tsai, S.C. Kang, A framework of information visualization for multi-system construction, Autom. Constr. 20 (3) (2011) 247–262.

Vonderohe, C. Hintz, 3D Design Terrain Models or Construction Plans and GPS Control of Highway Construction Equipment, National Center for Freight & Infra- structure Research & Education, Madison, WI, 2010.

Transports Quebec, Projet de reconstruction du complexe Turcot à Montréal, Mon- tréal-Ouest et Westmount, Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement, 2014 (bhttp://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/Complexe_Turcot/documents/liste_cotes.htmN Accessed October 25, 2014.).

Microsoft Corporation, Microsoft Project, http://office.microsoft.com/en-us/project/ 2014 (Accessed September 10, 2014).

W. Orabi, K. El-Rayes, A. Senouci, H. Al-Derham, Optimizing postdisaster reconstruction planning for damaged transportation networks, J. Constr. Eng. Manag. 135 (10) (2009) 1039–1048.

M. Mawlana, A. Hammad, A. Doriani, S. Setayeshgar, Discrete Event Simulation and 4D Modeling for Elevated Highway Reconstruction Projects, 14th International Con- ference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCB-2012), Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, 2012

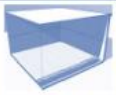
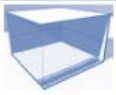
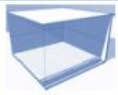
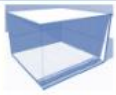
LandXML.org, Welcome Land Development Civil, Survey Professionals, http://www.landxml.org/2014 (Accessed September 15, 2014).

S.S. Chen, J.-W. Li, V.-K. Tangirala, A.M. Shirole, T. Sweeney, Accelerating the Design and Delivery of Bridges with 3D Bridge Information Modeling: Pilot Study of 3D- Centric Modeling Processes for Integrated Design and Construction of Highway Bridges, NCHRP-IDEA Program Project Final Report, No. 108, Transportation Re- search Board of the National Academies, Washington, D.C, 2006.

M. Mawlana, A. Hammad, Simulation-based Optimization of Precast Box Girder Concrete Bridge Construction Using Full Span Launching Gantry, 4th Construction Specialty Conference, CSCE 2013, Montreal, Canada, 2013.

1 **Tipi di LOD**

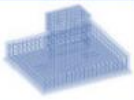
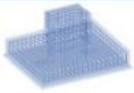
LOD spazio

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Ingombro 2D.	**Geometria** Volumi approssimati.	**Geometria** Rappresentazione del volume\ambiente con individuate le finiture.	**Geometria** Rappresentazione del volume\ambiente con individuati gli spessori delle finiture orizzontali e verticali.	**Geometria** Rappresentazione del volume\ambiente con sistema, sottosistema e componenti specifici delle finiture orizzontale e verticali rappresentato con spessori reali di marche specifiche.	**Geometria** Vano finito.	**Geometria** Vano finito.
Oggetto Linee	**Oggetto** Volume 3D	**Oggetto** Volume 3D con finiture	**Oggetto** Volume 3D con le finiture stratigrafate	**Oggetto** Volume 3D con le finiture stratigrafate con spessori reali	**Oggetto** Volume finito con materiali di marche specifiche	**Oggetto** Volume finito con materiali
Caratteristiche • Posizionamento di massima	**Caratteristiche** • Definizione d'uso/funzione del vano	**Caratteristiche** • Definizione materiali di finitura • Spessore pacchetto di finitura • Informazioni dimensionali di superficie	**Caratteristiche** • Dettagli stratigrafie finiture • Spessori di tutte le finiture • Materiali dettagliati • Rapporti aeroilluminanti • Informazioni\tipologie impiantistiche • Localizzazione (codifica WBS geografica)	**Caratteristiche** • Materiale di supporto e informazioni di posa con schede specifiche e tecniche dei prodotti e degli impianti di specifica marca	**Caratteristiche** • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8290, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto • Certificato di omologazione	**Caratteristiche** • Data di manutenzione • Posa rilevata

LOD architettura

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
Geometria Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un simbolo 2D.	**Geometria** Solido generico per rappresentazione elemento architettonico verticale o pseudoverticale con forma, spessore e posizione approssimata.	**Geometria** Elemento architettonico (sistema e sottosistema) verticale o pseudoverticale rappresentato con ingombri calcolati secondo la normativa tecnica.	**Geometria** Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le stratigrafie.	**Geometria** Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le stratigrafie, i dati specifici del fornitore dei materiali e le finiture.	**Geometria** Oggetto parete.	**Geometria** Oggetto parete.
Oggetto Grafica 2D (linee e campiture 2D)	**Oggetto** Solido 3D	**Oggetto** Solido 3D strutturato	**Oggetto** Solidi 3D complesso	**Oggetto** Solidi 3D complesso	**Oggetto** Solidi parete completa	**Oggetto** Solidi parete
Caratteristiche • Posizionamento di massima	**Caratteristiche** • Semplici geometrie di ingombro	**Caratteristiche** • Spessore • Lunghezza • Larghezza • Volume • Definizione dei materiali	**Caratteristiche** • Definizione stratigrafie dettagliate • Spessori componenti • Struttura • Isolamento • Camera d'aria	**Caratteristiche** • Tipo finitura interna • Superficie finitura interna • Tipo finitura esterna • Superficie finitura esterna	**Caratteristiche** • Manuale di manutenzione • Classificazione (UNI 8290, CSI, etc.) • Certificazioni di prodotto	**Caratteristiche** • Data di manutenzione

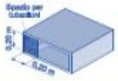
LOD strutture

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria Elemento strutturale orizzontale rappresentato mediante un simbolo 2D. **Oggetto** Simboli grafici 2D **Caratteristiche** • Posizionamento di massima	**Geometria** Elemento strutturale orizzontale rappresentato mediante un solido di estrusione abbozzato. **Oggetto** Solido 3D **Caratteristiche** • Materiali ipotizzabili • Incidenza di armatura standard	**Geometria** Elemento strutturale orizzontale rappresentato mediante un solido avente dimensioni calcolate secondo la normativa tecnica. **Oggetto** Solido 3D complesso **Caratteristiche** • Materiali da calcolo • Incidenza di armatura calcolata	**Geometria** Elemento strutturale orizzontale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le armature in posizione corretta. **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Armature 3D • Dettagli costruttivi	**Geometria** Elemento strutturale orizzontale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le armature in posizione corretta, i dati specifici del fornitore dei materiali e delle armature e la gestione dei getti. **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Gestione dei getti • Liste di piegatura ferri • Eventuale produzione prefabbricata gabbie di armatura	**Geometria** Come LOD E (rilievo di quanto eseguito) **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Certificati di collaudo • Piano di manutenzione	**Geometria** Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su elementi esistenti: Come LOD C o D (a partire da) **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Data di manutenzione/sostituzione • Soggetto manutentore • Tipologia di intervento

LOD muratura portante

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
Geometria Elemento strutturale bidirezionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un simbolo 2D. **Oggetto** Grafica 2D **Caratteristiche** • Posizionamento di massima	**Geometria** Elemento strutturale bidimensionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido di estrusione abbozzato con possibili aperture. **Oggetto** Solido 3D **Caratteristiche** • Materiali ipotizzabili • Incidenza di eventuale armatura normalizzata	**Geometria** Elemento strutturale bidimensionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni calcolate secondo la normativa tecnica. **Oggetto** Solido 3D complesso **Caratteristiche** • Materiali da calcolo • Incidenza di eventuale armatura calcolata	**Geometria** Elemento strutturale bidirezionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellate tutte le stratigrafie e le eventuali armature in posizione corretta e posizionati eventuali inserti 3D tipici. **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Elementi resistenti 3D • Dettagli costruttivi • Eventuali armature 3D • Eventuali inserti 3D	**Geometria** Elemento strutturale bidirezionale verticale o pseudoverticale rappresentato mediante un solido avente dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono incluse tutte le stratigrafie, le eventuali armature in posizione corretta, i dati specifici del fornitore dei materiali e delle finiture e la gestione di eventuali getti in opera. **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Elementi resistenti 3D • Dettagli costruttivi • Eventuali armature 3D • Eventuale gestione	**Geometria** Come LOD E (rilievo di quanto eseguito). **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Certificato di collaudo • Piano manutenzione	**Geometria** Nuovi interventi: come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su elementi esistenti: come LOD C o D (a partire da). **Oggetto** Solidi 3D complessi **Caratteristiche** • Data di manutenzione/sostituzione • Soggetto manutentore • Tipologia di intervento

LOD impianti

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
						
Geometria **Oggetto** **Caratteristiche**	**Geometria** Rappresentazione concettuale e generica degli spazi degli ingombri principali di tutti gli impianti (cavedi e cunicoli tecnici). **Oggetto** **Caratteristiche** • Indicazione delle dimensioni complessive occupate dalle tubazioni	**Geometria** Rappresentazione concettuale e generica degli spazi degli ingombri complessivi principali delle tubazioni (cavedi e cunicoli tecnici). **Oggetto** Solido 3D **Caratteristiche** • Definizione dei percorsi principali all'interno dei cavedi e dei cunicoli tecnici	**Geometria** Forma, dimensioni, posizione, ingombri, penderize, valvole, terminali, serrande, pezzi speciali, isolamento per montanti, dorsali e derivazioni effettivi. Margini ed ingombri per manutenzione, isolamenti e finiture, supporti, ancoraggi effettivi, per controllo vibrazioni e consolidamento antisismico utilizzati per montanti, dorsali, derivazioni. Forometrie effettive orizzontali e verticali. **Oggetto** Solido 3D **Caratteristiche** • Definizione effettiva di parametri di performance (portata, perdita di carico, pressioni, massa, allacciamenti, potenza elettrica, fluido termovettore, eventuale recuperatore di calore impatto acustico, ecc.)	**Geometria** Componenti supplementari per la fabbricazione e l'installazione in cantiere. **Oggetto** Solido 3D **Caratteristiche** • Nome prodotti, nome produttori • Modalità di installazione	**Geometria** Come LOD E (rilievo di quanto eseguito). **Oggetto** Solido 3D **Caratteristiche** • Nome prodotti, nome produttore • Modalità di installazione	**Geometria** Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su elementi esistenti: Come LOD C o D (a partire da). **Oggetto** Solido 3D **Caratteristiche** • Data di manutenzione/sostituzione • Soggetto manutentore • Storico delle manutenzioni

LOD facciate continue

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
Geometria Elemento architettonico rappresentato mediante un simbolo 2D.	**Geometria** Rappresentazione geometrica 3D del sistema facciata attraverso solidi con forma e spessore approssimati e linee d'asse che determinano la suddivisione della facciata in moduli.	**Geometria** Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato con forma, dimensioni e posizione corretti.	**Geometria** Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato con forma, dimensioni e posizione corretti, integrati da interfacce con altri sistemi.	**Geometria** Elemento architettonico verticale o pseudoverticale rappresentato con forma, dimensioni e posizione corretti. Sono rappresentati tutti gli elementi fisici che compongono la facciata e i componenti accessori. Sono definiti materiali, finiture e i dati specifici del fornitore di prodotti commerciali.	**Geometria** Come LOD D (con aggiornamenti rilevati in cantiere, se necessari)	**Geometria** Come LOD F
Oggetto Grafica 2D (linee e campiture 2D)	**Oggetto** Solido 3D + linee d'asse	**Oggetto** Solido 3D composito + linee d'asse	**Oggetto** Solido 3D composito	**Oggetto** Solido 3D composito	**Oggetto** Solido 3D composito	**Oggetto** Solido 3D composito
Caratteristiche Posizionamento di massima	**Caratteristiche** Semplici geometrie d'ingombro	**Caratteristiche** Proprietà del pannello di facciata: • Tipologia di facciata • Definizione materiali • Dimensioni • Presenza di elementi	**Caratteristiche** Proprietà del pannello di facciata: • Tutte le caratteristiche del LOD C • Sistemi di fissaggio e altri elementi di inter-	**Caratteristiche** Proprietà del pannello o dei singoli componenti: • Tutte le caratteristiche del LOD D • Finiture • Tipologia del vetro	**Caratteristiche** Proprietà del pannello di facciata: • Tutte le caratteristiche del LOD E • Piano di manutenzione	**Caratteristiche** Proprietà del pannello di facciata: • Tutte le caratteristiche del LOD F • Data di manutenzione/ sostituzione

LOD terreno

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
Geometria Terreno esistente rappresentato mediante una superficie piana equivalente, comprensiva di un punto notevole, di un orientamento e una georeferenziazione	**Geometria** Terreno esistente rappresentato mediante una superficie tridimensionale basilare (TIN o Grid)	**Geometria** Terreno esistente rappresentato mediante una superficie tridimensionale creata da una rete di punti appositamente rilevati (ad esempio laser scan).	**Geometria** Terreno esistente rappresentato mediante una superficie tridimensionale creata da una rete di punti appositamente rilevati (ad esempio laser scan). Ulteriori stratigrafie sottostanti sono rappresentate anch'esse da superfici 3D create sulla base di opportuni rilievi.	**Geometria** Come LOD D.	**Geometria** Come LOD E (con aggiornamenti).	**Geometria** Come LOD F (con aggiornamenti).
Oggetto Superficie 2D	**Oggetto** Superficie 3D	**Oggetto** Superficie 3D	**Oggetto** Superfici complesse 3D	**Oggetto** Superfici complesse 3D	**Oggetto** Superfici complesse 3D	**Oggetto** Superfici complesse 3D
Caratteristiche • Nome della superficie • Area occupata	**Caratteristiche** • Quote dei punti	**Caratteristiche** • Pendenze delle scarpate • Orografia realistica	**Caratteristiche** • Dettaglio stratigrafie	**Caratteristiche**	**Caratteristiche**	**Caratteristiche**

LOD infrastrutture

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
Geometria Tracciato planimetrico base (2D).	**Geometria** Tracciato planimetrico comprensivo di curve di transizione. Tracciato altimetrico comprensivo di raccordi verticali.	**Geometria** Tracciato plancaltimetrico completo.	**Geometria** Modello ferroviario a superfici, costruito sull'asse 3D.	**Geometria** Modello ferroviario completo a superfici, costruito sull'asse 3D.	**Geometria** Come LOD E (rilievo di quanto eseguito)	**Geometria** Nuovi interventi: Come LOD F (con aggiornamenti) Manutenzione e gestione su tracciati esistenti: Come LOD C o D (a partire da).
Oggetto Asse 2D	**Oggetto** Asse 2D nel piano orizzontale Asse 2D nel piano verticale	**Oggetto** Asse 3D	**Oggetto** Assi 3D Superfici 3D	**Oggetto** Assi 3D Superfici 3D	**Oggetto** Assi 3D Superfici 3D	**Oggetto** Assi 3D Superfici 3D
Caratteristiche • Lunghezza rettifili • Raggi curve circolari	**Caratteristiche** • Parametri curve di transizione • Livellette • Raccordi verticali • Progressive chilometriche • Normativa ferroviaria	**Caratteristiche**	**Caratteristiche** • Sezione trasversale • Sagoma limite • Sopraelevazione ferroviaria in curva	**Caratteristiche** • Sezioni tipo • Scarpate • Impianti di linea • Volumi di materiale (movimenti terra, sovrastruttura, ecc.)	**Caratteristiche** • Certificazioni di prodotto • Certificati di omologazione • Informazioni su terre e rocce da scavo • Esiti prove in situ • Esiti prove di laboratorio	**Caratteristiche** • Data di ultima manutenzione • Soggetto manutentore • Tipologia di intervento • Esiti rilievi

LOD edifici

LOD A	LOD B	LOD C	LOD D	LOD E	LOD F	LOD G
Geometria Ingombro planimetrico dell'edificio. **Oggetto** Superficie 2D **Caratteristiche** • Area impronta edificio • Tipologia edificio	**Geometria** Ingombro tridimensionale dell'edificio. **Oggetto** Superfici 3D Solidi 3D **Caratteristiche** • Quota tetto • Quota fondazione	**Geometria** Ingombro tridimensionale effettivo dell'edificio. **Oggetto** Superfici 3D Solidi 3D **Caratteristiche** • Pendenza falde tetti • Volumi	**Geometria** Come LOD C. **Oggetto** Superfici 3D Solidi 3D **Caratteristiche**	**Geometria** Come LOD D. **Oggetto** Superfici 3D Solidi 3D **Caratteristiche**	**Geometria** **Oggetto** **Caratteristiche**	**Geometria** **Oggetto** **Caratteristiche**

LOD macchine e attrezzature

LOD A	LOD B	LOD C e D	LOD E
Geometria Attrezzatura di cantiere rappresentate mediante un simbolo 2D.	**Geometria** Attrezzatura di cantiere rappresentata mediante solidi di estrusione abbozzati.	**Geometria** Attrezzatura di cantiere rappresentata mediante solidi aventi dimensioni calcolate e differenti configurazioni.	**Geometria** Attrezzatura di cantiere rappresentata mediante solidi aventi dimensioni pari alle dimensioni reali. Sono modellati i componenti principali (cabina, plinto, zavorra, etc.) Sono inclusi i dati di fabbrica della casa produttrice e i dati di gestione della macchina.
Oggetto Simboli grafici 2D	**Oggetto** Solidi 3D semplici	**Oggetto** Solidi 3D parametrici	**Oggetto** Solidi 3D complessi
Caratteristiche • Posizionamento di massima	**Caratteristiche** • Volume d'influenza	**Caratteristiche** • Configurazioni operative • Definizione carichi • Area di appoggio	**Caratteristiche** • Modello commerciale • Dimensioni operative • Parametri produttività • Gestione installazione • Gestione utilizzo • Gestione manutenzione

LOD restauro

LOD A-E

Per interventi di restauro i LOD da A ad E non sono significativi se non per alcune opportune semplificazioni del modello di natura specialistica

LOD F

Gli oggetti esprimono la virtualizzazione rilevata sul luogo dello specifico sistema esistente (as-built).

Le caratteristiche quantitative e qualitative (dimensione, forma, ubicazione, orientamento, costo, ecc.) sono quelle specifiche del singolo oggetto, identificando possibili astrazioni che consentano di raggruppare famiglie di oggetti simili o aggregazioni di oggetti coerenti.

Sono definiti per ogni singolo prodotto gli interventi di gestione, manutenzione e/o riparazione da eseguirsi lungo un arco temporale di programmazione.

LOD G

Gli oggetti esprimono la virtualizzazione aggiornata dello stato di fatto di una entità in un tempo definito. Rappresentazione storicizzata dello scorrere della vita utile di uno specifico sistema aggiornato rispetto a quanto trattato o installato in un precedente intervento.

Le caratteristiche quantitative e qualitative (dimensione, forma, ubicazione, orientamento, ecc.) sono aggiornate rispetto ad un precedente stato di fatto

E' annotato ogni singolo (e significativo) intervento di gestione, manutenzione e/o riparazione e sostituzione eseguito nel tempo, così come sono registrate le forme di degrado eventualmente in essere

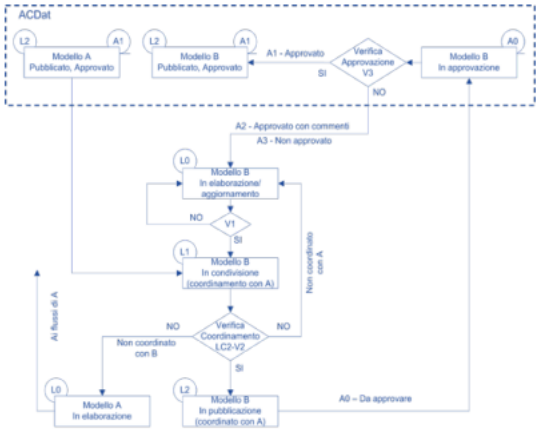
2 **Stati di Lavorazione, Elaborati Informativi, Entità e LOD**

lavorazione, approvazione, verifica

lavorazione:
L0 in fase di elaborazione/aggiornamento
L1 in fase di condivisione
L2 in fase di pubblicazione:
L3 archiviato:
L3.V "valido",
L3.S "superato"

approvazione:
A0 da approvare
A1 approvato
A2 approvato con commento:
A3 non approvato

verifica:
V1 verifica interna, formale
V2 verifica interna, sostanziale
V3 verifica indipendente, formale e sostanziale



elaborati informativi

Fase	Esigenziale	Fattibilità sostenibilità	Funzionale spaziale	Autorizzativa	Tecnologica	Esecutiva	Collaudo e consegna	Gestione manutenzione
Elaborato	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Quadro dei bisogni	X							X
D.p.p.		X						X
Rilievo socio-economico	X	X						X
Rilievo geografico		X						X
Rilievo ambientale		X						X
Rilievo urbanistico		X						X
Rilievo edilizio		X						X
Rilievo archeologico		X		X				X
Rilievo aziendale		X						X
Rilievo agronomico		X						X
Rilievo botanico		X						X
Rilievo acustico			X					X
Rilievo energetico			X					X
Rilievo catastale		X						
VAS – VIA – AIA		X						X
Rappresentazione grafica	X	X	X	X	X	X	X	X
Relazione illustrativa		X	X	X	X			X

entità e LOD

	Esigenziale	Fattibilità sostenibilità	Funzionale spaziale	Autorizzativa	Tecnologica	Esecutiva	Collaudo e consegna	Gestione manutenzione
Opera (c.d.opere)	**C**	N	N	N	N	N	N	N
Territorio	**C**	N	N	N	N	N	N	N
Sito e preesistenze	A	**C**	N	N	N	N	N	N
Afo	A	**C**	**C**	N	N	N	N	N
Aso	F	A	**C**	N	N	N	N	N
Spazi	F	F	A	**C**	N	N	N	N
Sistemi	F	F	F	**C**	N	N	N	N
Subsistemi	F	F	F	A	**C**	N	N	N
Componenti	F	F	F	F	**C**	N	N	N
Prodotti*	F	F	F	F	F	**C**	N	N

ENTITA':		
	C	Caratteristica
	N	Necessaria
	A	Auspicata
	F	Facoltativa

* Prodotto componente commercialmente identificato (marca, modello ecc)

3 **Abachi**

4 **Codifica e WBS**

5 **Tavola Ergotecnica**

6 **Elaborati 3D**

7 Report Clash Detection