

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

in

Organizzazione del Cantiere

**LA STRATEGIA BIM A SUPPORTO DEL PROGETTO
DELLA SICUREZZA NEL CANTIERE EDILE: IL CASO
DELL'OSPEDALE DI PRIMO SOCCORSO A LAMPEDUSA**

CANDIDATO:
Giulia Tortorella

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Marco Alvisè Bragadin

CORRELATORI:
Prof. Arch. Angelo Ciribini
Ing. Simone Garagnani
Ing. Luca Venturi

Anno Accademico 2013/2014
Sessione II

*Ai miei nonni,
Francesco e Pietro.*

*La misura dell'intelligenza
è data dalla capacità di cambiare
quando è necessario.
(Albert Einstein)*

INDICE

Abstract	
List of acronyms	
1. Introduzione	
1.1. Il Progetto del Cantiere all'interno del ciclo di vita dell'opera	1
1.2. L'importanza della sicurezza fin dalla fase di progettazione	3
1.3. Strumenti informatici a supporto della progettazione della sicurezza	5
1.3.1. Approcci del Design-for-safety	6
1.3.2. Strumenti del Design-for-safety	7
2. La Sicurezza nel Cantiere Edile	
2.1. Riflessioni sugli infortuni nel settore delle costruzioni	9
2.1.1. Dati Vega Engineering	9
2.1.2. Dati INAIL	15
2.2. Normativa di riferimento	19
2.2.1. Il Testo Unico sulla salute e sulla sicurezza sul lavoro	21
2.2.2. Il Progetto della Sicurezza	24
2.2.3. Il Piano di Sicurezza e Coordinamento	27
3. Il Bim	
3.1. Cos'è il BIM	29
3.2. Breve storia del BIM	31
3.3. Oggetti Parametrici Intelligenti	33
3.4. Il problema dell'Interoperabilità	35
3.5. Quadro normativo attuale sul BIM	38
3.6. BIM e Design-for-safety	41
4. Software utilizzati	
4.1. Autodesk Revit	43
4.2. Microsoft Project	45
4.3. Autodesk Navisworks	46

5. Il PSC ed il BIM	
5.1. Le informazioni estrapolabili dal modello BIM	48
5.2. La trasmissione delle informazioni	52
6. Caso di studio	
6.1. Centro di primo soccorso a Lampedusa	53
6.1.1. La scelta del progetto	53
6.1.2. Descrizione del progetto	53
7. Processo BIM	
7.1. Modello 3D	61
7.1.1. Modello 3D del Progetto	62
7.1.2. Modello 3D del Cantiere	84
7.2. Modello 4D	89
7.2.1. Simulazione del cantiere	89
7.2.2. Rilevazione Interferenze	93
8. Conclusioni	
8.1. Conclusioni in merito al lavoro svolto	97
8.2. Spunti per eventuali sviluppi futuri	97
Bibliografia	
▪ LIBRI	99
▪ ARTICOLI	99
▪ SITI INTERNET	102
ALLEGATI	
Allegato I – Abachi e Computi dei materiali	103
Allegato II – WBS: Work Breakdown Structure	107
Allegato III - Diagramma di Gantt	111
TAVOLE	
<i>Ringraziamenti</i>	

ABSTRACT

In diversi campi della scienza e della tecnica, l'uomo ha cercato, fin dall'antichità, di trovare soluzioni sempre migliori ai problemi che gli si presentavano. Il settore delle costruzioni è uno dei più antichi: dal passato fino ad oggi, vi è stato un continuo sviluppo di tecniche e pratiche che hanno reso possibile raggiungere obiettivi sempre più importanti. Superate ormai molte problematiche fondamentali, che non vanno comunque trascurate o sottovalutate, oggi ci si pone davanti a sempre nuove situazioni di diverso carattere, che s'intende affrontare con strumenti innovativi e differenti punti di vista. Le questioni più attuali nell'ambito delle costruzioni sono svariate e si pongono sempre l'obiettivo di arricchire e potenziare la nostra eredità culturale.

Attraverso lo studio intrapreso in questa tesi, ci concentreremo sugli aspetti riguardanti l'intero ciclo di vita dell'opera, facendo riferimento alle problematiche più ricorrenti che si presentano ad oggi, ponendo rilevante attenzione alla questione della sicurezza. Il principale obiettivo che ci poniamo è quello di migliorare la gestione dell'intero processo costruttivo al fine di diminuire i rischi d'infortuni: è quindi di fondamentale importanza valutare il progetto nel complesso di tutte le sue fasi. L'aspetto che si vuole infatti sottolineare è che spesso i problemi riscontrabili nel corso della realizzazione vera e propria dell'opera nascono da scelte errate già durante la progettazione. Inoltre è necessario che il progettista valuti con altrettanta attenzione quella che è la sicurezza nelle fasi manutenzione dell'opera, senza limitarsi unicamente a ciò che accade nel periodo compreso tra l'allestimento e lo smantellamento del cantiere.

La tendenza è ormai quella di ricercare sempre nuovi strumenti capaci di ridurre, o ancor meglio eliminare, le cause principali che provocano quel tipo di errore che può portare a situazioni di pericolo per le persone. L'aspetto primario che noi vogliamo migliorare è la questione della comunicazione tra i soggetti coinvolti nell'intero processo: ormai è diventata di fondamentale rilevanza la gestione dello scambio d'informazioni tra coloro che entrano a far parte dell'intero processo costruttivo, a tutti i livelli e durante ogni fase. A questo scopo si sta sempre più diffondendo l'impiego di strumenti sempre più avanzati: quello cui faremo riferimento noi è il cosiddetto BIM, *Building Information Modeling*.

Con questo termine non s'intende semplicemente un programma o un modello virtuale; quando si parla di BIM ci si vuole riferire ad un più ampio e complesso rapporto di relazioni e analisi, gestite attraverso l'ausilio di programmi informatici capaci di generare un unico modello multi-dimensionale virtuale, capace di contenere tutte le informazioni riguardanti il progetto. Questo tipo di approccio innovativo è volto a migliorare nel complesso ciò che concerne al progetto, tenendo conto dell'intero ciclo di vita dell'opera: una gestione di questo tipo risulta essere più rapida, economica e sostenibile. Secondo questo criterio si utilizza un unico modello virtuale capace di racchiudere in se molte delle possibili informazioni inerenti ai diversi aspetti del progetto; tutti questi dati possono essere utilizzati e gestiti dai diversi soggetti interessati, migliorando così la cooperazione e la comunicazione tra di essi. Questo aspetto è fondamentale poiché rappresenta un'ottimizzazione dell'intero processo: molti errori nascono infatti dallo scambio di informazione tra coloro che curano i differenti caratteri dell'opera. Il BIM sfrutta strumenti intelligenti capaci inoltre di migliorare anche la visualizzazione e la simulazione: attraverso questo tipo di modello è possibile risolvere preventivamente quel tipo di problematiche, trascurate spesso in fase di progettazione, che si riscontrano solo successivamente in cantiere, e che portano non solo a possibili situazioni di pericolo, ma anche a ritardi e aumento dei costi dell'opera.

Le potenzialità di questo processo sono molteplici e in continuo sviluppo: ciò che si intende fare, attraverso l'ausilio di un caso di studio, è quello di sfruttare la strategia BIM a supporto della redazione di un progetto della sicurezza, concentrandoci sugli aspetti che riguardano la fase di realizzazione dell'opera. Dopo un'approfondita ricerca riguardo a questo tipo di tecnologia, verrà scelto il software da adottare per la successiva fase di applicazione. Attraverso questo programma realizzeremo un modello 4D di tipo BIM, (cioè che tiene conto anche del fattore tempo), che possa essere sfruttato al fine di fornire un ulteriore supporto agli aspetti riguardanti la sicurezza durante il processo di cantierizzazione: in particolare il nostro obiettivo è quello di ricavare da questo modello virtuale degli elaborati 3D o 2D, capaci soprattutto di migliorare la formazione e l'informazione dei lavoratori riguardo il progetto specifico preso in esame. Il tipo di elaborato grafico che ricerchiamo deve essere capace di risolvere i possibili dubbi e incertezze che possono nascere nel dialogo tra tecnici e operai: vogliamo in questo modo evitare il più possibile che si verifichino errori tecnici durante

le diverse lavorazioni, ma anche rendere il più sicuro possibile il luogo di lavoro fornendo più chiare indicazioni sui rischi e le modalità di esecuzione. Il modello che realizzeremo sarà inoltre utile, per il progetto stesso di cantiere, per valutare le scelte più opportune da prendere al fine di garantire una maggiore sicurezza, poiché sarà in grado di simulare temporalmente le diverse fasi in cui dovrà essere realizzata l'opera.

In conclusione, un ulteriore vantaggio sarà quello di poter utilizzare tutti i dati ed elaborati inerenti all'opera e alle scelte di progetto e di cantiere anche come supporto per eventuali manutenzioni future: in tal modo si vuole sottolineare ancora come questo approccio sia di supporto all'intero ciclo di vita dell'opera.

ABSTRACT

Since the inception of history, human beings have been trying to find improving solutions to everyday problems. The construction sector is one of the most oldest: since the very beginning it has been improved with new techniques and processes that reached out impressive results. While the most common construction problems have been overcome throughout the years, the new technologies allowed the construction sector to face new challenges and solve them by means of innovative tools. The most actual problems in the field of construction share the common goal of enhancing and empowering our Cultural Heritage.

Throughout this research, the whole life cycle of a building will be analyzed, with a special focus on the most common issues that affect the construction sector nowadays, such as safety. In fact, the goal is to enhance the management of the entire construction process in order to reduce the risk of accidents. To achieve this it is really important to consider the process in all of its stages. The aspect that will be stressed is that many issues aroused during the construction phase derive from mistakes made during the design process. Furthermore, it is really necessary to pay attention to safety issues during the maintenance of a building, and not only focus on the phases between the installation and dismantlement of the building site.

The contemporary trend is that of researching new tools capable of reducing, or even eliminating, the most common mistakes that usually lead to safety risks. The most important aspect we try to enhance is the communication among the different stakeholders involved in the entire process since it is a well-known fact that it is a key aspect to ensure a correct management of the process throughout its phases. That is one of the main reasons why new technologies and tools have been introduced in the field. The one we will focus on is the so-called BIM: Building Information Modeling.

With the term BIM we refer to wider and more complex analysis tool than a simple 3D modeling software. Through BIM technologies we are able to generate a multi-dimension 3D model which contains all the information about the project. This innovative approach aims at a better understanding and control of the project by taking into consideration the entire life cycle

and resulting in a faster and more sustainable way of management. Furthermore, BIM software allows for the sharing of all the information among the different aspects of the project and among the different participants involved thus improving the cooperation and communication. This is a key aspect as it represents a true optimization of the process and prevents mistakes led by miscommunication among the different parties involved in the design practice. In addition, BIM software utilizes smart tools that simulate and visualize the process in advance, thus preventing issues that might not have been taking into consideration during the design process. This leads to higher chances of avoiding risks, delays and cost increases.

The BIM approach holds the potential for continuous and incremental improvements.

In this case study we will use this approach for the completion of a safety plan, with a special focus onto the construction phase. After having carefully researched and studied this technology, a software was chosen and utilized to author a 4D model (where the fourth dimension is time) to be used to enhance the safety aspects that concern the set up of the building site and the facility related to a hospital case study. From this model we will extract 2D and 3D drawings with the purpose of enhancing the formative level of workers, thus reducing possible mistakes and miscommunication problems, especially between technicians and carpenters. In addition, this will lead to a better and clearer understanding of operating instructions and possible risks associated to the different processes. The time factor will be shown by breaking the process into its different phases, and analyze each one of them in order to make those choices which minimize the risks.

In conclusion, another advantage of this approach is that of allowing for using all this information about the design and the construction as a support for future maintenance works, thus stressing once again how this method take into consideration.

LIST OF ACRONYMS

3-D	Three Dimensions
4-D	Three Dimensions + Time
5-D	Four Dimensions + Money
AEC	Architecture, Engineering and Construction
AIA	American Institute of Architects
BEST	Building Environment Science & Technology
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design
CHAIR	Construction Hazard Assessment Implication Review
CII	Construction Industry Institute
DfS	Design for Safety
FM	Facility Management (or Maintenance)
IAI	International Alliance for Interoperability
IPDB	Integrated Project Database
GIS	Geospatial (or Geographical) Information Systems
IFC	Industry Foundation Classes
INAIL	Istituto Nazionale Assicurazione Infortuni sul Lavoro
ISTAT	Istituto Nazionale di statistica
MEP	Mechanical, Electrical, and Plumbing
POS	Piano Operativo di Sicurezza
PSC	Piano di Sicurezza e di Coordinamento
PtD	Prevention through Design
TUSL	Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro
XML	Extensible Markup Language

INTRODUZIONE

1.1 Il Progetto del Cantiere all'interno del ciclo di vita dell'opera

L'intero ciclo di vita di un'opera è caratterizzato da più fasi legate tra loro: durante questo processo entrano in gioco diverse figure e vengono realizzati elaborati e documenti di tipo differente. Più maestranze collaborano coerentemente su ogni aspetto del progetto al fine di produrre un organismo edilizio prestazionalmente conforme alle richieste del committente. Per migliorare l'intero processo bisognerebbe porre particolare attenzione al legame tra le diverse fasi che caratterizzano l'intero ciclo di vita dell'opera (*Figura 1.1*): sarebbe opportuno che chiunque intervenisse durante lo sviluppo dell'opera, prendesse coscienza di questo fondamentale aspetto, al fine di ottimizzare il proprio lavoro e quello degli'altri operatori.

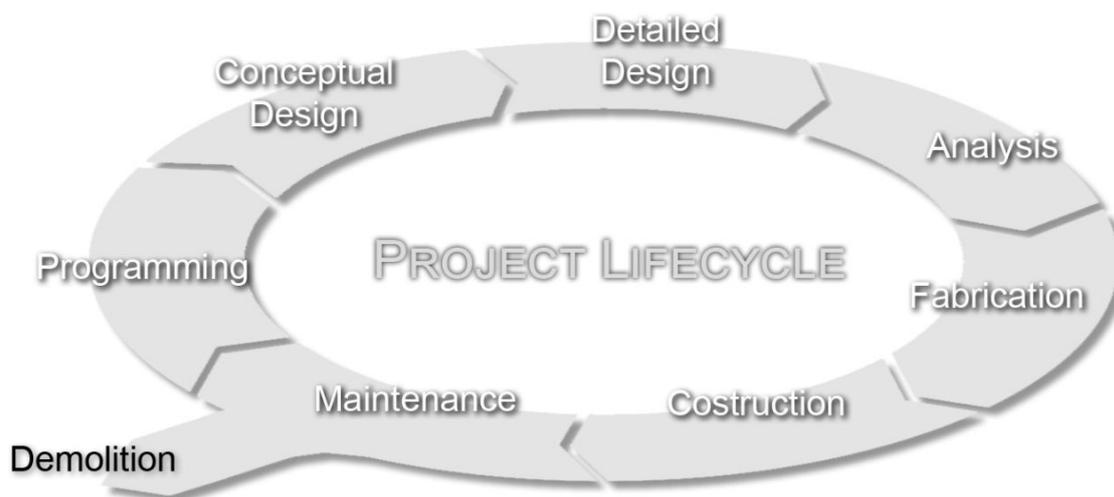


Figura 1.1 – Rappresentazione del ciclo di vita del progetto.

Sulla base di ciò possiamo quindi inserire la fase di progetto del cantiere in un contesto molto più ampio che abbraccia l'intero percorso che porta al compimento dell'opera: è importante infatti prendere coscienza di questo aspetto fin dalle prime fasi di *concept*, quando si sviluppano le idee iniziali e si fanno le prime scelte che definiranno il carattere della costruzione. Sarà quindi compito del progettista, (o *designer*, come viene chiamato all'estero), affiancato da altri professionisti, redigere un progetto che risponda di tutte le eventuali caratteristiche prestazionali, tenendo sempre conto anche di quella che sarà la fase di fabbricazione. Allo stesso modo, risulta altrettanto importante definire anticipatamente delle possibili soluzioni per il mantenimento dell'opera, o addirittura considerare quale possa essere la procedura migliore per la disfunzione della

stessa. Questo tipo di approccio, seppur non sempre adottato, è utile per ottimizzare il processo nel suo complesso: considerare certe problematiche secondo scenari più ampi e migliorando il dialogo tra i soggetti coinvolti risulta possibile ottenere diversi tipi di vantaggi. L'obiettivo deve essere quello di realizzare un'opera funzionale e sicura, rispettando i giusti tempi e contenendo i costi: lavorando sul progetto, tenendo conto dell'interrelazione tra le sue fasi, è possibile infatti limitare eventuali errori che potrebbero causare ritardi, spese impreviste, e creare situazioni di pericolo della fase di cantierizzazione.

1.2 L'importanza della sicurezza fin dalla fase di progettazione

Durante le prime fasi di progettazione dell'opera si verifica spesso uno scarso interesse da parte del progettista riguardo ai rischi che la realizzazione comporterebbe. In Italia, in particolare, secondo la normativa vigente in materia di sicurezza, *Decreto Legislativo 81/08*, il committente, o per lui il responsabile dei lavori, nei cantieri in cui è prevista la presenza di più imprese, anche non contemporaneamente, deve designare due figure fondamentali in materia di sicurezza:

- Il coordinatore in materia di sicurezza e di salute durante la progettazione
- Il coordinatore in materia di sicurezza e di salute durante la realizzazione dell'opera

Nel caso sia presente una sola impresa la responsabilità è rimandata al datore di lavoro. Queste figure hanno il compito di gestire la sicurezza del cantiere rispettivamente durante la fase di progettazione ed esecuzione, supportati dalla collaborazione di tutti gli altri soggetti coinvolti. Molto spesso però questi soggetti entrano in gioco solo dopo che il progettista ha definito tutte le caratteristiche dell'opera, a volte trascurando la fase di realizzazione. Questo problema viene riscontrato anche all'estero.

Secondo *Gambatese (Acting Asst. Prof., Dept. of Civ. Engrg., Univ. of Washington, Seattle)*, in un suo articolo del 1997, i progettisti non sono attivamente coinvolti nello sforzo per garantire la sicurezza dei lavoratori, seppure risulta che abbiano una significativa influenza a riguardo. Questa mancanza di coinvolgimento è attribuita alla loro scarsa educazione ed esperienza per affrontare la sicurezza sul cantiere ed alla loro tendenza a minimizzare la propria responsabilità. Nel suo articolo *Gambatese* espone il lavoro effettuato dalla *Construction Industry Institute (CII)*, la quale, attraverso mezzi digitali, realizza uno strumento di facile utilizzo che possa supportare i progettisti durante la fase di progettazione per individuare i rischi di costruzione relativi all'opera su cui stanno lavorando.

Attraverso studi di manuali, ricerche e interviste a specialisti nel settore delle costruzioni, è stato possibile, effettuando diversi aggiornamenti, raggiungere la versione definitiva di questo programma chiamato *Design For Construction Safety ToolBox*: questo software unisce le fasi di progettazione e costruzione per migliorare sicurezza dell'operaio edile; si tratta di un *database* di conoscenze in materia di sicurezza in grado di coinvolgere i progettisti a porsi questo tipo di problemi durante le fasi antecedenti alla realizzazione dell'opera, permettendo loro di fare valutazioni a livello di progetto che riducano i rischi.

Già negli anni '90 si era quindi cominciato a sfruttare mezzi computerizzati allo scopo di migliorare la pianificazione della sicurezza nei cantieri. Tra i vantaggi che questo software di progettazione offre troviamo:

- un utilizzo più efficiente dello strumento da parte del team di progettazione;
- la possibilità di aggiornare frequentemente la base di conoscenze;
- una gestione ed un controllo più facile del processo di revisione;
- la capacità di incorporare funzioni analitiche, quali la valutazione dei rischi e l'analisi delle decisioni.

Questo strumento di progettazione si rivela inoltre utile anche durante l'avviamento, la manutenzione e le fasi di disattivazione. Al fine di ridurre i rischi di infortuni sul lavoro, risulta quindi opportuno che il progettista collabori per valutazioni sulla sicurezza sin dalla fase di progettazione, o che si avvalga di strumenti di supporto per migliorare le sue scarse conoscenze in materia: questo approccio renderebbe migliore l'intero processo e la gestione durante tutto il ciclo di vita dell'opera.

La *collaborazione* e la *comunicazione* risultano essere la parola chiave per una buona gestione del progetto, e ancora oggi la ricerca studia nuovi mezzi per migliorare l'intero processo: secondo il *Dr. Wei Zhou (Design Innovation Research Centre, School of Construction Management and Engineering, University of Reading, U.K.)* è possibile sfruttare le nuove tecnologie per raggiungere questo scopo. In un articolo del 2011, il *Dr. Zhou* definisce le tecnologie BIM appropriate per supportare la collaborazione multidisciplinare, ed in particolare utili per permettere, fin dalle fasi di progettazione, di effettuare considerazioni in materia di sicurezza; questo è possibile in primo luogo perché i software BIM, come *Digital Project* e *Tekla Structures*, sono dotati di funzioni correlate per consentire ai progettisti ed ai professionisti della costruzione di lavorare sullo stesso modello di edificio. Allo stesso modo anche Autodesk fornisce più prodotti attraverso cui i diversi soggetti possono lavorare su le differenti parti del progetto allo stesso tempo. La condivisione dei dati e il lavoro simultaneo su un unico modello può favorire la comunicazione e la collaborazione. Chi si occupa della fase di realizzazione dell'opera, attraverso un modello BIM, è in grado di ottenere i dati necessari per la creazione di un modello 4D, utile per valutazioni preliminari sulla sicurezza, che potranno essere condivise col progettista fin dalle prime fasi di progetto. Un esempio dell'efficacia delle tecnologie riguardanti il 4D CAD è stato riportato dal *Centro Tecnico di Ricerca della Finlandia VTT* il quale ha pubblicato i risultati della propria ricerca effettuata attraverso l'utilizzo di *Tekla Structures*.

1.3 Strumenti informatici a supporto della progettazione della sicurezza

Come già sottolineato nei paragrafi precedenti, la sicurezza nel cantiere dovrebbe essere presa in considerazione già dalle fasi di progettazione concettuale e preliminare: questo tipo di problematiche vengono però spesso affrontate solo durante la fase di costruzione, trascurando la possibilità di effettuare analisi preliminari utili alla prevenzione degli infortuni. In diversi paesi, nel corso degli anni, allo scopo di migliorare la gestione della sicurezza, i sistemi normativi hanno definito e chiarito incarichi e responsabilità, facendo in modo che tale tema fosse affrontato già in fase di progettazione, e che più soggetti rivestissero ruoli collaborativi nella gestione della sicurezza.

La conoscenza e la comprensione da parte dei progettisti dei rischi e dei pericoli per la sicurezza, che possono presentarsi nelle fasi di cantiere, sono fondamentali per la prevenzione degli stessi, realizzabile attraverso un progetto specifico. Una collaborazione tra i *designer* ed i soggetti coinvolti nelle attività di costruzione favorisce l'acquisizione di questo tipo di conoscenze, ma ciò non è sempre possibile. Per questo motivo la ricerca ha studiato e sviluppato degli strumenti informatici utili a supportare i progettisti e guidarli in una progettazione che non trascuri gli aspetti inerenti alla sicurezza. L'utilizzo di diversi mezzi innovativi a supporto del progetto della sicurezza si stanno dimostrando utili a ridurre il numero di infortuni nei cantieri: diversi sono i filoni di ricerca che stanno lavorando per proporre nuovi strumenti utili per la prevenzione dei rischi nella fase di costruzione.

In un articolo del 2010, il *Dr. Kihong Ku and Thomas Mills* riportano un'analisi dei mezzi informatici che fino ad oggi sono stati messi a disposizione per migliorare la progettazione della sicurezza nei cantieri. Attraverso uno studio di quanto riportato in letteratura, gli autori hanno riscontrato che la maggior parte degli strumenti a supporto dei progettisti sono caratterizzati da schede di controllo consultabili in forma cartacea o attraverso un'interfaccia informatizzata.

Allo stesso tempo però, si sta diffondendo sempre di più il *Building Information Modeling* nel settore delle costruzioni al fine di offrire nuovi strumenti ed approcci per migliorare le inefficienze degli attuali mezzi cartacei. Questo nuovo approccio è ancora in via di sviluppo ed è necessario che la ricerca continui a muoversi in questa direzione per trovare sempre nuovi sistemi che portino a sfruttare le potenzialità di questo metodo innovativo. A questo scopo risulta utile che siano ben note e delineate le caratteristiche principali degli strumenti di progettazione per la sicurezza esistenti, definiti *Design-for-safety* (DfS): individuare le carenze degli attuali mezzi permetterà di effettuare ricerche mirate all'implementazione del BIM, definendolo come strumento del Dfs.

1.3.1 Approcci del Design-for-safety

Negli ultimi anni, riscontrando nel settore delle costruzioni un elevato numero di incidenti mortali sul lavoro, in Italia e all'estero si è cominciato a considerare la rilevanza delle valutazioni preliminari in fase di progettazione, al fine di impedire o ridurre una percentuale significativa di questi incidenti. Per affrontare questo tema i paesi europei e l'Australia stanno sviluppando diverse linee di intervento basate sul *Prevention through Design* (PtD). Sebbene in molti si muovano verso questa direzione, la letteratura individua diversi ostacoli a questo tipo di approccio:

- non viene indicata l'incidenza dei progettisti in materia di sicurezza delle normative vigenti e l'importanza del loro ruolo in fase di progetto;
- i progettisti temono che, intervenendo sulla sicurezza nelle fasi di progettazione, possano assumere responsabilità in merito;
- il settore delle costruzioni tende ad essere sempre più specializzato;
- non è di uso comune la collaborazione tra costruttore e progettista nella fase antecedente a quella di costruzione, inoltre non viene molto incentivata;
- gli attuali strumenti di Dfs non risultano ampiamente disponibili;
- i progettisti ricevono scarsa formazione in materia di sicurezza dei lavoratori.

Nota la suddivisione del lavoro tra progettista e costruttore, piuttosto che focalizzare l'attenzione sulla necessità di una capacità in merito alla sicurezza da parte del progettista, sarebbe più opportuno concentrare l'attenzione nello sviluppo di questi strumenti al fine di agevolare la collaborazione tra questi due soggetti. Il mezzo più adatto a definire un corretto dialogo tra progettista e costruttore attualmente risulta essere il *Building Information Modeling*: l'uso di questo strumento permetterebbe di conseguenza un incremento della partecipazione da parte dei *designers* in merito alla sicurezza. Altri invece, come *Gambatese*, ritengono che sia altrettanto importante sfruttare gli strumenti PtD, al fine di fornire le adeguate conoscenze ai progettisti riguardo al riconoscimento dei pericoli ed alla valutazione dei rischi.



Figura 1.2 – Il Building Information Modeling come strumento di dialogo .

1.3.2 Strumenti del Design-for-safety

In materia di sicurezza risultano rilevanti i concetti di analisi e valutazione dei rischi. Gli strumenti *Prevention through Design* (PtD), che si basano su questi aspetti, hanno lo scopo di fornire le adeguate conoscenze e competenze ai progettisti in merito al riconoscimento dei pericoli. Allo stesso tempo questi risultano essere dei mezzi utili per facilitare la comunicazione tra progettista e costruttore: gli strumenti PtD possono infatti aiutare i progettisti a superare le preoccupazioni inerenti alle loro responsabilità relative ad eventuali considerazioni in merito alla sicurezza nella fase di progetto. Purtroppo, attualmente, di questi strumenti solo un numero limitato sono disponibili: essi sono consultabili sia in formato cartaceo che attraverso l'interfaccia di un software.

Tra questi ultimi fa parte il già citato *Design for Construction Safety ToolBox*: si tratta di uno strumento che raccoglie, all'interno di un database, gli aspetti inerenti alla sicurezza che è necessario affrontare durante le revisioni dei progetti. Attraverso questo mezzo l'utente può accedere ad informazioni relative ai differenti pericoli legati alle attività specifiche, alle caratteristiche di progettazione o riguardanti i sistemi progettuali.

Un'altra categoria di strumenti si concentra invece sulle forme di valutazione dei rischi: anche in questo caso si presentano in formato cartaceo o software. Un esempio di quest'ultimi è il ToolSHeD: questo strumento fornisce una valutazione del rischio interattiva attraverso un'interfaccia online che genera il livello di rischio riferito ad attività o materiali specifici.

La terza categoria di strumenti supporta il progetto per la sicurezza basandosi su un processo strutturato di revisione. Un esempio è il *Construction Hazard Assessment Implication Review* (CHAIR), strumento nato in Australia, attraverso il quale è possibile sottoporre il proprio progetto ad un esame dettagliato e sistematico in riferimento agli aspetti quali costruzione, manutenzione, riparazione, demolizione e ai problemi di sicurezza connessi con la fase di progettazione. La sigla, che in italiano traduciamo come "SEDIA", vuole definire l'obiettivo di far sedere ad un tavolo i soggetti coinvolti nelle diverse fasi che caratterizzano il ciclo di vita dell'opera, al fine di creare un dialogo ed una collaborazione che possa migliorare l'intero processo decisionale.

Un'ultima categoria sono i modelli 3D e 4D *computer-aided-design* (CAD): questi strumenti forniscono assistenza attraverso la visualizzazione per rilevare le interferenze tra i sistemi di costruzione e gli eventuali conflitti di lavoro spazio-temporali durante la costruzione.

La *Tabella 1.1* riassume le quattro categorie sopra citate, indicandone alcuni esempi e definendone il tipo di applicazione. Sulla base degli attuali strumenti che caratterizzano il DfS , sarebbe opportuno condurre studi di ricerca che si concentrino sui loro limiti, per studiare nuovi approcci per sfruttare le tecnologie BIM. Nel capitolo successivo verrà approfondito più in particolare cos'è il BIM e qual è l'apporto che questo strumento fornisce per il progetto della sicurezza,

Tipologia	Esempio di strumento	Applicazione
Riconoscimento dei pericoli	Checklists Computer software (<i>ToolBox</i>)	Analisi della sicurezza e revisione del progetto
Valutazione dei rischi	Forme di mitigazione del rischio Computer software (<i>ToolSHeD</i>)	Valutazione dei rischi associati allo specifico progetto e proposte strategiche di supporto
Procedure	Strumenti di revisione (<i>CHAIR</i>)	Processo di revisione assistito
Visualizzazione	3D/4D CAD Virtual construction	Visualizzazione dei conflitti spazio temporali

Tabella 1.1 – Schematizzazione degli attuali strumenti di Design-for-safety.

LA SICUREZZA NEL CANTIERE EDILE

La sicurezza negli ambienti di lavoro risulta indispensabile per preservare dai rischi chi opera in questi luoghi: sono per questo necessarie misure di prevenzione e tutela della sicurezza in qualsiasi ambito lavorativo. In particolare, il cantiere edile risulta essere uno dei settori in cui la sicurezza deve essere garantita al meglio seguendo le indicazioni della normativa vigente. Il cantiere è infatti uno dei luoghi di lavoro più pericolosi, è per questo necessario che vi sia una costante e quotidiana attenzione da parte di ogni soggetto coinvolto nel processo edilizio.

2.1 Riflessioni sugli infortuni nel settore delle costruzioni

Ogni anno vengono analizzati e registrati statisticamente gli infortuni che si verificano sui luoghi di lavoro, al fine di individuare le circostanze che causano incidenti, in modo da poter stabilire le adeguate misure di sicurezza da applicare per evitarli, o quantomeno limitarli. I valori statistici vengono pubblicati e resi disponibili dalle società che si occupano di prevenzione per la sicurezza: tra questi si è scelto di analizzare i dati pubblicati dalla società *Vega Engineering*, la quale analizza gli incidenti mortali avvenuti sul territorio Italiano durante l'ultimo triennio (2011 – 2012 - 2013), e le rilevazioni dell'INAIL (*Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali*) più aggiornate, riferiti all'anno 2011, riguardanti nello specifico il settore delle costruzioni, evidenziando i dati inerenti ai casi mortali.

2.1.1 Dati Vega Engineering

Per avere un ordine di grandezza degli infortuni registrati nell'ultimo triennio in Italia, faremo riferimento al rapporto pubblicato nel mese di gennaio del 2014 dall'*Osservatorio Sicurezza sul Lavoro* della società *Vega Engineering*: istituito dal 2009 questo osservatorio è in grado di monitorare in tempo reale i casi di incidenti mortali che avvengono sul territorio nazionale, raccogliendo tutte le informazioni disponibili relative agli infortuni sul lavoro provenienti da diverse fonti, tra cui mass-media, comunicazioni di enti istituzionali o di associazioni del settore. Le rilevazioni effettuate da questi operatori comprendono tutti i casi di infortunio mortale accaduti nel territorio nazionale italiano, per cui riguardano tutti i lavoratori, senza distinzioni tra assicurati dall'INAIL e non, subordinati e datori di lavoro, regolari e irregolari, retribuiti o meno. Per questo motivo le rilevazioni differiscono dai dati pubblicati dall'INAIL, che vedremo più avanti.

L'oggetto di queste analisi statistiche vuole essere l'evento dannoso più grave prevedibile: l'infortunio mortale. Sulla base del giudizio della probabilità di accadimento, l'estrapolazione degli indici di incidenza è stata effettuata valutando questi per regione, zone d'Italia, provincie e fasce d'età degli infortunati. Questi indici sono da intendersi come il numero di infortuni mortali ogni milione di occupanti, dove in numero di persona occupate è tratto dai dati ISTAT.

Secondo i dati registrati in Italia dall'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro nel triennio 2011-2012-2013 si può notare una diminuzione del numero degli infortuni (*Tabella 2.1*). La zona d'Italia con più infortuni mortali risulta il Centro in tutti e tre gli anni analizzati (*Grafico 2.1*).

TOTALE CASI DI MORTE SUL LAVORO IN ITALIA		
Anno	n° casi	Variazione % rispetto l'anno precedente
2011	553	+ 5,1%
2012	509	-8,0%
2013	453	-11,0%

Tabella 2.1 – Casi di morte sul lavoro in Italia nel triennio 2011-2012-2013 secondo il rapporto dell'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro della società Vega Engineering.

Se valutiamo invece i settori economici più colpiti è evidente che quello delle costruzioni risulta essere uno di questi, (*Grafico 2.2*): si può notare inoltre che lo stesso settore ha subito una forte diminuzione dei casi nell'ultimo anno: 84 casi nel 2013, 120 casi nel 2012 e 122 nel 2011, probabilmente dovuta alla crisi economica del settore.

La causa più frequente di morte per quanto riguarda il settore delle costruzione risulta essere la “*caduta di persona dall'alto*” (42 casi nel 2013, 64 nel 2012 e 61 nel 2011); altrettanto elevata risulta la causa di morte per “*caduta dall'alto di gravi/schiacciamento*” (19 casi nel 2013 e nel 2012, 26 nel 2011); (*Grafico 2.3*). Si evidenzia inoltre che, per quanto riguarda la caduta dall'alto, sono più frequenti gli infortuni mortali conseguenti a cadute da altezza compresa tra 1 e 10 m (in relazione alle altezze di caduta registrate):

- Nel 2011 in 83 casi (di cui in 22 casi inferiore o uguale a 3 metri)

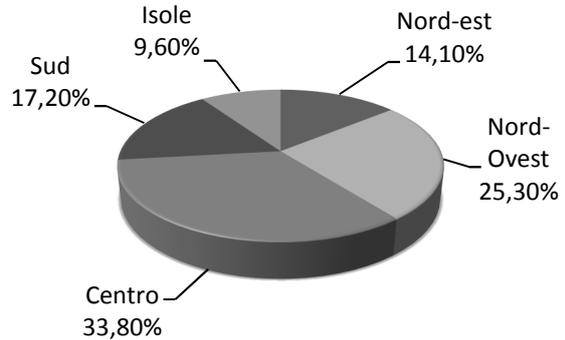
- Nel 2012 in 66 casi (di cui in 11 casi inferiore o uguale a 3 metri)
- Nel 2013 in 48 casi (di cui in 10 casi inferiore o uguale a 3 metri)

Questi dati confermano che non servono altezze elevate per provocare la morte. Inoltre, nella maggior parte degli incidenti, in base alle informazioni disponibili, il soggetto coinvolto non indossava dispositivi di protezione individuale adeguati: ciò dimostra la scarsissima attenzione ancora oggi posta alla corretta progettazione del lavoro in quota, per il quale devono essere previste adeguate opere provvisorie e dispositivi di sicurezza di trattenuta al fine di tutelare i lavoratori.

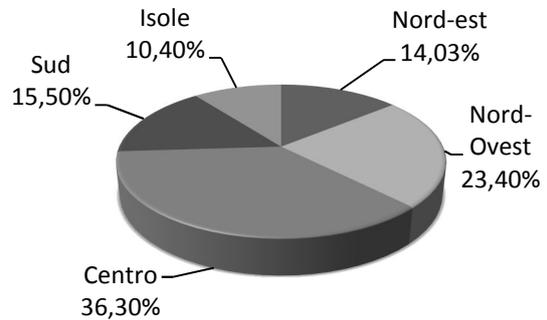
Riguardo alla nazionalità degli infortunati si registra che i lavoratori stranieri in questione lavoravano nei settori economici più colpiti da infortuni mortali: nel settore delle costruzioni si sono verificati 15 casi nel 2013, 15 casi nel 2012, 29 casi nel 2011; (*Grafico 2.4*).

I valori registrati evidenziano che il fenomeno degli infortuni mortali sul lavoro in Italia continua ad avere una drammatica rilevanza. I dati mostrano che questo fenomeno presenta alcune caratteristiche che si mantengono per lo più simili negli anni, a dimostrazione che i tentativi di incidere sui settori in cui avvengono più infortuni e sulle cause più critiche che determinano i morti sul lavoro non sono ancora sufficientemente efficaci. Valutando le modalità con cui si perviene all'infortunio mortale è possibile rilevare una grave carenza di cultura della sicurezza. Questo aspetto incide sulla sensibilità del lavoratore in merito ai rischi, ma soprattutto sull'errata scelta delle modalità esecutive del lavoro e, più in generale, sulla sua non corretta progettazione, trascurando completamente la preventiva predisposizione di idonee misure necessarie a salvaguardare la sicurezza di chi opera. Risulta evidente inoltre l'importanza e l'efficacia di una continua formazione dei lavoratori, a tutti i livelli, sui rischi e sulle procedure di lavoro.

Casi di morte sul lavoro per zona d'Italia
 (% sul totale in Italia -anno 2011 - totale casi 553)



Casi di morte sul lavoro per zona d'Italia
 (% sul totale in Italia -anno 2012 - totale casi 509)



Casi di morte sul lavoro per zona d'Italia
 (% sul totale in Italia -anno 2013 - totale casi 453)

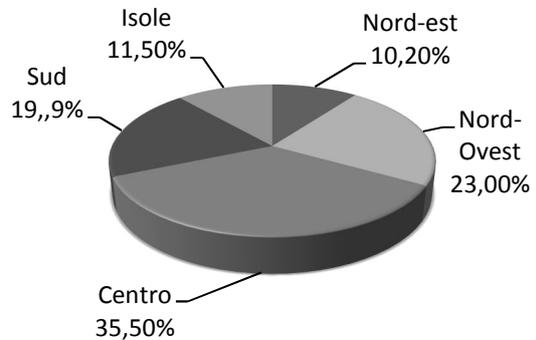


Grafico 2.1 – Casi di morte sul lavoro in Italia nel triennio 2011-2012-2013 % sul totale dei casi annuali secondo il rapporto dell'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro della società Vega Engineering.

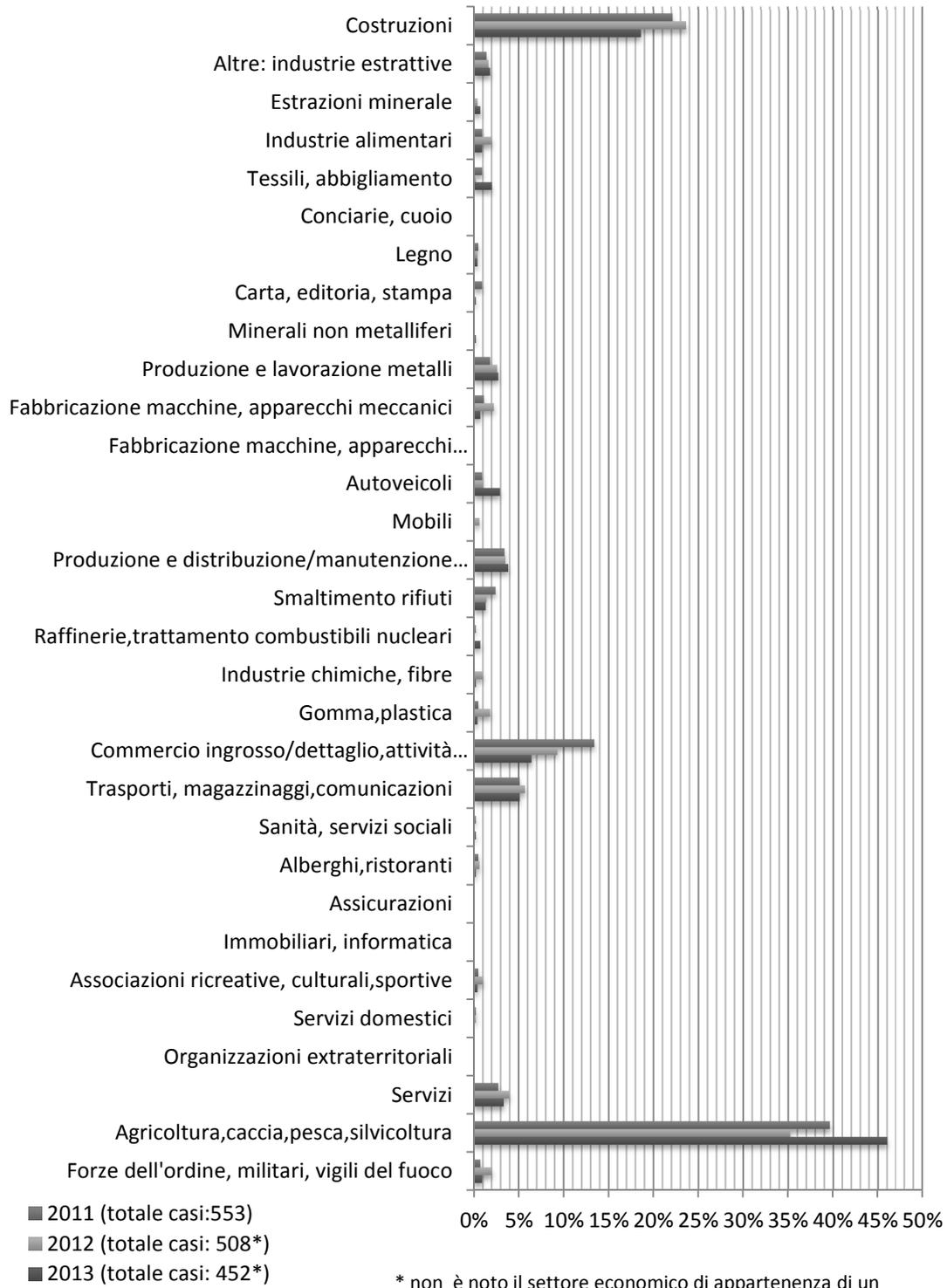


Grafico 2.2 – Infortuni mortali sul lavoro nei principali settori economici in Italia nel triennio 2011-2012-2013 % sul totale dei casi annuali secondo il rapporto dell'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro della società Vega Engineering.

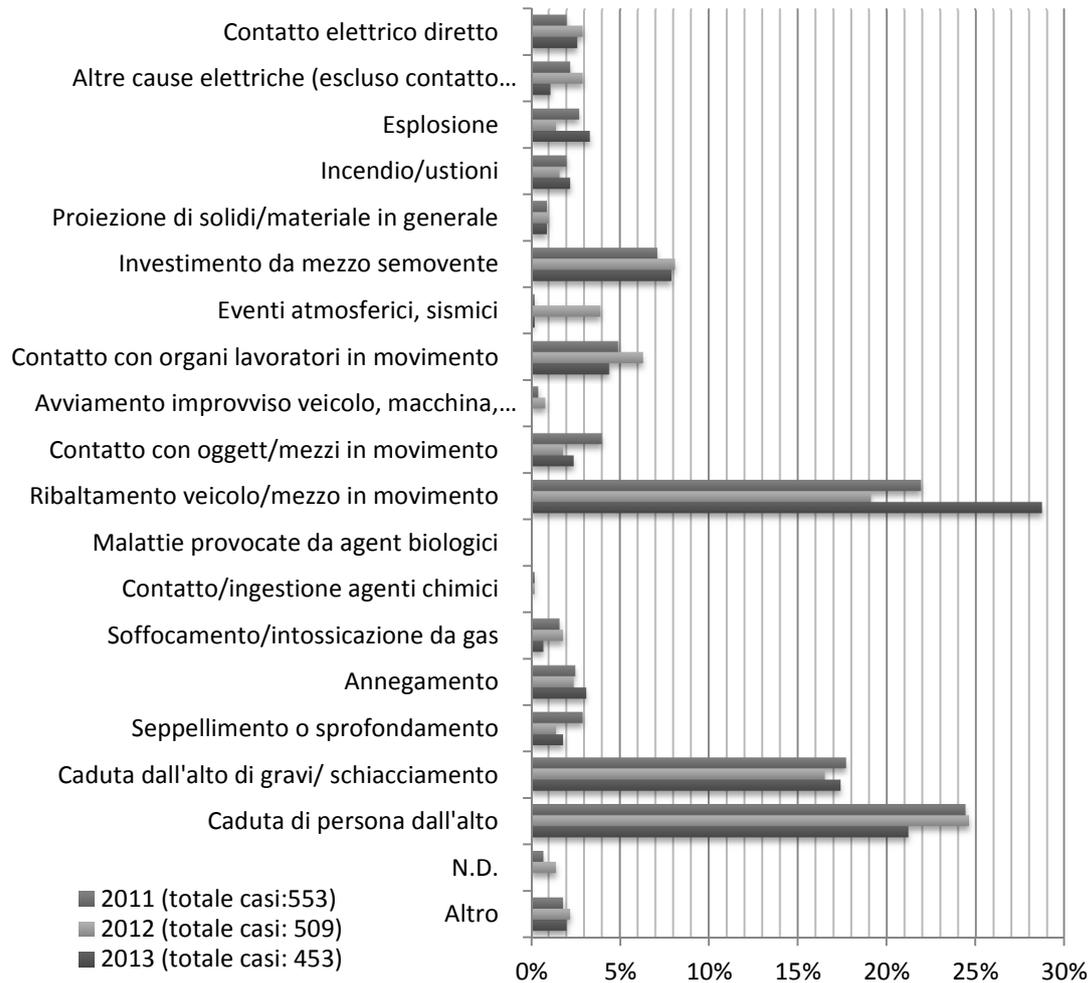


Grafico 2.3 – Principali cause di morte sul lavoro in Italia nel triennio 2011-2012-2013 secondo il rapporto dell'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro della società Vega Engineering.

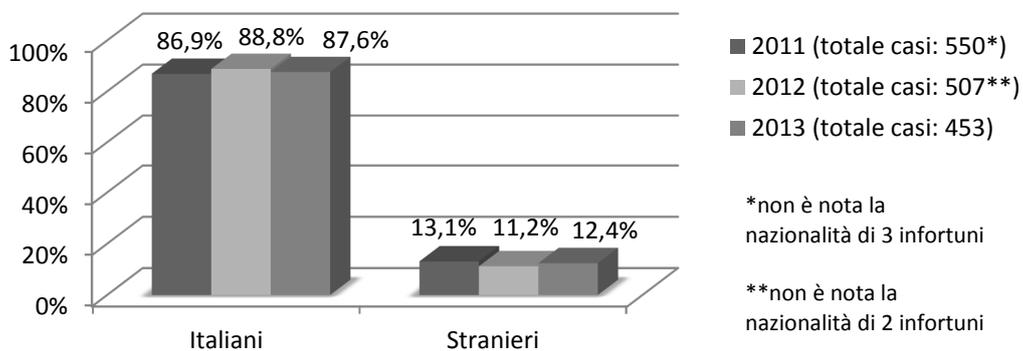


Grafico 2.4 – Principali cause di morte sul lavoro in Italia nel triennio 2011-2012-2013 secondo il rapporto dell'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro della società Vega Engineering.

2.1.2 Dati INAIL

L'INAIL, *Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro*, è un Ente pubblico non economico che gestisce l'assicurazione obbligatoria contro gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali. L'INAIL rende disponibile gratuitamente la propria banca dati, attraverso la quale risulta possibile indagare il fenomeno degli infortuni e delle malattie professionali da molteplici prospettive.

La Banca Dati dell'INAIL è costituita da diverse tavole ottenute elaborando le informazioni registrate negli archivi gestionali. Per quanto riguarda l'area Infortuni/Malattie professionali, che è quella di nostro interesse, essa contiene informazioni sugli infortuni sul lavoro denunciati, definiti e indennizzati dall'INAIL. Nello specifico riportiamo i dati inerenti al settore delle costruzioni aggiornato al 2011.

Analizzando gli infortuni rilevati nel settore delle Costruzioni dall'INAIL per modalità di evento avvenuti tra il 2007-2011, si riscontra una diminuzione degli stessi: in particolare si registra che nel 2011 vi è stato un calo del 10,9% rispetto all'anno precedente e del 35,3% nel quinquennio 2007-2011. (*Tabella 2.2*)

In particolare, riguardo agli infortuni mortali, questi sono stati 186 nel 2011, -14,7% rispetto al 2010 e -33,3% nell'ultimo quinquennio; (*Tabella 2.3*). Tra questi l'88,2% sono avvenuti in occasione di lavoro.

INFORTUNI DENUNCIATI IN COMPLESSO					
(Settore delle Costruzioni)					
Modalità	2007	2008	2009	2010	2011
In occasione di lavoro	96.052	87.681	76.281	69.590	62.118
In itinere	6.436	6.116	5.362	4.895	4.213
Totale	102.488	93.797	81.643	74.485	66.331
Var.% su anno precedente	--	-8,5	-13,0	-8,8	-10,9
Var.% su anno 2007	--	-8,5	-20,3	-27,3	-35,3

Tabella 2.2 – Banca Dati INAIL: infortuni per modalità di evento tra il 2007 e il 2011; infortuni denunciati in complesso; per il Settore delle Costruzioni.

CASI MORTALI (*) (Settore delle Costruzioni)					
Modalità	2007	2008	2009	2010	2011
In occasione di lavoro	231	195	197	187	164
In itinere	48	29	32	31	22
Totale	279	224	229	218	186
Var.% su anno precedente	--	-19,7	2,2	-4,8	-14,7
Var.% su anno 2007	--	-19,7	-17,9	-21,9	-33,3

(*) I casi mortali presenti nel report si riferiscono ai decessi denunciati all'Istituto e avvenuti entro 180 giorni dalla data in cui si è verificato l'infortunio, con esclusione di quelli per i quali nello stesso periodo è stata accertata la causa non professionale o non tutelata.

Tabella 2.3 – Banca Dati INAIL: infortuni per modalità di evento tra il 2007 e il 2011; casi mortali; per il Settore delle Costruzioni..

I dati riferiti all'anno 2011, valutati secondo la distribuzione sul territorio mostrano una elevata presenza nella parte settentrionale del Paese (59%), a maggiore concentrazione occupazionale. In particolare, riguardo gli infortuni mortali, 1/4 delle vittime lavorava nel Nord-Ovest e altrettanto al Centro, dove elevato è comunque il numero di cantieri edili. (Tabella 2.4)

	INFORTUNI DENUNCIATI IN COMPLESSO		CASI MORTALI (*)	
	n.	%	n.	%
Nord-Ovest	19.009	28,7	48	25,8
Nord-Est	20.055	30,2	39	21,0
Centro	13.813	20,8	45	24,2
Sud	8.954	13,5	43	23,1
Isole	4.500	6,8	11	5,9
ITALIA	66.331	100,0	186	100,0

Tabella 2.4 – Banca Dati INAIL: infortuni per territorio nel 2011; distinti in infortuni denunciati in complesso e casi mortali; per il Settore delle Costruzioni.

Per quanto riguarda invece le cause di accadimento per gli infortuni avvenuti nel triennio 2009 - 2011 nel settore delle costruzioni, secondo l'INAIL la più frequente risulta essere la "perdita di controllo di una macchina, mezzo, attrezzatura di movimentazione ecc"; a seguire vi sono le "cadute di persona per scivolamento o inciampamento", 1/4 degli infortuni sul luogo di lavoro, dove in particolare le sole "cadute dall'alto" (impalcature, ponteggi, tetti, ...) rappresentano quasi il 9% del complesso degli infortuni. (Tabella 2.5)

INFORTUNI DENUNCIATI IN COMPLESSO (Settore delle Costruzioni)	
Causa dell'infortunio	%
Perdita di controllo totale o parziale di una macchina, di un mezzo di trasporto/attrezzatura ...	26,7%
Caduta di persona per scivolamento o inciampamento	25,2%
di cui per "caduta dall'alto"	8,8%
Movimento del corpo senza sforzo fisico (che porta generalmente a una lesione esterna)	17,6%
Rottura, frattura, scoppio, scivolamento, caduta, crollo dell'agente materiale	13,4%
Movimento del corpo sotto sforzo fisico (che porta generalmente ad una lesione interna)	12,8%
Deviazione dovuta a traboccamento, rovesciamento, perdita, vaporizzazione ...	2,9%
Sorpresa, spavento, violenza, aggressione, minaccia,...	0,9%
Deviazione per problema elettrico, esplosione, incendio	0,5%
Totale	100,0%

Tabella 2.5 – Banca Dati INAIL: infortuni per causa di accadimento tra il 2009 ed il 2011; infortuni denunciati in complesso; per il Settore delle Costruzioni.

Tra i casi mortali, invece, la causa principale risultano essere le "cadute di persona" (causa del 36,7% dei decessi) di cui il 28,5% avvenute "dall'alto"; rilevante (il 29,0% dei decessi) anche la "perdita di controllo di una macchina, mezzo, attrezzatura di movimentazione ecc.". (Tabella 2.6)

CASI MORTALI (*) (Settore delle Costruzioni)	
Causa dell'infornio	%
Caduta di persona per scivolamento o inciampamento	36,7%
di cui per "caduta dall'alto"	28,5%
Perdita di controllo totale o parziale di una macchina, di un mezzo di trasporto/attrezzatura ...	29,0%
Rottura, frattura, scoppio, scivolamento, caduta, crollo dell'agente materiale	18,4%
Movimento del corpo senza sforzo fisico (che porta generalmente a una lesione esterna)	5,4%
Deviazione per problema elettrico, esplosione, incendio	5,4%
Movimento del corpo sotto sforzo fisico (che porta generalmente ad una lesione interna)	2,3%
Deviazione dovuta a traboccamento, rovesciamento, perdita, vaporizzazione ...	1,4%
Sorpresa, spavento, violenza, aggressione, minaccia,...	1,4%
Totale	100,0%

Tabella 2.6 – Banca Dati INAIL: infortuni per causa di accadimento tra il 2009 ed il 2011; casi mortali; per il Settore delle Costruzioni.

Infine riportiamo i dati inerenti agli infortuni per paese di nascita, riferiti all'anno 2011: si riscontra da questi ultimi dati che, nel Settore delle Costruzioni, le denunce di infortunio (anche mortale) per lavoratori stranieri rappresentano 1/5 del totale.

Nazionalità	INFORTUNI DENUNCIATI IN COMPLESSO		CASI MORTALI (*)	
	n.	%	n.	%
Italiana	51.941	78,3	153	82,3
Straniera	14.390	21,7	33	17,7
Totale	66.331	100,0	186	100,0

Tabella 2.7 – Banca Dati INAIL: infortuni per paese di nascita nel 2011; distinti in infortuni denunciati in complesso e casi mortali; per il Settore delle Costruzioni.

2.2 Normativa di riferimento

La sicurezza sui luoghi di lavoro in passato faceva riferimento a diversi decreti, che oggi sono stati riordinati e aggiornati nel *Decreto Legislativo n°81 del 9 aprile 2008*: si tratta di un Testo Unico sulla salute e sulla sicurezza sul lavoro, che riguarda tutti i luoghi di lavoro, compreso il settore delle costruzioni. Questo decreto è stato integrato l'anno successivo attraverso il *Decreto Legislativo n°106 del 3 agosto 2009*, disposizioni integrative e correttive del D.Lgs. 81/08 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro. L'articolo 304 D.LGS. 81/08 cita l'abrogazione dei decreti precedenti, poiché in contrasto con il D.Lgs. 81/08: per questo oggi, per il settore delle costruzioni, in materia di salute e sicurezza, facciamo riferimento al Testo Unico, in particolare, per il settore dell'industria edilizia e dell'ingegneria civile, vengono definite le misure per la salute e la sicurezza nei cantieri temporanei o mobili nel TITOLO IV; inoltre, nell'ALLEGATO XV troviamo i contenuti minimi dei piani di sicurezza nei cantieri temporanei e mobili e nell'ALLEGATO XVI le disposizioni per la redazione del Fascicolo con le caratteristiche dell'opera. Per individuare invece a quali lavori edili e di ingegneria civile si riferisce il legislatore, bisogna fare riferimento all'ALLEGATO X, nel quale vengono indicate inoltre le categorie di opere che non rientrano in questa categoria.

Nella *Tabella 2.8* vengono indicati alcuni dei decreti antecedenti al 2008, che caratterizzavano la normativa di riferimento in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro.

<i>D.LGS. n°626 del 19 settembre 1994</i>	Attuazione delle direttive riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro. (Con questo decreto si tutelano tutti i luoghi di lavoro.)
<i>D.LGS. n°494 del 14 agosto 1996</i>	Concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili
<i>D.P.R. n°547 del 27 aprile 1955</i>	Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro
<i>D.P.R. n°164 del 7 gennaio 1956</i>	Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni
<i>D.P.R. n°303 del 19 marzo 1956</i>	Norme generali per l'igiene del lavoro

Tabella 2.8 – Alcuni dei Decreti in materia di salute e sicurezza antecedenti al 2008.

Nel Testo Unico vengono indicati inoltre quali sono i compiti in materia di sicurezza per tutti i soggetti coinvolti. Si può notare come il legislatore definisca più figure per le azioni di progetto e controllo: non esiste infatti un unico soggetto coinvolto nella gestione della sicurezza, ma vengono affidati diversi compiti a tutti i livelli; (*Figura 2.1*).

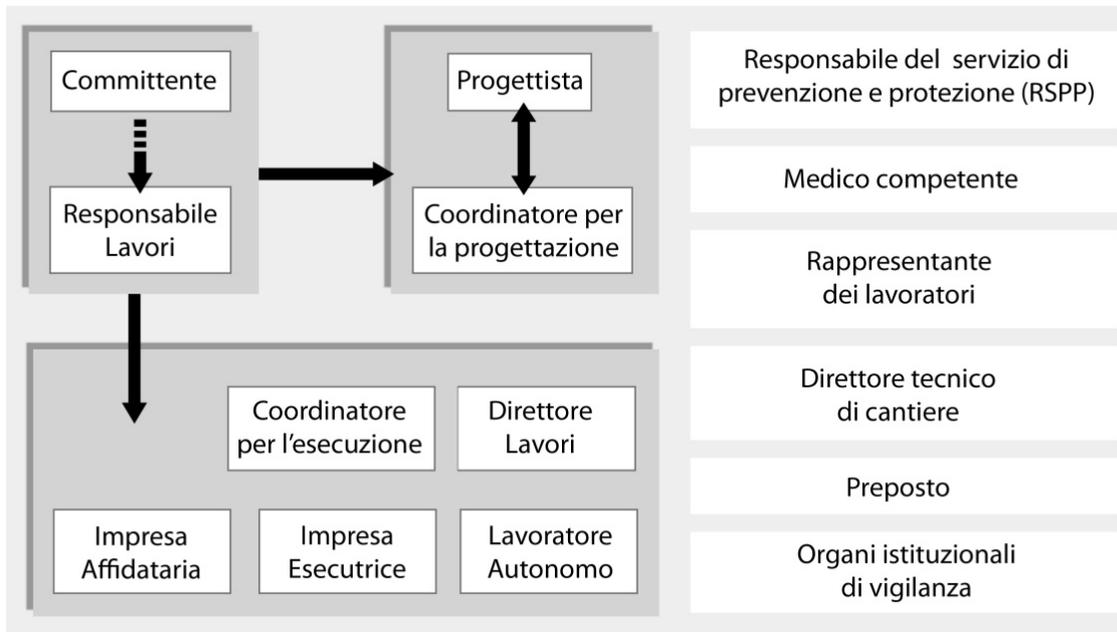


Figura 2.1 – Soggetti coinvolti in materia di salute e sicurezza in cantiere

Bisogna comunque sottolineare che la responsabilità penale è del committente, il quale, secondo l'art.27 comma 1 della Costituzione, deve essere una persona fisica, anche nel caso di un appalto pubblico. Al fine di garantire al massimo la sicurezza sui luoghi di lavoro, il legislatore assegna vari incarichi ai responsabili in materia di salute e sicurezza, tutti incentrati sul progetto della sicurezza. È importante la presa visione da parte di chiunque faccia parte del lavoro in cantiere delle prescrizioni indicate nei piani redatti in relazione allo specifico cantiere. Non basta quindi che sia stilato un adeguato progetto per la sicurezza, ma è necessario che tutti ne siano a conoscenza e rispettino le disposizioni presenti in tale documento. Per questo motivo la comunicazione risulta di fondamentale importanza ai fini della sicurezza.

In particolare è necessario rivolgere specifica attenzione nei confronti dei lavoratori, i quali devono essere informati e formati in merito ai rischi, alle misure di prevenzione ed il primo soccorso; ma devono anche intervenire attivamente in merito all'attività di prevenzione dando voce al loro pensiero attraverso il loro rappresentante per la sicurezza.

2.2.1 Il Testo Unico sulla salute e sulla sicurezza sul lavoro

Attraverso l’emanazione del D.Lgs. 81/2008, attuazione dell’articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123, il legislatore ha voluto riordinare la normativa in materia di sicurezza e salute relativa a tutti i luoghi di lavoro, compresi i cantieri temporanei e mobili, in un unico testo normativo. Il decreto è costituito da 13 titoli, 306 articoli e 51 allegati: esso è strutturato partendo dall’individuazione dei soggetti responsabili, seguendo con la descrizione delle misure gestionali e degli adeguamenti tecnici volti alla riduzione al minimo dei rischi lavorativi; a conclusione di ciascun titolo vengono indicate le sanzioni in caso di inadempienza; (*Tabella 2.9*). Il Titolo IV e gli allegati dal X al XXIII si riferiscono esclusivamente ai lavori edili e di ingegneria civile (*Tabella 2.10*); inoltre, ai cantieri fanno riferimento anche altri titoli, escluso il titolo II.

Il Testo Unico sulla sicurezza sul lavoro (TUSL) definisce un metodo di gestione della sicurezza e della salute nei luoghi di lavoro di tipo preventivo e permanente; gli aspetti principali su cui si basa questo sistema di gestione sono: l’individuazione dei fattori e delle cause che possono provocare rischi per i lavoratori; la riduzione al minimo del rischio; un controllo continuo delle misure preventive previste. Inoltre, il decreto definisce chiaramente i soggetti responsabili in materia di sicurezza e la salute dei lavoratori.

Per individuare l’ambito di applicazione del Titolo IV del D.Lgs.81/08 si fa riferimento all’art. 88 comma 1, nel quale viene specificato che il decreto prescrive misure per la tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei cantieri temporanei o mobili che vengono individuati nell’art. 89, comma 1, lettera a: tale articolo definisce come cantiere temporaneo e mobile qualunque luogo in cui vengono effettuati lavori edili o di ingegneria civile, i quali vengono indicati nello specifico nell’allegato X.

<i>D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81</i>	
TESTO UNICO SULLA SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO	
Attuazione dell’articolo 1 della Legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.	
Titolo I	PRINCIPI COMUNI
<i>art. 1-61</i>	Disposizioni generali, sistema istituzionale, gestione della prevenzione nei luoghi di lavoro, disposizioni penali
Titolo II	LUOGHI DI LAVORO
<i>art. 62-68</i>	Disposizioni generali, sanzioni

Titolo III <i>art. 69-87</i>	USO DELLE ATTREZZATURE DI LAVORO E DEI DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE Usò delle attrezzature di lavoro, uso dei dispositivi di protezione individuale, impianti e apparecchiature elettriche, sanzioni
Titolo IV <i>art. 88-160</i>	CANTIERI TEMPORANEI O MOBILI Misure per la salute e sicurezza nei cantieri temporanei e mobili, norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni e nei lavori in quota, sanzioni
Titolo V <i>art. 161-166</i>	SEGNALETICA DI SALUTE E SICUREZZA SUL LAVORO Disposizioni generali, sanzioni
Titolo VI <i>art. 167-171</i>	MOVIMENTAZIONE MANUALE DEI CARICHI Disposizioni generali, sanzioni
Titolo VII <i>art. 172-179</i>	ATTREZZATURE MUNITE DI VIDEOTERMINALI Disposizioni generali, obblighi del datore di lavoro, dei dirigenti e dei preposti, sanzioni
Titolo VIII <i>art. 180-220</i>	AGENTI FISICI Disposizioni generali, protezione dei lavoratori contro i rischi di esposizione al rumore durante il lavoro, protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a vibrazioni, protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a campi elettromagnetici, protezione dei lavoratori dai rischi di esposizione a radiazioni ottiche, sanzioni
Titolo IX <i>art. 221-265</i>	SOSTANZE PERICOLOSE Protezione da agenti chimici, protezione da agenti cancerogeni e mutageni, protezione dai rischi connessi all'esposizione all'amianto, sanzioni
Titolo X <i>art. 266-286</i>	ESPOSIZIONE AD AGENTI BIOLOGICI Obblighi del datore di lavoro, sorveglianza sanitaria, sanzioni
Titolo XI <i>art. 287-297</i>	PROTEZIONE DA ATMOSFERE ESPLOSIVE Disposizioni generali, obblighi del datore di lavoro, sanzioni
Titolo XII <i>art. 298-303</i>	DISPOSIZIONI DIVERSE IN MATERIA PENALE E DI PROCEDURA PENALE
Titolo XIII <i>art. 304-306</i>	NORME TRANSITORIE E FINALI

Tabella 2.9 – Struttura del D.lgs. 9 aprile 2008, n. 81

TITOLO IV - CANTIERI TEMPORANEI O MOBILI	
CAPO I - Misure per la salute e sicurezza nei cantieri temporanei o mobili	
	<p>ALLEGATO X - Elenco dei lavori edili o di ingegneria civile di cui all'articolo 89 comma 1, lettera a)</p> <p>ALLEGATO XI - Elenco dei lavori comportanti rischi particolari per la sicurezza e la salute dei lavoratori di cui all'articolo 100, comma 1</p> <p>ALLEGATO XII - Contenuto della notifica preliminare di cui all'articolo 99</p> <p>ALLEGATO XIII - Prescrizioni di sicurezza e di salute per la logistica di cantiere prescrizioni per i servizi igienico-assistenziali a disposizione dei lavoratori nei cantieri prescrizioni per i posti di lavoro nei cantieri</p> <p>ALLEGATO XIV - Contenuti minimi del corso di formazione per i coordinatori per la progettazione e per l'esecuzione dei lavori</p> <p>ALLEGATO XV - Contenuti minimi dei piani di sicurezza nei cantieri temporanei o mobili</p> <p>ALLEGATO XVI - Fascicolo con le caratteristiche dell'opera</p> <p>ALLEGATO XVII - Idoneità tecnico professionale</p>
CAPO II - Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni e nei lavori in quota	
SEZIONE II disposizioni di carattere generale	<p>ALLEGATO XVIII - Viabilità nei cantieri, ponteggi e trasporto dei materiali</p> <p>ALLEGATO XIX - Verifiche di sicurezza dei ponteggi metallici fissi</p> <p>ALLEGATO XX</p> <p>A. Costruzione e impiego di scale portatili</p> <p>B. Autorizzazione ai laboratori di certificazione (concernenti ad esempio: scale, puntelli, ponti su ruote a torre e ponteggi)</p> <p>ALLEGATO XXI - Accordo stato, regioni e province autonome sui corsi di formazione per lavoratori addetti a lavori in quota</p>
SEZIONE IV Ponteggi e impalcature in legname	<p>ALLEGATO XVIII - Viabilità nei cantieri, ponteggi e trasporto dei materiali</p> <p>2. PONTEGGI</p>
SEZIONE V Ponteggi fissi	<p>ALLEGATO XXI - Accordo stato, regioni e province autonome sui corsi di formazione per lavoratori addetti a lavori in quota allegato XXII contenuti minimi del P.I.M.U.S.</p> <p>ALLEGATO XXIII - Deroga ammessa per i ponti su ruote a torre</p>

Tabella 2.10 – Allegati al Titolo IV - Cantieri temporanei o mobili

2.2.2 Il Progetto della Sicurezza

Come già sottolineato più volte nei paragrafi precedenti, sarebbe opportuno che il problema della sicurezza, durante il ciclo di vita di un'opera, fosse affrontato dalla fase di progettazione fino alla dismissione della stessa. A questo scopo vengono incaricate speciali figure a cui è affidato il compito di redigere un vero e proprio progetto della sicurezza, che faccia riferimento allo specifico cantiere : i *coordinatori per la sicurezza*, sia in fase di progettazione che di esecuzione, sono due soggetti che vengono incaricati dal committente, o dal responsabile dei lavori, per svolgere i compiti indicati dal Testo Unico rispettivamente agli articoli 91 e 92.

Questi soggetti vengono nominati secondo le condizioni descritte dell'art. 90, c. 3 e 4 del D.lgs. 81/2008:

“3. Nei cantieri in cui è prevista la presenza di più imprese esecutrici, anche non contemporanea, il committente, anche nei casi di coincidenza con l'impresa esecutrice, o il responsabile dei lavori, contestualmente all'affidamento dell'incarico di progettazione, designa il coordinatore per la progettazione.

4. Nei cantieri in cui è prevista la presenza di più imprese esecutrici, anche non contemporanea, il committente o il responsabile dei lavori, prima dell'affidamento dei lavori, designa il coordinatore per l'esecuzione dei lavori, in possesso dei requisiti di cui all'articolo 98.”

Per poter assumere l'incarico di coordinatore per la sicurezza è necessario che il soggetto sia in possesso dei seguenti requisiti:

1. titolo professionale di natura tecnica
2. esperienza professionale commisurata al titolo di studio posseduto
3. attestato di frequenza a corso specifico in materia di sicurezza nei cantieri

Il committente, o per lui il responsabile dei lavori, ha il compito di verificare la conformità dei requisiti formativi dei coordinatori per la sicurezza, prima di conferire tale incarico; se questi fossero in possesso dei requisiti richiesti, potrebbero essi stessi assumere il ruolo di coordinatore per la sicurezza sia per la fase di progettazione che per la fase di esecuzione, come indicato nell'articolo 90, c. 6 del D.lgs. 81/2008.

Queste due figure vengono quindi nominate per occuparsi, durante il processo costruttivo, della sicurezza, attraverso diversi compiti indicati dal Testo Unico che prevedono la redazione di un progetto per la sicurezza specifico per il cantiere di cui essi si occupano, che viene redatto fin dalle prime fasi di progetto.

Nello specifico, come indicato nell'art. 91 del D.lgs. 81/2008, durante la progettazione dell'opera e comunque prima della richiesta di presentazione delle offerte, i compiti del coordinatore per la sicurezza per la progettazione sono:

- a) *redige il **Piano di Sicurezza e di Coordinamento** di cui all'articolo 100, c. 1, i cui contenuti sono dettagliatamente specificati nell'ALLEGATO XV;*
- b) *predispone un **Fascicolo** adattato alle caratteristiche dell'opera, i cui contenuti sono definiti all'ALLEGATO XVI, ...*

Nella fase di realizzazione dell'opera, i compiti del coordinatore per l'esecuzione dei lavori, descritti nell'articolo 92 del D.lgs. 81/2008, sono volti ad una pratica verifica dell'attuazione delle misure di prevenzione previste per un'esecuzione dei lavori in sicurezza; il coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione:

1. verifica l'idoneità del Piano di Sicurezza e di Coordinamento (PSC);
2. verifica che le imprese esecutrici adeguino i rispettivi Piani Operativi di sicurezza (POS);
3. adegua il Piano di sicurezza e di coordinamento e il Fascicolo dell'opera in relazione all'evoluzione dei lavori e alle eventuali modifiche intervenute;
4. verifica l'applicazione da parte delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi delle disposizioni contenute nel PSC;
5. organizza tra i datori di lavoro, compresi i lavoratori autonomi, la cooperazione e il coordinamento delle attività;
6. segnala al committente, o al responsabile dei lavori, le inosservanze alle prescrizioni del PSC delle imprese e dei lavoratori autonomi;
7. propone al committente, o al responsabile dei lavori, la sospensione dei lavori, l'allontanamento dal cantiere o la risoluzione del contratto delle imprese o dei lavoratori autonomi inadempienti;
8. comunica all'Azienda sanitaria locale e alla Direzione provinciale del lavoro se il committente, o il responsabile dei lavori, non adottano alcun provvedimento;

9. sospende, in caso di pericolo grave ed imminente direttamente riscontrato, le singole lavorazioni.

I coordinatori per la sicurezza sono quindi responsabili della redazione del progetto della sicurezza e della verifica delle misure previste nei documenti che lo caratterizzano. La chiarezza e la coerenza di questi documenti è fondamentale per questo è importante adeguare ed aggiornare questi documenti. Il documento principale risulta quindi il Piano di Sicurezza e Coordinamento che viene redatto per lo specifico cantiere già in fase di progettazione dal coordinatore per la sicurezza, e successivamente viene revisionato se tale soggetto non ricopre questo ruolo anche in fase di esecuzione.

Accanto a tale documentazione viene redatto il Fascicolo dell'opera, un elaborato che accompagna l'opera per tutta la sua durata di vita; come indicato nell' ALLEGATO XVI del D.lgs. 81/2008, esso comprende tre capitoli nei quali devono essere riportati rispettivamente:

1. la descrizione sintetica dell'opera e l'indicazione dei soggetti coinvolti;
2. l'individuazione dei rischi, delle misure preventive e protettive in dotazione dell'opera e di quelle ausiliarie, per gli interventi successivi prevedibili sull'opera, quali le manutenzioni ordinarie e straordinarie, nonché per gli altri interventi successivi già previsti o programmati;
3. i riferimenti alla documentazione di supporto esistente

In allegato a questi due documenti vi è inoltre il POS, descritto nell'art. 89, comma 1, lettera h) del D.Lgs. 81/2008, come segue:

“Piano Operativo di Sicurezza: il documento che il datore di lavoro dell'impresa esecutrice redige, in riferimento al singolo cantiere interessato, ai sensi dell'articolo 17 comma 1, lettera a), i cui contenuti sono riportati nell'ALLEGATO XV”

In questo documento è indicato a tutti gli effetti come si intende realizzare l'opera durante la fase esecutiva; esso deve essere opportunamente adeguato ai documenti redatti in fase di progettazione poiché è possibile che ci siano varianti in corso d'opera, che potrebbero comportare un cambiamento del tipo di lavorazioni richieste e di conseguenza dei rischi e quindi delle prescrizioni necessarie per la sicurezza.

2.2.3 Il Piano di Sicurezza e di Coordinamento

Il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) è l'insieme di elaborati progettuali redatti dal coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione per lo specifico cantiere: in esso vengono definite le prescrizioni ritenute necessarie per la prevenzione e la riduzione al minimo degli eventuali rischi per la salute e per la sicurezza dei lavoratori che operano nel cantiere edile. Questo documento rappresenta dunque la dimostrazione scritta e documentata che l'esecuzione dell'intervento, a cui esso è riferito, avverrà in condizioni di sicurezza accettabile.

Secondo quanto definito dall'articolo 100, comma 1 del D.Lgs. 81/2008:

“Il piano è costituito da una relazione tecnica e prescrizioni correlate alla complessità dell'opera da realizzare ed alle eventuali fasi critiche del processo di costruzione, atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, (...). Il piano di sicurezza e coordinamento (PSC) è corredato da tavole esplicative di progetto, relative agli aspetti della sicurezza, comprendenti almeno una planimetria sull'organizzazione del cantiere e, ove la particolarità dell'opera lo richieda, una tavola tecnica sugli scavi. I contenuti minimi del piano di sicurezza e di coordinamento e l'indicazione della stima dei costi della sicurezza sono definiti all'ALLEGATO XV.”

Il PSC fa parte integrante del contratto di appalto: si tratta di un elaborato cartaceo con validità ufficiale, per questo motivo è necessario che sia un libro compatto e chiuso, senza fogli sparsi. Se necessario per la comprensione dei contenuti, è possibile allegare tavole e disegni tecnici esplicativi, che aumentino la chiarezza dei contenuti: questi devono essere opportunamente aggiunti alla documentazione scritta.

I datori di lavoro delle imprese esecutrici ed i lavoratori autonomi sono tenuti, secondo l'art.100, c.3, del D.Lgs. 81/2008, a prendere visione e attuare quanto indicato nel PSC e nel POS: a questo scopo risulta importante che tali documenti siano redatti in maniera chiara e semplice. La conoscenza dei contenuti del PSC è di grande importanza per chi effettua i lavori: se ciò venisse meno non ci sarebbe un adeguato livello di sicurezza della realizzazione delle lavorazioni, ed il rischio di infortunio aumenterebbe.

Nell'ALLEGATO XV del D.Lgs. 81/2008 sono indicati i contenuti minimi che deve contenere il Piani di Sicurezza nei cantieri temporanei o mobili:

- a) l'identificazione e la descrizione dell'opera, esplicitata con:
 - 1) l'indirizzo del cantiere;
 - 2) la descrizione del contesto in cui è collocata l'area di cantiere;
 - 3) una descrizione sintetica dell'opera, con particolare riferimento alle scelte progettuali, architettoniche, strutturali e tecnologiche;
- b) Anagrafica: individuazione dei soggetti con compiti di sicurezza;
- c) una relazione concernente l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi concreti, con riferimento all'area ed alla organizzazione del cantiere, alle lavorazioni ed alle loro interferenze;
- d) le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive, in riferimento:
 - 1) all'area di cantiere
 - 2) all'organizzazione del cantiere
 - 3) alle lavorazioni
- e) le prescrizioni operative, le misure preventive e protettive ed i dispositivi di protezione individuale, in riferimento alle interferenze tra le lavorazioni;
- f) le misure di coordinamento relative all'uso comune da parte di più imprese e lavoratori autonomi di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva;
- g) le modalità organizzative della cooperazione e del coordinamento, nonché della reciproca informazione, fra i datori di lavoro e tra questi ed i lavoratori autonomi;
- h) la gestione delle emergenze: l'organizzazione prevista per il servizio di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione dei lavoratori, nel caso in cui il servizio di gestione delle emergenze è di tipo comune;
- i) il programma di esecuzione dei lavori: la durata prevista delle lavorazioni, delle fasi di lavoro e, quando la complessità dell'opera lo richieda, delle sottofasi di lavoro, che costituiscono il cronoprogramma dei lavori, nonché l'entità presunta del cantiere espressa in uomini-giorno;
- j) la stima dei costi della sicurezza.

IL BIM

3.1 Cos'è il BIM

Il *Building Information Modeling* si può definire come un innovativo metodo di progettazione a supporto di tutti gli attori del processo edilizio, che vuole essere più di un semplice strumento di scambio informativo. Un modello digitale realizzato attraverso software BIM permette di immagazzinare al suo interno i dati inerenti a tutte le discipline, necessari per descrivere in maniera non ambigua il progetto, assicurandone un continuo aggiornamento delle informazioni ed una più rapida possibilità di effettuare modifiche dei diversi componenti.

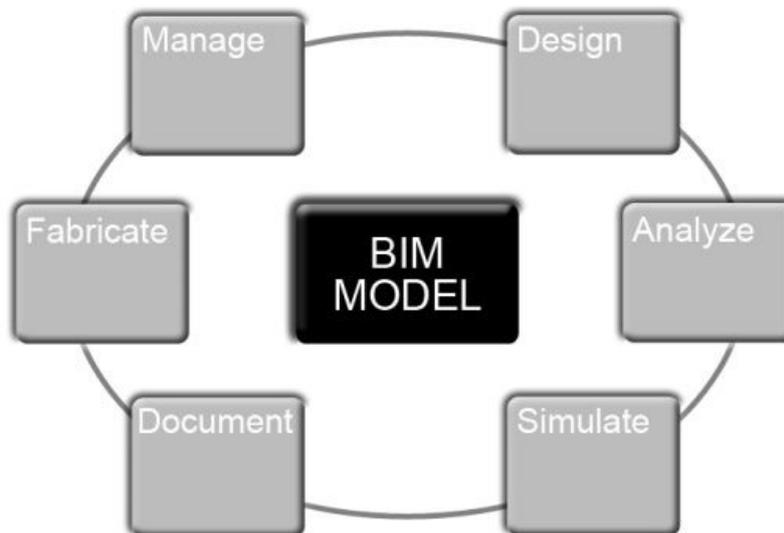


Figura 3.1 – Approccio BIM basato su un modello integrato.

Nella prefazione del libro “*B.I.M. Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*”, Jerry Laiserin attribuisce a Chuck Eastman la paternità dell’acronimo BIM: fu Eastman ad utilizzare per la prima volta il termine BIM in un suo articolo del 1975 pubblicato sull’*AIA Journal*; non a caso ad oggi risulta essere uno dei maggiori esperti in materia. Eastman parla del BIM riferendosi ad un’attività di modellazione delle costruzioni di tipo informativa, piuttosto che di un semplice oggetto tridimensionale che rappresenta la geometria dell’edificio: risulta infatti sbagliato definire il BIM come un programma o un modello 3D; esso è invece un modo di lavorare innovativo che si serve di strumenti informatici per realizzare un modello virtuale che contenga tutte le possibili informazioni che caratterizzano i diversi aspetti del progetto.

Il BIM aspira a migliorare il processo costruttivo e decisionale che caratterizza l'intero ciclo di vita di un'opera: la tradizionale metodologia di lavoro nel settore dell'edilizia risulta essere molto frammentata e tutt'ora i sistemi di scambio di informazioni più diffusi si affidano ancora a documentazioni di tipo cartaceo. Questo modo di operare crea errori, omissioni e ridondanza di dati, causa di un mancato aggiornamento e una difficoltà di comunicazione e coordinazione tra gli attori: tutto questo porta inevitabilmente ad avere situazioni di pericolo per i lavoratori e ritardi nei lavori, che generano a loro volta costi aggiuntivi imprevisi o contenziosi tra le parti.

L'approccio BIM mira invece ad una gestione del lavoro di tutti i soggetti che operano sul progetto, basata su un continuo aggiornamento vicendevole che permetta modifiche in tempo reale sulle diverse parti del modello. Destinato a sostituire inevitabilmente il CAD tradizionale, questo nuovo strumento permette di realizzare un modello integrato dello specifico progetto, sul quale tutte le figure operanti per ogni singola fase del processo possono lavorare nel proprio ambito, sfruttando le informazioni già inserite da altri, rendendo a loro volta visibili le proprie scelte di progetto. Questo tipo di gestione dei dati ne limita la perdita dovuta al passaggio di informazioni tra gli attori.

In ragione del fatto che le informazioni utili ad un progetto architettonico non sono semplicemente grafiche o geometriche, ma anche annotative, risulta adeguato il concetto BIM di modello per la gestione dei diversi dati: quest'interpretazione intende il modello come un unico archivio integrato di componenti che fungono anche da indice grafico per ulteriori contenuti; (*Figura 3.1*). Tale tipo di gestione dei dati migliora anche aspetti che riguardano la catalogazione e il computo delle parti: dal modello BIM è possibile automaticamente creare abachi delle quantità e computi dei materiali inerenti al modello dell'edificio, che si aggiornano ogni qualvolta il file subisce modifiche.

Questo modo di operare porta la tecnologia BIM all'interno del filone di sistemi informatizzati che in letteratura scientifica vengono chiamati IPDB, *Integrated Project Database*. Questo tipo di modello risulta esplorabile in diversi modi: esso può essere scomposto nei suoi singoli elementi e riassembleto secondo logiche differenti; inoltre può essere sottoposto ad analisi di diverso tipo, i cui risultati possono essere aggiunti al file del modello per integrare le informazioni già presenti. Anche questi dati potranno poi essere accessibili e entrare a far parte della documentazione di progetto. Il BIM rappresenta quindi uno strumento versatile in ogni fase del progetto, capace di integrarsi ed evolvere insieme all'edificio che racconta, mantenendone una rappresentazione coerente e coordinata per tutto il suo ciclo di vita, dalla fabbricazione alla manutenzione, prevedendone anche l'eventuale dismissione.

3.2 Breve storia del BIM

Fin dall'antichità, per la realizzazione di ogni progetto, i professionisti dei diversi campi dell'edilizia si sono sempre affidati alla rappresentazione grafica dei dati al fine di comunicare le proprie idee e scelte. Allo scopo di migliorare questo modo di operare, nel corso degli anni, i disegni di architetti ed ingegneri sono stati sottoposti ad un lungo percorso evolutivo che ha definito ad oggi la base per le attuali modalità di raffigurazione nei diversi settori del processo edilizio.

Sono stati necessari molti sviluppi tecnologici negli ultimi 50 anni per perfezionare i diversi mezzi di rappresentazione necessari per assistere i professionisti nelle specifiche discipline sul quale ognuno di loro opera, considerando tutte le fasi del processo edilizio. La situazione attuale vede un rilevante filone di ricerca indirizzato verso lo studio dei modelli 3D che stanno diventando sempre più strutturati e rivestendo rapidamente un importante ruolo per la rappresentazione grafica nel settore delle costruzioni. Il *Building Information Modeling* ha cominciato a diffondersi solo negli ultimi 20 anni: per comprenderne meglio la storia è però necessario fare un salto indietro del tempo (*Figura 3.2*).

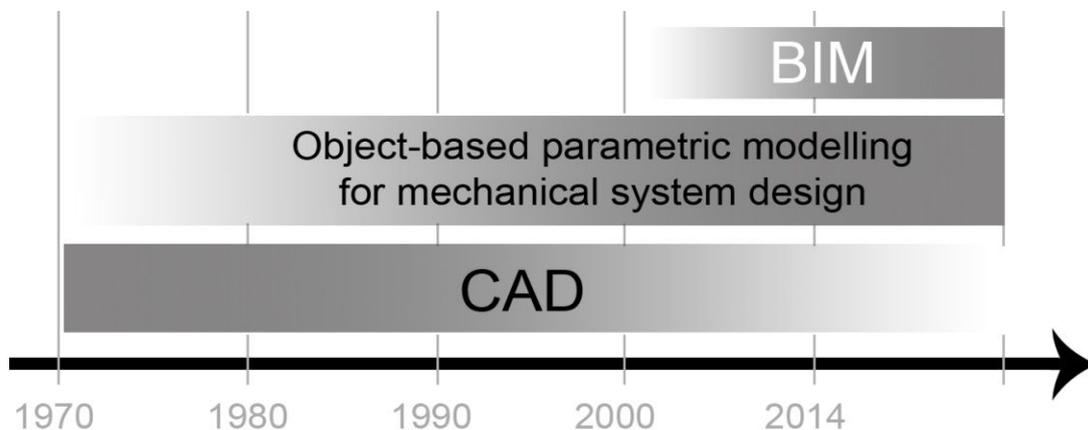


Figura 3.2– Origini del BIM

Tra la fine del 1970 e i primi anni '80 ci fu un forte sviluppo dei sistemi CAD che consentivano la creazione, attraverso la modellazione solida, di edifici in forma virtuale. Vedendo il potenziale di questo strumento, le industrie manifatturiere ed aerospaziali decisero di collaborare con le compagnie di software al fine di sviluppare questi sistemi. Al contrario, l'industria delle costruzioni scelse di utilizzare i programmi per il disegno architettonico, come *AutoCAD* e *Microstation*, cominciando a diffondere nel campo

dell'edilizia l'uso di documentazione digitale 2D. Il limite di questi strumenti è che essi realizzano elaborati incentrati sulla rappresentazione, trascurando l'intero processo.

Per quanto riguarda invece la modellazione parametrica, la sua origine risale alla fine degli anni '80, quando veniva utilizzata per progetti di impianti meccanici, rappresentando un'innovazione nel processo di progettazione: questo tipo di strumento è riuscito a colmare le mancanze che venivano riscontrate nella modellazione solida semplice. Secondo questo nuovo sistema è possibile, infatti, generare solidi immettendo dei parametri numerici, come per esempio l'altezza, la lunghezza, la profondità, e di poter intervenire sugli oggetti creati in qualunque momento del processo, per eventuali modifiche o aggiornamenti, senza doverli ricostruire. Il concetto di *oggetto parametrico intelligente* definisce la base del processo BIM: questa nuova tipologia di oggetto tridimensionale è caratterizzato da una serie di definizioni geometriche legate a regole e dati; ciò comporta che una qualsiasi modifica effettuata sul modello rappresenta un immediato aggiornamento di tutti i dati ad esso associati.

Prima ancora che si cominciasse a definire questo processo con l'acronimo BIM, coniato all'inizio del 2002, nel 1986 Graphisoft introdusse nel settore dell'edilizia l'utilizzo del primo *Virtual Building Solution* noto come *ArchiCAD*. Questo nuovo software si dimostrò innovativo poiché permetteva agli architetti non solo di superare il disegno bidimensionale attraverso una modellazione tridimensionale virtuale del proprio progetto, ma anche di inserire all'interno del file una grande quantità di dati. Le tipologie di informazioni che il programma era in grado immagazzinare non erano solamente di tipo geometrico e spaziale, ma potevano essere riferite anche alle proprietà e alle quantità dei singoli elementi. L'approccio parametrico di *ArchiCAD* permetteva inoltre un'automatica correzione del modello attraverso la modifica di una sua singola parte.

Nei successivi anni sono stati fatti moltissimi progressi e dal 2003 l'espressione BIM ha cominciato a diffondersi, successivamente ad un dibattito organizzato da Jerry Laiserin nel quale *Autodesk* e *Bentley*, due tra le più note società di software in quel tempo nel settore dell'edilizia, hanno discusso del tema del *Building Information Modeling*. Iniziò così a crescere la convinzione di procedere verso una progettazione efficace e collaborativa anche tra più software, per migliorare tutte le fasi del processo che caratterizzano il settore delle costruzioni. Oggi, sebbene si stia ancora lavorando a soluzioni BIM perfettamente integrate, sono molti i software che sono stati sviluppati seguendo questo nuovo approccio. Tra questi si possono citare alcuni dei più noti: *Allplan*, *ArchiCAD*, *Autodesk Revit*, *Bentley Building*, *DigitalProject*, *VectorWorks*.

3.3 Oggetti Parametrici Intelligenti

Per capire la logica che sta alla base della modellazione parametrica, è importante comprendere bene come l'*oggetto parametrico* supera le tradizionali rappresentazioni 2D e 3D (*Figura 3.3*). Una finestra viene disegnata in 2D attraverso una serie di linee che ne caratterizzano le dimensioni dei diversi elementi che la compongono. La stessa finestra può essere disegnata da un modellatore 3D utilizzando comandi di estrusione solida. In nessuno dei due casi vi è alcuna informazione sulla quantificazione e sui materiali che caratterizzano il tipo finestra. Un ulteriore limite degli strumenti CAD è la mancanza di corrispondenza tra l'oggetto modellato e le sue rappresentazioni bidimensionali, quali possono essere piante, prospetti e sezioni; questo tipo di software non è infatti in grado di generare automaticamente queste viste e aggiornarle in tempo reale ogni qualvolta il modello subisce delle modifiche.

Secondo i programmi parametrici che seguono il processo BIM, l'oggetto finestra è caratterizzato da una serie di definizioni geometriche alle quali sono associati dati e regole; la modellazione avviene quindi attraverso il posizionamento e la modifica di oggetti interi, piuttosto che tracciando insiemi di linee rappresentative della loro astrazione. Di conseguenza ogni linea o quota visualizzata risulta riferita allo specifico componente che già le possiede al suo interno, evitando ulteriori aggiustamenti. Un altro vantaggio che caratterizza i modellatori BIM è la possibilità di disegnare elementi tridimensionali partendo da viste in due dimensioni: risulta infatti più immediato concepire gli spazi architettonici tracciando profili su di una vista in pianta piuttosto che direttamente nelle tre dimensioni.

In un software BIM come *Autodesk Revit*, nel caso specifico della finestra, essa si comporta secondo i principi costruttivi che definiscono la *Famiglia* a cui essa appartiene: per tale ragione una finestra non può essere creata in assenza di un muro nel quale questa possa essere inserita. Bisogna precisare che, quando si parla di *Famiglie*, ci si riferisce a dei componenti parametrici di Autodesk Revit: questi possono contenere diverse informazioni inerenti ai diversi elementi che compongono l'oggetto. Le tipologie di famiglie sono di diverso tipo: possiamo avere famiglie di muri, di fondazioni, di arredi, di solai, e non solo. Esistono librerie di famiglie predefinite all'interno del programma che possono essere utilizzate per una fase preliminare della modellazione. Se, per un progetto specifico, dovesse essere necessario inserire elementi diversi da quelli già presenti nelle librerie, è possibile aggiungere nuovi oggetti personalizzati creandoli a partire da modelli di famiglie forniti sempre dal programma, che ne definiscono di default alcune proprietà, alle quali si possono aggiungere ulteriori

parametri e regole. Alcuni produttori di componenti edilizi, seguendo lo sviluppo di queste nuove tecnologie, hanno cominciato a creare oggetti parametrici dei propri prodotti presenti in commercio, che rendono disponibili nei loro siti web attraverso cataloghi: ciò permette al progettista di inserire in automatico nel proprio progetto un elemento che realmente ha intensione di far realizzare, completo di tutte le informazioni ad esso relativo.

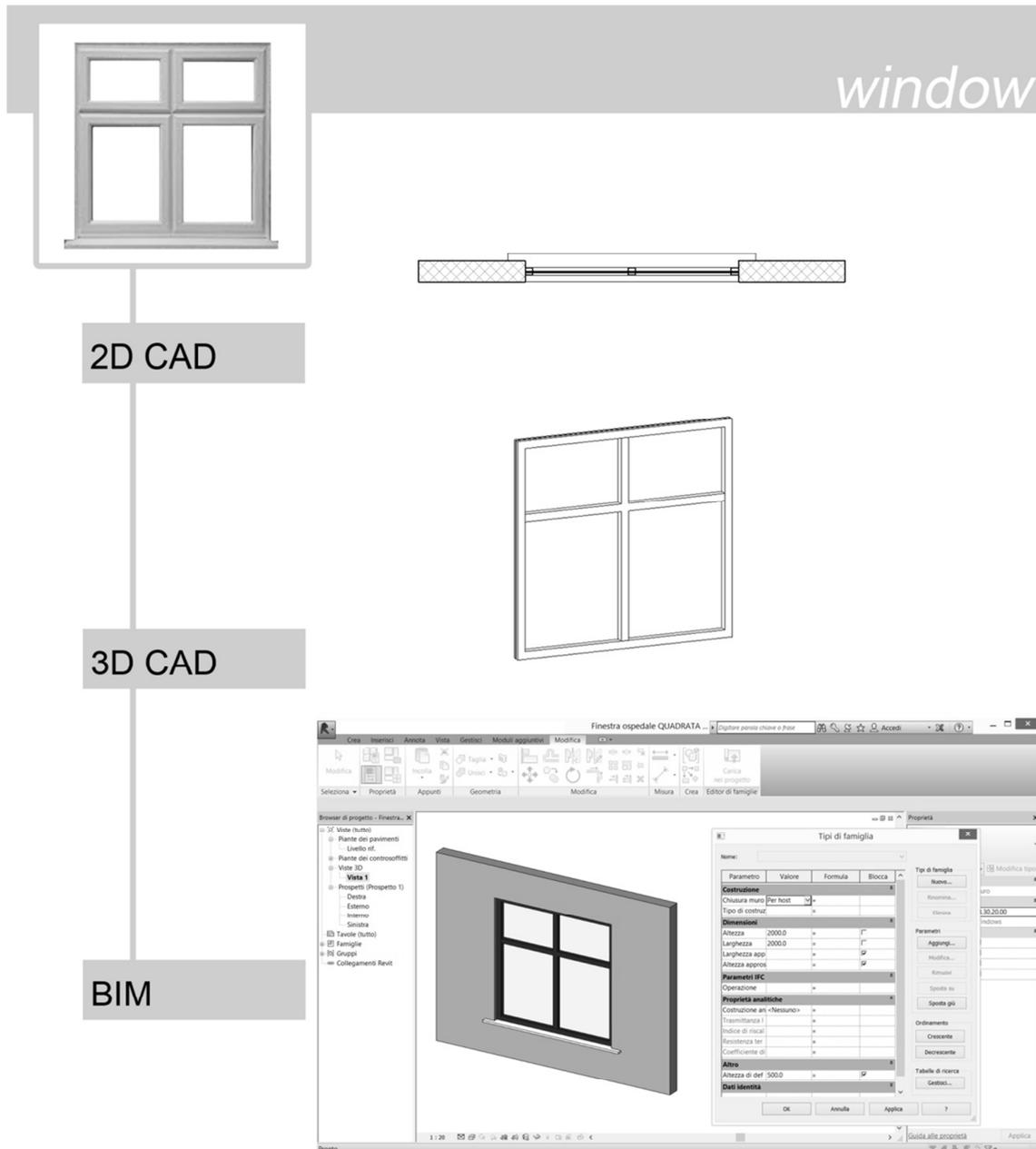


Figura 3.3 - Rappresentazione di una finestra in 2D CAD, 3D CAD e in BIM

3.4 Il problema dell'Interoperabilità

Per la realizzazione di un edificio, riveste un ruolo fondamentale la collaborazione tra i diversi attori: per questo motivo lo scambio di informazioni e scelte progettuali deve essere veloce e chiaro, sebbene ogni professionista utilizzi mezzi differenti. Per migliorare tale dialogo tra figure aventi formazioni culturali e professionali di diverso tipo è possibile utilizzare sistemi di condivisione informatici che permettano uno scambio di informazioni provenienti da software differenti.

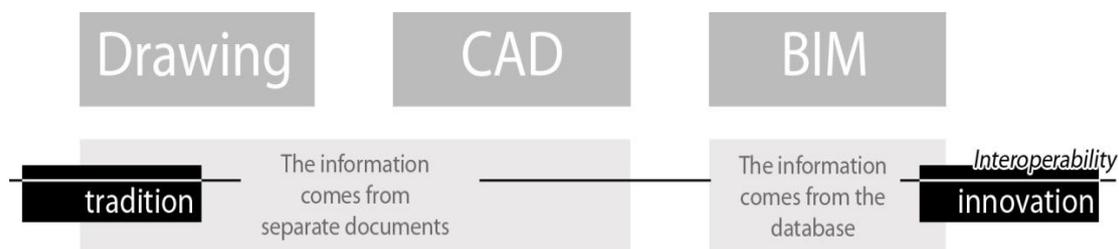


Figura 3.4 – Evoluzione dal disegno al BIM

Il processo edilizio sta diventando sempre più complesso: ciò è causa di una sempre maggiore settorialità della normativa tecnica cogente, di una enorme varietà degli interventi e di un aumento di nuove richieste prestazionali riguardanti i progetti. Non sono certamente di aiuto i problemi di comunicazione e comprensione tra i soggetti coinvolti nella realizzazione di un'opera: essi nascono principalmente dalla compresenza di differenti discipline e dalla necessità di competenze sempre più specialistiche. Ogni soggetto che interviene durante il ciclo di vita dell'opera ha un soggettivo modo di definire il tipo di informazione che vuole trasmettere, che deriva dal proprio patrimonio conoscitivo, che è cresciuto attraverso gli studi e le esperienze personali: a causa di questa non uniformità del concetto di informazione tra gli attori coinvolti, durante il processo collaborativo lo scambio di dati può facilmente risultare poco efficace. Ciò che risulta fondamentale per la collaborazione tra gli attori è la modalità di interscambio, indipendentemente da quali strumenti vengono utilizzati durante il progetto: è utile a questo scopo disporre di un modello generale che racchiuda al suo interno le informazioni adeguatamente formalizzate.

“La problematica dell’interscambio tra figure provenienti da differenti formazioni professionali si può affrontare attraverso l’arricchimento semantico dei documenti tra le parti, evitando per quanto possibile l’informazione implicita, quella cioè nella quale nessuna entità ha un significato intrinseco se non quello che assume nel contesto professionale, scientifico e culturale nel quale è inserita” [Garagnani, 2010].

Un chiaro esempio è il caso degli elaborati impiantistici: chi rappresenta il progetto degli impianti utilizza simbologie grafiche per identificare la posizione in pianta degli elementi e i loro collegamenti, trascurando eventuali indicazioni riguardo la loro dimensioni e la quota su cui essi dovrebbero essere alloggiati, che sarebbero utili in fase di cantiere a chi realizza l'opera.

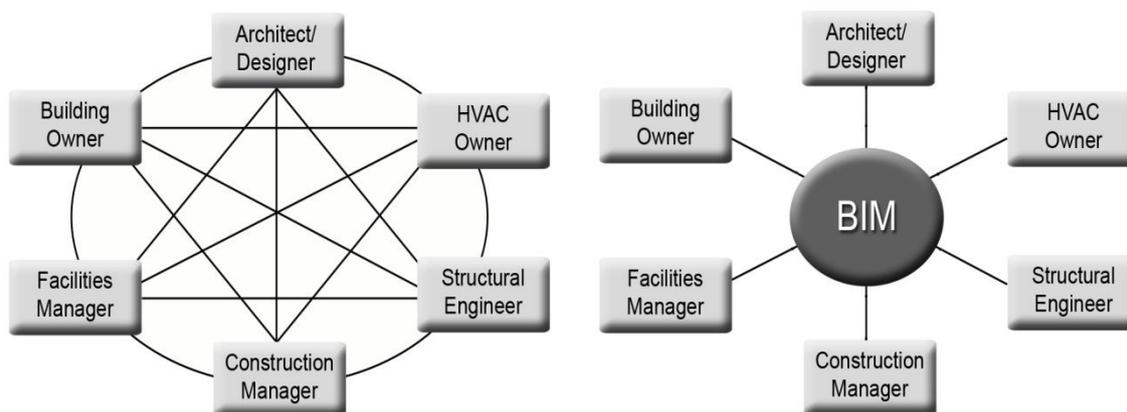


Figura 3.5 – Il BIM come soluzione del problema dell' Interoperabilità

Negli anni sono stati effettuati diversi studi di ricerca da parte della comunità scientifica internazionale al fine di sviluppare rapporti efficaci d'interoperabilità tra gli strumenti utilizzati dai progettisti, che permettessero un'efficace condivisione dell'informazione: a tale scopo, attualmente, questo filone di ricerca sta concentrando la propria attenzione sul *Building Information Modeling*. Negli Stati Uniti, a metà degli anni 90, già si cominciava a lavorare sulla ricerca di un linguaggio di scambio dati che potesse supportare differenti programmi informatici, a dimostrazione di quanto ciò risultasse vantaggioso economicamente. Lo scopo che si voleva raggiungere era quello di sviluppare un nuovo standard d'interoperabilità facilmente accessibile a tutti.

Fu così che nell'ottobre del 1995 venne fondata l'IAI (*Industry Alliance for Interoperability*), la quale nel gennaio del 1997 istituì le IFC (*Industry Foundation Classes*), le quali prevedevano un innovativo formato di scambio dati, non legato ad una singola azienda di software, ma liberamente disponibile. Questa organizzazione non produce programmi informatici, ma specifiche per la produzione di software interoperabile. Lo standard IFC permette a tutti gli attori del processo di fornire, in maniera agevole, attraverso uno scambio dati efficace, il proprio contributo sul progetto: questa interoperabilità è possibile grazie all'estensione .IFC come formato di salvataggio. Utilizzando i file esportati in IFC è possibile trasferire i dati presenti del modello BIM su software diversi, che normalmente avrebbero difficoltà a comunicare:

in tal modo è possibile effettuare simulazioni e analisi sfruttando programmi differenti. Il formato IFC consente di trasferire dati riguardanti le proprietà del singolo componente del modello e le relazioni tra gli elementi che lo compongono. L'interoperabilità che gli IFC permettono è applicabile durante tutto il ciclo di vita dell'edificio. Ad oggi sono in aumento le case produttrici di software che hanno scelto di adottare questo protocollo; per questa ragione è possibile trovare in commercio programmi compatibili col formato IFC utili per effettuare diversi tipi di analisi: tra questi possiamo trovare software per il calcolo strutturale, per le analisi energetiche, e per il model check. Un elenco dei software già certificati è disponibile sul sito dell'IAI.

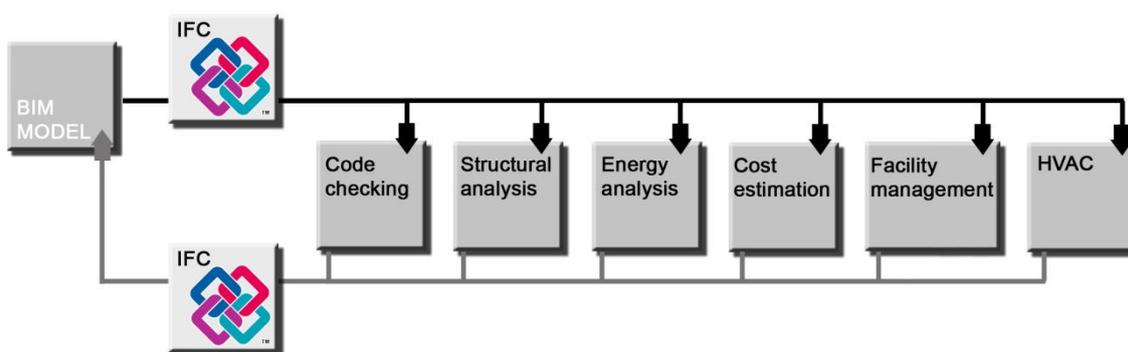


Figura 3.6 – Interoperabilità attraverso il formato dati IFC

Nel 2005 l'IAI è stata ribattezzata *BuildingSMART*: questa organizzazione internazionale, senza scopo di lucro, lavora tuttora a sostegno della diffusione mondiale del BIM. L'ultimo aggiornamento del modello di dati è IFC4, che è stato rilasciato nel marzo del 2013. Questa organizzazione riunisce attualmente più di 500 membri in tutto il mondo, raggruppati in "*Capitoli*" in base alla localizzazione geografica o alla lingua. Ogni Capitolo è rappresentato da un'associazione senza fini economici; per quanto riguarda il capitolo italiano di *BuildingSMART* ad occuparsene è il Dipartimento BEST (*Building Environment Science & Technology*) del Politecnico di Milano.

Con l'introduzione delle IFC si punta a migliorare il complesso dialogo e la scarsa collaborazione tra gli attori che intervengono durante il processo edilizio, attraverso l'arricchimento dell'interoperabilità dei software che essi utilizzano nei loro specifici campi. Per questa ragione tale strumento si sta dimostrando utile nel sostenere il processo BIM: secondo questo nuovo modo di gestire i progetti si cerca, infatti, di immagazzinare tutte le informazioni in un unico database, trasferendo i dati attraverso più programmi. Avere un formato di scambio dati compatibile con i software utilizzati risulta un aspetto non trascurabile per l'approccio su cui si basa il BIM.

3.5 Il quadro normativo attuale sul BIM

La diffusione del *Building Information Modeling* all'estero è stata molto rapida rispetto all'Italia, sebbene non sia avvenuta in maniera omogenea nei diversi Paesi.



Figura 3.7 – Nella cartina sono evidenziati i Paesi dell'Unione Europea in cui è diventato obbligatorio l'utilizzo del metodo BIM nei progetti finanziati da enti pubblici, a partire dalla data indicata .

La metodologia BIM in **Finlandia** ha cominciato a diffondersi già dal 2001, grazie alla *Senate Properties*, un ente pubblico responsabile del patrimonio immobiliare statale finlandese, che ha promosso lo studio dei modelli BIM e del formato IFC attraverso progetti pilota. Negli anni successivi la pratica BIM è velocemente diventata uno standard: infatti più del 70% dei progetti sono gestiti secondo questo approccio ed è già dal 2007 che le autorità governative finlandesi richiedono l'utilizzo del BIM per i loro progetti.

In **Norvegia** l'agenzia governativa *Statsbygg*, responsabile per la gran parte dei maggiori progetti pubblici norvegesi, ha stabilito l'adozione del BIM per l'intero ciclo di vita dei progetti: l'iniziativa è partita nel 2007 con cinque progetti pilota; dal 2010 il BIM viene utilizzato per tutti i progetti della Statsbygg. Anche nel settore privato è promossa l'adozione delle pratiche BIM.

Nonostante le iniziative di grande successo proposte dai paesi scandinavi, in Europa oggi, il **Regno Unito** è il paese che sta diffondendo maggiormente la pratica BIM. L'iniziativa inglese si è basata sulla comprensione e lo studio dei legami tra CAD e BIM al fine di facilitare il passaggio tra i due modelli fruttando standard comuni in modo da migliorare il processo di creazione, gestione e scambio delle informazioni di progetto. A tale scopo già dal 2000 nel Regno Unito sono state promosse iniziative volte alla creazione di uno standard specifico per l'ambiente di progettazione BIM, che consenta a tutti i soggetti coinvolti nel processo edilizio di lavorare in modo collaborativo. L'obiettivo della riforma sul BIM attuata dal governo britannico, già a partire dal 2011, è di ottenere la riduzione del 20% dei costi relativi alla realizzazione di opere pubbliche e delle emissioni di carbonio: a tale scopo, dal 2016 nel Regno Unito diventerà obbligatorio la gestione attraverso il metodo BIM per tutti i progetti con committente pubblico.

In **Danimarca**, gli enti governativi richiedono l'adozione del metodo BIM per i progetti finanziati da fondi pubblici che partono dal 2007. Alcuni enti pubblici hanno iniziato a lavorare sul tema BIM per quanto riguarda la gestione del patrimonio immobiliare pubblico. Sebbene la pratica BIM non sia ancora molto diffusa in questo paese, un primo obiettivo che si sta cercando di raggiungere è quello di stabilire delle metodologie di lavoro coerenti e comuni per tutte le fasi del processo che spieghino come gestire un modello di questo tipo.

Nei **Paesi Bassi**, nel 2012, il Ministero olandese degli Interni ha reso obbligatorio l'utilizzo del BIM su grandi progetti pubblici. Nonostante un lieve distacco, anche la Francia e la Germania stanno cominciando a indirizzarsi verso questa direzione.

Attualmente in **Italia** non esiste una normativa in materia che proponga l'adozione di tale metodologia di gestione dei progetti; nonostante ciò il BIM sta cominciando a diffondersi anche nel Nostro Paese, seppure con un po' di ritardo rispetto agli altri, dove invece sembra ormai essere un modo comune di lavorare. Sebbene le università e diverse associazioni cerchino di proporre la propagazione del BIM attraverso convegni e seminari, le imprese sotto questo punto di vista risultano arretrate.

La Commissione Europea, il 15 gennaio del 2014, ha emanato una direttiva, denominata ufficialmente *European Union Public Procurement Directive* (EUPPD), con la quale ha voluto modernizzare la normativa sugli appalti, invitando i 28 stati membri a incoraggiare o imporre l'utilizzo del BIM per i progetti finanziati da fondi pubblici a partire dal 2016: l'introduzione di questa metodologia per la progettazione di opere pubbliche rappresenta un importante passo per la diffusione del BIM.

Il settore delle costruzioni ha bisogno di evolversi, ma non bastano solo i provvedimenti legislativi per spingere verso un mutamento, è altrettanto necessario che i processi aziendali si rinnovino. L'introduzione di nuovi strumenti digitali rischia di essere vista come un semplice cambiamento di tecnologia, non di metodo: il BIM non deve essere visto come un vincolo dato dalla normativa o un aggiornamento informatico. Per poter riscontrare i benefici derivanti dall'applicazione di questo processo è importante che si attui una radicale trasformazione dell'intero settore. Per questo motivo bisogna capire se il Nostro Paese sia pronto a rivoluzionare il modo di gestire i progetti, mettendo in primo piano i concetti BIM.

Una corretta applicazione del processo in questione per progetti soggetti a gare d'appalto può risultare di enorme vantaggio: rispetto ai tradizionali metodi, il processo BIM, se adeguatamente gestito, permette alle aziende, velocizzandone le operazioni, di poter presentare progetti in tempi più rapidi e ad un prezzo inferiore, rendendole più concorrenziale sul mercato. Bisogna comunque sottolineare che per avere un vantaggio competitivo reale occorre coinvolgere nel processo gli attori di tutte le discipline inerenti al progetto.

Sebbene siano chiare le potenzialità del BIM, esso mostra ancora alcuni limiti ed il tradizionale modo di operare negli studi di progettazione, per essere adattato a questo nuovo modo di lavorare, necessita alle volte di una spinta. Certamente il BIM è ancora in fase di sviluppo e la ricerca sta operando per rendere sempre più completo l'intero processo. In particolare, nel nostro paese, molti ricercatori stanno lavorando sul progetto *INNOVance*, finanziato dal Ministero per lo Sviluppo Economico, il quale punta alla realizzazione di un database italiano per il settore delle costruzioni: si tratta di un sistema di codifica univoco applicabile all'intero processo edilizio, che si basa su sistemi di classificazione internazionali. L'obiettivo è quello di fornire degli strumenti innovativi per la gestione dei progetti, basati sul processo BIM, che permettano alle imprese italiane di essere al passo con lo sviluppo del settore, adeguandosi alle future normative europee. Si spera che questo lungo percorso porti il Building Information Modeling a realizzare l'utopica visione di questa migliore organizzazione del processo che caratterizza la progettazione.

3.6 BIM e Design-for-safety

Rispetto al disegno manuale che veniva utilizzato in passato, il *Computer-aided design* (CAD) ha migliorato la produzione degli elaborati grafici a supporto dei progetti di architettura: i disegni vengono realizzati con maggiore rapidità e accortezza; facilitandone l'elaborazione, questi strumenti informatici offrono un maggior sostegno durante le fasi di progettazione e produzione della documentazione necessaria.

Un ulteriore passo avanti è stato fatto grazie all'utilizzo del *Building Information Modeling* (BIM): esso consente infatti di effettuare diversi tipi di analisi fin dalle prime fasi di progettazione, volte a migliorare la gestione del processo e limitare i costi durante il ciclo di vita dell'opera. Gli elaborati, che si producono durante le diverse fasi che portano alla realizzazione dell'opera, sono volti ad ottimizzare il flusso di informazioni tra i soggetti coinvolti: si tratta quindi di un punto fondamentale che necessita di un metodo efficace al fine di assicurare la massima qualità, al giusto costo, riducendo al minimo i rischi per la realizzazione. Soprattutto durante la fase di costruzione lo scambio di informazioni deve essere tale da garantire un controllo efficace su ogni aspetto del progetto. Il BIM viene oggi utilizzato per migliorare la sostenibilità, aumentare il controllo delle scelte di progetto, assistere le fasi di pianificazione e di costruzione, e gestire le diverse stime.

Secondo il *Dr. Kihong Ku and Thomas Mills*, come descritto in un articolo pubblicato nel 2010, l'impatto prodotto dalla gestione dei progetti attraverso processi di BIM è sempre più evidente: in molti progetti internazionali si sta utilizzando il BIM per migliorare la progettazione durante tutto il ciclo di vita dell'opera. In alcuni casi questo metodo di lavoro viene impiegato al fine di migliorare la sicurezza e la salute durante la fase di costruzione: il BIM si rivela un mezzo utile per assistere il soggetti responsabili per il progetto della sicurezza per il riconoscimento dei rischi e dei pericoli.

Ad oggi sono diversi gli strumenti che vengono utilizzati dai professionisti per la redazione dei progetti della sicurezza; questi possono essere suddivisi in cinque categorie:

1. Programmi per la realizzazione di disegni 2D (es. AutoCAD)
2. Modellatori 3D (es. Rhino, Maya)
3. Software BIM (es. Revit, ArchiCAD)
4. Software per il 4D CAD (es. Synchro, NavisWorks)
5. Model Checker (es. Solibri, NavisWorks)

Attualmente ci sono diversi gruppi di ricerca delle università che svolgono studi sugli strumenti BIM. Sebbene l'obiettivo non sia esclusivamente quello della sicurezza, questo filone di ricerca suggerisce la possibilità di adottare nuove metodologie per affrontare diverse problematiche comuni. In particolare, per quanto riguarda la sicurezza, le aree di studio riguardano principalmente la revisione del progetto e la simulazione.

Lo sviluppo degli strumenti di analisi dei progetti sta lavorando sull'integrazione dei componenti di costruzione 3D con i potenziali rischi per la sicurezza e le strategie di prevenzione: l'intenzione è quella di configurare gli elementi del modello in maniera tale che si possano facilmente identificare le situazioni pericolose, ed eventualmente risolverle automaticamente. Questi strumenti possono ancora migliorare attraverso lo sviluppo di regole personalizzate per l'identificazione dei pericoli, integrabili ad elementi geometrici.

Per quanto riguarda la simulazione invece, la ricerca si sta concentrando sui processi di pianificazione delle fasi di costruzione: l'obiettivo è quello di sfruttare la visualizzazione temporale del cantiere per effettuare diversi tipi di valutazione. Attraverso questi strumenti, si intende risolvere l'esigenza di realizzare una rappresentazione del cantiere che possa essere chiara ed efficace, come è inoltre richiesto dalla normativa. Il modello BIM, includendo al suo interno tutte le informazioni relative agli elementi che costituiscono il progetto e basandosi su una visualizzazione tridimensionale, permette la realizzazione di un modello condiviso dal quale risulta rapida l'estrapolazione di tutte le viste richieste. Implementando tale modello attraverso l'introduzione del processo costruttivo si riesce ad affrontare il tema del cantiere sfruttando uno spazio digitale unico, condivisibile tra i differenti attori, dove indagare le possibili soluzioni e visualizzare preventivamente le fasi dei lavori. Impiegando al meglio le potenzialità dei software BIM è possibile quindi superare la rappresentazione statica bidimensionale, costruendo un modello multidimensionale dinamico del cantiere: questa multidimensionalità del progetto evolverà includendo sempre più dimensioni relative ai tempi, ai costi, alla sicurezza e all'utilizzo di risorse.

Utilizzo di questi innovativi strumenti per la redazione degli elaborati di progetto si dimostra vantaggioso sotto diversi punti di vista. Purtroppo la pratica BIM non è ancora molto diffusa, soprattutto nel nostro paese; nonostante questo la ricerca continua a lavorare sullo sviluppo di questi mezzi innovativi in modo da sfruttarli al meglio e trovare nuovi ambiti applicativi.

SOFTWARE UTILIZZATI

Secondo la metodologia del Building Information Modeling, più soggetti lavorano su diverse parti del progetto, operando tutti sullo stesso modello, attraverso l'ausilio di software con differenti funzionalità, al fine di migliorare la gestione e l'elaborazione dei dati. Seguendo quest'ottica, si è scelto, per questo studio, di utilizzare due software Autodesk, Revit e Navisworks, e Microsoft Project. Sfruttando l'interoperabilità tra questi programmi, è stato possibile gestire i dati sulle diverse piattaforme, senza perdita di informazioni, e con l'enorme vantaggio di un aggiornamento simultaneo degli stessi.

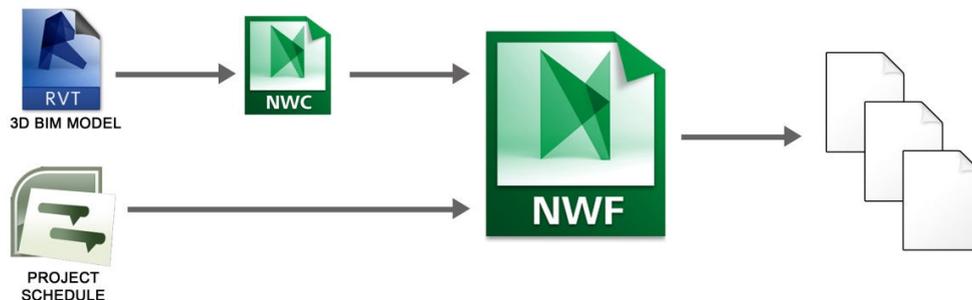


Figura 4.1 – Schema di utilizzo dei software scelti.

In particolare, con Autodesk Revit è stato realizzato il modello 3D, che è stato poi esportato, insieme ad un file realizzato con Microsoft Project, in Navisworks: in quest'ultimo, gestendo i diversi dati in entrata, sono state effettuate delle analisi sul modello, inerenti alle problematiche del cantiere (Figura 4.1).

4.1 Autodesk Revit



Figura 4.2 – Logo Autodesk Revit 2015.

Revit è un software ideato dall'Autodesk appositamente per la progettazione architettonica e la costruzione: questo programma è stato sviluppato specificatamente per la gestione del progetto secondo il processo del Building Information Modeling.

Attraverso Revit i progettisti ed i costruttori possono avvalersi di uno strumento capace di gestire i progetti durante l'intero ciclo di vita dell'opera, seguendo per fasi i diversi livelli di dettaglio ed implementando il modello di tutte le informazioni necessarie secondo un approccio coordinato ed omogeneo. Questo programma permette, infatti, ai diversi soggetti di intervenire sulle parti del modello che gli competono: Revit è un unico software che include funzionalità differenti per quanto riguarda la progettazione architettonica, impiantistica e strutturale. In questo modo si è in grado di ottimizzare il coordinamento multidisciplinare della documentazione riducendo al minimo gli errori e migliorando la comunicazione tra i componenti del team del progetto.

Ciò che si realizza attraverso Revit è un unico modello 3D, un singolo file, sul quale ogni soggetto ha inserito le informazioni necessarie inerenti al proprio ambito. Il programma è inoltre in grado di realizzare prospetti, sezioni, e viste tridimensionali in tempo reale. Le modifiche che vengono fatte sul modello vengono automaticamente aggiornate in tutte le viste. La modellazione avviene secondo la logica BIM attraverso l'utilizzo di oggetti intelligenti che seguono delle regole e dei parametri specifici a seconda della famiglia a cui appartengono: è quindi molto importante sottolineare il fatto che non si tratta di un semplice modellatore 3D.

Il processo BIM non si ferma all'utilizzo di un singolo programma per la gestione del progetto, per questo risulta molto importante il rapporto di condivisione del modello che viene realizzato con Revit con gli altri tipi di software che possono entrare in gioco durante il ciclo di vita dell'opera. Un progetto che si basa sul Building Information Modeling può infatti essere arricchito di ulteriori livelli di dettaglio e di analisi attraverso l'ausilio di diversi altri programmi, a seconda delle esigenze. Il dialogo tra i possibili programmi che il team di progetto può scegliere di utilizzare è quindi molto importante: a questo scopo risulta quindi vantaggioso che Revit sia in grado di esportare il modello attraverso differenti tipi di formati, permettendo così la lettura delle informazioni presenti nel file su altri programmi, i quali possono rielaborarle al fine di realizzare ulteriori elaborati e dati di supporto al progetto.

Le potenzialità e le funzionalità di Revit sono molteplici e permettono di realizzare tutta la documentazione necessaria a rappresentare le caratteristiche del progetto con un livello adeguato a seconda di ogni fase: questo programma è infatti capace di gestire il modello sotto diversi aspetti e di redigere direttamente all'interno del file le tavole di presentazione del progetto, che in automatico vengono aggiornate ogni qualvolta vengono effettuate delle modifiche sul file. Revit stesso è in grado inoltre di effettuare analisi energetiche e di realizzare dei render. Sebbene il programma sia capace di gestire

in maniera molto vasta il progetto, per lo studio in esame ho scelto di utilizzare principalmente *Revit Architecture* al fine di realizzare un modello 3D composto da elementi intelligenti, arricchito di tutte quelle informazioni utili allo scopo di questo mio studio. Il modello in questione sarà successivamente esportato su di un software diverso per effettuare analisi più specifiche per quello che concerne la fase di cantiere.

Sarà quindi importante utilizzare Revit modellando l'edificio preso in esame per questa tesi secondo la logica BIM, definendo un livello di dettaglio adeguato, in relazione all'utilizzo successivo del modello su altri software. Ciò che inoltre sarà interessante valutare è la modalità di condivisione del modello realizzato in Revit con altri programmi. Nello specifico è stato usato Revit 2015, la versione attualmente più aggiornata.

4.2 Microsoft Project



Figura 4.3– Logo Microsoft Project 2007.

Project è un programma che fa parte del pacchetto Office di Microsoft: esso è stato ideato per migliorare la pianificazione, la coordinazione delle risorse, la verifica del rispetto dei tempi, la gestione dei costi e l'analisi dei carichi di lavoro.

Attraverso questo software è stato possibile creare un programma lavori inerente al progetto scelto come caso di studio per questa tesi. Le attività sono state inserite e legate in ordine temporale, secondo legami *Finish to Start*, caratterizzando così tutte le fasi attraverso cui si intende realizzare l'opera. La scelta di utilizzare questo programma è derivata dal fatto che il diagramma realizzato con esso è esportabile in Navisworks: in questo modo è possibile sfruttare l'interoperabilità dei software per effettuare le successive analisi. Si vuole però sottolineare che è altrettanto possibile realizzare il cronoprogramma all'interno dello stesso Navisworks: si è però scelto di utilizzare Project poiché vi è stata già occasione, durante gli studi, di utilizzare le funzionalità di tale programma, ma soprattutto per valorizzare il rapporto tra i diversi programmi. Eventuali modifiche apportate al programma dei lavori effettuate su Project non creano problemi: il file viene infatti aggiornato automaticamente in Navisworks.

4.3 Autodesk Navisworks



Figura 4.4– Logo Autodesk Navisworks 2015.

Autodesk Navisworks entra a far parte del processo BIM consentendo la condivisione, la combinazione, la revisione, l'integrazione ed il controllo dei modelli: questo programma, attraverso l'elaborazione delle informazioni del progetto inerenti ad un singolo modello, permette una dettagliata visione d'insieme del progetto utile a migliorare il processo decisionale, la comunicazione, le previsioni e la pianificazione dalla fase di realizzazione a quella di gestione dell'opera.

Per lo studio svolto in questa tesi è stato utilizzato *Autodesk Navisworks Manage*: questo software dispone di diverse funzionalità, quelle principali sono:

- Creazione di simulazioni ed animazioni: è possibile, attraverso l'importazione di un modello 3D realizzato con programmi BIM, effettuare delle analisi di tipo preventivo, che possano curare la fase di realizzazione dell'opera. Il programma permette di creare un modello 4D del progetto: la simulazione delle fasi costruttive consente una visualizzazione anticipata di eventuali problematiche che potrebbero riscontrarsi solo in cantiere, cause di possibili ritardi e aumento dei costi. L'elaborazione di un modello di questo tipo è inoltre di utile supporto per la comunicazione e per il processo decisionale;
- Gestione delle quantità: il programma è in grado di elaborare la quantificazione degli elementi presenti nel modello, funzione utile per la creazione dei computi;
- Clash Detection: questa funzione consente di effettuare analisi delle interferenze, vantaggiosa per rilevare eventuali errori nella realizzazione del modello;
- Revisione del progetto: attraverso diversi comandi è possibile inserire direttamente all'interno del modello delle annotazioni chiare, e migliorare così la comunicazione tra i diversi soggetti che operano sullo stesso file.

Navisworks permette inoltre una facile esportazione dei dati su altre piattaforme grazie all'interoperabilità tra di essi: la facile lettura delle informazioni può essere di supporto anche durante le fasi di realizzazione dell'opera, grazie alla possibilità di esplorare in maniera interattiva il modello.

IL PSC ED IL BIM

Il Piano di Sicurezza e Coordinamento è un documento ufficiale che deve essere presente in cantiere e che fa parte del contratto d'appalto. Il progetto della sicurezza serve a eliminare o ridurre il rischio di infortuni che possono verificarsi nel cantiere a causa dell'organizzazione dello stesso, delle lavorazioni e delle loro interferenze. Come descritto nell'*articolo 100 del D.lgs. 81/2008*, comma 1:

Il piano è costituito da una relazione tecnica e prescrizioni correlate alla complessità dell'opera da realizzare ed alle eventuali fasi critiche del processo di costruzione, atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ..., nonché la stima dei costi di cui al punto 4 dell'ALLEGATO XV.

Il piano di sicurezza e coordinamento è corredato da tavole esplicative di progetto, relative agli aspetti della sicurezza, comprendenti almeno una planimetria sull'organizzazione del cantiere e, ove la particolarità dell'opera lo richieda, una tavola tecnica sugli scavi. ...

A causa del valore legale di tale documento non è possibile sostituire il PSC cartaceo con un oggetto digitale. D'altra parte gli strumenti informatici possono risultare utili nella redazione della documentazione di cantiere e nella progettazione dello stesso.

L'obiettivo di questa tesi è quella di mostrare come l'utilizzo di una strategia BIM possa migliorare questo aspetto, aiutando il coordinatore per la sicurezza nel curare la documentazione necessaria. Un altro elemento importante che si vuole sottolineare riguarda l'importanza della trasmissione delle informazioni contenute in questi documenti a chi esegue realmente i lavori. Affinché le scelte di progetto siano davvero efficaci è necessario che tutti i soggetti coinvolti conoscano le indicazioni presenti nel Piano di Sicurezza e Coordinamento; questo aspetto infatti è sottolineato nell'*articolo 100 del D.lgs. 81/2008*, comma 3:

I datori di lavoro delle imprese esecutrici e i lavoratori autonomi sono tenuti ad attuare quanto previsto nel piano di cui al comma 1 e nel piano operativo di sicurezza.

L'intenzione è quella di creare degli elaborati grafici esplicativi del progetto del cantiere che possono migliorare la conoscenza delle problematiche e le modalità di gestione descritte nei documenti cartacei.

5.1 Le informazioni estrapolabili dal modello BIM

L'adozione degli strumenti BIM durante il ciclo di vita dell'opera permette una gestione e condivisione delle informazioni inerenti al progetto volta al miglioramento dell'intero iter. Durante le prime fasi il team di progetto, composto dai diversi tecnici, realizza, attraverso software BIM, un file contenente molte informazioni che possono definire diversi aspetti del progetto. Nella fase successiva di fabbricazione, molti di questi dati possono tornare utili per la redazione del progetto del cantiere e di alcuni contenuti relativi alla documentazione necessaria.

Cominciare la pianificazione del cantiere possedendo il file BIM del progetto, realizzato con software come Revit, risulta per prima cosa molto vantaggioso per l'acquisizione di informazione riguardanti l'identificazione e la descrizione dell'opera. In particolare il sistema di geolocalizzazione indica con precisione la posizione in cui è prevista la costruzione del progetto. Tutte le altre informazioni relative alle scelte architettoniche, strutturali e tecnologiche possono essere estrapolate dal modello attraverso elaborati grafici. Allo stesso modo gli abachi e i computi dei materiali realizzabili con il programma velocizzano la gestione delle quantità utili per l'esecuzione dell'opera (Figura 5.1).

Se si sceglie di realizzare un modello BIM del cantiere sulla base di quello del progetto, utilizzando lo stesso metodo, il programma garantisce un'automatica gestione anche riguardo alle quantità inerenti ai mezzi di attuazione ed anche a parte degli elementi relativi ai computi della sicurezza. Inserendo inoltre all'interno delle proprietà degli oggetti, informazioni riguardanti i costi, questi possono essere aggiunti alle tabelle rendendo la redazione di tali documenti più veloce e facilmente aggiornabile.

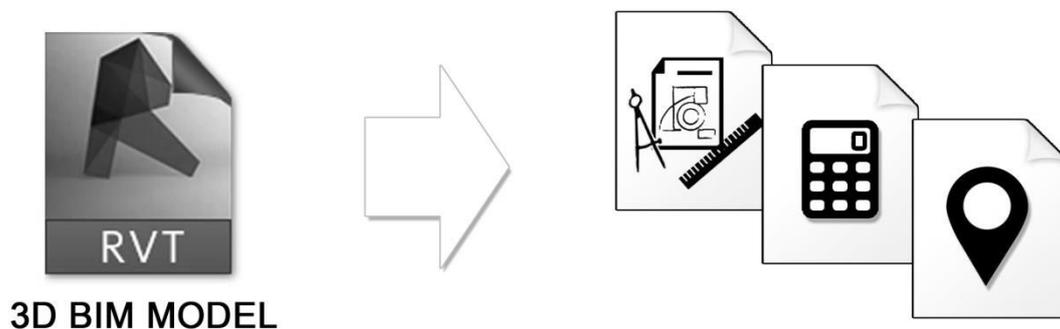


Figura 5.1 – Possibilità di estrapolare diversi tipi di dati dal modello BIM relativi al progetto: disegni, computi, geolocalizzazione.

L'interoperabilità dei programmi assicura inoltre un'efficace esportazione di questi dati in formato *Excel*, attraverso i quali possono essere eventualmente modificati manualmente. Questo tipo di informazione può essere gestita anche al di fuori di Revit: esistono diversi software, come anche Navisworks, che estrapolano dal modello tutte le informazioni utili alla redazione dei computi metrici, anche estimativi. Per utilizzare efficacemente i dati ricavabili da questi strumenti è comunque necessario inserire in maniera corretta l'informazione.

La realizzazione di elaborati 2D o 3D rappresentanti i differenti layout di cantiere può essere gestita attraverso questi stessi strumenti. All'interno del file relativo al modello del cantiere realizzato con Revit si possono creare specifiche viste che identifichino la situazione corrispondente a una precisa fase del progetto: impaginando questa vista all'interno delle tavole si possono inserire elementi aggiuntivi di tipo grafico o di testo. Nello stesso modo è possibile rappresentare graficamente l'organizzazione riguardante la gestione delle emergenze (Figura 5.2).

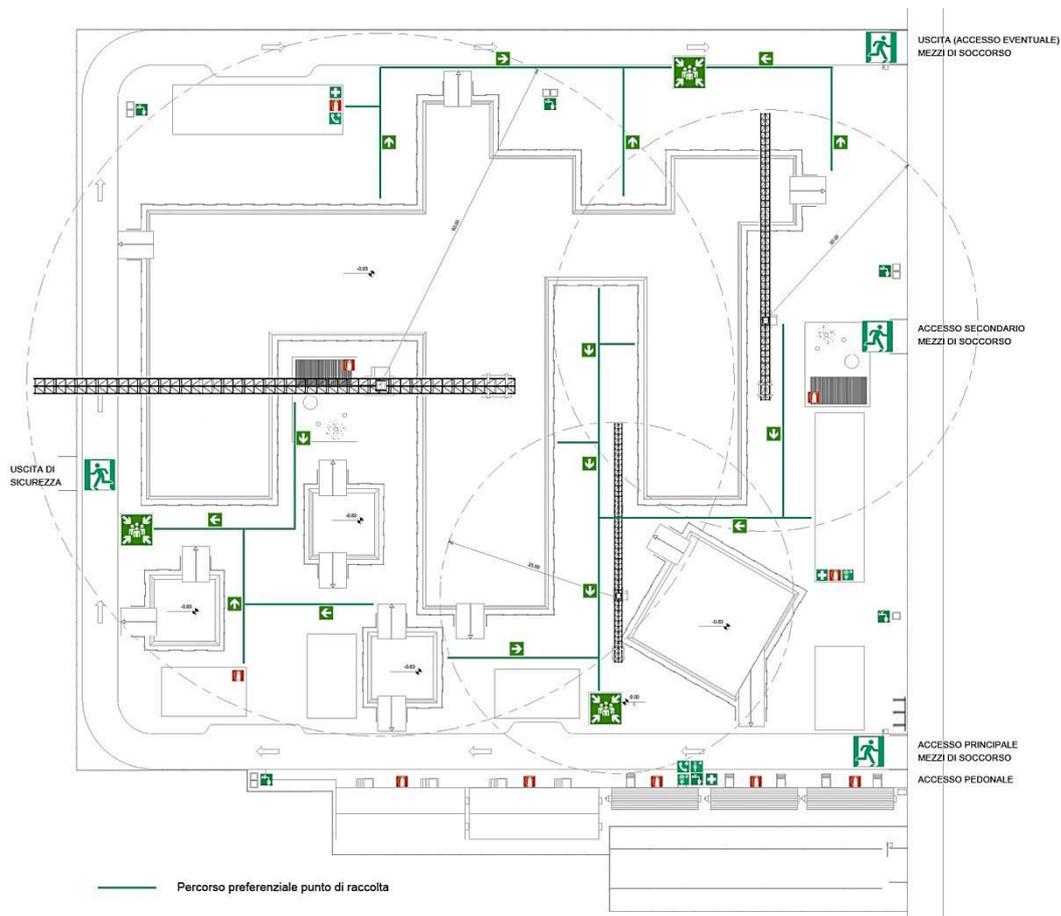


Figura 5.2 – Layout di cantiere: gestione delle emergenze.

Per aumentare il livello di informazione nel modello si può scegliere di inserire le specifiche tecniche relative agli oggetti, arricchendo le proprietà delle famiglie. Una delle ultime tecnologie sviluppate in quest'ambito amplia ulteriormente il legame tra oggetto virtuale e costruito: ciò avviene attraverso l'uso di codici a barre per mezzo dei quali si ottiene un'interazione ancora maggiore. Questo modo di operare è in linea con il processo BIM, poiché quello che si realizza non è un semplice modello virtuale: il file che viene creato seguendo tali procedure presenta al suo interno quante più informazioni relative al cantiere e agli elementi che lo compongono.

Inoltre, la visualizzazione 3D del progetto e la velocità di modifica dei componenti permette di rilevare in anticipo problematiche, nonché valutare la disposizione ottimale dei diversi elementi. In particolare, l'ingombro reale dei mezzi inserito nel modello, mostra anticipatamente se gli spazi sono progettati in modo da garantirne il passaggio e il loro utilizzo (*Figura 5.3*).

Esportando il modello BIM su altri software è possibile sottoporlo ad ulteriori analisi, utili per la verifica di alcune scelte progettuali. All'interno di Navisworks, si può realizzare una simulazione delle fasi di lavoro che può aiutare a rilevare questioni non visibili in elaborati 2D: la quantità di layout estrapolabili dal modello sono pari almeno ai giorni previsti per effettuare i lavori; non è certo pensabile creare tali elaborati manualmente, eppure questi possono rivelarsi molto utili. Il modello 4D realizzato nella fase di progettazione può inoltre essere rielaborato durante i lavori, inserendo il programma effettivo per eseguire modifiche e confronti con quello previsto.

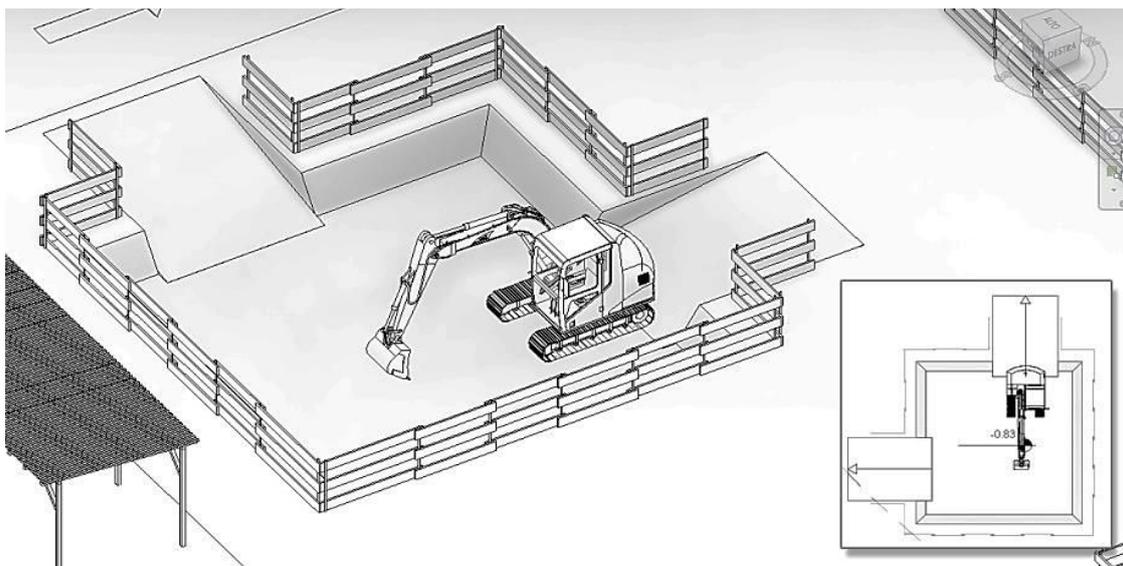


Figura 5.3 – Verifica ingombro effettivo dei mezzi.

I software BIM permettono anche di compiere dei test sulle interferenze tra gli oggetti che compongono il modello. Questa funzione è chiamata *Clash Detection*: impostando delle regole specifiche che definiscano il rapporto tra gli elementi su cui si intende effettuare l'analisi, il programma individua le situazioni in cui esse non sono rispettate. Per ogni interferenza che il *clash detective* rileva, i due oggetti interessati vengono evidenziati all'interno del contesto del resto del modello; la gestione dei dati in uscita è tale da poter definire lo stato delle interferenze e redigere eventualmente il relativo rapporto, esportabile in diversi formati.

Questo tipo di analisi viene applicata solitamente per individuare il passaggio degli impianti attraverso muri o solai, oppure per ricercare errori nel modello relativo al progetto architettonico. L'applicazione di questo strumento nell'ambito del cantiere può risultare utile per la verifica di eventuali disposizioni di legge per la tutela della salute e della sicurezza, riguardanti il rispetto di distanze tra alcuni elementi. Attraverso l'applicazione di regole specifiche è inoltre possibile individuare eventuali oggetti duplicati nel modello, che rischierebbero di essere inseriti più di una volta all'interno dei computi, comportando un errato conteggio delle quantità.

Sebbene non sia possibile redigere attraverso gli strumenti BIM un completo Piano di Sicurezza e Coordinamento, molti di questi forniscono un rilevante supporto alla progettazione del cantiere e alle valutazioni in materia di sicurezza. La trasmissione e la condivisione delle informazioni attraverso questo processo migliora anche l'acquisizione della documentazione di base di cui deve disporre il coordinatore per la sicurezza. Le analisi a cui possono essere sottoposti questo tipo di modelli e l'interoperabilità dei diversi software tenderebbe inoltre a migliorare la cooperazione e comunicazione tra i soggetti che compongono il team di progetto. L'utilizzo di questa strategia è quindi volto a migliorare diversi aspetti della progettazione, in tutte le fasi relative al ciclo di vita dell'opera, poiché le situazioni di pericolo che potrebbero presentarsi durante la realizzazione della stessa, possono avere anche origine da errori compiuti in momenti precedenti.

Seguendo tale obiettivo, la prospettiva del processo BIM si spinge anche oltre la fase di fabbricazione: il modello aggiornato durante i lavori, che rispecchia come realmente l'opera è stata realizzata, mostrando con precisione la posizione di ogni suo elemento, risulta un oggetto efficace per le successive fasi di manutenzione. Tale modello, che è chiamato *As-built*, può essere di supporto alla documentazione relativa al Fascicolo dell'opera e quindi anche ai diversi interventi di *Facility Management* a cui l'edificio realizzato sarà sottoposto durante gli anni in cui esso sarà in uso.

5.2 La trasmissione delle informazioni

La redazione di documenti come il Piano di Sicurezza e Coordinamento, il Piano Operativo di Sicurezza, e il Fascicolo dell’Opera non è sufficiente a garantire il rispetto delle misure prese per ridurre il rischio di infortuni. Affinché il progetto della sicurezza sia efficace è necessario che chi esegue effettivamente i lavori sia a conoscenza dei contenuti presenti in questi piani. Molto spesso i lavoratori sono stranieri o persone di bassa estrazione culturale, è quindi buona norma redigere tali relazioni attraverso un lessico semplice e chiaro, allegando più possibile elaborati grafici esplicativi. Nonostante ciò non vi è certezza che questi soggetti prendano visione di tali documentazioni.

L’obiettivo è quindi quello di rendere la trasmissione delle informazioni e la comunicazione più attiva. A questo scopo si sceglie di sfruttare gli strumenti BIM, attraverso i quali è possibile ricavare diversi tipi di elaborati grafici, utili per descrivere le diverse scelte di progetto e le modalità di esecuzione dei lavori. La realizzazione di un modello 4D permette una navigazione virtuale all’interno del cantiere, effettuabile per ogni fase dei lavori: la visualizzazione tridimensionale risulta essere molto più efficace rispetto a rappresentazioni grafiche manuali e forme di testo di tipo descrittivo.

Disponendo di *monitor* in cantiere è possibile condividere tali informazioni durante le riunioni relative ai programmi di formazione ed informazione dei lavoratori; inoltre, attraverso i *tablet* possono essere fornite indicazioni anche durante l’esecuzione stessa delle lavorazioni (*Figura 5.4*).

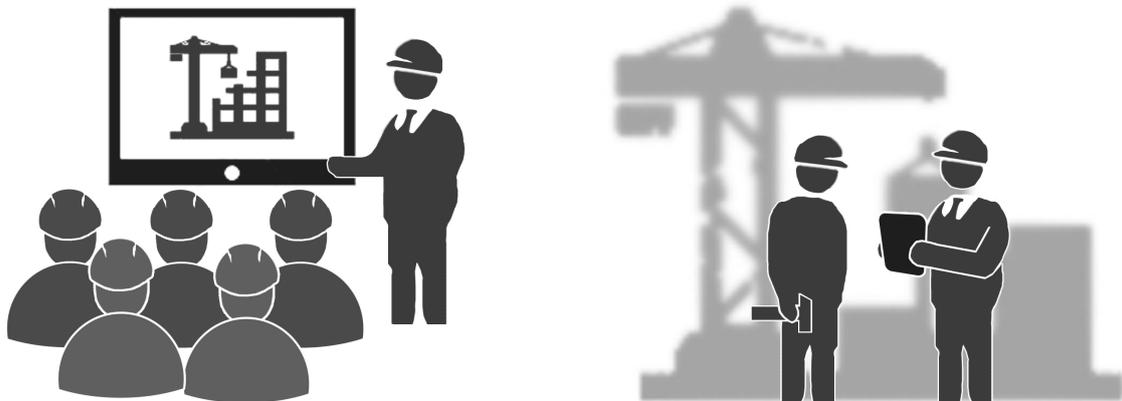


Figura 5.4 – Possibilità di trasmissione delle informazioni tramite monitor o tablet.

CASO DI STUDIO

6.1 Centro di primo soccorso a Lampedusa



Figura 6.1 – Immagine fotorealistica del progetto

6.1.1 La scelta del progetto

Il caso di studio su cui si è svolto il lavoro di questa tesi riguarda un progetto realizzato da me e altre due colleghe, durante il terzo anno di corso, per l'esame di Architettura Tecnica I; come assistente siamo state seguite dall'Ing. Venturi. Per questo progetto sono stati realizzati dettagli architettonici e analisi energetiche. Inoltre lo stesso lavoro è stato utilizzato l'anno successivo per l'esercitazione dell'esame di Organizzazione del cantiere, dove in un gruppo composto da altri sei studenti, assistiti dall'Ing. Bragadin, abbiamo redatto la documentazione relativa alla cantierizzazione del progetto in questione. I documenti e gli elaborati predisposti durante i due esami sono stati utilizzati come base di lavoro per questa tesi attraverso un occhio critico: è stato necessario infatti adeguare i dettagli costruttivi e correggere dove necessario delle scelte di progetto.

6.1.2 Descrizione del progetto

Il progetto preso in esame è una struttura ospedaliera di primo soccorso per Emergency ubicata in Italia nell'isola di Lampedusa: si tratta di un centro di supporto al servizio medico esistente. Il sito su cui sorge l'edificio è un'area verde pianeggiante servita da strade, in particolare dalla Strada Ponente, una delle principali vie carrabili, al fine di assicurare un buon collegamento col resto del territorio e quindi anche con le strutture ospedaliere già presenti in loco. L'area è situata fuori dal centro della città, vicino alla costa sud, in modo che sia di facile accesso dal mare.

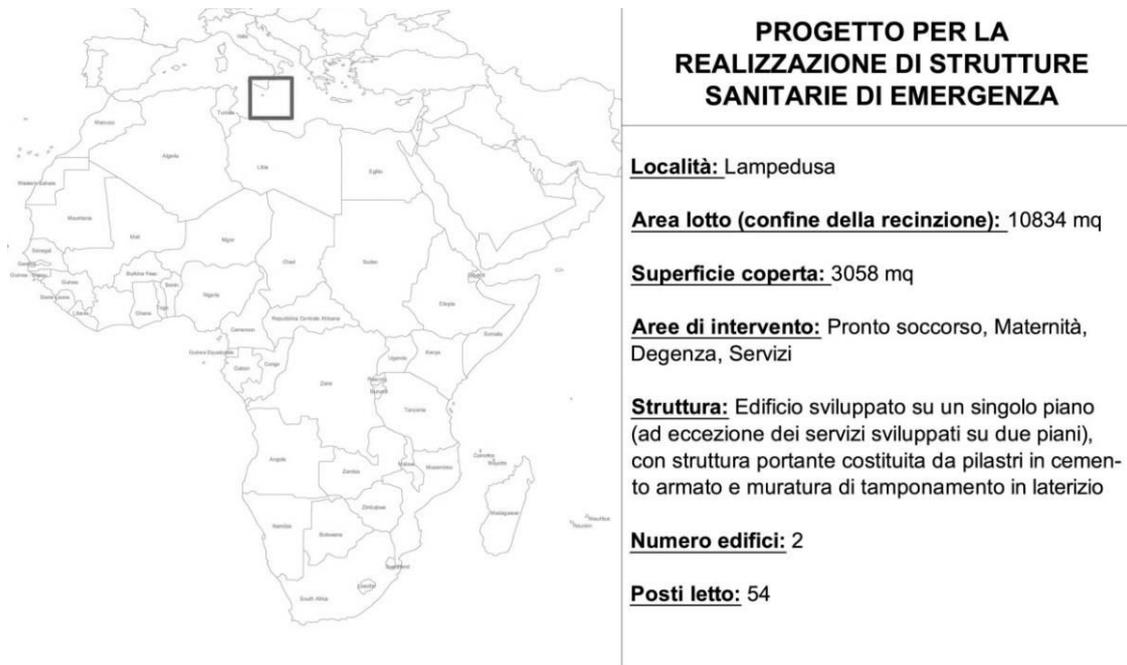


Figura 6.2 – Caratteristiche del progetto

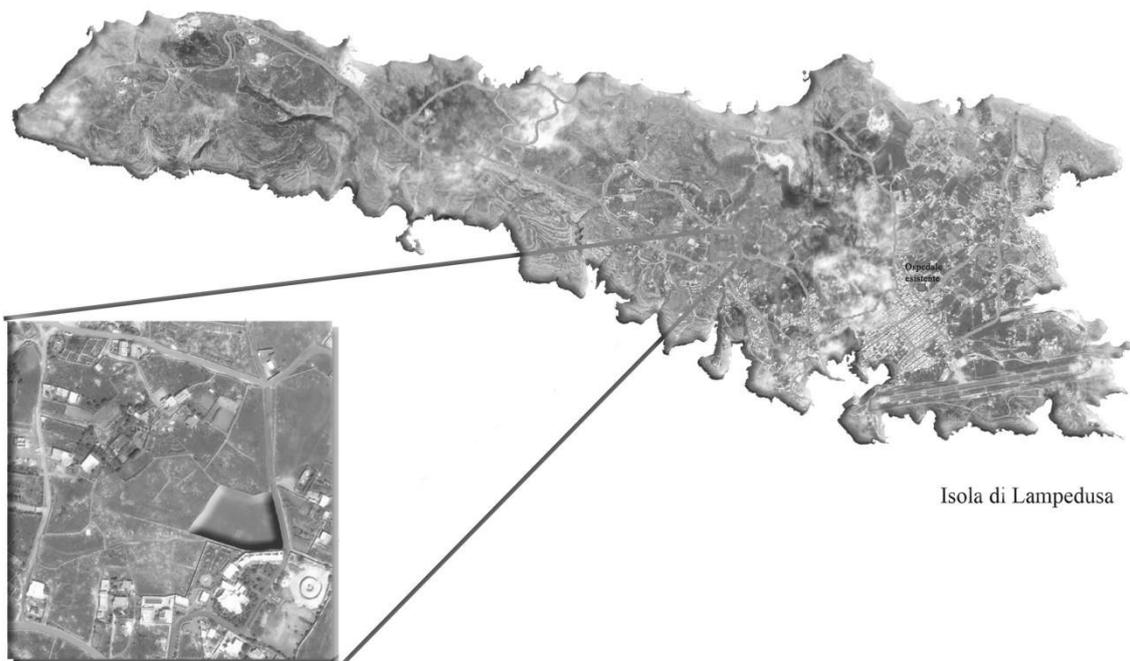


Figura 6.3 – Localizzazione area di progetto

La scelta di sviluppare il progetto su una griglia costituita da moduli quadrati di lati 7,8 x 7,8 metri è sembrata opportuna in quanto adatta ad ospitare al suo interno ambienti di grandi dimensioni, così da creare ampi spazi sia per le camere di degenza che per le sale di diagnosi e cura. Sfruttare un sistema basato su dei moduli garantisce flessibilità nella progettazione dell'edificio, mediante il loro accostamento e ricorrendo anche all'utilizzo del mezzo modulo da accostare a quello intero qualora si necessiti di superfici di metrature maggiori in determinati ambienti.

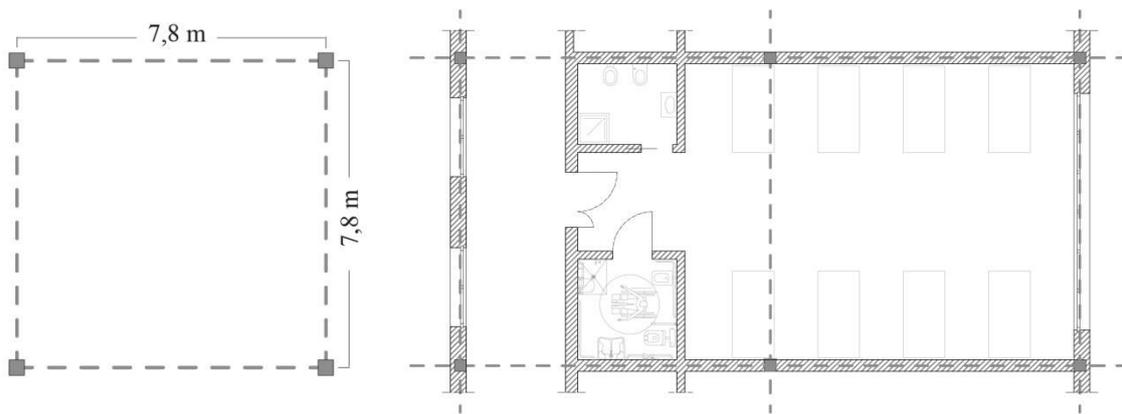


Figura 6.4 – Studio del modulo

Si è scelto di creare nella struttura ospedaliera un reparto dedicato al Pronto Soccorso (comprensivo di sala operatoria, ambulatori e degenze) e un reparto adibito alla Maternità (con degenze pertinenti). Sono previsti anche un locale destinato ad obitorio ed uno alla sala meditazione (blocco indipendente), costruita in particolare per i parenti in visita. Inoltre sarà presente un'area per i servizi, allestita su due piani: al piano inferiore verranno collocati mensa per il personale, lavanderia e deposito medicinali; il piano superiore ospiterà uffici, sala relax e un appartamento per il personale medico. La cucina per le degenze sarà collocata, invece, in prossimità dei bracci che ospitano le camere di degenza. Un ulteriore locale esterno sarà adibito a centrale termica.

La planimetria del complesso si sviluppa su un unico livello ed essendo costituita da moduli risulta abbastanza regolare. Tuttavia, è stata considerata la possibilità di sviluppare su due livelli l'area destinata ai servizi e di aumentare l'altezza dei locali che fungono da hall dei reparti, al fine di renderli più ariosi, eventualmente ricorrendo anche all'illuminazione dall'alto. Quest'ultima scelta è nata anche dal voler evidenziare l'ingresso principale, quello del pronto soccorso, che si affaccia sulla strada. Nel progettare i reparti della struttura ospedaliera sono stati considerati innanzitutto gli orientamenti delle camere di degenza, da posizionare preferibilmente con affaccio ad est

per garantire ad esse la migliore illuminazione. Si era pensato inizialmente di sviluppare un unico reparto di degenza con affacci delle camere a sud e ad est su una grande corte verde, così da creare situazioni piacevoli per i pazienti ricoverati. In seguito, si è cercato di creare una struttura più compatta e meno dispersiva riducendo gli spazi destinati alla corte e dividendo il reparto Degenza in due zone: una destinata alla Maternità, l'altra al Pronto Soccorso. I due bracci che ospitano le degenze sono disposti secondo l'asse nord-sud, così che le camere possano essere tutte affacciate ad est, sempre sulle corti verdi, che diventeranno due. Le corti sono attrezzate con percorsi, panchine, giochi per bambini e porticati di collegamento tra un reparto e l'altro. Per quanto riguarda le finestre, esse sono state dimensionate tenendo conto della necessità di assicurare illuminazione e ventilazione naturale a superfici ampie e contemporaneamente la privacy dei pazienti (in particolare nel caso delle camere di degenza, che si affacciano sulle corti).

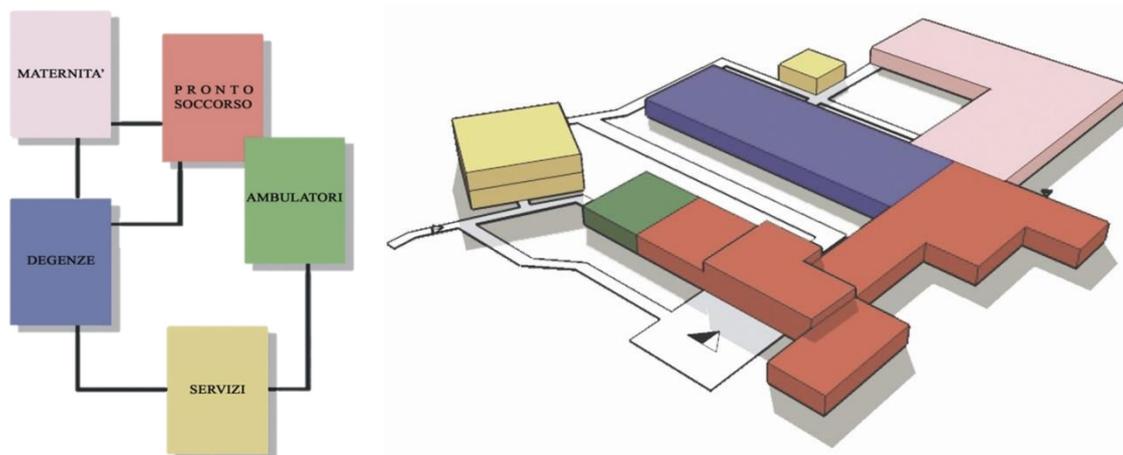


Figura 6.5 – Schema a blocchi dei reparti e studio preliminare delle volumetrie

Per quanto riguarda i dettagli costruttivi, per questo progetto erano stati realizzati diversi disegni: attacco a terra della fondazione con solaio contro terra; dettaglio della muratura esterna e dell'infisso; pacchetto del solaio del primo piano in merito al blocco dei servizi; tre ipotesi inerenti alle possibili soluzioni per quanto riguarda il solaio di copertura ed il passaggio del pluviale; dettaglio del percorso in legno coperto esterno. Questi elaborati sono stati riguardati e corretti, per poi essere utilizzati nella realizzazione del modello 3D con Revit. In allegato ai dettagli costruttivi erano state fatte inoltre delle analisi energetiche sui diversi pacchetti che per il presente studio sono stati trascurati, sebbene sarebbe un interessante argomento di approfondimento dato che le medesime analisi potrebbero essere rielaborate attraverso metodi BIM, anche con l'ausilio dello stesso Revit. Inoltre, sempre a beneficio della struttura, era stato

progettato anche un impianto fotovoltaico, ma anch'esso per questo studio specifico è stato trascurato, volendo focalizzare piuttosto il lavoro sul beneficio del *Building Information Modeling* per quello che riguarda il progetto del cantiere.

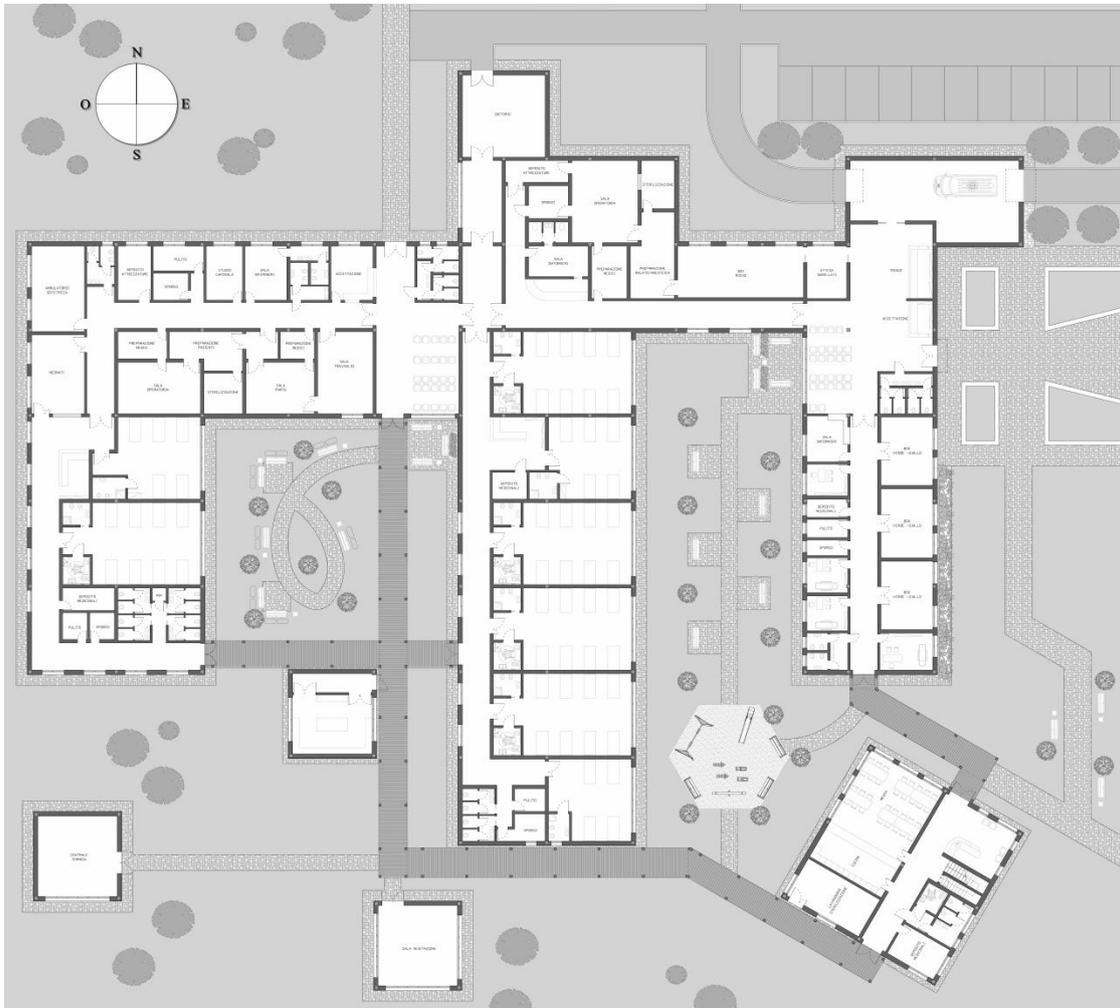


Figura 6.6 – Planimetria generale

Per creare dei render di progetto, era stato inoltre già realizzato un modello 3D, sempre con l'ausilio di Revit: il file del modello in questione è andato perduto, ma non sarebbe stato in alcun modo utile perché realizzato utilizzando Revit in maniera errata, cioè come un semplice modellatore tridimensionale, trascurando l'ottica del processo BIM. Al contrario, invece, si sono potuti sfruttare gli elaborati 2D realizzati con Autocad, quali: una planimetria dell'intero edificio, la pianta del piano primo del blocco dei servizi, i quattro prospetti del blocco dei servizi, i quattro prospetti dell'intero edificio, e due sezioni.

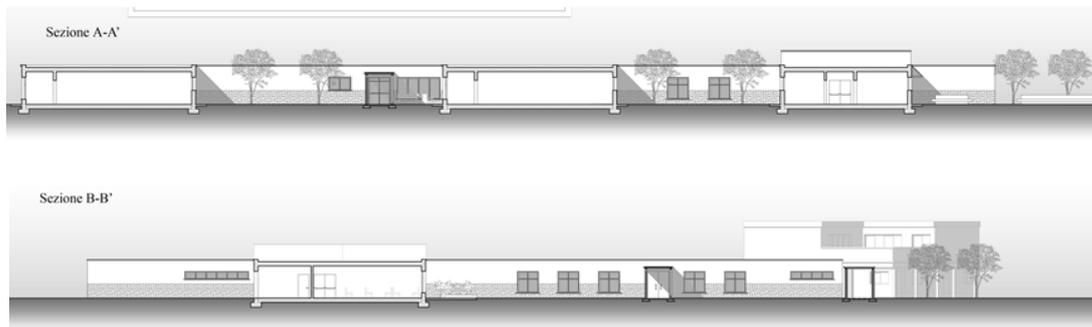


Figura 6.7– Sezioni

Di fondamentale importanza per la prima fase di questo lavoro è stata la planimetria: essa ha costituito la base per la realizzazione del modello 3D con Revit. Come per i dettagli costruttivi, anche il progetto degli spazi interni è stato modificato e corretto. Questo tipo di approccio rientra pienamente nell'ottica del *Building Information Modeling*: è infatti possibile riscontrare già in fase di progettazione eventuali problematiche potendo visualizzare l'intero progetto in tempo reale attraverso diverse viste; le modifiche vengono così aggiornate nell'immediato sul modello. Questo risulta essere un enorme vantaggio poiché vengono ridotti gli errori e le informazioni ridondanti.



Figura 6.8 – Prospetti

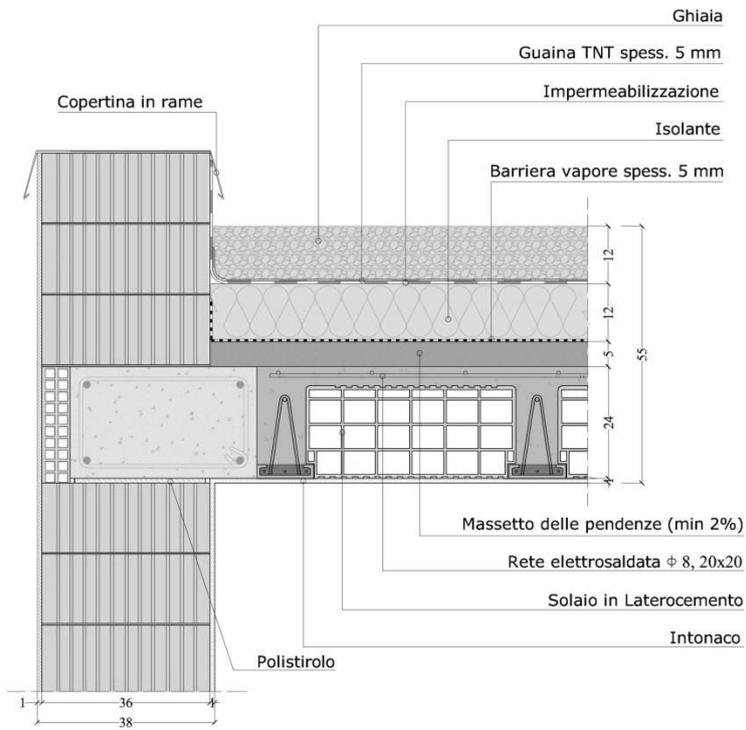


Figura 6.9 – Dettaglio solaio di copertura

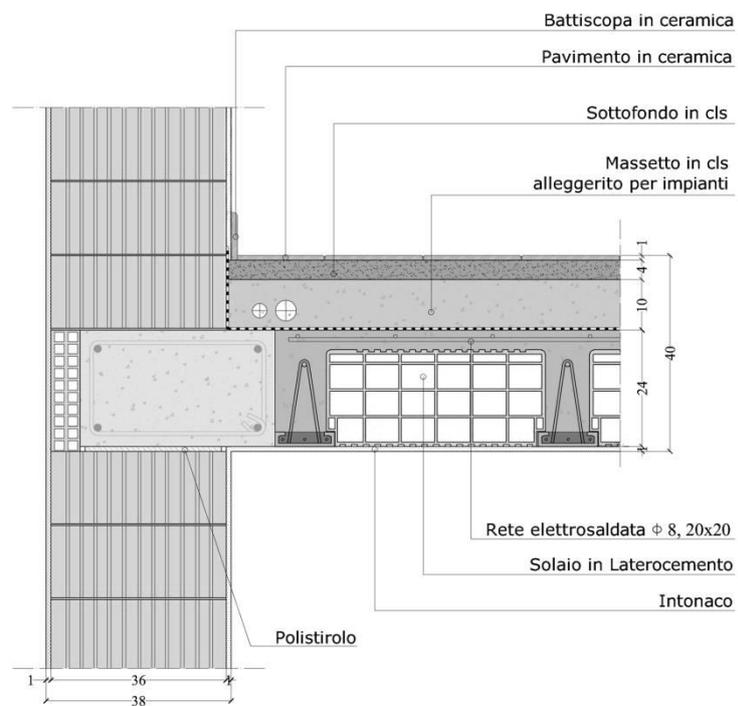


Figura 6.10 – Dettaglio solaio interpiano

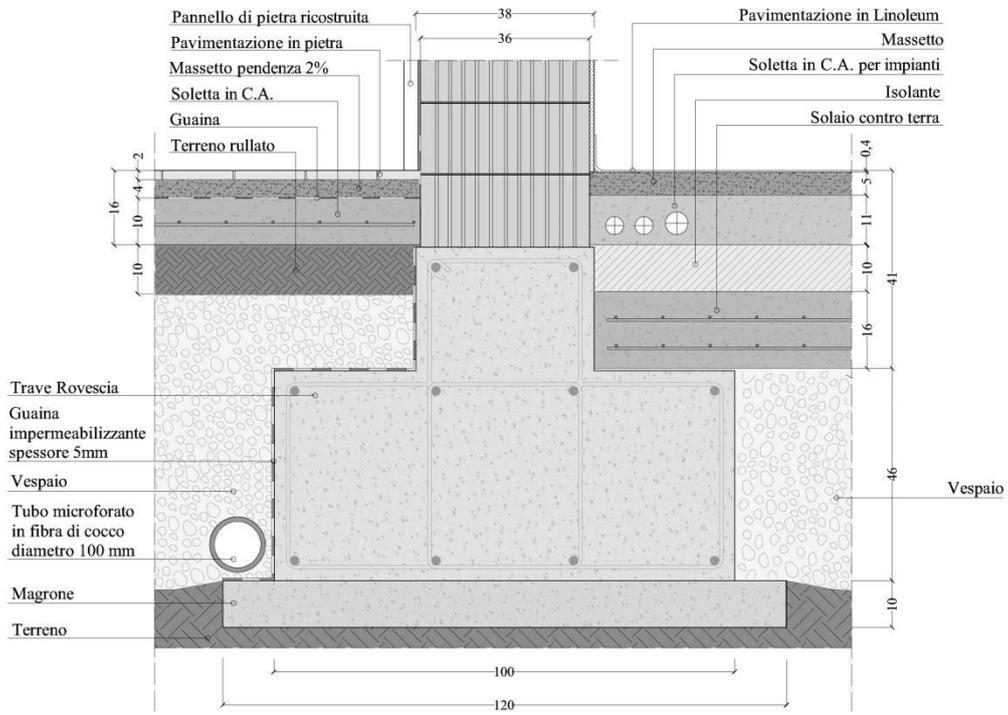


Figura 6.11 – Dettaglio solaio controterra e fondazione.

PROCESSO BIM

Il lavoro svolto in questa tesi ha previsto la realizzazione di diversi elaborati, attraverso l'utilizzo di più programmi, seguendo la pratica del *Building Information Modeling*. Partendo da un caso di studio, è stato costruito un modello 3D in Revit 2015, grazie al quale è stato successivamente possibile creare tutti gli elaborati e i dati necessari per effettuare le analisi di nostro interesse: tra questi ci si è focalizzati soprattutto sulla realizzazione di un modello 4D, in cui si è introdotto il fattore tempo per creare una simulazione delle fasi di realizzazione del cantiere. Sebbene il processo BIM sia in grado di fornire molti vantaggi grazie al suo impiego, qualche volta sono state riscontrate alcune difficoltà e problematiche, le quali sono state comunque molto spesso risolvibili. Di seguito verrà illustrato, più nello specifico, il percorso che è stato intrapreso seguendo la strategia BIM.

7.1 Modello 3D

Per quanto riguarda la modellazione 3D si è scelto di utilizzare Revit 2015 seguendo le logiche BIM. I file creati con questo programma sono stati due. Il file principale è quello che definisce il progetto architettonico: attraverso i dati presenti su tale file è stato possibile produrre ulteriori elaborati ed analisi, tra cui il secondo modello 3D.

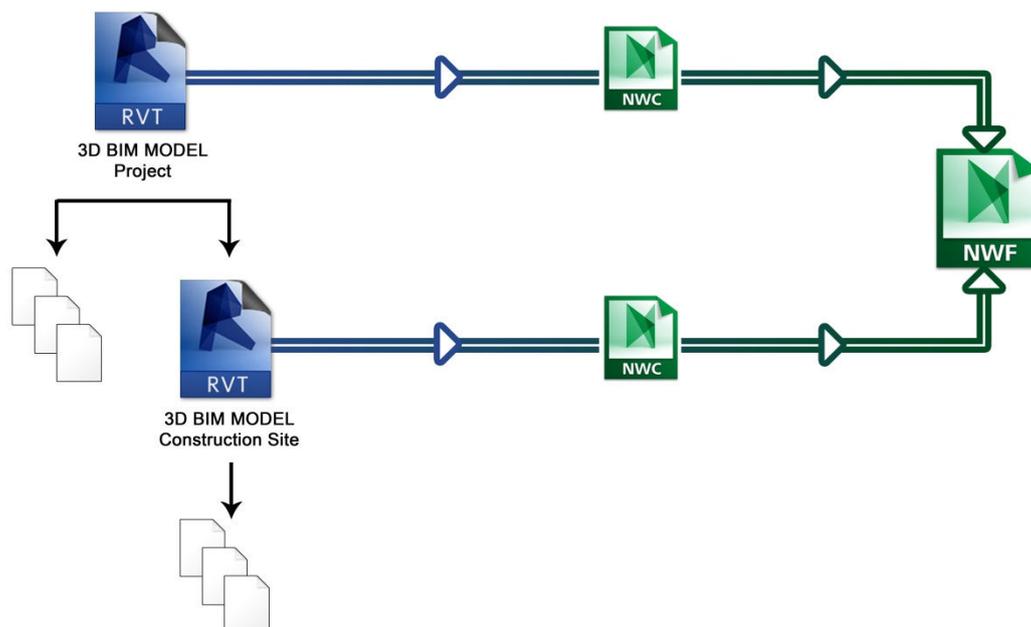


Figura 7.1 – Schema dei modelli 3D realizzati in Revit utili per la realizzazione di diversi elaborati e per l'analisi in Navisworks attraverso l'esportazione nel formato .nwc.

Per facilitare l’inserimento del modello del cantiere all’interno di Navisworks, si è scelto di modellare l’insieme di tutti i componenti necessari per la fase di costruzione all’interno di un secondo file, sempre attraverso l’utilizzo di Revit. Tale scelta è stata fatta per migliorare la gestione degli elementi su Navisworks e per poter inoltre sfruttare le funzionalità di Revit anche sul modello del cantiere. Vediamo più nello specifico come sono stati realizzati i due modelli.

7.1.1 Modello 3D del Progetto

Il modello principale del processo BIM, che contiene tutte le informazioni relative al progetto è stato costruito a partire dagli elaborati 2D del caso di studio. Per valorizzare l’iter progettuale si è comunque voluto per prima cosa fare un passo indietro e realizzare, sempre attraverso Revit, uno studio preliminare delle volumetrie dell’edificio (*Figura 7.2*). Il programma permette infatti di iniziare la progettazione partendo dalla modellazione di masse concettuali che successivamente possono portare alla generazione automatica di elementi quali pavimenti, coperture e muri perimetrali. Il modello così realizzato può inoltre essere esportato in altri software con i quali è possibile effettuare analisi preliminari sull’esposizione alla luce e al vento.

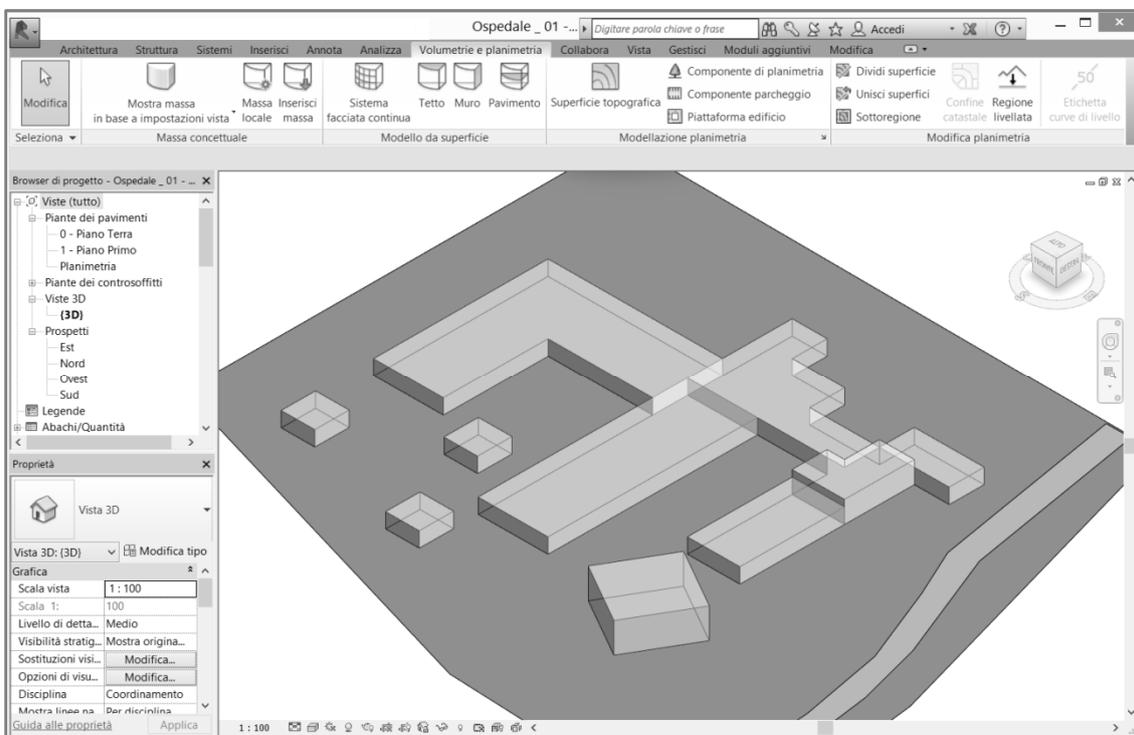


Figura 7.2 – Analisi preliminare delle volumetrie.

In particolare, per poter effettuare questo tipo di analisi, è necessario impostare le coordinate precise in cui si intende localizzare il progetto (*Figura 7.3*). Quest'informazione, una volta inserita, entra a far parte dei dati del modello, e può essere condivisa nel momento in cui il file viene esportato su altri software.

Il passo successivo è stato quello di realizzare il modello dell'edificio definendo sempre più nello specifico il livello di dettaglio degli elementi. Per prima cosa è stato importato in Revit il file *.dwg* della pianta dell'ospedale. Partendo dal progetto originale è stato realizzato un modello 3D dell'edificio: la modellazione è stata comunque di tipo critico, per cui è stato necessario effettuare diverse modifiche al progetto, sia di tipo tecnologico, per quanto riguarda i dettagli costruttivi, sia per quanto riguarda la disposizione interna degli ambienti. Inizialmente è stata realizzata la griglia di pilastri (*Figura 7.4*): il modulo di base che caratterizza il progetto risalta, mostrando la logica di aggregazione degli spazi.

Successivamente sono stati aggiunti i muri esterni: in questa fase iniziale sono stati utilizzati dei muri generici già presenti di *default* su Revit; l'unica informazione che si è voluta attribuire a questi elementi è stata lo spessore (*Figura 7.5*). La definizione più precisa dei componenti interni del pacchetto murario è avvenuta solo successivamente.



Figura 7.3 – Definizione delle coordinate precise del sito in cui verrà realizzato il progetto.

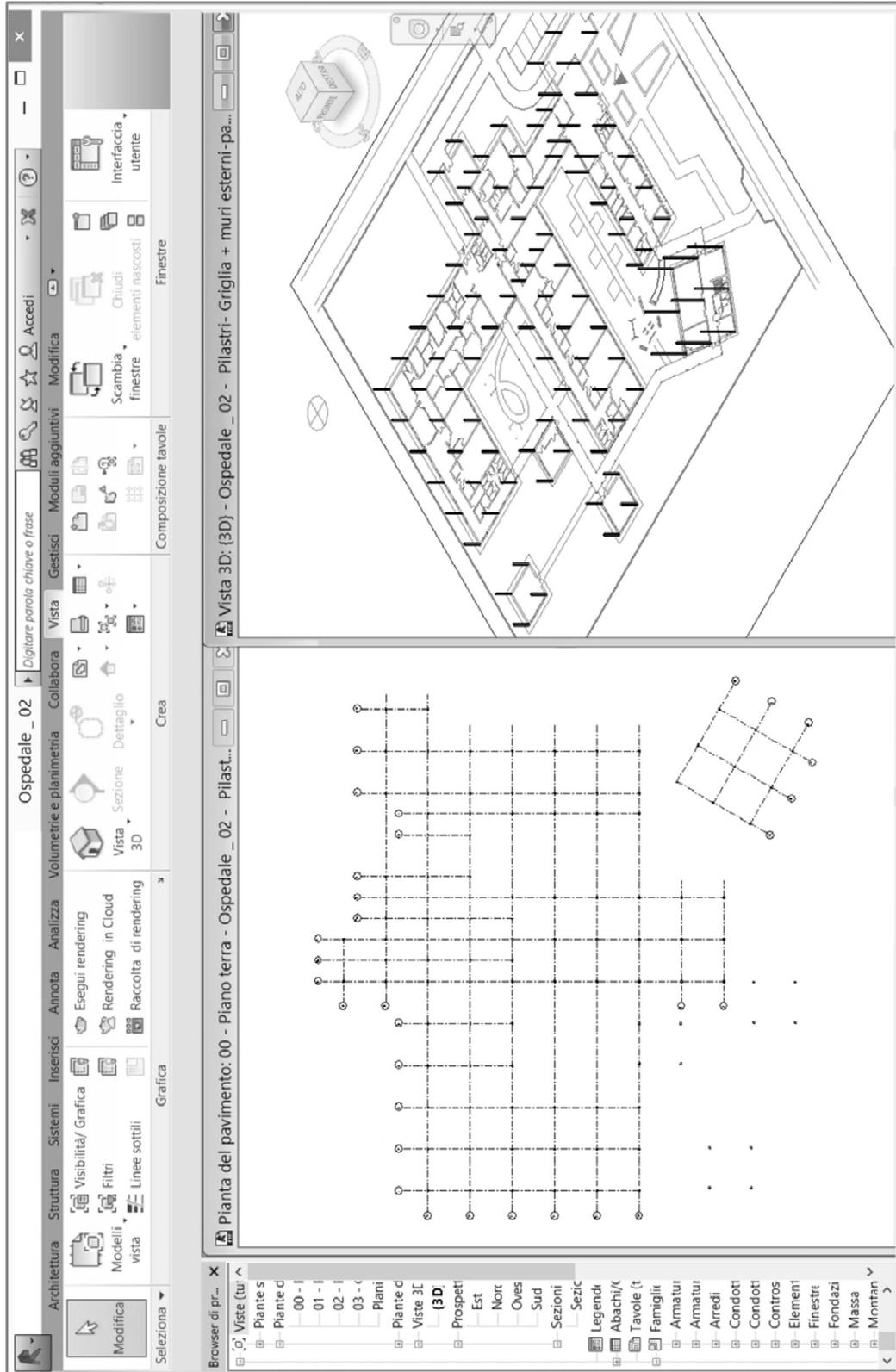


Figura 7.4 – Modellazione della griglia strutturale di pilastri.



Figura 7.5 – Caratteristiche “Muro di base” presente di default su Revit.

Per poter definire i parametri di altezza delle murature è stato necessario creare i *livelli* di riferimento in una vista di sezione o in un prospetto: inizialmente sono stati inseriti due livelli in aggiunta ai due già presenti di *default* su Revit; in fasi successive della modellazione è stato necessario crearne degli altri per la realizzazione del portichetto esterno e delle fondazioni. Sulla base dei livelli impostati è possibile quindi definire i parametri di altezza di muri e dei pilastri, e non solo. Ogni volta che viene creato un livello, il programma genera in automatico le piante relative a tale quota, distinguendo le piante strutturali, dei pavimenti e dei controsoffitti (Figura 7.6). Tutte le piante si aggiornano conseguentemente a qualsiasi modifica che subisce il modello. Allo stesso modo si comportano i prospetti e le sezioni, e tutti gli altri elaborati che vengono generati sulla base del modello.

Per quanto riguarda i prospetti, sono stati riposizionati i quattro già presenti di *default* nel modello, in modo tale da permettere la corretta visualizzazione delle viste per tutta la lunghezza del progetto. Inoltre sono stati creati ulteriori quattro prospetti per quanto riguarda l’edificio dei servizi sviluppato su due livelli, l’unico non in asse con l’orientamento generale del resto del progetto: attraverso queste ulteriori visuali prospettive è stato possibile seguire la modellazione simultanea in pianta e in prospetto di tale blocco (Figura 7.7).

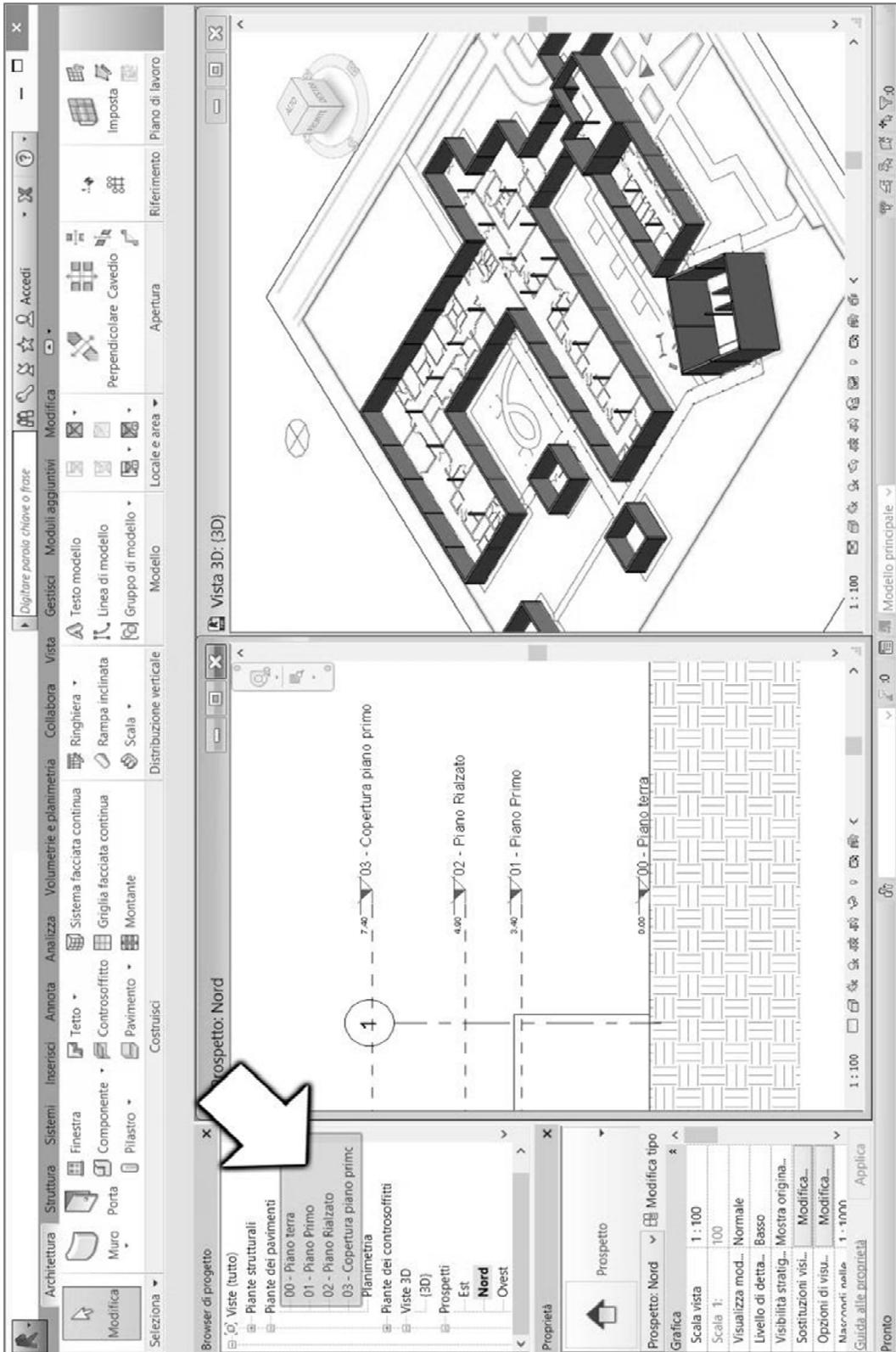


Figura 7.6 – Creazione dei livelli e automaticamente delle viste in pianta.

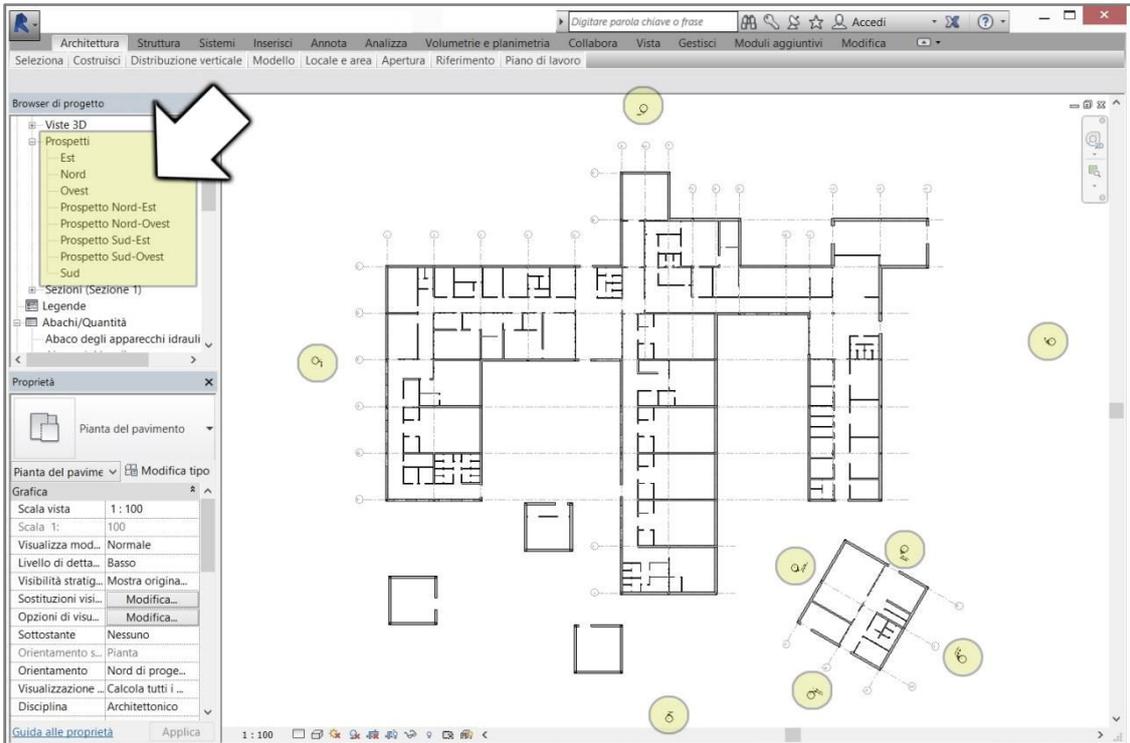


Figura 7.7 – Creazione dei prospetti.

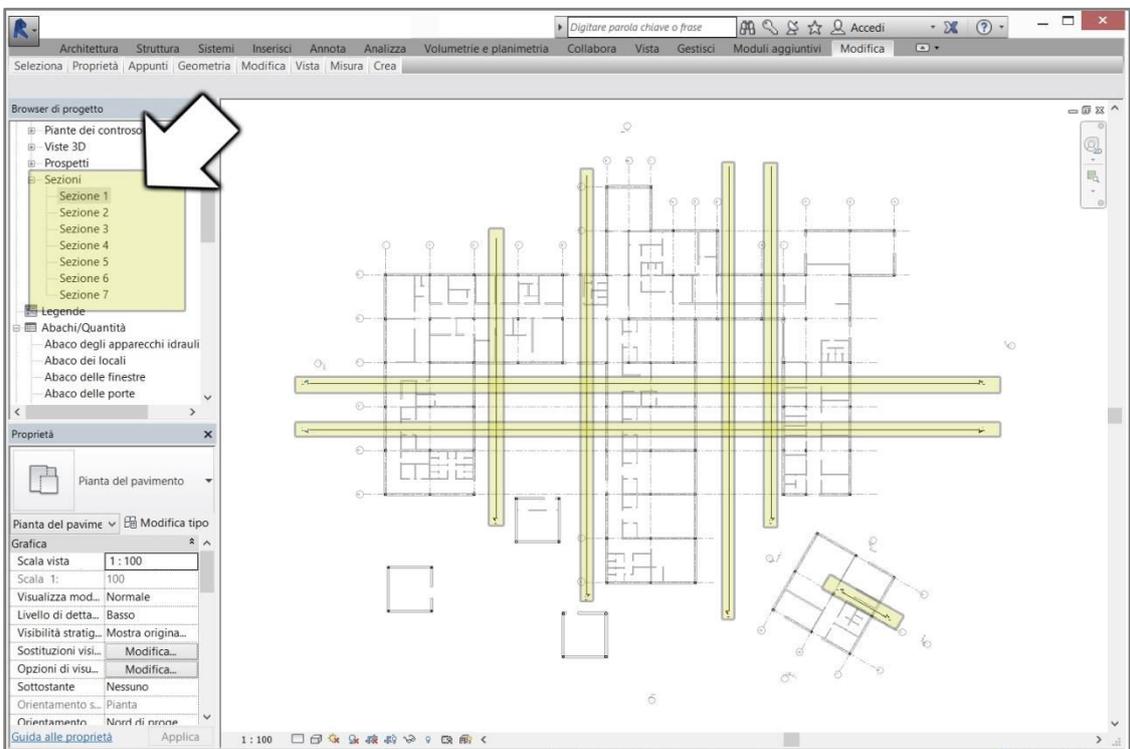


Figura 7.8 – Creazione delle sezioni.

Le sezioni, invece, sono state create durante la modellazione dell'edificio per permettere la visualizzazione dei prospetti interni delle corti e della scala nel blocco dei servizi (Figura 7.8).

Come è stato già detto in precedenza, Revit è in grado di generare in automatico gli elaborati relativi alle piante, alle sezioni ed ai prospetti con estrema facilità: tali disegni possono essere utilizzati per impaginare delle tavole direttamente all'interno del programma. Il software permette inoltre di definire diversi parametri che caratterizzino ogni singola vista, (Figura 7.9): tra questi abbiamo la definizione della scala e del livello di dettaglio. Il comando *Sostituzioni visibilità/grafica* apre un'ulteriore finestra in cui è possibile definire quali elementi del modello si intende mostrare nella vista e la modalità di rappresentazione che ogni famiglia deve avere nell'elaborato corrente.

I vantaggi che si ottengono attraverso l'utilizzo del BIM, rispetto al tradizionale sistema utilizzato per la realizzazione degli elaborati di questo tipo per mezzo di strumenti CAD, sono evidenti: la redazione dei disegni che rappresentano il progetto diventa molto più rapida e facile da gestire nel momento in cui si attuano cambiamenti al modello. Attraverso programmi BIM come Revit, qualora si effettuasse una qualsiasi modifica nel modello, non risulterebbe necessario correggere ogni singolo disegno, questo perché vi è un simultaneo aggiornamento di tutti i dati e quindi anche le tavole presenterebbero immediatamente le modifiche nelle viste contenute al loro interno.

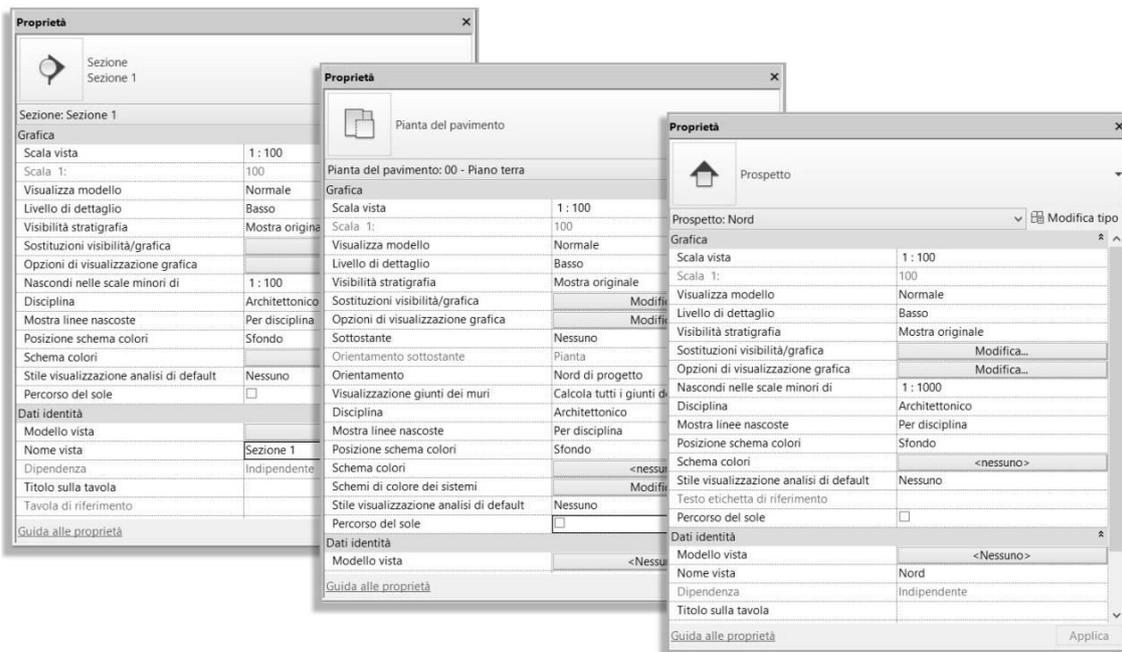


Figura 7.9 – Proprietà delle viste.

Lo stesso concetto viene applicato anche ad altri elaborati che possono essere generati a partire dal modello 3D: tra questi ci sono per esempio le viste prospettiche. Durante qualsiasi fase della modellazione è possibile generare prospettive del modello che possono essere anch'esse modificate fino a diventare dei veri e propri render da inserire nelle tavole. Più avanti ne vedremo degli esempi.

Tutti questi elementi, che vengono creati all'interno del file, entrano a far parte *Browser di progetto* (Figura 7.10), attraverso il quale è possibile gestirli con maggiore rapidità: in questa finestra viene visualizzata una gerarchia logica di tutte le viste, gli abachi, le famiglie, i gruppi e altri componenti relativi al progetto; espandendo e comprimendo i singoli rami è possibile visualizzare gli elementi presenti nelle diverse categorie.

Una volta definiti i livelli è possibile proseguire con la modellazione, inserendo ulteriori elementi costruttivi, i cui parametri sono legati ai valori delle quote precedentemente definite. In questo modo sono stati inseriti i pavimenti, le coperture e le murature interne, sempre utilizzando per questa prima fase un livello di dettaglio basso, sfruttando componenti già presenti nel software. Sono state inoltre create le uniche scale presenti nel modello, ubicate nel blocco dei servizi.



Figura 7.10 – Browser di progetto.

Si è scelto di imporre questo tipo di vincoli per garantire il controllo su certe scelte di progetto, tra cui:

- la distanza di elementi quali finestre e porte dalle murature;
- l'ampiezza dei corridoi, per rendere possibile il passaggio delle barelle;
- la dimensione minima di alcuni ambienti quali i bagni;
- la logica di posizionamento delle bucaure esterne;
- la posizione degli arredi al fine di garantire il rispetto degli spazi d'uso.

Per poter creare questo tipo di condizione tra gli elementi sono stati utilizzati i comandi di quotatura disponibili su Revit (*Figura 7.12*): selezionando il lucchetto relativo alla quota è infatti possibile bloccarla e mantenendo così fisso il valore scelto. Inoltre, attraverso un'altra funzione di questo tipo di annotazione, selezionando la scritta *EQ* le quote multiple assumono automaticamente lo stesso valore, garantendo un distanziamento equo tra più elementi.

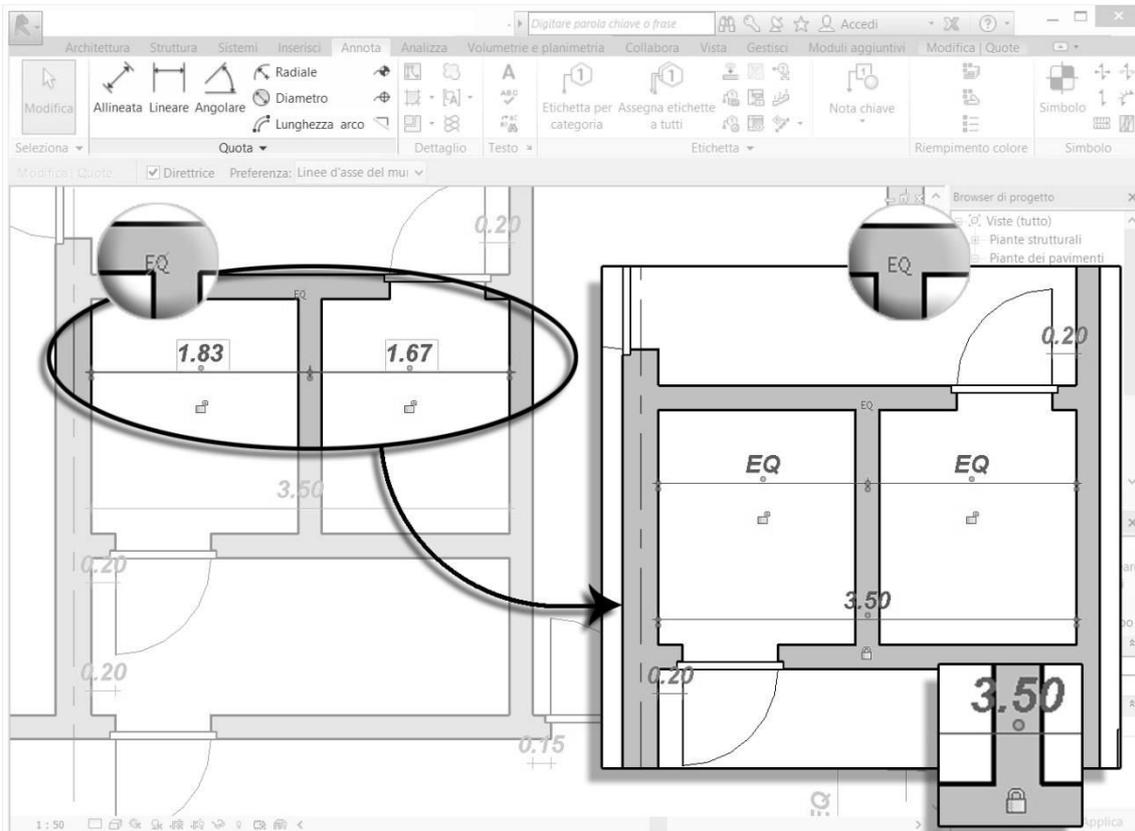


Figura 7.12 – Funzionalità dei comandi di quotatura.

Le porte inserite all'interno del modello fanno parte di famiglie già presenti all'interno della libreria di Revit. Per ogni tipo di porta è stata definita la funzione, distinguendole tra *esterne* ed *interne*. Per le porte interne sono state identificate quattro tipologie diverse di *famiglie* (Figura 7.13): per alcune di queste le *tipologie* usate sono state più di una, differendo per il valore di ampiezza delle ante. Riguardo le porte esterne è stata invece utilizzata un'unica tipologia, ma per gli ingressi principali è stato necessario modificare il modello originale di tale porta per inserire l'elemento della pensilina esterna, che non era presente (Figura 7.14). Fanno parte della famiglia delle porte anche la Saracinesca del Garage e gli eventuali accessori, quali le maniglie anti panico.

Per la quantificazione degli elementi che compongono il modello è possibile creare su Revit degli elaborati quali *abachi* e *computi dei materiali*. I dati presenti in queste tabelle possono risultare utili per arricchire la documentazione di progetto; anche questi documenti vengono aggiornati in automatico ad ogni modifica del modello. Definendo nello specifico tutte le caratteristiche che deve avere l'abaco è possibile impostare le tabelle secondo le necessità, visualizzando solo ciò che è di interesse. Questi elaborati possono essere inoltre inseriti nelle tavole o persino esportati per creare file *Excel*: per quanto riguarda la gestione della documentazione di progetto questo aspetto risulta molto importante (Figura 7.16).

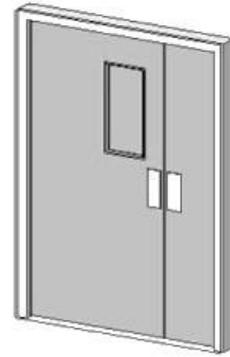
Ne vediamo un primo esempio riguardante le porte (Figura 7.15): per conteggiare gli elementi si è voluto distinguerli in base al *tipo*, specificandone la *famiglia* e la *funzione*. Il totale è stato calcolato a seconda della funzione. Ogni elemento che viene creato nel file possiede proprietà specifiche della famiglia a cui appartiene: per rendere più precisa l'identificazione delle parti che compongono il modello, in rapporto alle attività di costruzione, è stato aggiunto un nuovo parametro che potesse essere inserito in maniera indipendente per ogni oggetto: si tratta del "*codice WBS*". Grazie alla possibilità di esportazione dei dati, attraverso questa proprietà specifica di ogni oggetto, sarà più semplice il lavoro di analisi che verrà eseguito per mezzo di Navisworks.

All'interno del progetto, Revit permette quindi di aggiungere ulteriori parametri che possono essere associati alle famiglie che uno desidera ed eventualmente utilizzarli anche per altri file. Questo tipo di dato viene chiamato *parametro condiviso*.

Per quanto riguarda l'inserimento delle finestre è stato necessario creare delle nuove famiglie su Revit per ogni tipologia. Le finestre sono state modellate in maniera semplice: esse sono composte unicamente dal telaio, dal vetro e dal bancale. Durante la realizzazione di questi elementi si è incontrata una difficoltà: alcuni tipi di finestre presentavano elementi aggiuntivi quali cornici esterne.



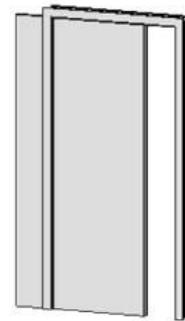
Porta - 1 Anta



Porta - 2 Ante Diverse

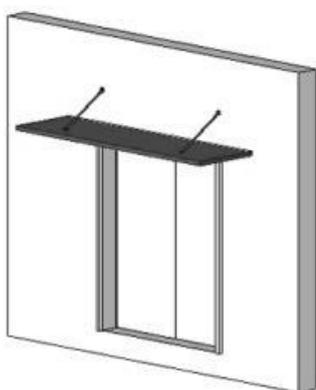


Porta - 2 Ante Uguali

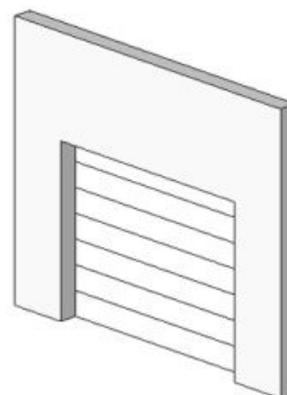


Scorrevole Semplice

Figura 7.13 – Viste 3D delle Famiglie delle porte interne.



Porta - 2 Ante (esterna)
CON PENSILINA



Saracinesca Garage

Figura 7.14 – Viste 3D delle Famiglie delle porte esterne.

<Abaco delle porte>				
A	B	C	D	E
WBS	Famiglia	Tipo	Funzione	Quantità
Interno				
A.INF.02	Porta - 1 Anta	80 x 210 cm	Interno	73
A.INF.02	Porta - 1 Anta	90 x 210 cm	Interno	6
A.INF.02	Porta - 1 Anta	100 x 210 cm	Interno	15
A.INF.02	Porta - 2 Ante Diverse	(100+30) x 210 cm	Interno	21
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	130 x 210 cm	Interno	2
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	180 x 210 cm	Interno	14
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	220 x 210 cm	Interno	1
A.INF.02	Scorrevole Semplice	80 x 210 cm	Interno	19
Interno: 151				
Esterno				
A.INF.02	Porta - 2 ante (esterna)	200 x 250 cm	Esterno	10
A.INF.02	Porta - 2 ante (esterna) CON PENSILINA	200 x 250 cm	Esterno	3
A.INF.03	Saracinesca per Garage	270 x 300 cm	Esterno	2
Esterno: 15				
A.INF.02.03	Accessori porte	Maniglie antipanico		34
: 34				

Figura 7.15 – Abaco delle porte creato su Revit.

Abaco delle porte						
A	B	C	D	E	F	G
WBS	Famiglia	Tipo	Funzione	Quantità		
Interno						
A.INF.02	Porta - 1 Anta	80 x 210 cm	Interno	73		
A.INF.02	Porta - 1 Anta	90 x 210 cm	Interno	6		
A.INF.02	Porta - 1 Anta	100 x 210 cm	Interno	15		
A.INF.02	Porta - 2 Ante Diverse	(100+30) x 210 cm	Interno	21		
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	130 x 210 cm	Interno	2		
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	180 x 210 cm	Interno	14		
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	220 x 210 cm	Interno	1		
A.INF.02	Scorrevole Semplice	80 x 210 cm	Interno	19		
				Interno: 151		
Esterno						
A.INF.02	Porta - 2 ante (esterna)	200 x 250 cm	Esterno	10		
A.INF.02	Porta - 2 ante (esterna) CON PENSILINA	200 x 250 cm	Esterno	3		
A.INF.03	Saracinesca per Garage	270 x 300 cm	Esterno	2		
				Esterno: 15		
Accessori porte						
A.INF.02.03	Accessori porte	Maniglie antipanico		34		
				Accessori porte: 34		

Figura 7.16– Abaco delle porte esportato e modificato su Excel.

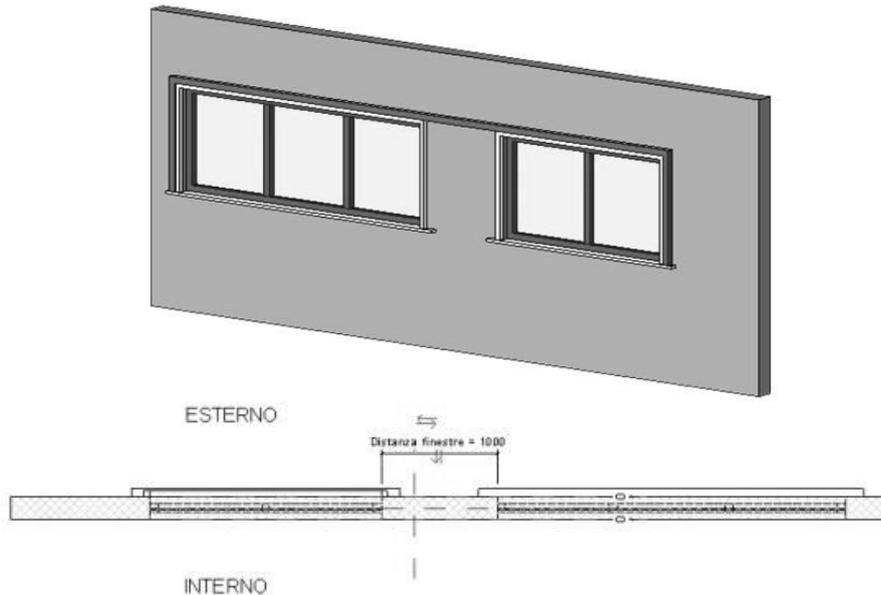


Figura 7.17 – Esempio di finestra creata su Revit.

Per poter inserire questi elementi è stato necessario creare delle specifiche famiglie che presentavano insieme alle finestre anche le cornici. Gli oggetti così creati sono contraddistinti da un parametro che gestisce la distanza tra più finestre (Figura 7.17): tale elemento può essere modificato in maniera più coerente durante la progettazione. Inoltre negli specifici abachi di questa famiglia, viene fatta una distinzione tra le finestre che presentano o meno elementi aggiuntivi : questo aspetto può tornare utile nell'eventualità che si debba associare un prezzo ad ogni componente.

Abaco: Abaco delle finestre				
<Abaco delle finestre>				
A	B	C	D	E
WBS	Descrizione	Altezza (m)	Larghezza (m)	Quantità
Finestra doppia con cornice				
A.INF.01	Finestra con cornice 2 ante e 3 ante d=1m	1.20	0.00	2
A.INF.01	Finestre con cornice 2 ante e 2 ante d=0.6m	1.20	2.00	2
A.INF.01	Finestre con cornice 2 ante e 2 ante d=1.4m	1.20	2.00	5
Finestra singola				
A.INF.01	Finestra 6 ante	0.74	6.00	5
A.INF.01	Finestra 4 ante	0.74	4.00	3
A.INF.01	Finestra 1 ante	1.20	1.00	19
A.INF.01	Finestra 3 ante	1.20	3.00	1
A.INF.01	Finestra 4 ante	2.00	4.00	1
A.INF.01	Finestra 6 ante	1.20	6.00	8
A.INF.01	Finestra 2 ante	1.20	2.00	26
A.INF.01	Finestra 2 ante quadrata	2.00	2.00	16
Finestra tripla con cornice				
A.INF.01	Finestra con cornice 2 ante 2 ante 2 ante d=0.55	1.20	2.00	1

Figura 7.18 – Abaco delle finestre creato su Revit.

Allo stesso modo sono stati inseriti diversi elementi di arredo all'interno del modello. La maggior parte di questi oggetti è stata presa dalle librerie di Revit come già visto per le porte interne: tra questi abbiamo le sedie della sala d'attesa, gli apparecchi idraulici ed alcuni elementi di arredo esterno, quali panchine, giostre e cestini. In alcuni casi è stato invece necessario creare specifiche famiglie per poter includere elementi non presenti nelle librerie: un esempio sono le fioriere presenti nel prospetto Est. Come già anticipato, risulta di fondamentale importanza la possibilità di elaborare degli abachi in cui gli elementi inseriti nel modello vengano conteggiati. Come per le finestre e le porte, è stato quindi realizzato un abaco anche per degli apparecchi idraulici (Figura 7.19) e per gli arredi (Figura 7.20).

<Abaco degli apparecchi idraulici>			
A	B	C	D
WBS	Famiglia	Tipo	Quantità
A.ARINT.01	Bidet	550 x 360 mm	21
A.ARINT.01	Lavandino bagno	400 x 500 mm	47
A.ARINT.01	Maniglia - Orizzontale	WC 2D per disabili	24
A.ARINT.01	Maniglia - Verticale	WC 2D per disabili	11
A.ARINT.01	Maniglione - Incernierato	WC 2D per disabili	6
A.ARINT.01	Orinatoio	Orinatoio	2
A.ARINT.01	Piatto doccia	800 x 800 mm	9
A.ARINT.01	Piatto doccia	900 x 700 mm	5
A.ARINT.01	Sedile doccia per disabili	Sedile doccia	5
A.ARINT.01	WC	550 x 360 mm	43
Totale generale: 173			

Figura 7.19 – Abaco degli apparecchi idraulici creato su Revit.

<Abaco degli arredi>		
A	B	C
WBS code	Famiglia	Conteggio
A.EST.01	Cestino rifiuti	8
A.EST.03	Fioriera	5
A.EST.02	Giostre altalena	1
A.EST.02	Giostre Bilico	1
A.EST.02	Giostre Scivolo	1
A.EST.01	Panchina esterna	25
A.ARINT.02	Sedia sala d'attesa singola	4
A.ARINT.02	Sedute sala d'attesa (gruppo)	13

Figura 7.20 – Abaco degli arredi creato su Revit.

Successivamente è stata completata la modellazione degli ambienti esterni: sono state inserite le pavimentazioni, il muro perimetrale e il percorso esterno coperto. Riguardo alla realizzazione del muro perimetrale essa è avvenuta sfruttando più elementi costruttivi modellabili su Revit (*Figura 7.21*): in particolare è stata utilizzata la famiglia *ringhiera* per creare le cancellate e le recinzioni in metallo. Questo oggetto prevede la realizzazione di elementi complessi attraverso l'identificazione di un percorso, per mezzo del tracciamento di semplici linee: definite le caratteristiche della ringhiera, essa si genera in automatico. Così facendo si ottiene una modellazione più rapida, avendo un maggiore controllo su di un elemento la cui creazione manuale e le sue eventuali modifiche richiederebbero molto tempo.

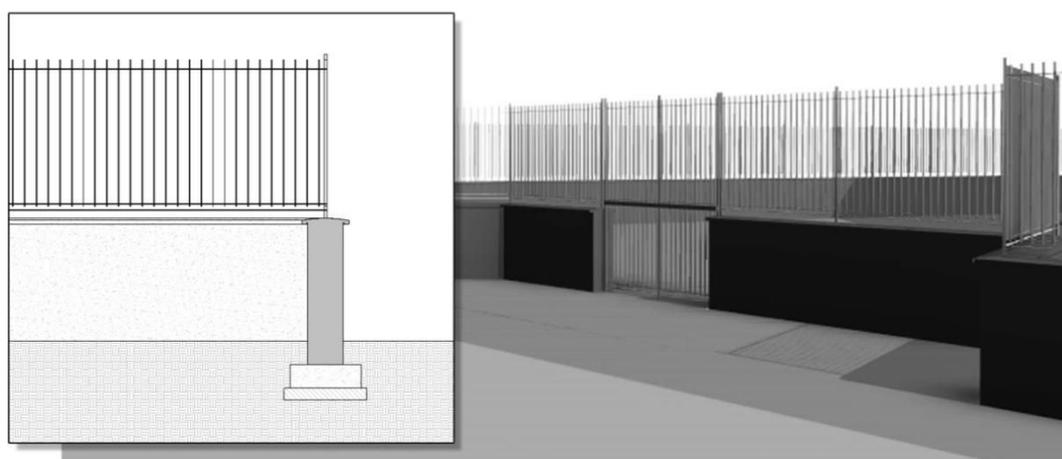


Figura 7.21 – Dettaglio del muro perimetrale.

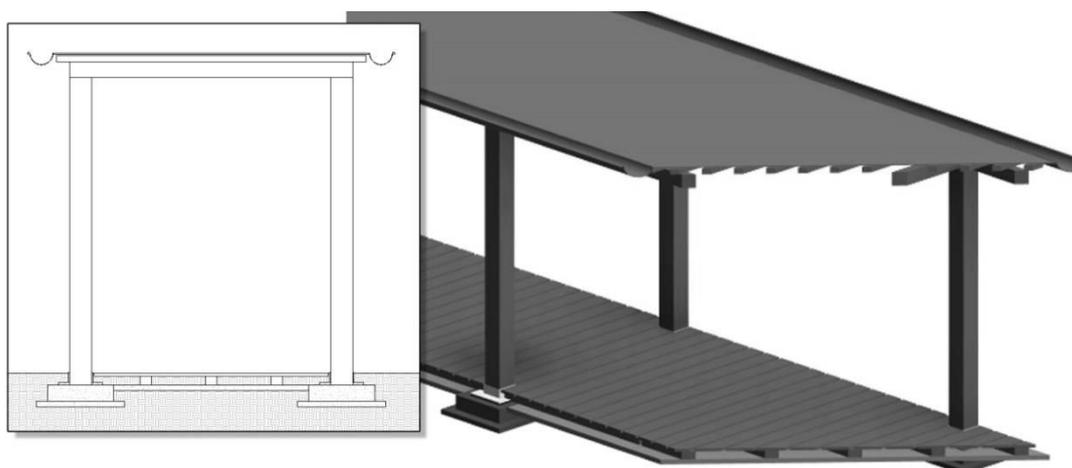


Figura 7.22 – Dettaglio del percorso coperto esterno.

Per la creazione del portichetto esterno sono stati utilizzati elementi quali pavimenti, coperture e cordoli di fondazione (Figura 7.22). La grondaia della lamiera di copertura è un elemento che può essere aggiunto in automatico: una volta scelto il profilo, l'oggetto si genera per estrusione semplicemente indicando l'estremità della copertura nella quale si intende inserirlo. L'unico elemento che ha richiesto la realizzazione di una specifica famiglia è il pilastro in legno: esso è stato provvisto degli elementi metallici necessari per montare i componenti della struttura.

Per completare il modello si è passati alla definizione di un livello di dettaglio maggiore dei sistemi costruttivi presenti nel progetto. Secondo questa logica sono stati modificati i pacchetti dei solai e delle murature; inoltre sono stati aggiunti elementi quali le travi e le fondazioni (Figura 7.26). Sulla base dei dettagli costruttivi del caso di studio sono state create delle famiglie di muri, pavimenti e tetti, stratificati come previsto dal progetto (Figure 7.23 e 7.24). Riguardo alla realizzazione di dettagli costruttivi si è riscontrata una carenza del programma: sebbene Revit permetta di definire accuratamente il livello di dettaglio delle sezioni, alcuni elementi devono essere inseriti manualmente sulla specifica vista; di conseguenza, nell'eventualità che il modello dovesse subire modifiche, tali elementi non sarebbero soggetti ad alcun aggiornamento automatico, ma andrebbero risistemati a mano. Questa è uno delle pochi limiti riscontrati durante l'utilizzo del software, che per il resto si dimostra molto vantaggioso rispetto ai tradizionali software CAD: si auspica che i programmatori possano presto migliorare questo aspetto.

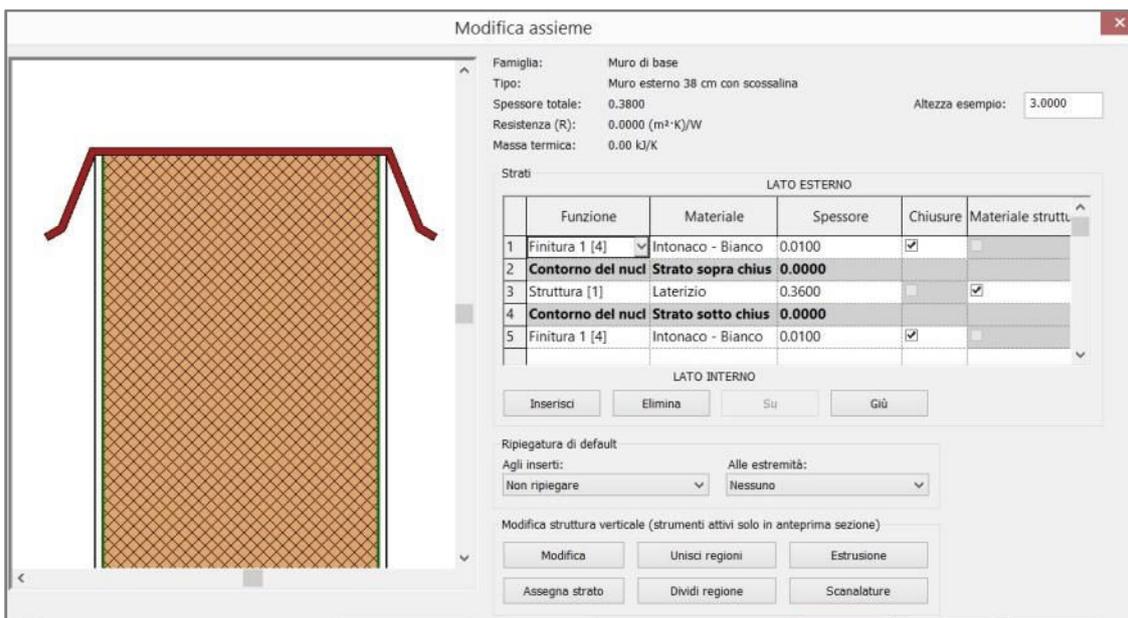


Figura 7.23 – Creazione delle famiglie di muri per lo specifico progetto.

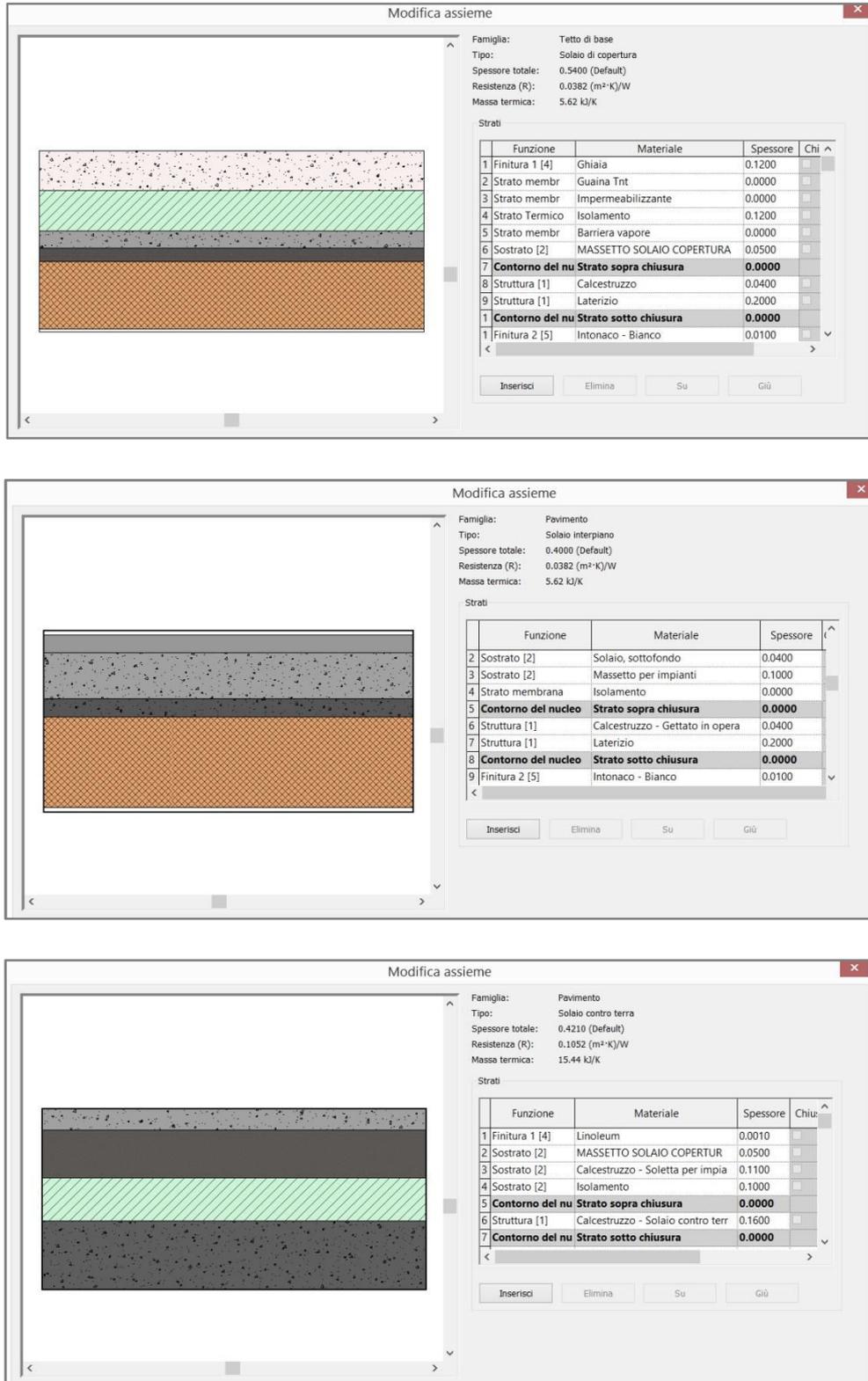


Figura 7.24 – Creazione delle famiglie di tetti e pavimenti per lo specifico progetto.

Una volta definiti gli strati presenti all'interno dei pacchetti tecnologici sono stati creati sempre su Revit ulteriori elaborati inerenti ai computi dei materiali. Suddividendoli a seconda dal tipo di elemento è stato possibile crearne rispettivamente uno per i muri, uno per le pavimentazioni ed uno per le coperture, (Figura 7.25).

<Computo materiali muri>			
A	B	C	D
Tipo	Larghezza	Funzione	Materiale Volume
Ana			
Muro tamponamento interno 25cm	0.25	Interno	8.68 m³
Muro tamponamento interno 30cm	0.30	Interno	37.82 m³
			46.50 m³
Calcestruzzo			
Muro di fondazione 38 cm GETTO 1	0.38	Fondazione	59.80 m³
Muro di fondazione 38 cm GETTO 2	0.38	Fondazione	33.86 m³
Muro portante vano scale	0.30	Interno	18.80 m³
			112.46 m³
CLS MURO PERIMETRALE			
Muro recinzione	0.30	Esterno	139.83 m³
			139.83 m³
Intonaco - Bianco			
Muretto aiuole	0.20	Esterno	1.66 m³
Muro esterno 38 cm	0.38	Esterno	23.71 m³
Muro esterno 38 cm + intonaco rosso	0.38	Esterno	2.17 m³
Muro esterno 38 cm + intonaco rosso senza scossalina	0.38	Esterno	0.78 m³
Muro esterno 38 cm + pietra ricostruita	0.41	Esterno	12.46 m³
Muro esterno 38 cm con scossalina	0.38	Esterno	5.04 m³
Muro portante vano scale	0.30	Interno	1.34 m³
Muro tamponamento esterno 15cm parapetto	0.15	Interno	0.63 m³
Muro tamponamento interno 10cm	0.10	Interno	16.76 m³
Muro tamponamento interno 15cm	0.15	Interno	39.01 m³
Muro tamponamento interno 25cm	0.25	Interno	2.48 m³
Muro tamponamento interno 30cm	0.30	Interno	6.30 m³
			112.34 m³
Intonaco - Rosso			
Muro esterno 38 cm + intonaco rosso	0.38	Esterno	0.26 m³
Muro esterno 38 cm + intonaco rosso senza scossalina	0.38	Esterno	0.08 m³
			0.34 m³
Laterizio			
Muretto aiuole	0.20	Esterno	14.90 m³
Muro esterno 38 cm	0.38	Esterno	426.72 m³
Muro esterno 38 cm + intonaco rosso	0.38	Esterno	43.67 m³
Muro esterno 38 cm + intonaco rosso senza scossalina	0.38	Esterno	15.55 m³
Muro esterno 38 cm + pietra ricostruita	0.41	Esterno	224.29 m³
Muro esterno 38 cm con scossalina	0.38	Esterno	90.72 m³
Muro solo laterizio	0.36	Esterno	34.54 m³
Muro tamponamento esterno 15cm parapetto	0.15	Interno	2.50 m³
Muro tamponamento interno 10cm	0.10	Interno	67.05 m³
Muro tamponamento interno 15cm	0.15	Interno	156.05 m³
Muro tamponamento interno 25cm	0.25	Interno	19.83 m³
Muro tamponamento interno 30cm	0.30	Interno	50.43 m³
			1146.25 m³
Mattoncini in pietra			
Muretto limite strada	0.10	Esterno	3.53 m³
			3.53 m³
Pietra ricostruita			
Muro esterno 38 cm + pietra ricostruita	0.41	Esterno	18.70 m³
			18.70 m³

Figura 7.25 – Esempio di computo dei materiali.

Attraverso un adeguato livello di dettaglio, si è cercato di inserire nel modello tutti quegli elementi che sarebbero poi stati utili per la realizzazione del modello 4D. Vedremo infatti, nei capitoli successivi, come sia necessario legare ad ogni attività prevista nel programma lavori, un insieme di oggetti 3D al fine di creare una simulazione della realizzazione dell'opera. Purtroppo non è stato possibile creare oggetti per ogni attività prevista del cronoprogramma.

Oltre alla parte del programma specifica per la progettazione architettonica, è possibile rimanendo sempre all'interno del software, attraverso *Revit Structure* e *Revit MEP*, realizzare sullo stesso file rispettivamente il progetto strutturale e quello degli impianti. Per il lavoro svolto si è comunque scelto di modellare solo la componente architettonica. In un processo BIM questi tre diversi livelli del progetto sono gestiti da tecnici specializzati che lavorano sullo stesso file, inserendo le informazioni specifiche del proprio campo: questa gestione e condivisione dei dati consente di ottenere alcuni vantaggi durante la realizzazione dei diversi elaborati. Un modello 3D completo permette inoltre una migliore comprensione in cantiere delle scelte progettuali dei tecnici: spesso, infatti, c'è il rischio di non riuscire ad interpretare disegni 2D che schematizzano la collocazione di particolari elementi, quali per esempio i componenti impiantistici. Inoltre, terminata la costruzione dell'opera, il modello finale, definito "*As built*", che rappresenta come realmente è stato realizzato il progetto, si può rivelare molto utile per il *Facility Management*.

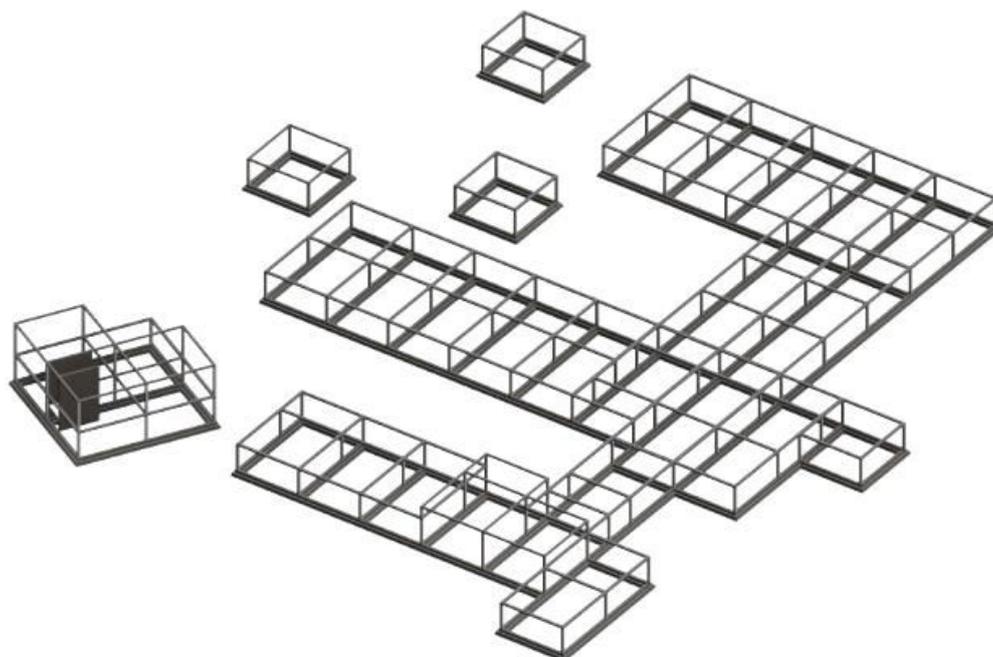


Figura 7.26 – Vista degli elementi strutturali.

Per completare il modello da esportare successivamente in Navisworks, è stato possibile sfruttare una funzionalità presente solo nelle ultime versioni di Revit: si tratta di un comando chiamato *Gestisci stratigrafia*. Attraverso questa opzione è stato possibile esplodere gli elementi di dettaglio stratificati, muri e solai, e gestire singolarmente ogni componente: in tal modo si è potuto attribuire il relativo codice WBS ad ogni materiale.

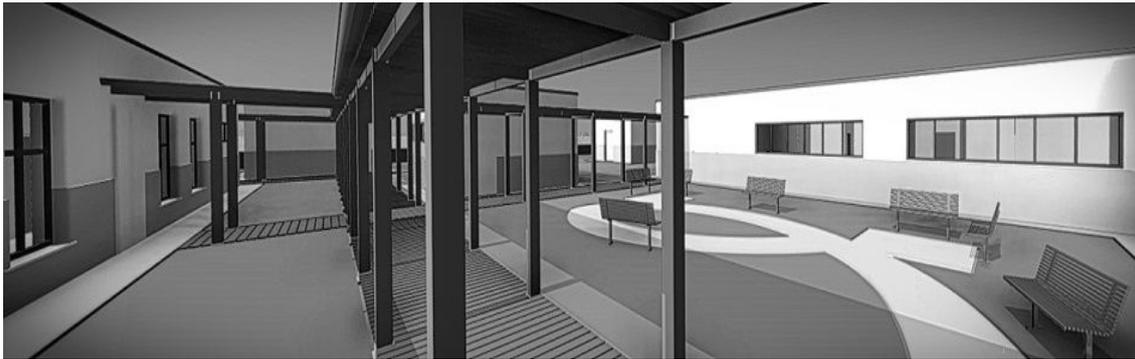


Figura 7.27 – Viste del modello prospettiche del modello 3D.

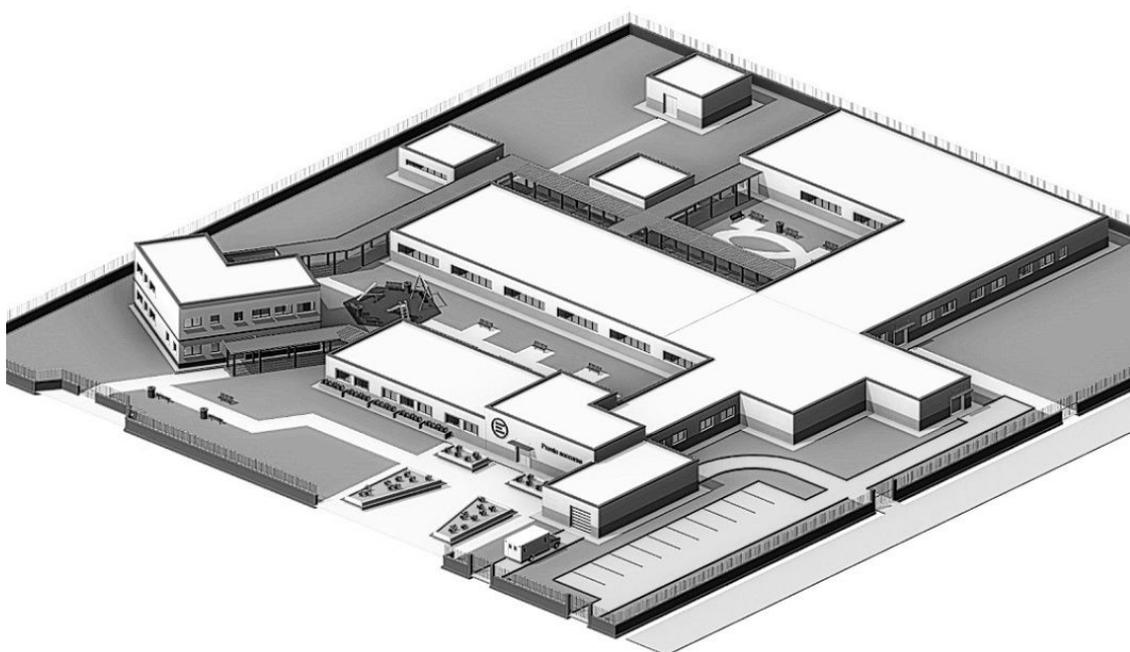


Figura 7.28 – Viste nord-est del modello.

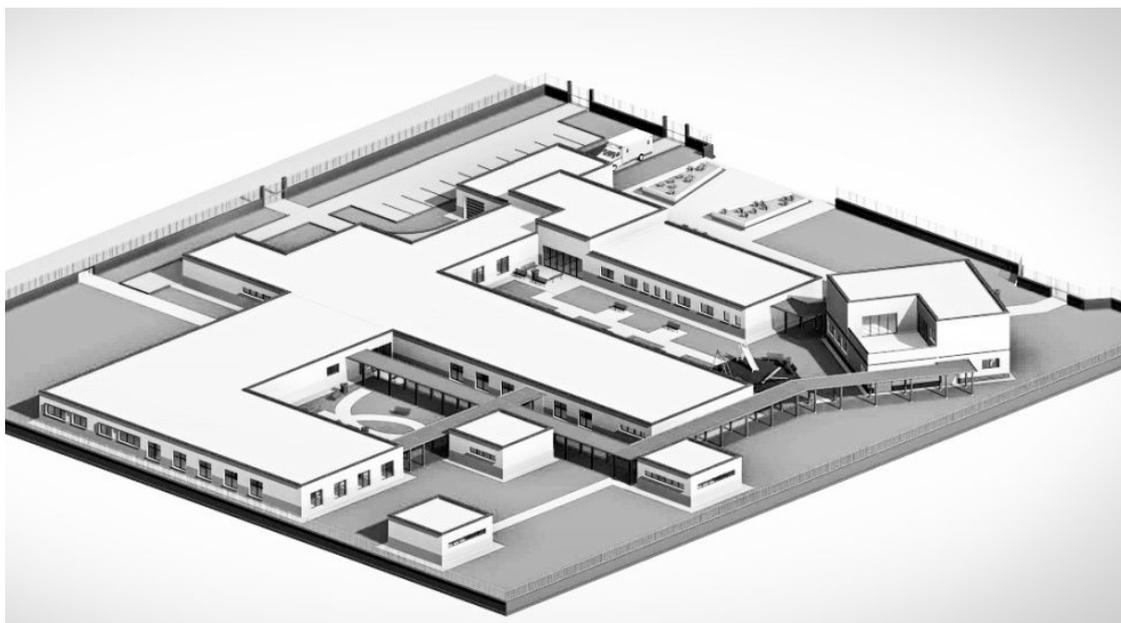


Figura 7.29 – Viste sud-ovest del modello.

7.1.2 Modello 3D del Cantiere

Un secondo modello 3D è stato successivamente realizzato sulla base del primo. Gli elementi modellati in questo nuovo file rappresentano principalmente i mezzi di attuazione per la fase di costruzione dell'opera. La scelta di realizzare un unico file che contenesse tutti gli elementi che costituiscono il cantiere deriva da un'esigenza successiva di gestione ed esportazione di tali oggetti in Navisworks: come vedremo più avanti i due modelli realizzati con Revit saranno esportati nel formato *.nwc* per realizzare un modello temporale del cantiere. Sarebbe stato comunque possibile inserire singolarmente ogni elemento nel file *.nwf* di Navisworks. Il modello 3D così creato ha permesso inoltre di sfruttare le funzionalità di Revit per la creazione di diversi tipi di documentazione anche per quanto riguarda il progetto del cantiere; questo aspetto sarà approfondito nelle prossime pagine.

Diversamente dal lavoro svolto per la creazione del file Revit riguardante il progetto, per il modello del cantiere non sono stati utilizzati molti comandi inerenti alla progettazione vera e propria: la modellazione si è basata quasi esclusivamente nel posizionamento dei diversi componenti secondo scelte accurate. La maggior parte degli oggetti sono stati scaricati gratuitamente da librerie presenti sul web: alcuni di questi erano disponibili nel formato *.rfa* delle famiglie di Revit, gli altri erano prevalentemente realizzati con *SketchUp* (Figura 7.32).

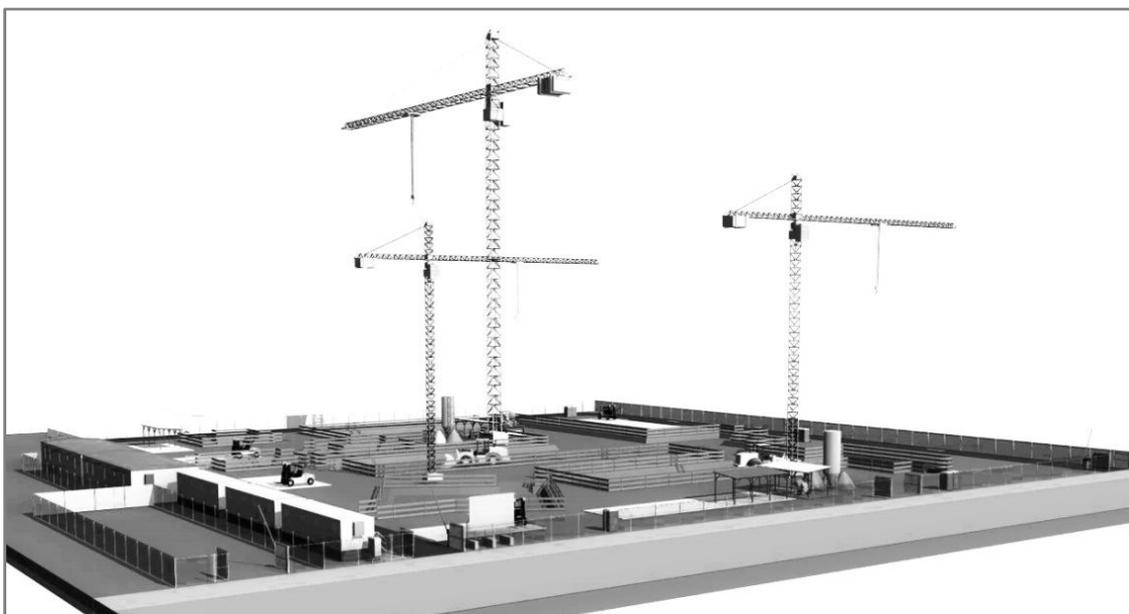


Figura 7.30 – Viste del modello del cantiere.

Questo aspetto non è risultato un problema poiché i file *.skp* sono facilmente importabili all'interno dell'editor delle famiglie Revit, per mezzo del quale successivamente possono essere salvati in formato *.rfa* e quindi inseriti nel file *.rvt*; (Figura 7.31).



Figura 7.31 – Interoperabilità tra SketchUp e Revit riguardo all'importazione dei modelli 3D.

Non è stato possibile trovare tutti gli oggetti necessari per lo specifico progetto del cantiere: in alcuni casi è stato sufficiente modificare alcuni oggetti esistenti (Figura 7.33), mentre in altre situazioni si è preferito creare da zero delle famiglie parametriche e non, a seconda delle esigenze (Figura 7.34). A quest'ultima categoria fanno parte il terreno di scavo, il quadro elettrico di cantiere, il ponteggio ed il parapetto di protezione dalla caduta nello scavo. Una volta inseriti tutti gli elementi di cantiere nel file è necessario fare un ulteriore passo per renderlo davvero innovativo.

Ciò che caratterizza veramente questo modello BIM del cantiere, rispetto ad un semplice 3D, non è solamente la possibilità di creare oggetti parametrici: è l'**informazione** a rappresentare quel qualcosa che contraddistingue tale modo di progettazione. Questi oggetti tridimensionali non hanno infatti alcun valore senza le adeguate indicazioni che li legano a quanto si intende impiegare nel progetto reale: non importa quanto sia alto il livello di dettaglio degli elementi dal punto di vista visivo, ciò che realmente definisce l'oggetto sono le informazioni che possono essere inserite all'interno delle sue proprietà. Per spiegare quanto appena detto ne descriviamo un esempio pratico: una volta scelto l'oggetto rappresentante la *gru a torre* esso è stato inserito nel modello; questa famiglia è stata quindi modificata in modo da contenere le informazioni relative ad un modello di gru realmente esistente dotato di specifiche caratteristiche, indicate nella relativa scheda tecnica resa disponibile dal produttore (Figura 7.35). Le informazioni associabili agli oggetti possono essere di diverso tipo e non vi è limite di inserimento. Inoltre le proprietà create possono essere condivisibili tra più oggetti appartenenti allo stesso file. Nel caso della gru sono stati definiti i parametri pertinenti alle indicazioni standard relativi a tale oggetto.

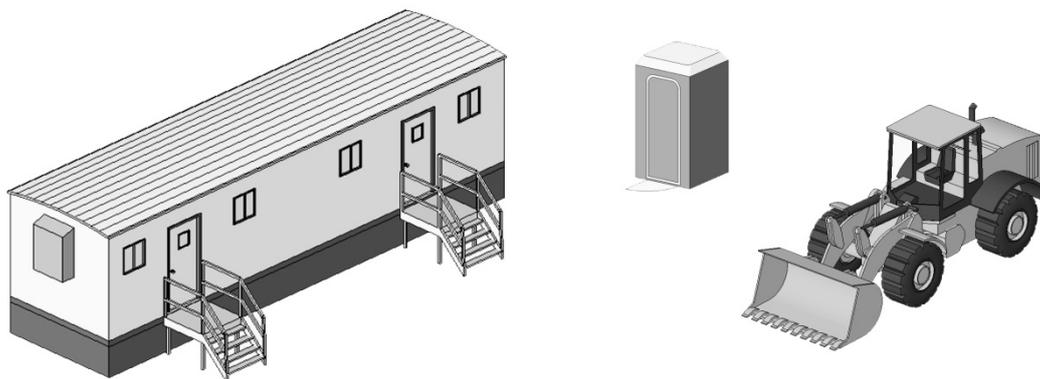


Figura 7.32– Alcuni esempi di oggetti 3D scaricati dal web.

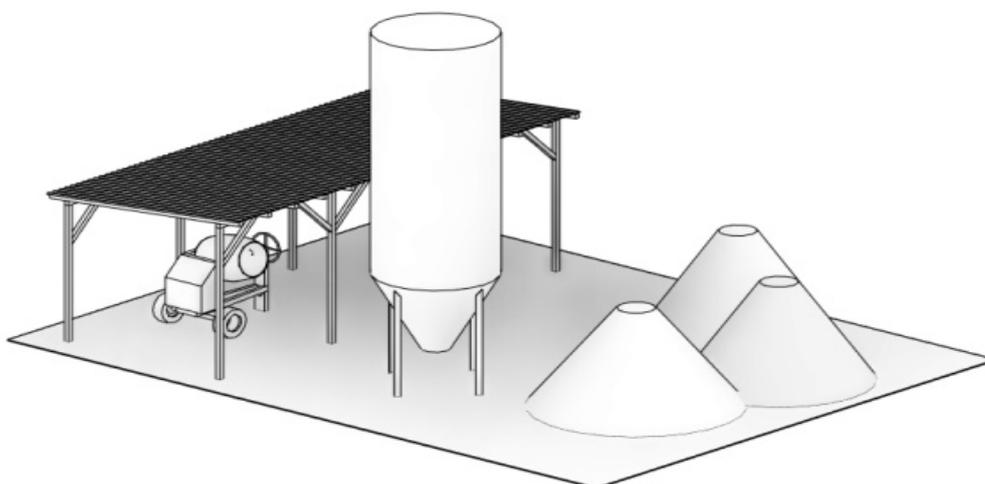


Figura 7.33 – La centrale di betonaggio: esempio di oggetto 3D realizzato utilizzando modelli esistenti.

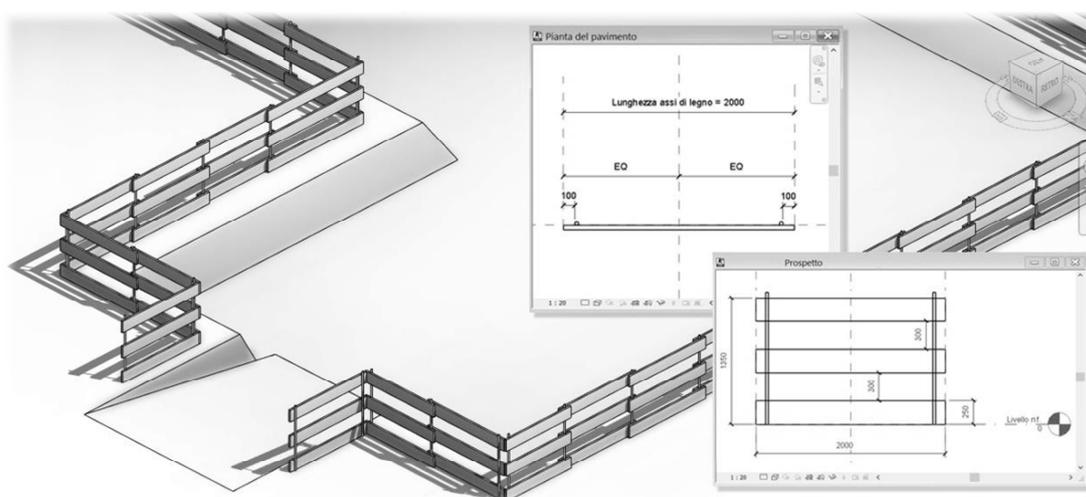


Figura 7.34 – Protezione scavo: esempio di oggetto parametrico realizzato attraverso l'editor di Revit.

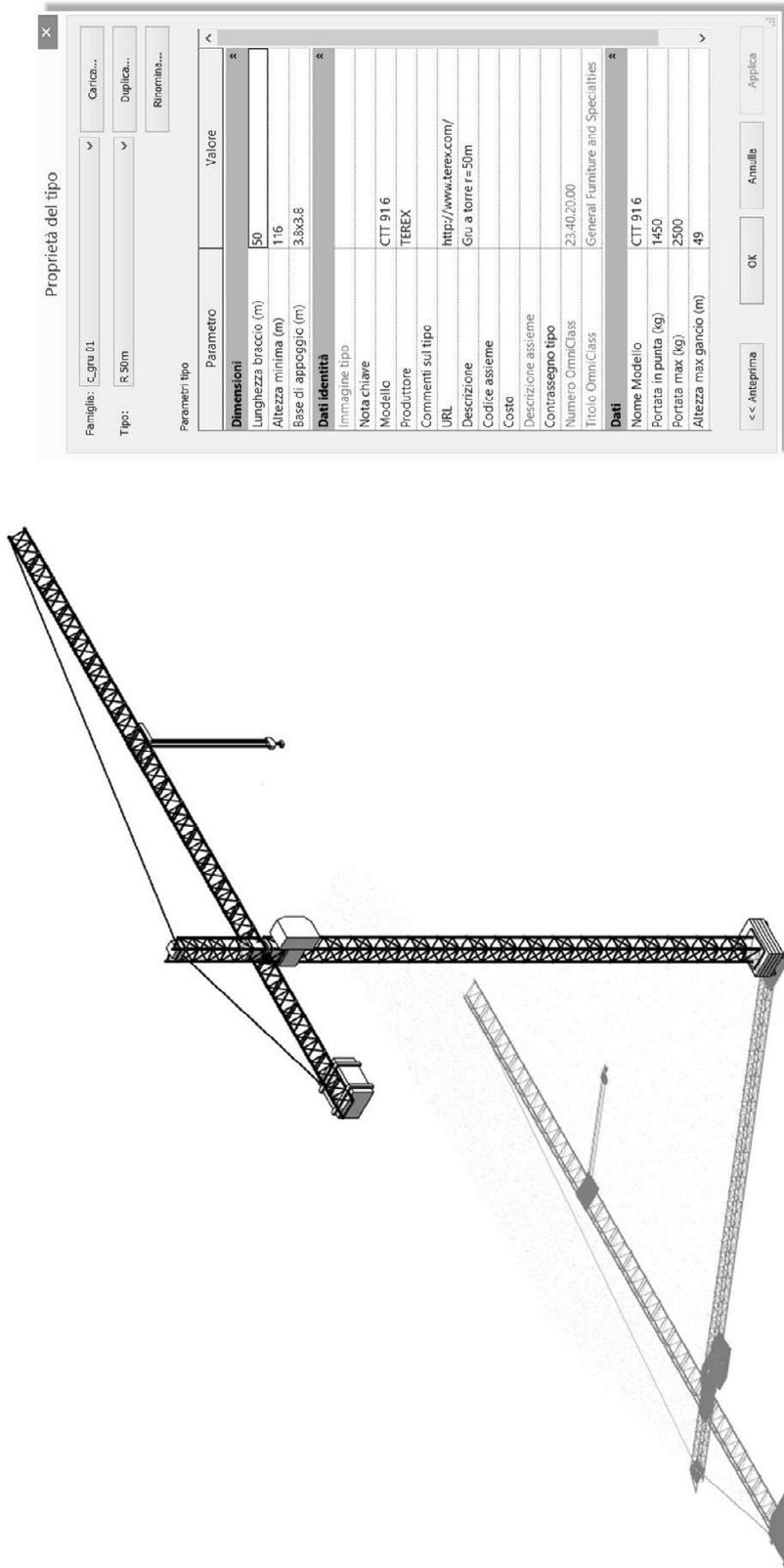


Figura 7.35 – Modello della gru comprensivo delle informazioni inerenti la specifica scheda tecnica.

Una volta completato il modello del cantiere è possibile, sempre su Revit, come si è già visto per il progetto architettonico, creare degli abachi delle quantità che possono essere utilizzati per realizzare con maggior rapidità i computi relativi ai mezzi di attuazione. Inoltre, sempre all'interno del file, si possono realizzare delle tavole 2D in cui rappresentare i diversi layout di cantiere, partendo dalle piante create da Revit, inserendo ulteriori elementi alla vista, quali immagini o testo; (Figura 7.36). Tutte le viste possono inoltre essere esportate in formato CAD in scala per poter effettuare successive modifiche, oppure essere direttamente stampate.

Questi elaborati possono aiutare nella redazione di documenti, come il Piano di Sicurezza e Coordinamento, e nella progettazione del cantiere, permettendo di rilevare anticipatamente alcune problematiche grazie alla visualizzazione tridimensionale e all'inserimento di modelli rappresentanti l'ingombro dei macchinari.

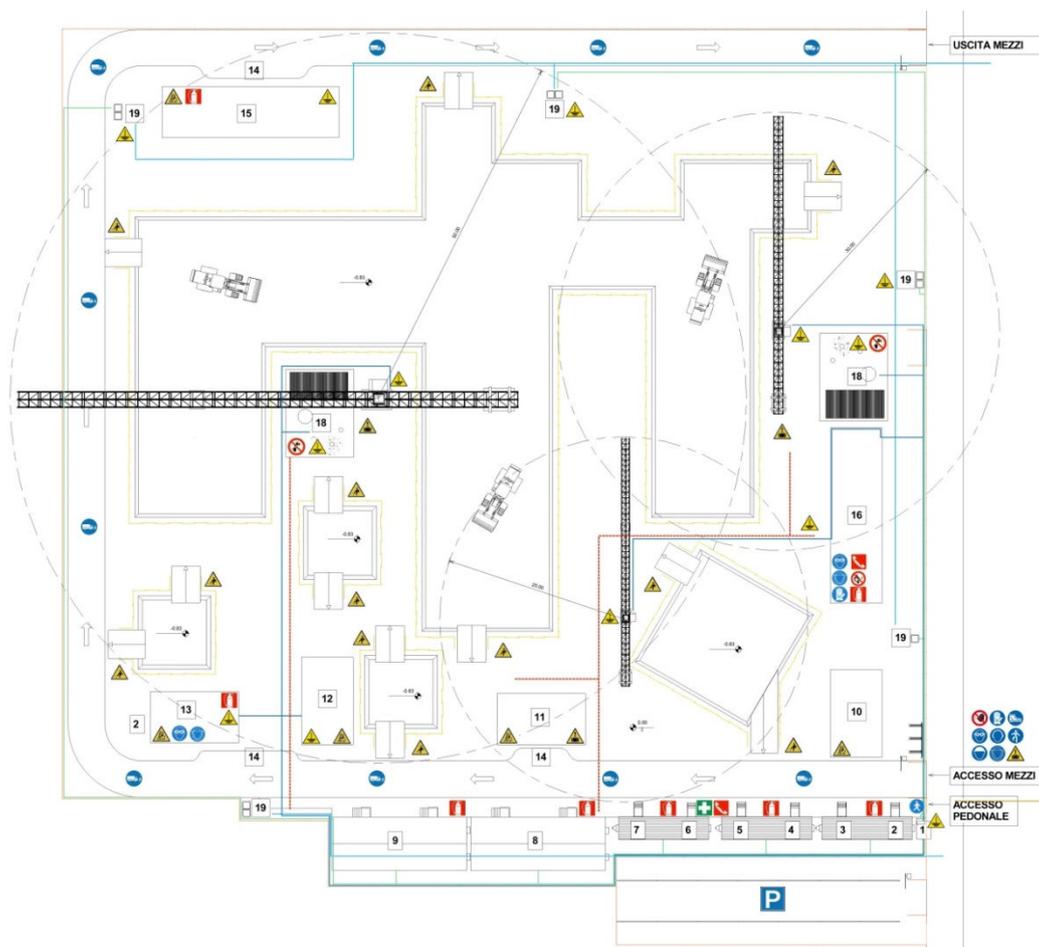


Figura 7.36 – Layout fase di scavo: esempio di layout realizzato su Revit a partire da una vista in pianta del modello del cantiere all'interno della quale sono stati inseriti elementi di testo e simboli.

7.2 Modello 4D

Una volta realizzato il modello BIM del progetto questo è stato esportato in formato *.nwc* per essere aperto in Navisworks. Le geometrie importate all'interno del programma possono essere gestite facilmente attraverso una finestra di selezione che raggruppa gli elementi per *file* sorgente. Grazie all'interoperabilità tra i programmi non vi è stata alcuna perdita d'informazioni o altri tipi di problemi durante questa operazione: si è rivelato inoltre funzionale il poter aggiornare i file importati nel momento in cui fossero stati modificati in qualche loro parte.

All'interno del software è così possibile utilizzare le geometrie create con Revit per effettuare alcuni tipi di analisi attraverso le funzioni presenti nel programma. Il lavoro svolto si è concentrato principalmente sulla realizzazione di un modello 4D; inoltre è stato possibile sfruttare un'altra funzionalità del programma per analizzare eventuali interferenze. Vediamo più nel dettaglio di che cosa si tratta.

7.2.1 Simulazione del cantiere

Per quanto riguarda il modello 4D, l'intenzione era quella di creare un modello virtuale al quale fosse legato il fattore *tempo*. Questo modello, costruito sulla base di un programma lavori specifico, riesce a rappresentare l'evoluzione della costruzione, mostrando con più chiarezza le scelte progettuali di chi organizza il cantiere. Allo stesso tempo, potendo visualizzare ogni situazione è possibile riscontrare anticipatamente eventuali problematiche e risolvere preventivamente possibili errori, potendo così scegliere la strategia migliore (Figura 7.37).



Figura 7.37 – Modello 4: esempio di fermo immagine al 138 giorno.

Per realizzare questo tipo di modello è necessario per prima cosa inserire all'interno del programma, nel formato *.nwc*, tutti gli elementi che si ha intenzione di rappresentare nella scena. Il passo successivo è quello di creare un Cronoprogramma che presenti la successione temporale delle attività: quest'operazione può essere gestita direttamente in Navisworks, tuttavia il programma permette l'importazione di file realizzati con altri software. Scegliendo di sfruttare l'interoperabilità di questi programmi, si è optato per realizzare il Diagramma di Gantt con *Microsoft Project*. Il file così creato è stato inserito senza problemi o perdita di dati nel file *.nwf* di Navisworks (Figura 7.38). Durante questa operazione si è rivelato molto vantaggioso il poter aggiornare senza problemi anche questo file ogni qual volta si fosse scelto di cambiare l'ordine o la durata di qualche attività: costruendo accuratamente il modello 4D non vi è infatti bisogno di ricomporre tutto ad ogni aggiornamento.

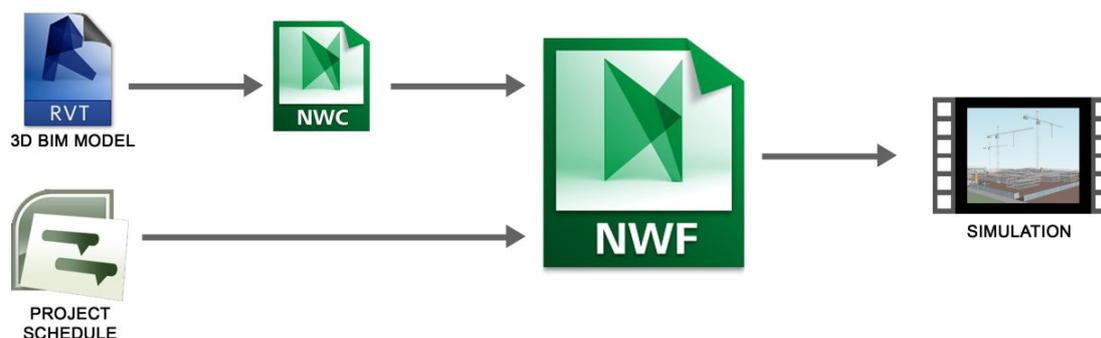


Figura 7.38 – Interoperabilità nella creazione di un modello 4D con Navisworks.

Inserite le informazioni geometriche e temporali, è necessario quindi associarle in maniera appropriata. Seppure sia possibile legare manualmente ogni oggetto alla relativa attività, ciò comporterebbe l'impossibilità di sfruttare l'aggiornamento automatico delle impostazioni settate, nell'eventualità che si dovessero modificare i file di origine dei dati. Per migliorare questo aspetto sono stati per prima cosa creati tutti i *gruppi di selezione*, i quali sono stati rinominati secondo il rispettivo codice WBS identificativo dell'attività correlata presente nel programma lavori (Figura 7.39): a questo scopo è stato utilizzato per la maggior parte degli oggetti la proprietà relativa al codice WBS inserita precedentemente durante la modellazione su Revit.

A causa di un errore, dovuto alla traduzione, riscontrato nella versione italiana di Navisworks, alcuni oggetti non permettevano questo tipo di operazione. Si è comunque potuto facilmente risolvere questo problema effettuando la ricerca attraverso altre proprietà comuni degli oggetti in questione. Ciò che infatti risulta importante per la fase successiva è che ciascun gruppo di selezione sia rinominato con il corretto codice WBS.

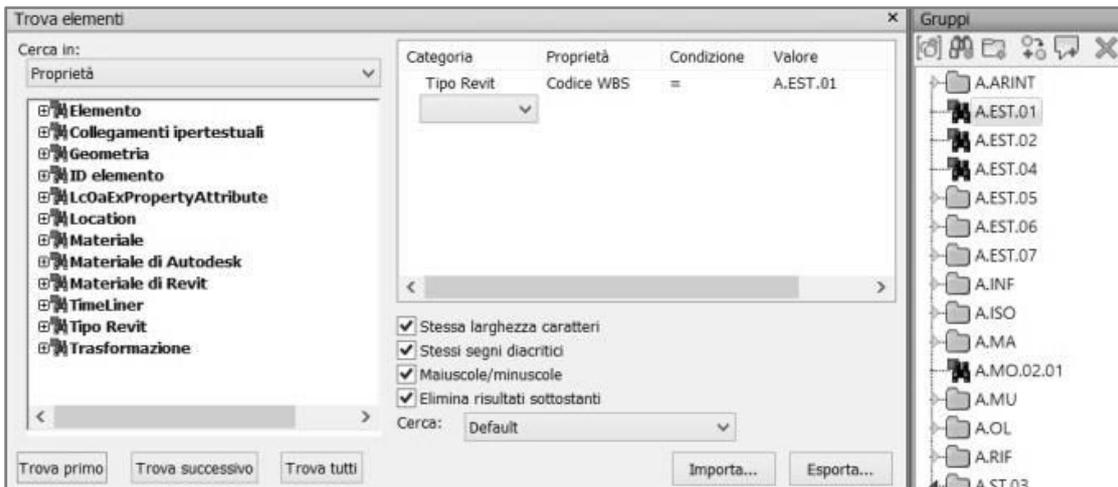


Figura 7.39– Creazione di gruppi di selezione attraverso la ricerca; esempio degli arredi esterni.

La scelta di realizzare i gruppi di selezione secondo questa procedura è volta a facilitare la modalità collegamento degli oggetti alle attività. Utilizzando infatti *l'associazione automatica tramite regole* viene garantito un sistema efficace di aggiornamento del file. A questo scopo è stata creata una regola specifica che si basasse sull'uguaglianza dei nomi dei dati (Figura 7.40). Per rendere attuabile questa procedura è stato necessario inserire nel programma di Gantt realizzato con *Microsoft Project* l'indicazione riguardo il codice WBS per ogni attività presente.

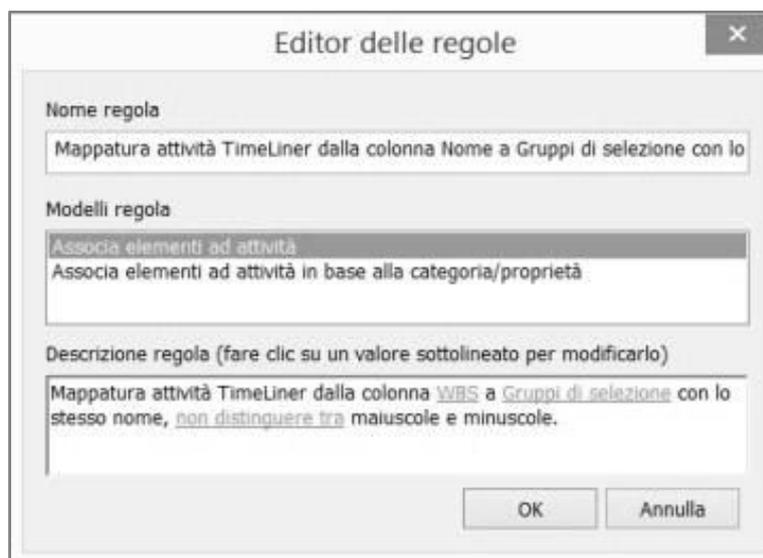


Figura 7.40 – Editor delle regole di associazione: si è voluto che la regola associasse il dato relativo al codice wbs presente del cronoprogramma con il gruppo di selezione nominato allo stesso modo.

Il passaggio successivo è stato quello di indicare per ogni attività la relativa tipologia per definire la modalità di visualizzazione degli oggetti durante la simulazione. All'interno di Navisworks sono presenti di *default* tre tipologie: costruzione, demolizione e temporaneo; in aggiunta ne è stata creata una quarta denominata *esistente*; (Figura 7.41). Definendo le caratteristiche per ogni categoria è possibile distinguere la tipologia dell'oggetto visualizzato durante lo svolgersi dell'attività ad esso legata. Questo comando garantisce la visualizzazione degli oggetti: dimenticando di specificare questo dato l'oggetto non verrebbe inserito nella simulazione.

Secondo questa procedura si riesce a creare un modello 4D che mostra lo stato del progetto durante le fasi di progettazione. Concludendo, è possibile estrarre immagini relative ad ogni giornata di lavoro o esportare l'intero filmato, definendo le impostazioni desiderate.

Nome	Aspetto iniziale	Aspetto finale	Aspetto se in anticipo	Aspetto se in ritardo	Aspetto iniziale simulazione
Costruzione	Giallo (90% trasparente)	Aspetto modello	Nessuno	Nessuno	Nessuno
Demolizione	Aspetto modello	Nascondi	Nessuno	Nessuno	Nessuno
Temporaneo	Aspetto modello	Nascondi	Nessuno	Nessuno	Nessuno
Esistente	Aspetto modello	Aspetto modello	Nessuno	Nessuno	Aspetto modello

Figura 7.41– Tipologie delle attività; definizione dell'aspetto durante la simulazione.

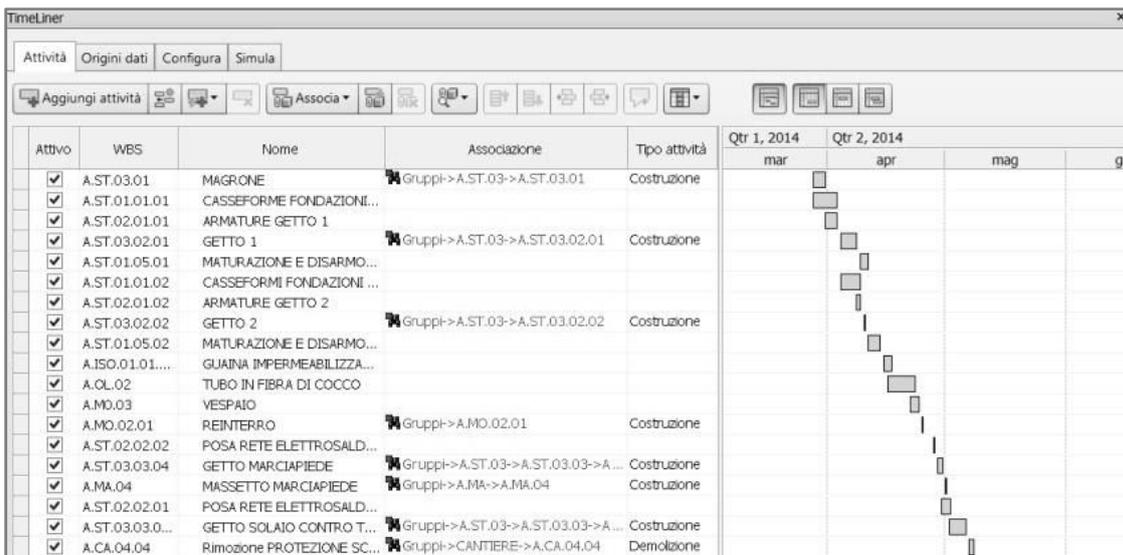


Figura 7.42– Creazione del modello 4D tramite regole di associazione e definizione del tipo di attività.

7.2.2 Rilevazione interferenze

Sempre utilizzando Navisworks si è voluta effettuare un altro tipo di analisi sui modelli realizzati, la così detta *Clash Detection*: più nello specifico, il comando in questione è chiamato *Clash Detective*. Il software consente la gestione delle interferenze tra gli oggetti presenti nel file *.nwf* attraverso un efficace identificazione e esame di queste, permettendo inoltre di creare dei rapporti su tale indagine. Attraverso questa verifica si cerca di ridurre il rischio di errore umano durante le revisioni del modello.

Questo strumento viene comunemente utilizzato per rilevare interferenze tra i componenti del modello 3D; esso è, per esempio, impiegato per indagare sul corretto passaggio degli impianti attraverso murature o solai, oppure risulta utile per riscontrare altri problemi come il contatto di elementi strutturali con altri oggetti: può essere l'esempio di una finestra posizionata in corrispondenza di un pilastro (*Figura 7.43*). Effettuando questo tipo di analisi è possibile identificare preventivamente errori di progettazione sottoponendo il modello BIM a specifiche azioni di controllo: in questo modo si intende evitare che, durante la fase di realizzazione dell'edificio, si verifichino imprevisti e conseguenti ritardi, che potrebbero eventualmente portare a situazioni di pericolo per i lavoratori, dovute alla necessità di intervenire su tali errori.

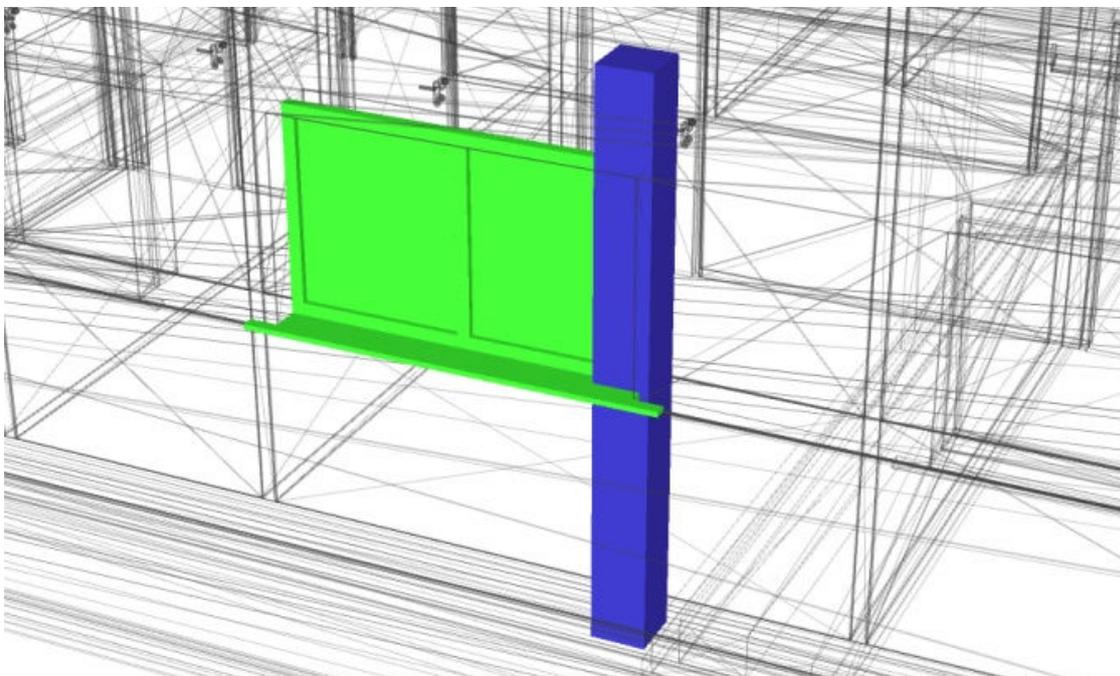


Figura 7.43– Esempio di interferenza rilevata durante la Clash Detection riguardante il posizionamento delle finestre rispetto ai pilastri strutturali.

Per sfruttare ulteriormente le potenzialità di tale strumento, si è inoltre pensato di utilizzarlo per indagare su questioni attinenti al progetto del cantiere, effettuando verifiche di interferenze tra il modello del costruito e quello che contiene gli elementi del cantiere. Definendo adeguati parametri sono state effettuate alcune verifiche.

Il primo tipo di analisi si basa sul rilevamento di oggetti simili a tolleranza nulla: ciò significa che attraverso quest'indagine possono essere individuati eventuali oggetti duplicati nel modello. La presenza di tale errore causerebbe un aumento delle quantità conteggiate all'interno dei computi. Nel caso particolare degli oneri per la sicurezza è possibile per esempio applicare questo test agli elementi del ponteggio (*Figura 7.44*). Individuati i duplicati degli oggetti selezionati, il *clash detective* li evidenzia all'interno del modello; è così possibile effettuare rapidamente le dovute correzioni.

Per le successive verifiche si è scelto di effettuare il test definendo come parametro di indagine un margine di distanza tra gli elementi. Questo controllo è stato applicato per esaminare il rispetto del corretto posizionamento di alcune aree del cantiere in relazione al limite dello scavo. Valutando una profondità dello scavo pari a circa 80 cm, al fine di evitare frane a ridosso di queste aree si vuole imporre una tolleranza di almeno 1 metro dal limite dello scavo. Questa verifica può essere effettuata in relazione ad eventuali aree di stoccaggio dei materiali (*Figura 7.45*), oppure in rapporto alla viabilità del cantiere sulla quale transitano mezzi pesanti (*Figura 7.46*).

Nell'eventualità che sia rilevata un'interferenza, lo strumento evidenzia in colorazioni diverse i due oggetti sottoposti alla verifica: è inoltre possibile esportare un rapporto delle incongruità rilevate, all'interno del quale vengono indicate le distanze relative agli elementi sottoposti a tale controllo. Nel caso in cui la verifica abbia esito negativo, e vi sia quindi il rispetto della condizione imposta, nessun oggetto viene evidenziato nella scena; (*Figura 7.47*).

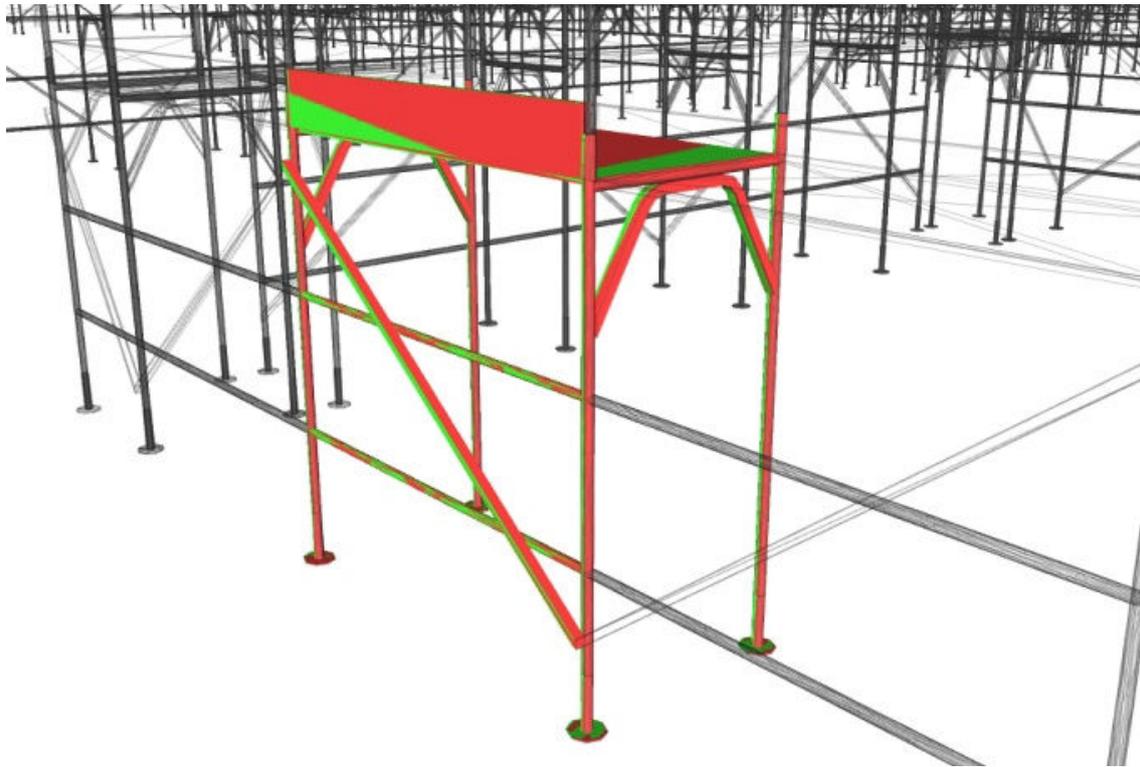


Figura 7.44 – Esempio di interferenza per rilevare duplicati, a tolleranza zero.

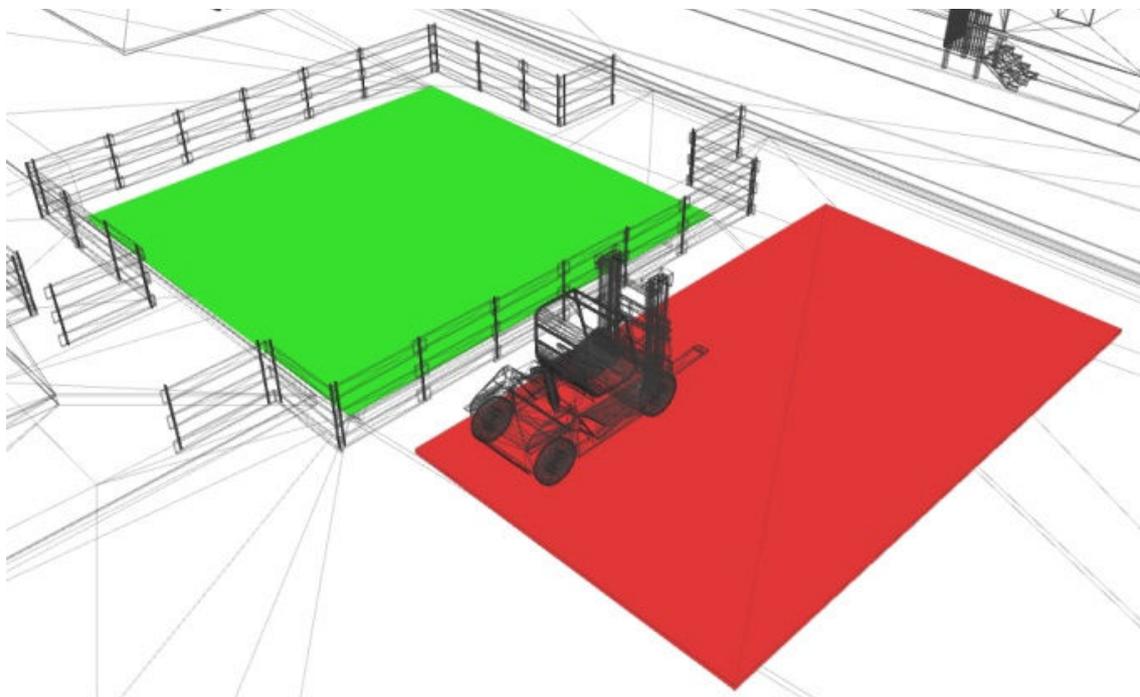


Figura 7.45 – Esempio di interferenza tra il limite dello scavo e l'area di stoccaggio delle armature.

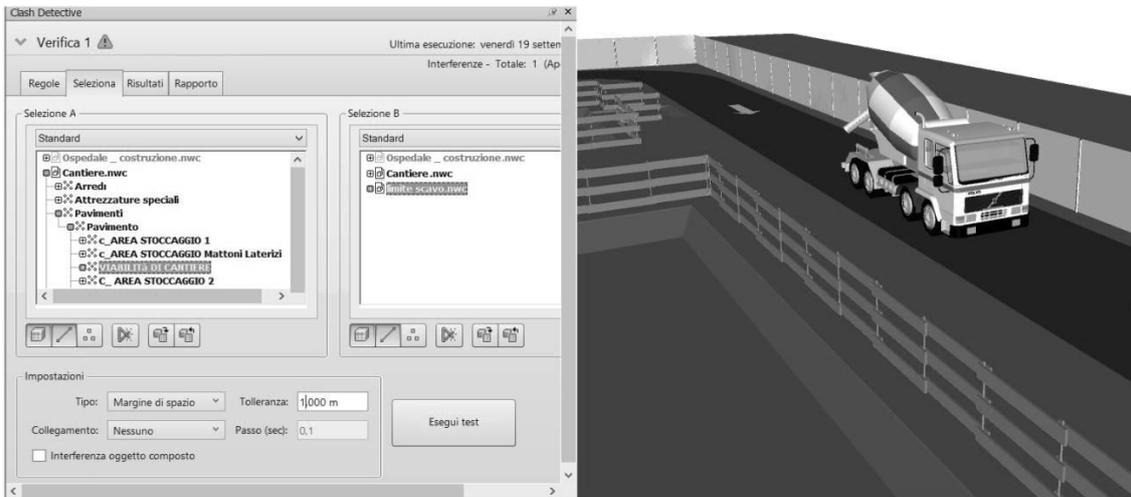


Figura 7.46- Verifica di interferenza tra il limite dello scavo e la viabilità del cantiere

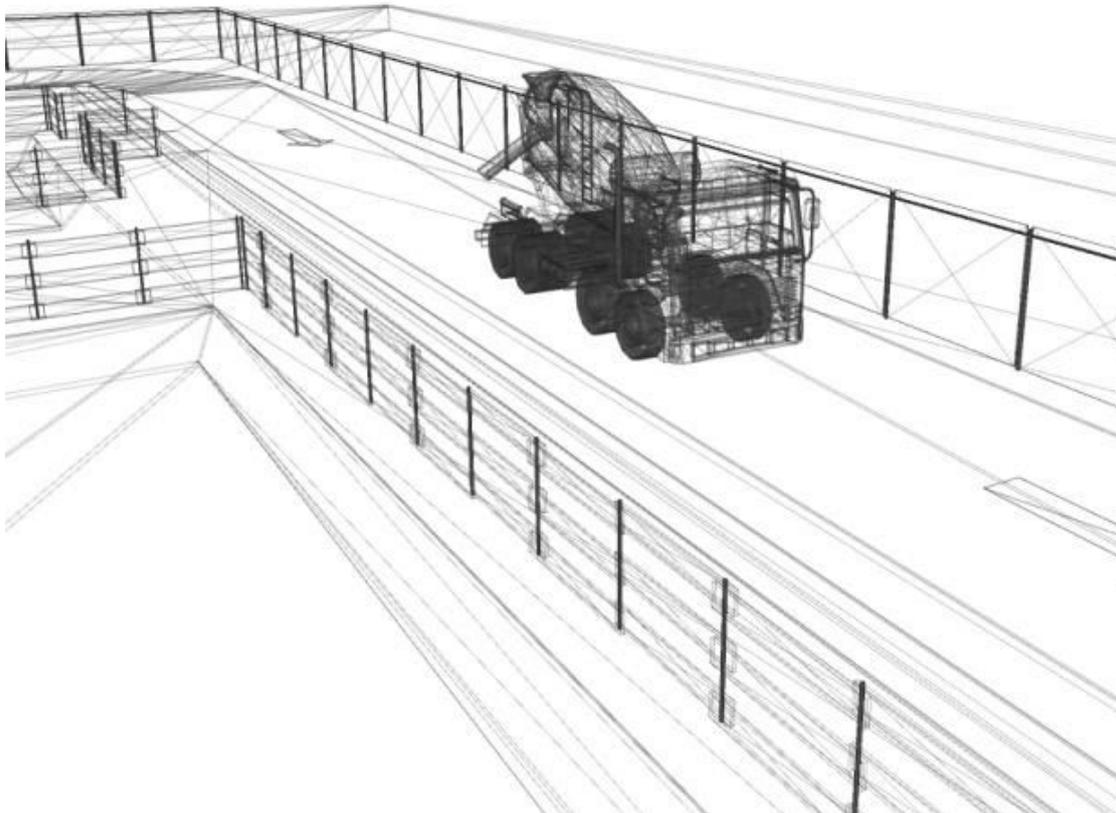


Figura 7.47- Modalità di visualizzazione in assenza di interferenze.

CONCLUSIONI

8.1 Conclusioni in merito al lavoro svolto

L'obiettivo che ci eravamo prefissati era quello di intervenire in diverse fasi del ciclo di vita dell'opera per migliorarne la gestione dell'intero processo. In particolare sono state esaminate le questioni inerenti alla costruzione, al fine di ottenere valutazioni più affidabili in materia di sicurezza.

A tale scopo, ci siamo avvalsi di strumenti innovativi quali il *Building Information Modeling*: questo metodo di lavoro si sta dimostrando sotto tanti punti di vista utile e vantaggioso, poiché esso riesce a migliorare molti aspetti della progettazione. Diversi gruppi di ricerca, intravedendo in questa pratica il futuro del settore delle costruzioni, lavorano per perfezionarla e potenziarla.

Concentrandoci su temi legati alla progettazione del cantiere, con particolare interesse in merito alla sicurezza, l'intento di questa tesi era quello di ampliare l'applicazione del BIM.

I risultati raggiunti sono stati soddisfacenti. Attraverso il caso di studio si è concretizzato ciò che è stato acquisito in modalità teorica durante la fase di ricerca sull'argomento. Inoltre è stato possibile dare un apporto personale al lavoro svolto, attraverso la scelta degli strumenti e le modalità di gestione degli stessi: imparando a conoscere le potenzialità dei software si è voluto ottenere quanti più benefici possibili riguardo al tema di nostro interesse.

Sebbene siano stati riscontrati alcuni problemi durante lo svolgimento del lavoro, questi sono stati il più delle volte efficacemente risolti, senza comunque compromettere i principi base della pratica BIM o i risultati attesi.

8.2 Spunti per eventuali sviluppi futuri

La possibilità di conoscere e lavorare secondo i criteri del BIM mi ha permesso di riscontrare personalmente le potenzialità di questi strumenti. L'approfondimento sviluppato nella mia tesi si è concentrato solo su una parte del processo. Sulla base dei risultati raggiunti e sui vantaggi riscontrati, penso che questo metodo di lavoro possa portare benefici sotto tanti altri aspetti della progettazione.

Sarebbe molto interessante poter inoltre applicare il lavoro che ho svolto ad un caso reale, per poter effettivamente appurare come questa gestione delle informazioni migliori significativamente il settore delle costruzioni.

Attraverso quest'esperienza ho potuto ampliare le mie conoscenze riguardo un tema ancora poco diffuso in Italia, e verso il quale in alcuni casi si rileva dello scetticismo rispetto alle pratiche tradizionali. La speranza è che il mio contributo, e quello di tanti altri ricercatori, sia di supporto per lo sviluppo, l'innovazione ed il cambiamento, e che spinga i più dubbiosi ad incuriosirsi.

BIBLIOGRAFIA

▪ LIBRI

Ciribini A. (2013), *L'information modeling e il settore delle costruzioni: IIM e BIM*, Milano, Maggioli Editore, marzo 2013

Eastman C., Liston K., Sacks R., Teicholz P. (2008), *BIM Handbook. A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, Hoboken (NJ), John Wiley & Sons, 2008

Moro A. M. (2012), *La Sicurezza nel cantiere: ruoli, responsabilità, e vigilanza*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 2012

Moro A. M. (2010), *Piano di sicurezza e di coordinamento*, Palermo, Dario Flaccovio Editore, 3 edizione, 2010

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

Semeraro G., (2010), *Il cantiere sicuro: tecnica della prevenzione infortuni nei cantieri edili e di ingegneria civile*, EPC, Roma, V ed., 2010

Zacchei V. (2010), *Building Information Modeling. Nuove tecnologie per l'evoluzione della progettazione – costruzione*, Roma, Aracne editrice, dicembre 2010

▪ ARTICOLI

Abraham D.M., Arboleda C.A., Irizarry J., Wirahadikusumah R. (2002), *Analysis of Trench-Related Fatalities in Construction and Development of Intervention Strategies*, First International Conference on Construction in the 21st Century (CITC2002) “Challenges and Opportunities in Management and Technology” 25-26 April, 2002, Miami, Florida, USA

Azhar, S. (2011), *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*, Leadership and Management in Engineering, Vol.11, No. 3, July 2011; pp.241-252

Bragadin M. A. (2012), *Sicurezza e innovazione nel cantiere di recupero edilizio: l'approccio building information modeling*, IN_BO. Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura, Vol.3, n.5, dicembre 2012, pp.277-288

Capone P., (2013), *Verifica di costruibilità in sicurezza con l'ausilio di strumenti grafici*, IN_BO. Ricerche e progetti per il territorio, la città e l'architettura, Vol.4, n.2, ottobre 2013, pp.61-68

Cinti Luciani S., Garagnani S., Mingucci R. (2012), *CAD versus BIM: evoluzione di acronimi o rivoluzione nel mondo della progettazione?*, DISEGNARE IDEE IMMAGINI, Anno XXIII, n.44, pp.68-79

Cinti Luciani S., Garagnani S., Mingucci R. (2011), *Building Information Modeling: la tecnologia digitale al servizio del progetto di architettura*, DISEGNARECON, luglio 2011, pp. 5-19, issn.1828-5961

Cinti Luciani S., Garagnani S. (2011), *Il modello parametrico in architettura: la tecnologia B.I.M. di Autodesk Revit*, DISEGNARECON, luglio 2011, pp. 20-29, issn. 1828-5961

Ciribini A., Golparvar Fard M. (2011), *Challenges and Benefits of D4AR – 4 Dimensional Augmented Reality - Modeling on the Milano Bicocca Housing Project*, in Proceedings of the CIB W78-W102 2011: International Conference – Sophia Antipolis, France, 26-28 October

Fischer M., Gao J., Haugen T., Tollefsen T., (2005), *Experiences with 3D and 4D CAD on Building Construction Projects: Benefits for Project Success and Controllable Implementation Factors*, CIB W78 22nd Conference on Information Technology in Construction, Dresden (Germany), 19-20-21 Jun 2005

Gambatese, J., Hinze, J., Haas, C.T. (1997). *Tool to Design for Construction Worker Safety*, Journal of Architectural Engineering Vol. 3, n° 1 March 1997, pp. 32-41

Garagnani S., Mingucci R. (2012), *Visual architecture and interactive design for AEC industry: state-of-the-art about the impact of color on B.I.M. workflow*, in Color and Colorimetry. Multidisciplinary Contributions. Proceedings of the Eighth Color Conference. vol. VIII B, p. 250-256, Maggioli Editore, Rimini

Garagnani S. (2011), *Interoperabilità dei software d'ingegneria: un problema ancora aperto*, in Ingegneri.CC Tecnica, Cultura, Progetto, vol. 14, p. 9-12, Maggioli Editore, Rimini

Garagnani S. (2010), *Unpacking the “Chinese Box”: Managing Knowledge in architectural digital models*, in ICERI2010 Proceedings (International Conference of Education, Research and Innovation), Madrid, 2010

Haffegge A., Sacks R., Whyte J., Zhou W. (2013), *Building safely by design: Using digital design models to improve planning for safe construction*, Report submitted to the IOSH Research Committee, www.iosh.co.uk, Paradigmprint (UK) Ltd, 2013

Issa R.R.A., Suermann P.C. (2007), *Evaluating the impact of Building Information Modeling (BIM) on construction*, Proceedings of the 7th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, The Pennsylvania State University, October 22-23, USA, pp.206-215

Kahkonen K., Kiviniemi M., Makela T., Merivirta M.L., Sulankivi K. (2011), *BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction*, VTT research notes 2597, VTT Finland

Kahkonen K., Kiviniemi M., Makela T., Sulankivi K. (2010), *4D-BIM for Construction Safety Planning*, CIB 2010 Word Congress, Manchester, UK

Ku K., Mills T., (2010), *Research Needs for Building Information Modeling for Construction Safety*, Proceedings of the 46th Annual Conference of the Associated Schools of Construction, April 7-10, 2010, Boston, MA

Maltese S. (2014), *BIM: tutti sanno cos'è, ma quanti lo usano? I risultati di un sondaggio del Politecnico di Milano in collaborazione con Ingegneri.cc*, INGEGNERI, numero 1, Anno VI, gennaio-marzo 2014, p.5

Re Cecconi F. (2013), *Rivoluzione ed evoluzione: il BIM come motore del cambiamento nel settore delle costruzioni*, INGEGNERI, numero 6, Anno V, novembre-dicembre 2013, p.1

Sacks R., Whyte J., Zhou W. (2012), *Construction Safety and Digital Design: A Review*, Automation in Construction, 22, pp.102-111

Zhou W. (2011), *Knowledge-Based Collaborative Design Decision Framework for Construction Safety*, eg-ice workshop 2011, Enschede, the Netherlands, 20 July 2011

▪ SITI INTERNET

SITO 3DWAREHOUSE, www.3dwarehouse.sketchup.com

SITO AUTODESK, www.autodesk.com

SITO CURATO DA JEREMY TAMMIK, www.thebuildingcoder.typepad.com

SITO CURATO DA JERRY LAISERIN, www.laiserin.com

SITO GAZZETTA UFFICIALE, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, *DECRETO LEGISLATIVO 9 aprile 2008, n. 81, Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*, www.gazzettaufficiale.it

SITO INAIL, Archivi Banca Dati Statistica INAIL, www.inail.it

SITO MODLAR, www.modlar.com

SITO PREVENZIONE CANTIERI, Dati Infortunistici tratti dalla Banca Dati INAIL, www.prevenzionecantieri.it

SITO VEGA ENGINEERING, Osservatorio Sicurezza sul Lavoro (2014), *Rapporto morti bianche triennio 2011/2012/2013*, www.vegaengineering.com, Vega Engineering, Mestre (VE), 18 gennaio 2014

Nota: l'ultimo accesso effettuato ai siti sopra elencati è avvenuto in data 01/10/2014.

ABACHI E COMPUTI DEI MATERIALI

Di seguito sono riportati alcuni esempi di computi dei materiali ed abachi estrapolati da Revit e sistemati in Excel.

Abaco degli arredi

WBS	Famiglia	Conteggio
A.EST.01	Cestino rifiuti	8
A.EST.03	Fioriera	5
A.EST.02	Giostre_altalena	1
A.EST.02	Giostre_Bilico	1
A.EST.02	Giostre_Scivolo	1
A.EST.01	Panchina esterna	25
A.ARINT.02	Sedia sala d'attesa singola	4
A.ARINT.02	Sedute sala d'attesa (gruppo)	13

Abaco delle finestre

WBS	Descrizione	Altezza (m)	Larghezza (m)	Quantità
Finestra doppia con cornice				
A.INF.01	Finestre 2 ante e 3 ante d=1m	1.20	2.00 - 3.00	2
A.INF.01	Finestre 2 da 2 ante d=0.6m	1.20	2.00 - 2.00	2
A.INF.01	Finestre 2 da 2 ante d=1.4m	1.20	2.00 - 2.00	5
Finestra singola				
A.INF.01	Finestra 6 ante	0.74	6.00	5
A.INF.01	Finestra 4 ante	0.74	4.00	3
A.INF.01	Finestra 1 anta	1.20	1.00	19
A.INF.01	Finestra 3 ante	1.20	3.00	1
A.INF.01	Finestra 4 ante	2.00	4.00	1
A.INF.01	Finestra 6 ante	1.20	6.00	8
A.INF.01	Finestra 2 ante	1.20	2.00	26
A.INF.01	Finestra 2 ante quadrata	2.00	2.00	16
Finestra tripla con cornice				
A.INF.01	Finestre 3 da 2 ante, d=0.55m	1.20	2.00 - 2.00 - 2.00	1

Abaco degli apparecchi idraulici

WBS	Famiglia	Tipo	Quantità
A.ARINT.01	Bidet	550 x 360 mm	21
A.ARINT.01	Lavandino bagno	400 x 500 mm	47
A.ARINT.01	Maniglia - Orizzontale	WC per disabili	24
A.ARINT.01	Maniglia - Verticale	WC per disabili	11
A.ARINT.01	Maniglione - Incernierato	WC per disabili	6
A.ARINT.01	Orinatoio	Orinatoio	2
A.ARINT.01	Piatto doccia	800 x 800 mm	9
A.ARINT.01	Piatto doccia	900 x 700 mm	5
A.ARINT.01	Sedile doccia	Sedile doccia per disabili	5
A.ARINT.01	WC	550 x 360 mm	43

Abaco delle porte

WBS	Famiglia	Tipo	Funzione	Quantità
Interno				
A.INF.02	Porta - 1 Anta	80 x 210 cm	Interno	73
A.INF.02	Porta - 1 Anta	90 x 210 cm	Interno	6
A.INF.02	Porta - 1 Anta	100 x 210 cm	Interno	15
A.INF.02	Porta - 2 Ante Diverse	(100+30) x 210 cm	Interno	21
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	130 x 210 cm	Interno	2
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	180 x 210 cm	Interno	14
A.INF.02	Porta - 2 Ante Uguali	220 x 210 cm	Interno	1
A.INF.02	Scorrevole Semplice	80 x 210 cm	Interno	19

Interno: 151

Esterno

A.INF.02	Porta - 2 ante	200 x 250 cm	Esterno	10
A.INF.02	Porta - 2 ante con Pensilina	200 x 250 cm	Esterno	3
A.INF.03	Saracinesca per Garage	270 x 300 cm	Esterno	2

Esterno: 15

Accessori porte

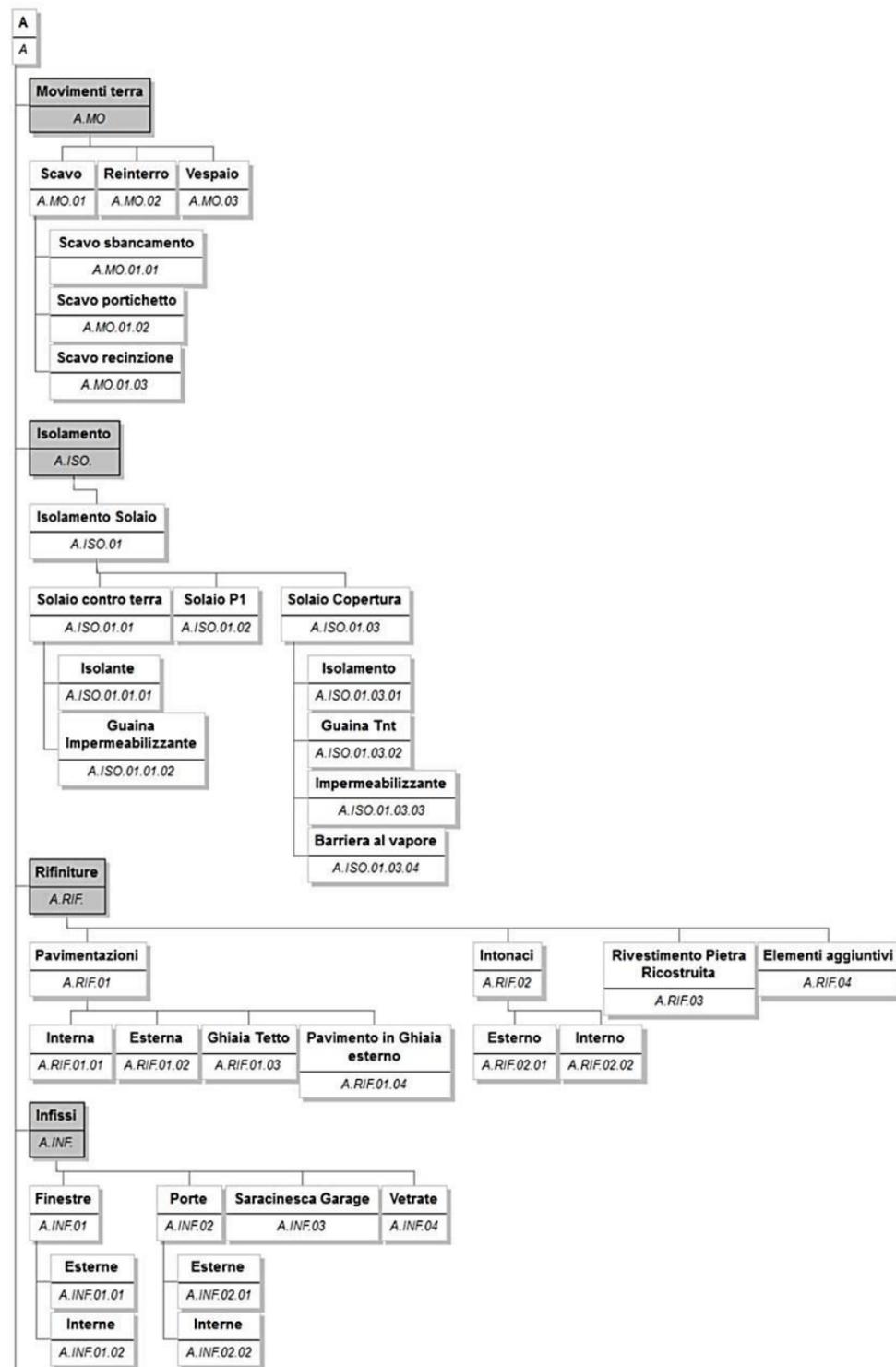
A.INF.02.03	Accessori porte	Maniglie antipanico		34
-------------	-----------------	---------------------	--	----

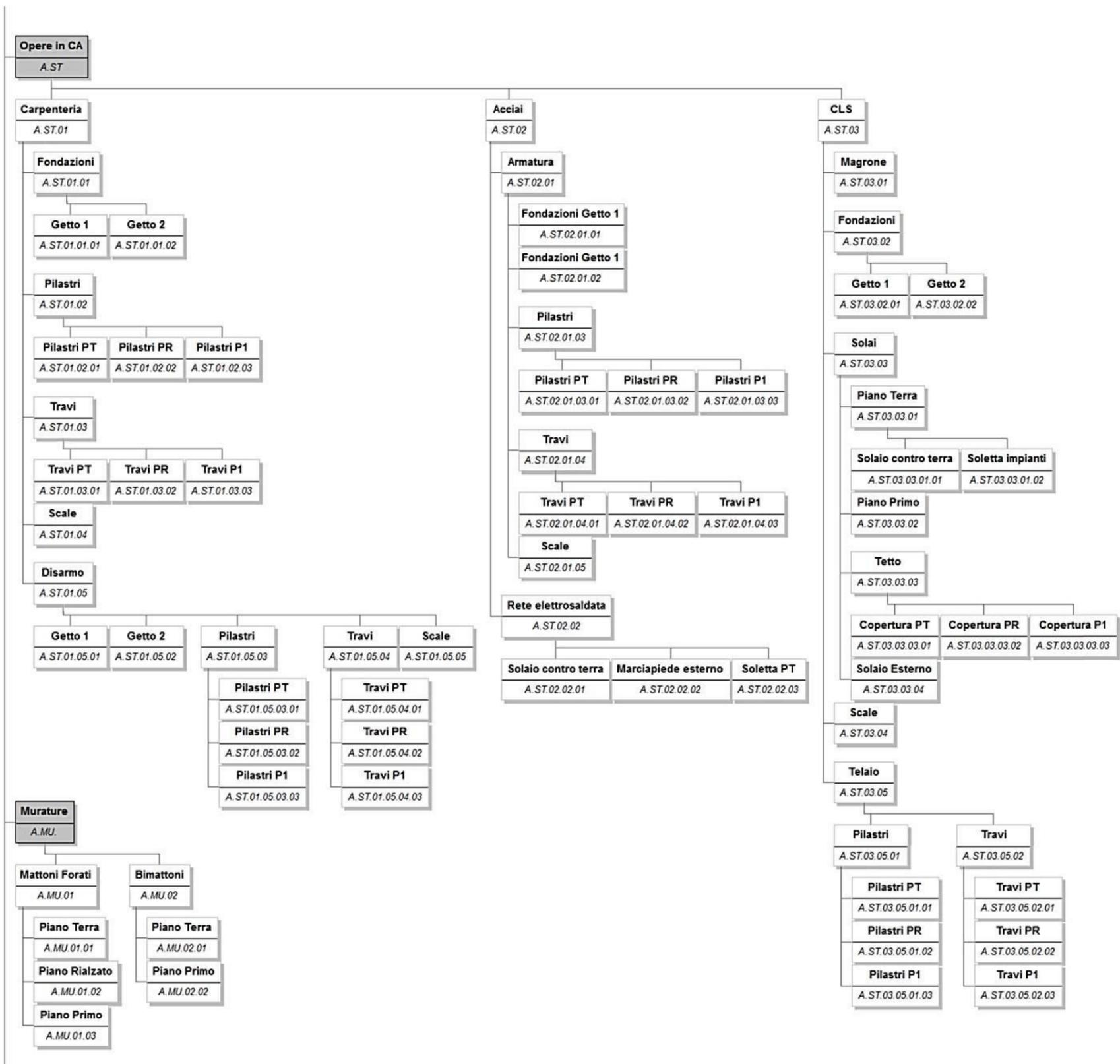
Accessori porte: 34

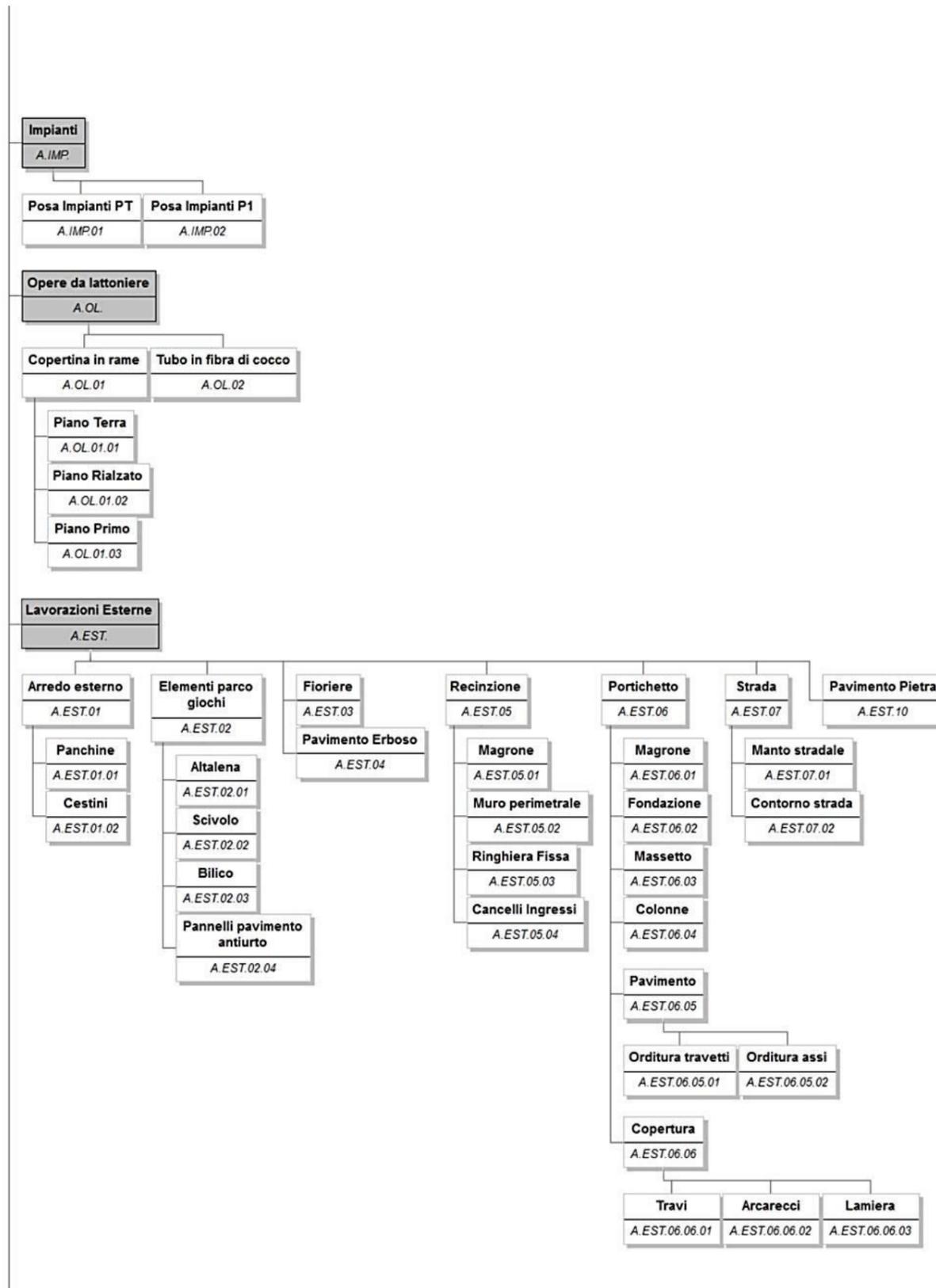
<i>Computo materiali pavimenti</i>		<i>Computo materiali pavimenti</i>	
Tipo	Volume	Tipo	Volume
Asfalto, bitume		Legno	
Strada	25.39 m ³	Arcarecci portichetto	5.70 m ³
	<u>25.39 m³</u>	Pavimento legno 1	7.86 m ³
Calcestruzzo strada		Pavimento legno 2	4.63 m ³
Strada	177.72 m ³	Seduta panche	2.22 m ³
	<u>177.72 m³</u>		<u>20.41 m³</u>
Calcestruzzo		Linoleum	
Magrone (edificio)	99.84 m ³	Solaio contro terra	3.07 m ³
Magrone (muretto recinzione)	26.98 m ³		<u>3.07 m³</u>
Magrone (Portichetto)	2.24 m ³	Massetto per impianti	
Pavimentazione parco giochi	6.29 m ³	Solaio interpiano	22.19 m ³
Solaio interpiano	8.88 m ³		<u>22.19 m³</u>
Solaio contro terra	491.53 m ³	Massetto	
	<u>635,76 m³</u>	Massetto (Portichetto)	15.59 m ³
Calcestruzzo - Soletta per impianti		Massetto (Marciapiede)	25.09 m ³
Solaio contro terra	337.92 m ³	Solaio contro terra	153.60 m ³
	<u>337.92 m³</u>		<u>194.28 m³</u>
Ceramica bianca		Mattonella in gomma antitrauma	
Solaio interpiano	2.22 m ³	Pavimentazione parco giochi	6.29 m ³
	<u>2.22 m³</u>		<u>6.29 m³</u>
Erba		Pavimento in pietra	
Pavimento erboso	143.99 m ³	Marciapiede	12.54 m ³
	<u>143.99 m³</u>		<u>12.54 m³</u>
Ghiaia		Sottofondo	
Percorso esterno	24.76 m ³	Solaio Interpiano	8.88 m ³
	<u>24.76 m³</u>		<u>8.88 m³</u>
Intonaco - Bianco		Soletta cls	
Solaio interpiano	2.22 m ³	Marciapiede esterno	62.72 m ³
	<u>2.22 m³</u>		<u>62.72 m³</u>
Isolamento		Terreno rullato	
Solaio contro terra	307.20 m ³	Marciapiede esterno	62.72 m ³
	<u>307.20 m³</u>		<u>62.72 m³</u>
Laterizio			
Solaio interpiano	44.38 m ³		
	<u>44.38 m³</u>		

<i>Computo materiali muri</i>			
Tipo	Larghezza	Funzione	Materiale: Volume
Calcestruzzo			
<i>Muro di fondazione 38 cm GETTO 1</i>	0.38	Fondazione	59.80 m ³
<i>Muro di fondazione 38 cm GETTO 2</i>	0.38	Fondazione	33.86 m ³
<i>Muro portante vano scale</i>	0.30	Interno	18.80 m ³
<i>Muro recinzione</i>	0.30	Esterno	139.83 m ³
			252.29 m³
Intonaco - Bianco			
<i>Muretto aiuole</i>	0.20	Esterno	1.66 m ³
<i>Muro esterno 38 cm</i>	0.38	Esterno	44.16 m ³
<i>Muro portante vano scale</i>	0.30	Interno	1.34 m ³
<i>Muro tamponamento esterno 15cm parapetto</i>	0.15	Esterno	0.63 m ³
<i>Muro tamponamento interno 10cm</i>	0.10	Interno	16.76 m ³
<i>Muro tamponamento interno 15cm</i>	0.15	Interno	39.01 m ³
<i>Muro tamponamento interno 25cm</i>	0.25	Interno	2.48 m ³
<i>Muro tamponamento interno 30cm</i>	0.30	Interno	6.30 m ³
			112.34 m³
Intonaco - Rosso			
<i>Muro esterno 38 cm + intonaco rosso</i>	0.38	Esterno	0.34 m ³
			0.34 m³
Laterizio			
<i>Muretto aiuole</i>	0.20	Esterno	14.90 m ³
<i>Muro esterno 38 cm</i>	0.38	Esterno	835.49 m ³
<i>Muro tamponamento esterno 15cm parapetto</i>	0.15	Interno	2.50 m ³
<i>Muro tamponamento interno 10cm</i>	0.10	Interno	67.05 m ³
<i>Muro tamponamento interno 15cm</i>	0.15	Interno	156.05 m ³
<i>Muro tamponamento interno 25cm</i>	0.25	Interno	19.83 m ³
<i>Muro tamponamento interno 30cm</i>	0.30	Interno	50.43 m ³
			1146.25 m³
Mattoncini in pietra			
<i>Muretto limite strada</i>	0.10	Esterno	3.53 m ³
			3.53 m³
Pietra ricostruita			
<i>Muro esterno 38 cm + pietra ricostruita</i>	0.41	Esterno	18.70 m ³
			18.70 m³

WBS: WORK BREAKDOWN STRUCTURE







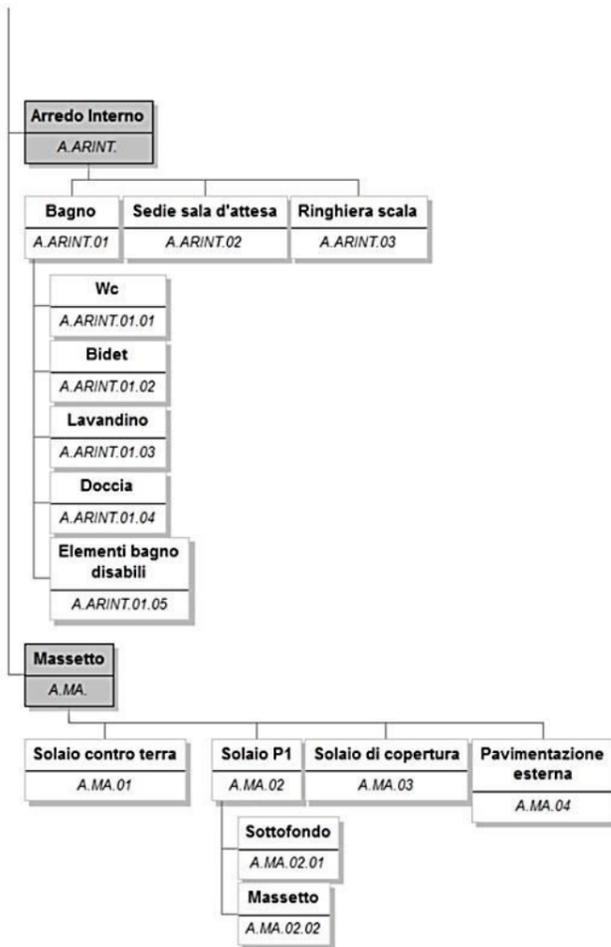
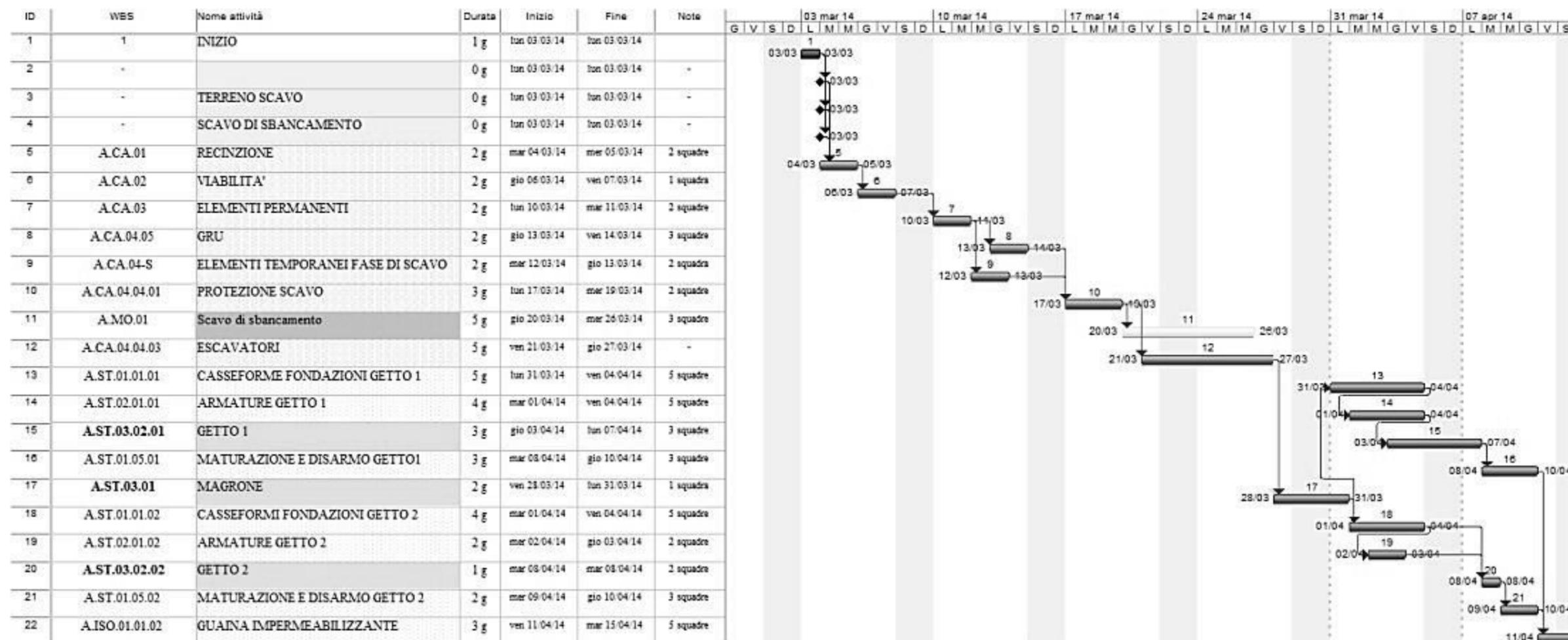
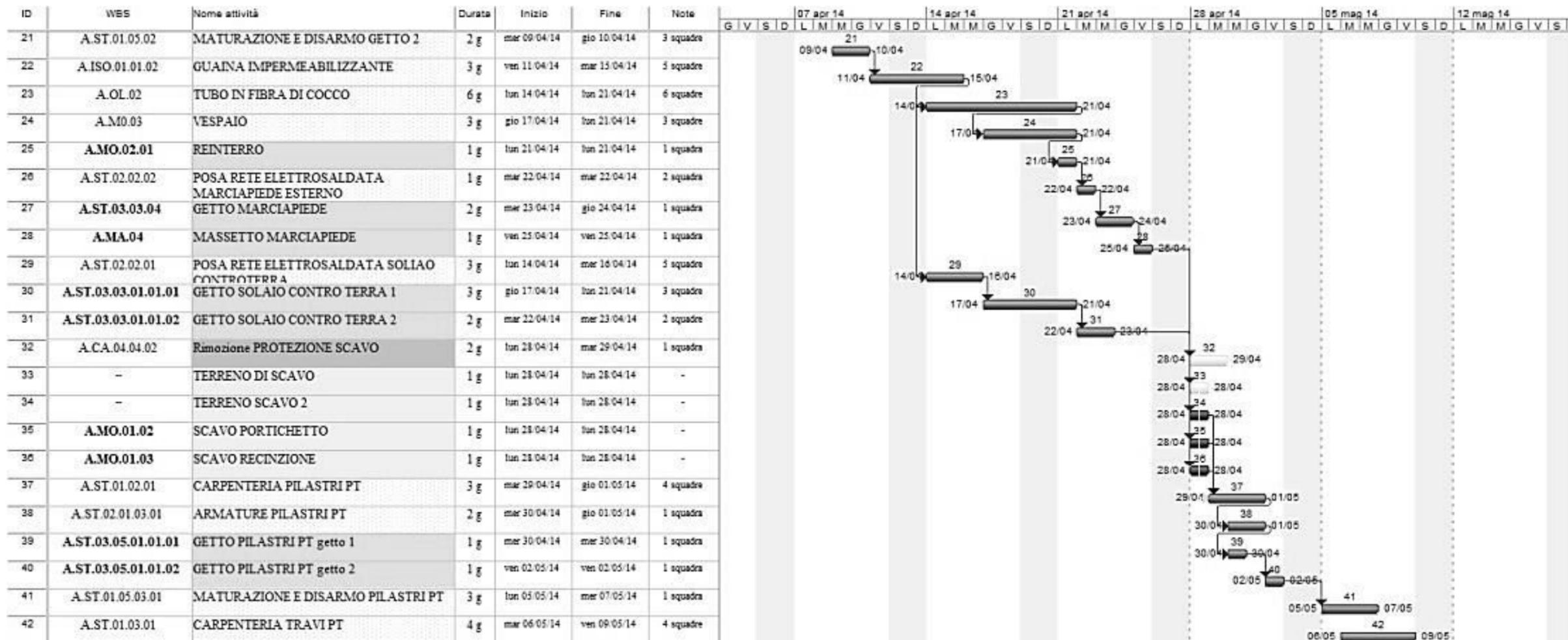
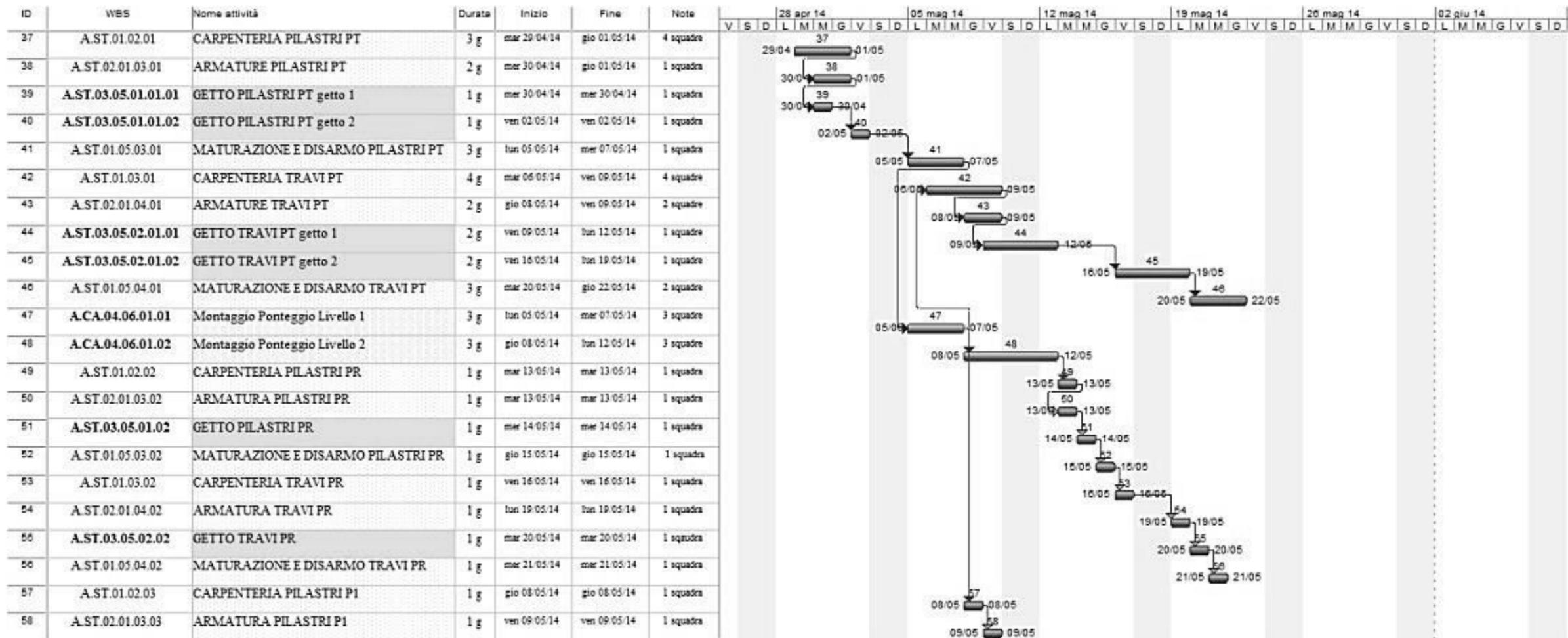
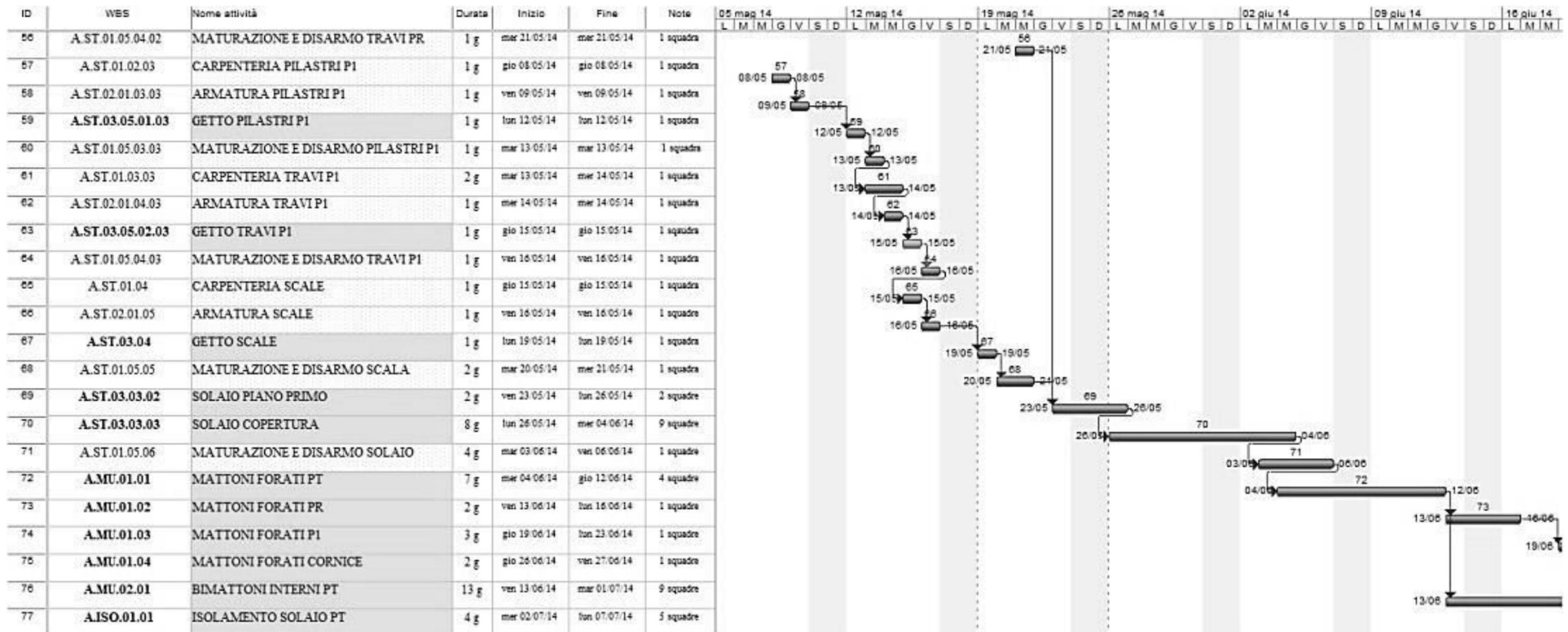


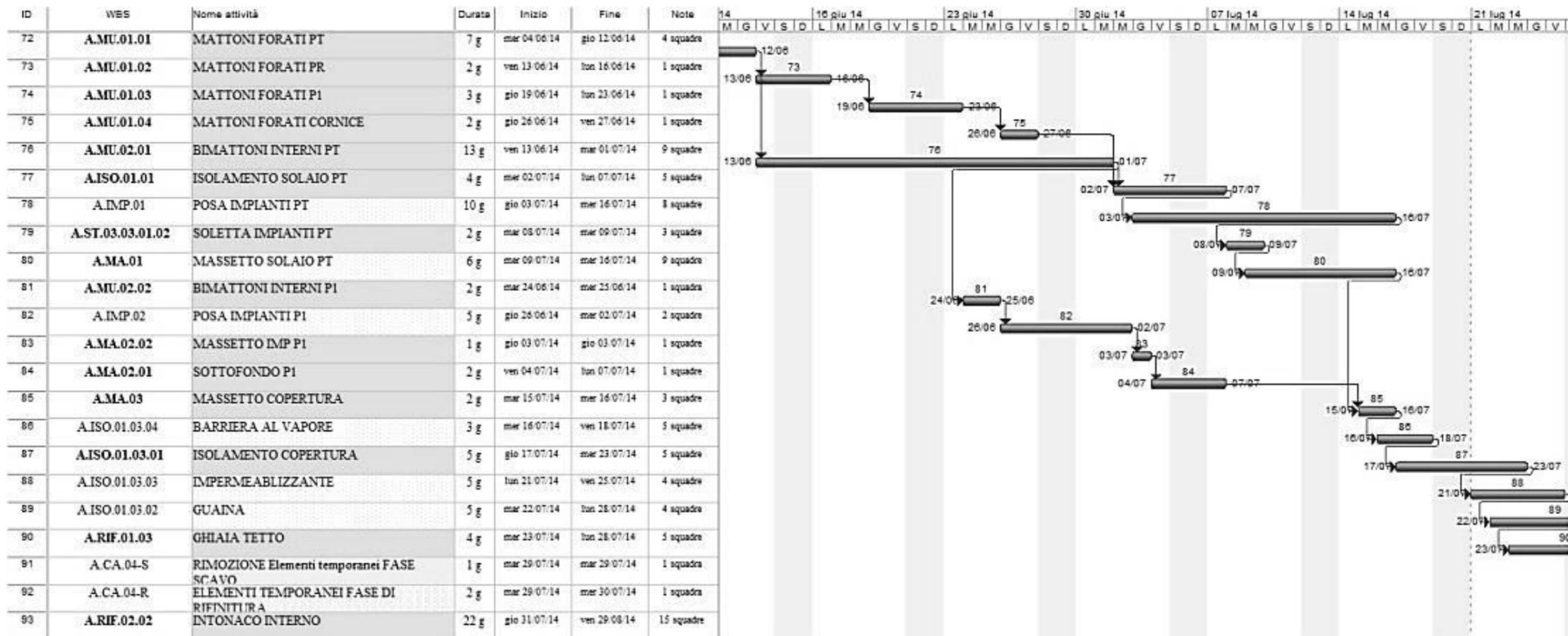
DIAGRAMMA DI GANTT

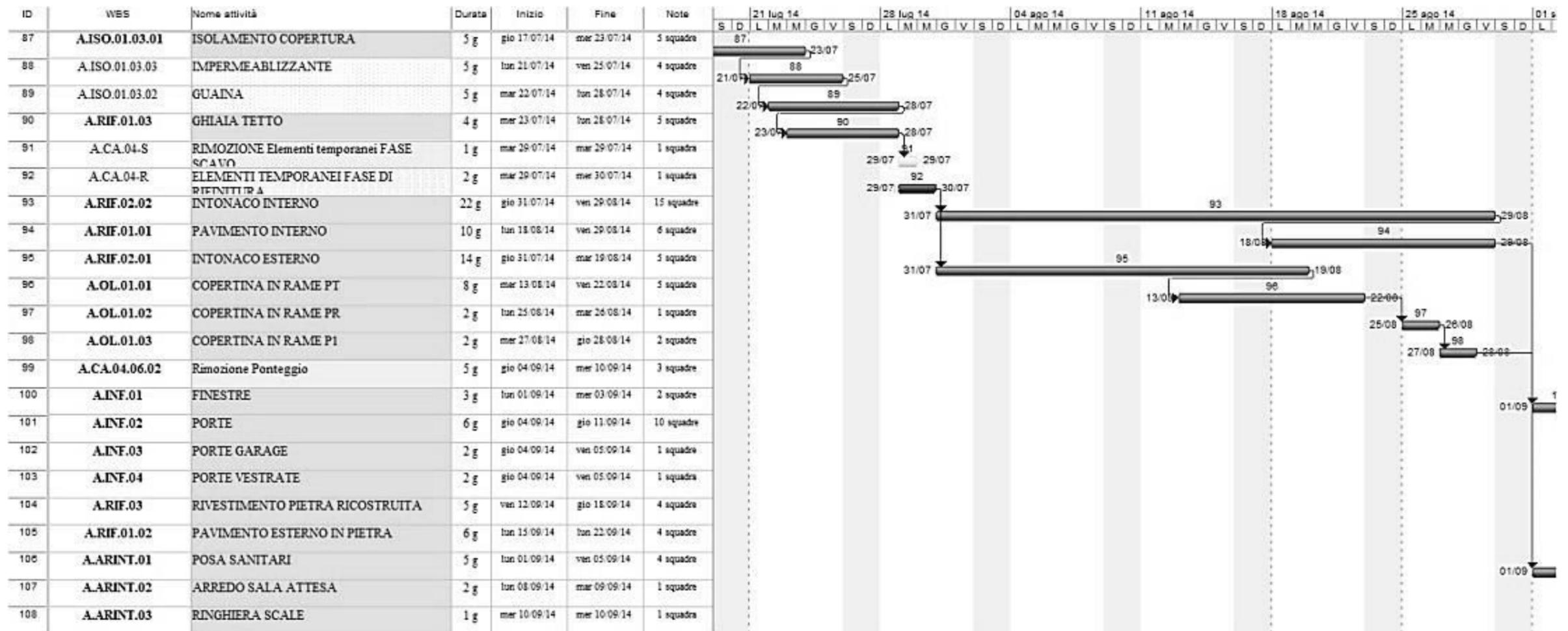


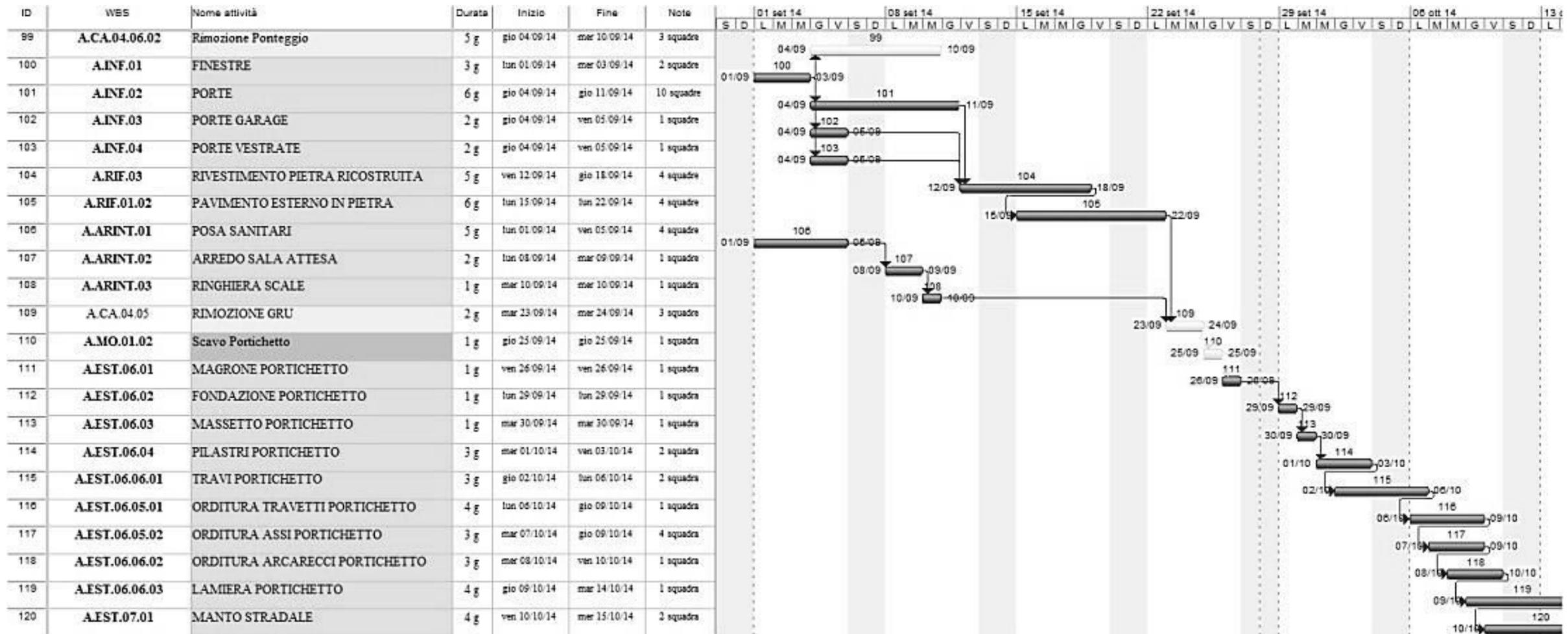


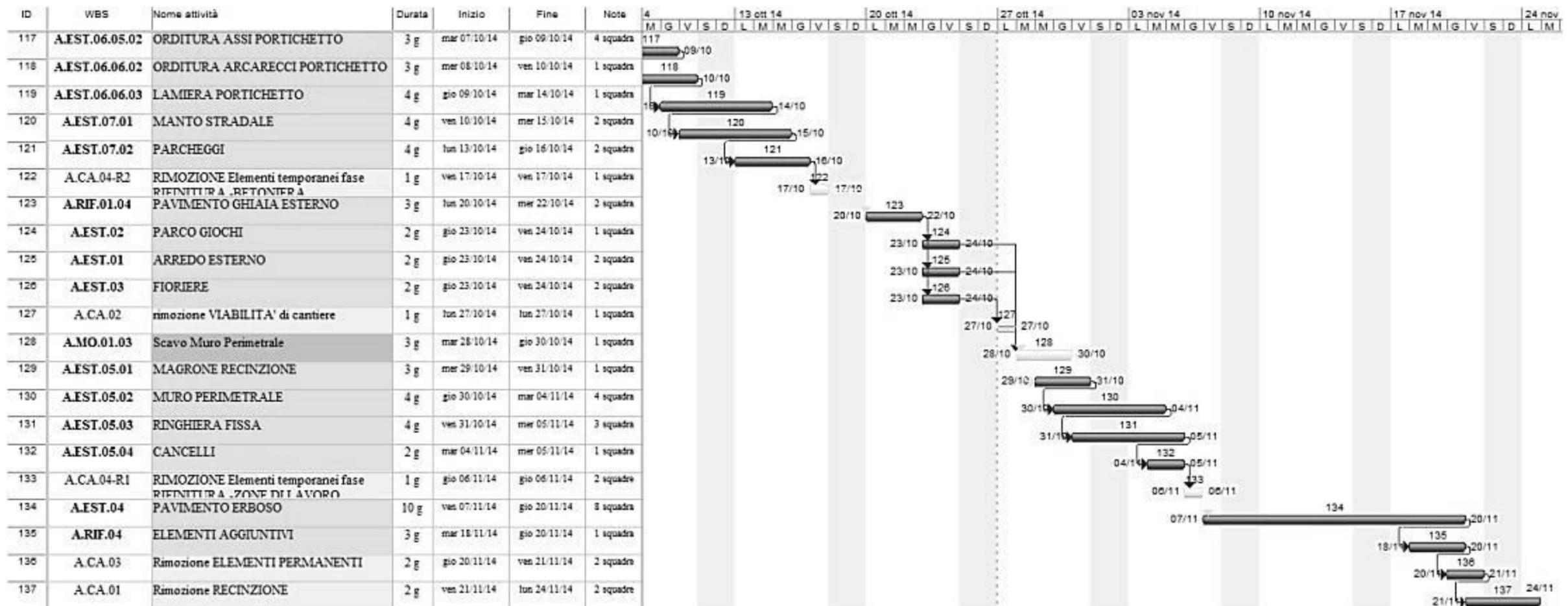












IL CASO DI STUDIO: il progetto di un Ospedale di primo soccorso situato nell'isola di Lampedusa.

Gli elaborati in scala riportati in questa tavola rappresentano la base sulla quale è stato svolto il lavoro di questa tesi. Partendo da questi disegni è stato possibile realizzare un modello BIM del progetto, con un adeguato livello di dettaglio. Dove necessario sono state effettuate modifiche e correzioni al progetto originale.

PROGETTO
CASO DI STUDIO

01

TAVOLA

PIANTA SCALA 1:500



Pianta Piano Terra

DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto si sviluppa su una griglia costituita da moduli quadrati di lati 7,8x7,8 m. I reparti principali presenti in questa struttura sono il Pronto Soccorso e la Maternità, entrambi dotati delle relative Degenze. Un'area dell'ospedale è poi destinata agli Ambulatori. Sono presenti quattro altri edifici oltre a quello principale: i tre più piccoli ospitano una cucina, una sala meditazione e la centrale termica. L'ultimo fabbricato, l'unico sviluppato su due piani, presenta al suo interno l'alloggio dei medici, la lavanderia e la mensa. Questi edifici sono collegati tra loro per mezzo di percorsi esterni coperti. Il verde è inoltre attrezzato con banchine e giochi per bambini.

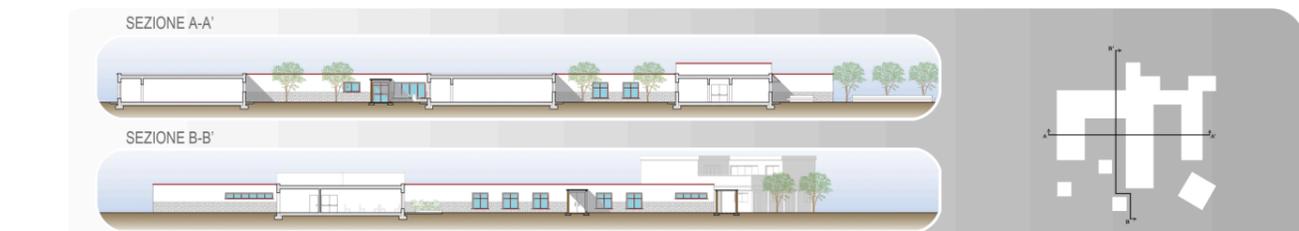


Pianta Piano Primo

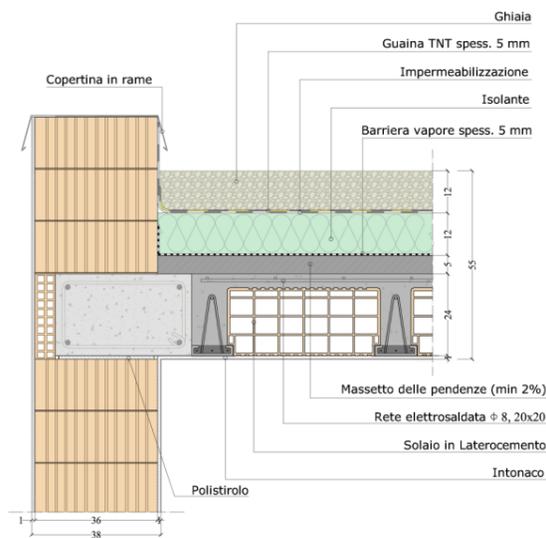
PROSPETTI SCALA 1:500



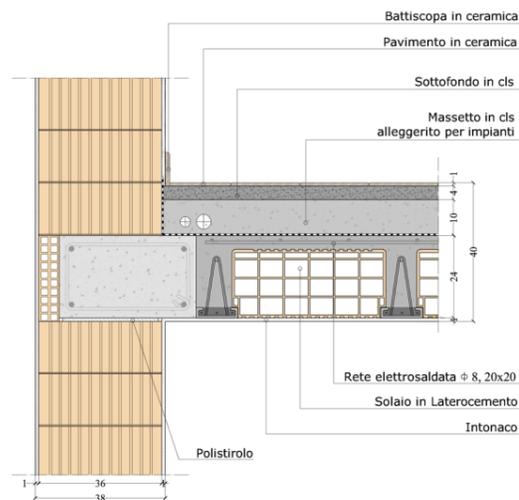
SEZIONI SCALA 1:500



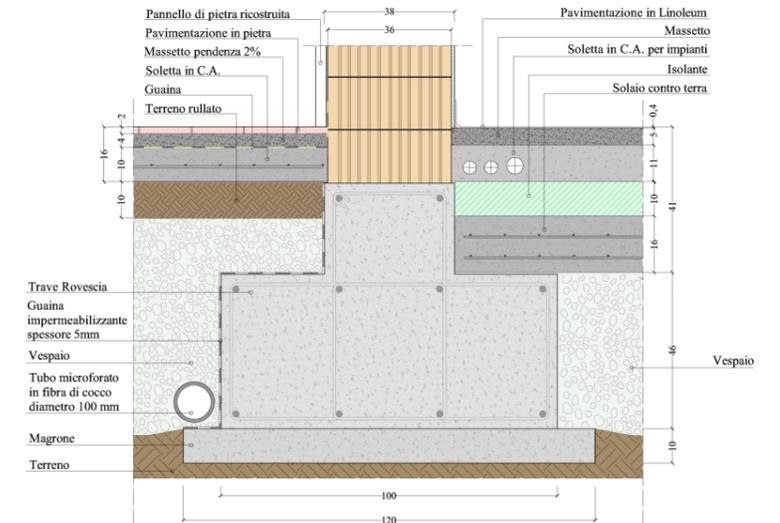
DETTAGLI SCALA 1:10



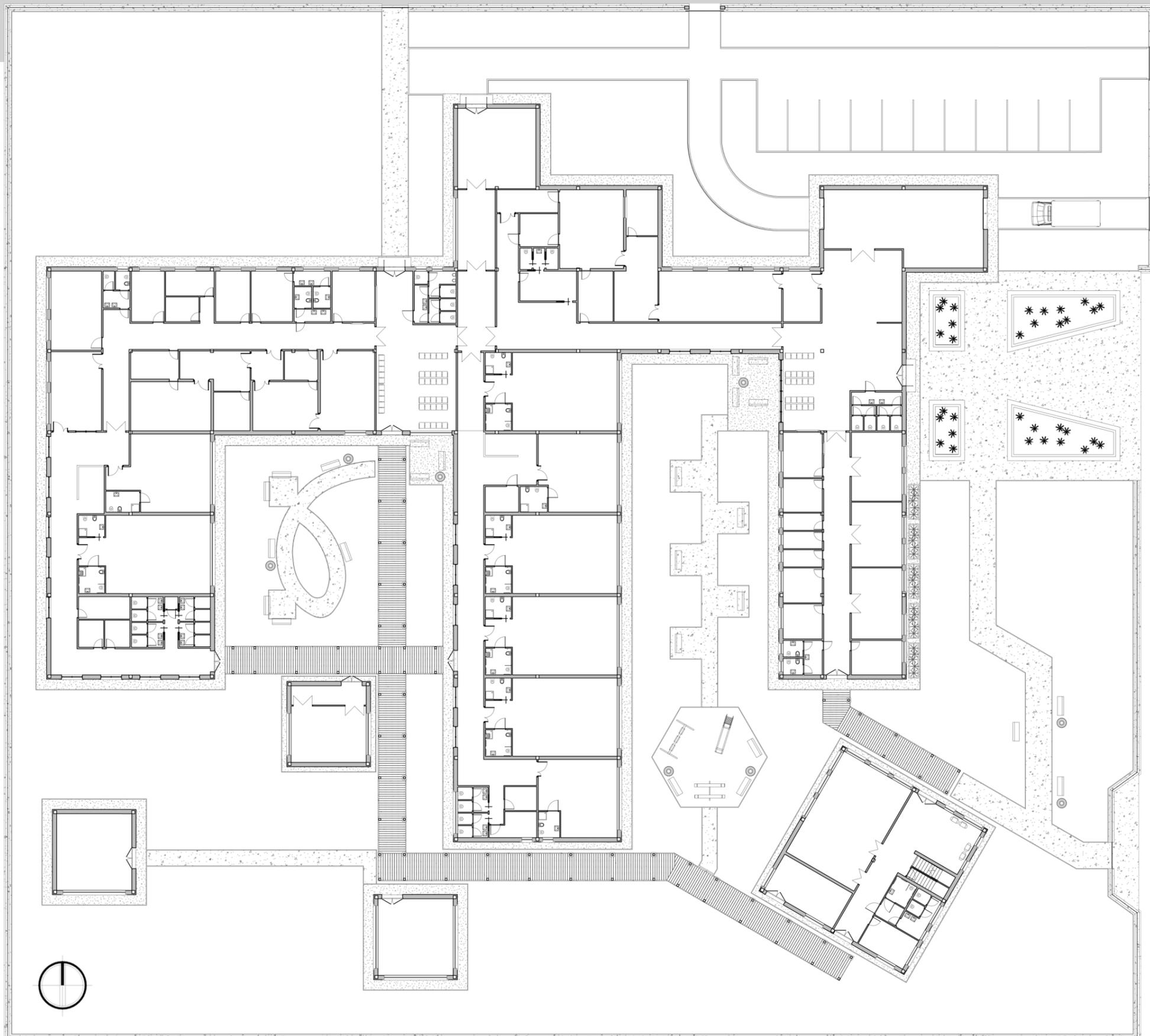
DETTAGLIO COPERTURA



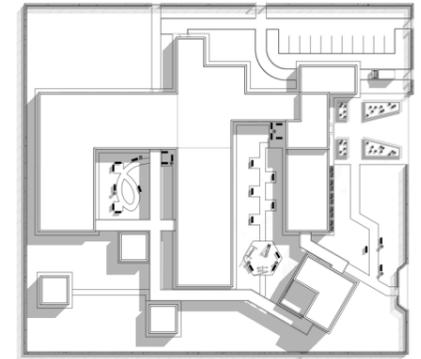
DETTAGLIO SOLAIO INTERPIANO



DETTAGLIO FONDAZIONE



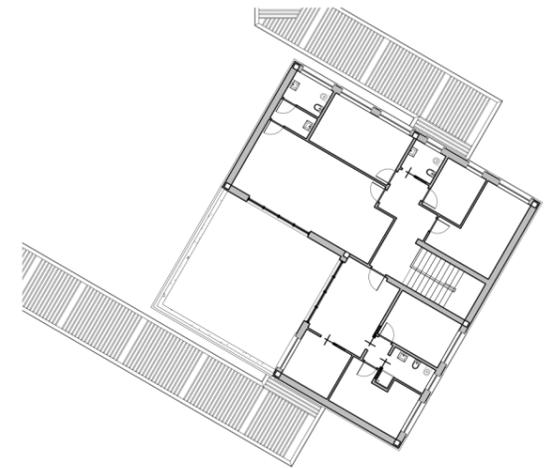
PLANIMETRIA SCALA 1:1000



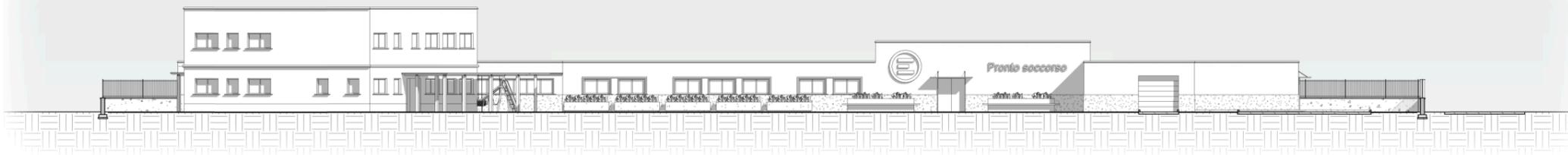
IL MODELLO BIM

Partendo dagli elaborati CAD 2D è stato realizzato un modello BIM dell'edificio con Revit 2015. Non si tratta di un semplice modello 3D, al suo interno il file possiede infatti diverse informazioni appartenenti allo specifico progetto. Gli elementi che lo compongono sono oggetti intelligenti distinti per famiglie, caratterizzati da parametri. L'informazione viene inserita durante la modellazione aumentando gradualmente il livello di dettaglio; successivamente potrà essere condivisa ed esportata su altri software.

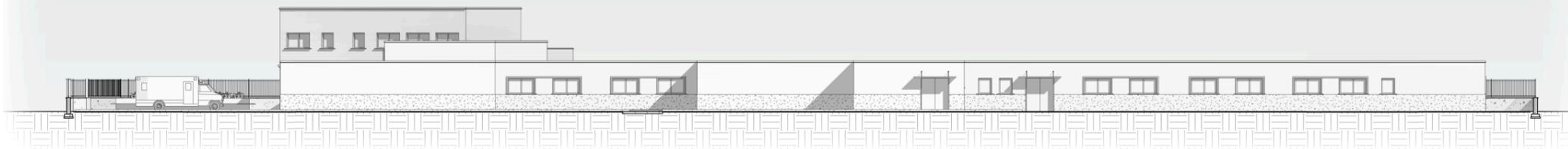
PIANTA PIANO TERRA SCALA 1:200



PIANTA PIANO TERRA SCALA 1:200



PROSPETTO EST SCALA 1:200



PROSPETTO NORD SCALA 1:200

SCHEMA DEGLI ACCESSI

INGRESSO
BLOCCO
DEI SERVIZI

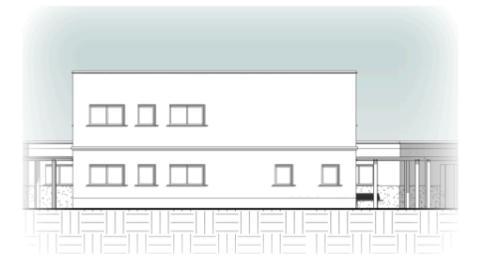
INGRESSO
REPARTO MATERNITÀ

INGRESSO PRINCIPALE
PRONTO SOCCORSO

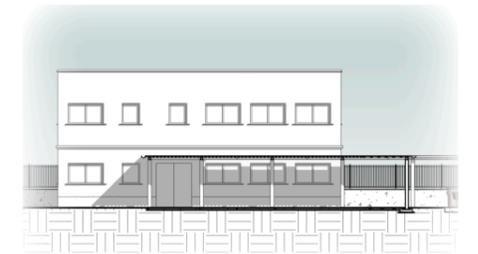
INGRESSO
AMBULANZE

PARCHEGGIO AUTO

VISTA FRONTE NORD - EST



PROSPETTO SUD - EST
SCALA 1:200

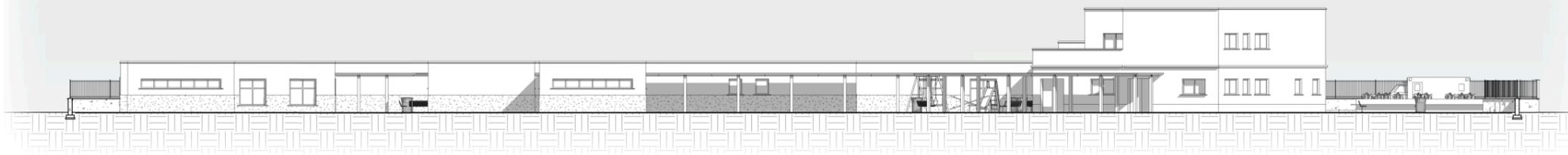


PROSPETTO NORD - EST
SCALA 1:200

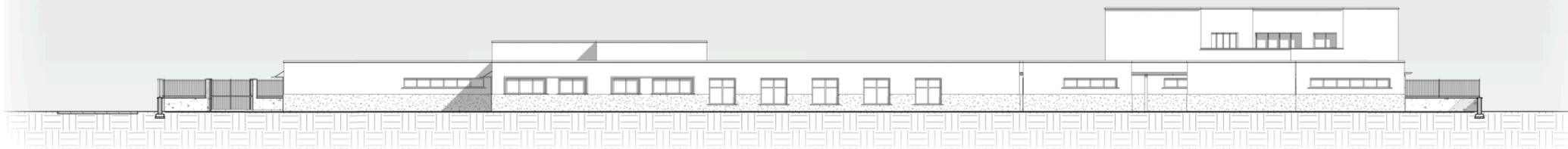
GLI ELABORATI GRAFICI

La creazione di un modello 3D di tipo BIM permette di estrapolare diversi tipi di informazioni. Tra questi ci sono gli elaborati grafici quali: prospetti, sezioni, piante e viste prospettiche. Uno dei vantaggi di questo strumento è che questi disegni vengono aggiornati automaticamente ogni volta che il modello subisce delle modifiche, evitando così che si creino errori o dimenticanze nelle diverse fasi di elaborazione del progetto.

Tutte queste viste possono essere impaginate, sempre rimanendo all'interno del file, inserendole in tavole preimpostate ed essere visualizzate automaticamente nella scala desiderata secondo un diverso livello di dettaglio. E' inoltre possibile esportare gli elaborati anche in altri formati come il .DWG per effettuare modifiche su altri software.

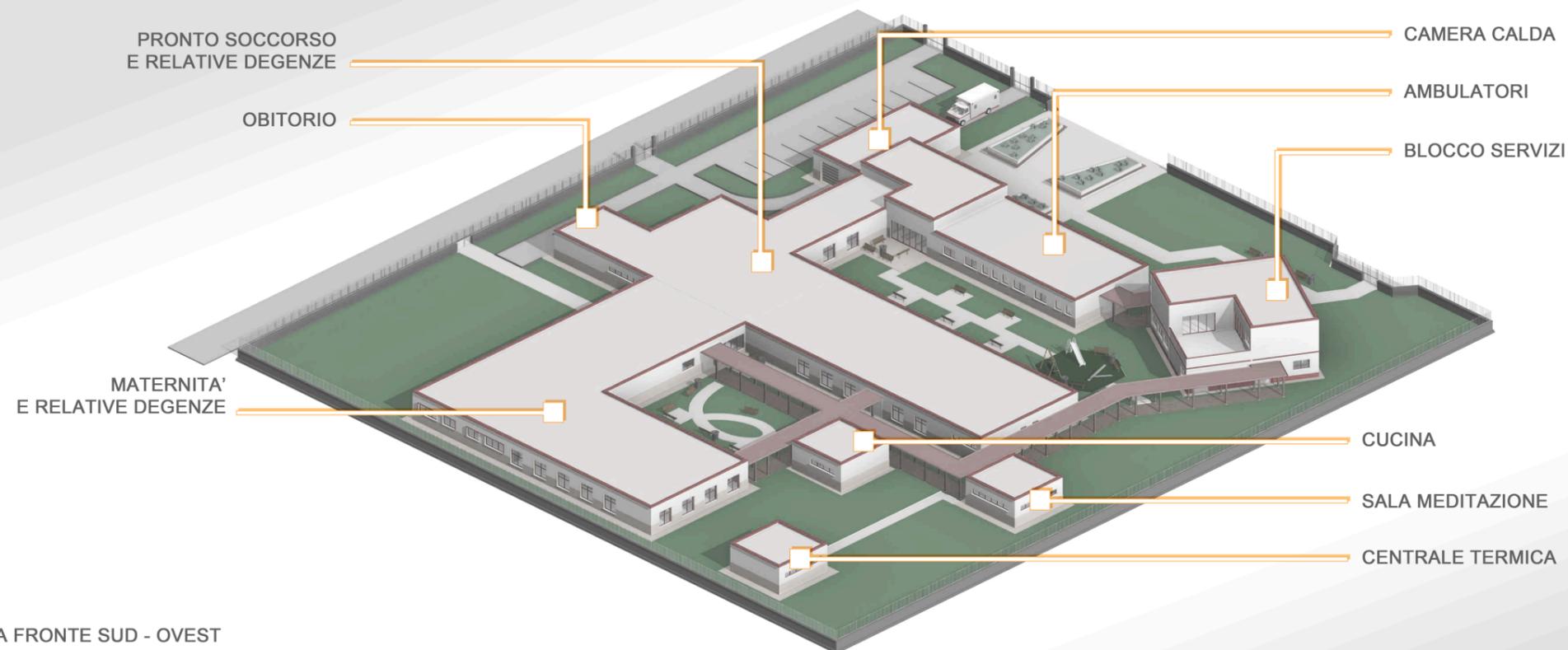


PROSPETTO SUD SCALA 1:200



PROSPETTO OVEST SCALA 1:200

INDIVIDUAZIONE AREE OSPEDALE



VISTA FRONTE SUD - OVEST



PROSPETTO NORD-OVEST
SCALA 1:200



PROSPETTO SUD - OVEST
SCALA 1:200

TUTTO IN UN UNICO FILE

All'interno del processo BIM diversi tecnici lavorano sul medesimo modello inserendo tutti gli elementi necessari per definire il progetto, relativamente alla loro specifica area di competenza. Nello stesso file è possibile inserire elementi relativi al progetto architettonico, strutturale ed impiantistico.

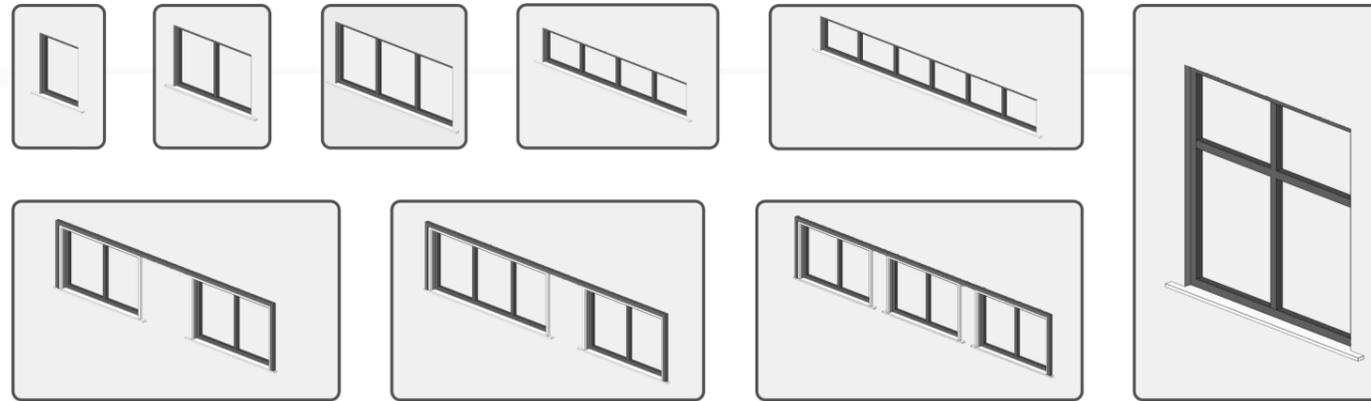
Questa modalità di condivisione delle informazioni permette uno scambio chiaro e immediato delle indicazioni tra i diversi soggetti; inoltre si evita la perdita di dati e vi è un maggiore controllo delle scelte progettuali potendo infatti individuare le eventuali interferenze e incongruenze.

Una visualizzazione tridimensionale di tutti gli elementi che compongono l'intero progetto può facilitare la successiva fase di fabbricazione, definendo in maniera chiara le caratteristiche di ogni oggetto.

*La strategia BIM a supporto del progetto della sicurezza nel cantiere edile:
il caso dell'ospedale di primo soccorso a Lampedusa.*

FAMIGLIE DI FINESTRE

Abaco delle finestre				
WBS	Descrizione	Altezza (m)	Larghezza (m)	Quantità
Finestra doppia con cornice				
A.INF.01	Finestre 2 ante e 3 ante d=1m	1.20	2.00 - 3.00	2
A.INF.01	Finestre 2 da 2 ante d=0.6m	1.20	2.00 - 2.00	2
A.INF.01	Finestre 2 da 2 ante d=1.4m	1.20	2.00 - 2.00	5
Finestra singola				
A.INF.01	Finestra 6 ante	0.74	6.00	5
A.INF.01	Finestra 4 ante	0.74	4.00	3
A.INF.01	Finestra 1 ante	1.20	1.00	19
A.INF.01	Finestra 3 ante	1.20	3.00	1
A.INF.01	Finestra 4 ante	2.00	4.00	1
A.INF.01	Finestra 6 ante	1.20	6.00	8
A.INF.01	Finestra 2 ante	1.20	2.00	26
A.INF.01	Finestra 2 ante quadrata	2.00	2.00	16
Finestra tripla con cornice				
A.INF.01	Finestre 3 da 2 ante, d=0.55m	1.20	2.00 - 2.00 - 2.00	1



MODELLO BIM
FAMIGLIE
ABACHI

05

TAVOLA

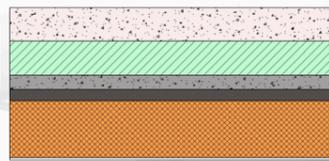
CREAZIONE FAMIGLIE E GESTIONE DELLE QUANTITA'

Per aumentare il livello di dettaglio del modello è possibile, attraverso l'editor delle famiglie di Revit, creare oggetti parametrici, che presentino le caratteristiche desiderate per lo specifico progetto. Gli elementi e i materiali che vengono inseriti nel file possono essere conteggiati all'interno di abachi e computi, aggiornabili ad ogni eventuale modifica del modello BIM.

VISTA FRONTE EST - INGRESSO PRINCIPALE

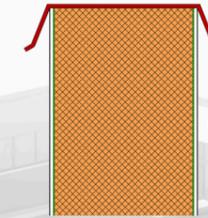


DETTAGLIO SOLAIO DI COPERTURA



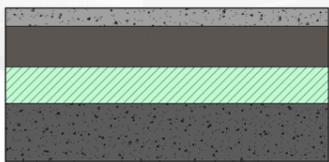
Funzione	Materiale	Spessore
1	Finitura 1 [4] Ghiala	0.1200
2	Strato membr Qualia Tit	0.0000
3	Strato membr Impermeabilizzante	0.0000
4	Strato Termico Isolamento	0.1200
5	Strato membr Barriera vapore	0.0000
6	Sostrato [2] MASSETTO SOLAIO COPERTURA	0.0500
7	Contorno del nu Strato sopra chiusura	0.0000
8	Struttura [1] Calcestruzzo	0.0400
9	Struttura [1] Laterizio	0.2000
1	Contorno del nu Strato sotto chiusura	0.0000
1	Finitura 2 [5] Intonaco - Bianco	0.0100

DETTAGLIO MURATURE ESTERNE



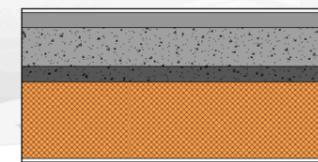
Funzione	Materiale	Spessore	Chiusure	Materiale strutt.
1	Finitura 1 [4] Intonaco - Bianco	0.0100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Contorno del nud Strato sopra chius	0.0000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Struttura [1] Laterizio	0.3600	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Contorno del nud Strato sotto chius	0.0000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Finitura 1 [4] Intonaco - Bianco	0.0100	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

DETTAGLIO SOLAIO CONTROTERRA



Funzione	Materiale	Spessore
1	Finitura 1 [4] Linoleum	0.0010
2	Sostrato [2] MASSETTO SOLAIO COPERTUR	0.0500
3	Sostrato [2] Calcestruzzo - Soletta per impia	0.1100
4	Sostrato [2] Isolamento	0.1000
5	Contorno del nu Strato sopra chiusura	0.0000
6	Struttura [1] Calcestruzzo - Solaio contro terr	0.1600
7	Contorno del nu Strato sotto chiusura	0.0000

DETTAGLIO SOLAIO INTERPIANO

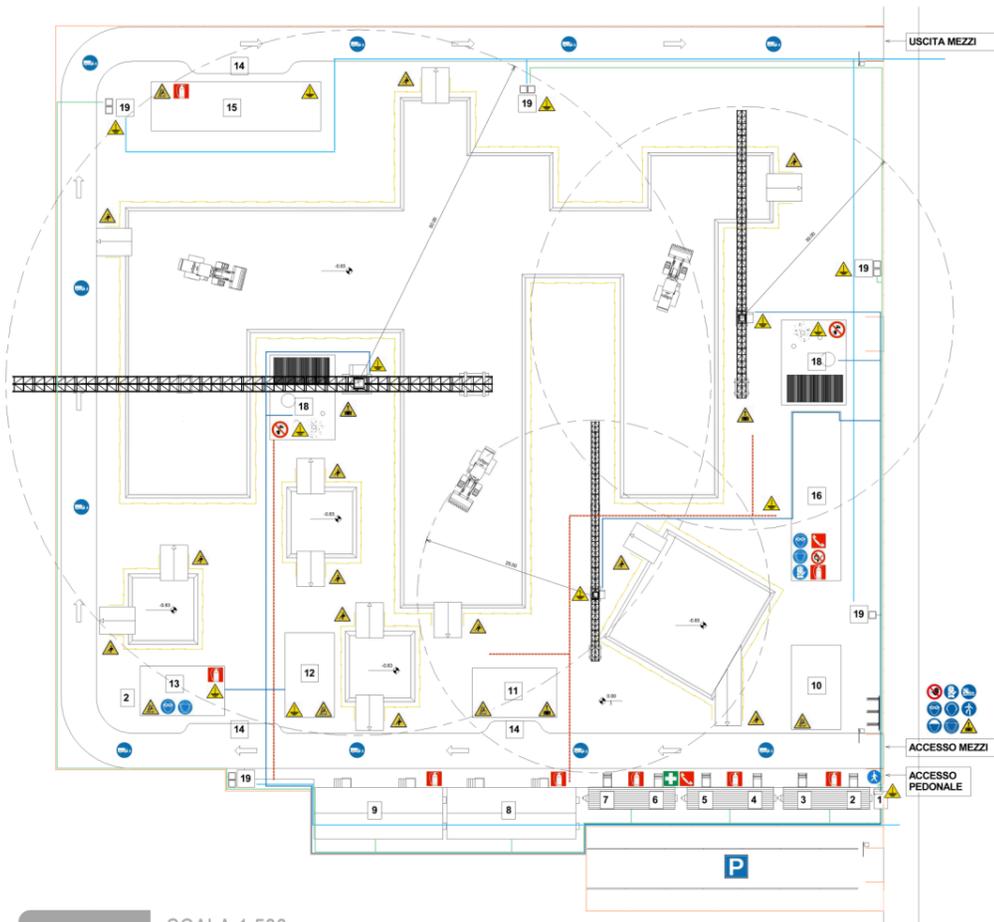


Funzione	Materiale	Spessore
2	Sostrato [2] Solaio, sottofondo	0.0400
3	Sostrato [2] Massetto per impianti	0.1000
4	Strato membrana Isolamento	0.0000
5	Contorno del nucleo Strato sopra chiusura	0.0000
6	Struttura [1] Calcestruzzo - Gettato in opera	0.0400
7	Struttura [1] Laterizio	0.2000
8	Contorno del nucleo Strato sotto chiusura	0.0000
9	Finitura 2 [5] Intonaco - Bianco	0.0100

IL MODELLO BIM DEL CANTIERE

La modellazione del cantiere secondo le logiche BIM permette di creare un legame maggiore tra gli oggetti virtuali e quelli reali. Le scelte progettuali possono essere supportate da una visualizzazione che va oltre i tradizionali disegni 2D. Attraverso l'impiego di oggetti tridimensionali è inoltre possibile valutare, tramite l'ingombro reale dei mezzi, l'effettiva fattibilità del loro impiego.

PIANTA FASE DI SCAVO



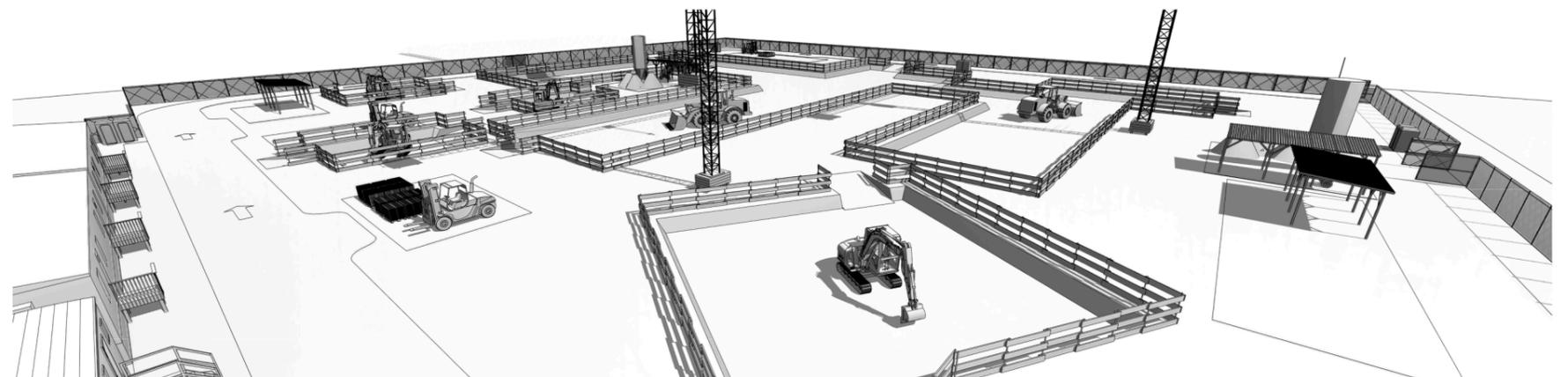
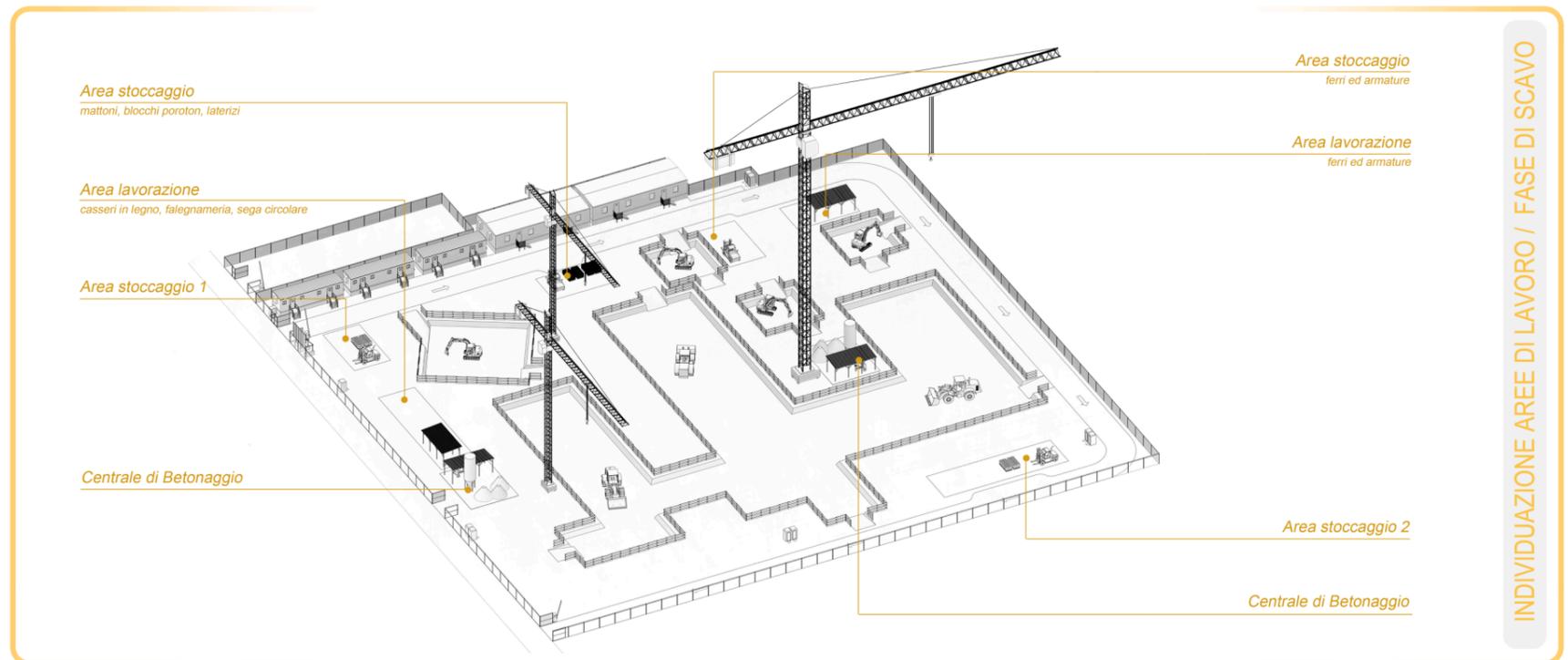
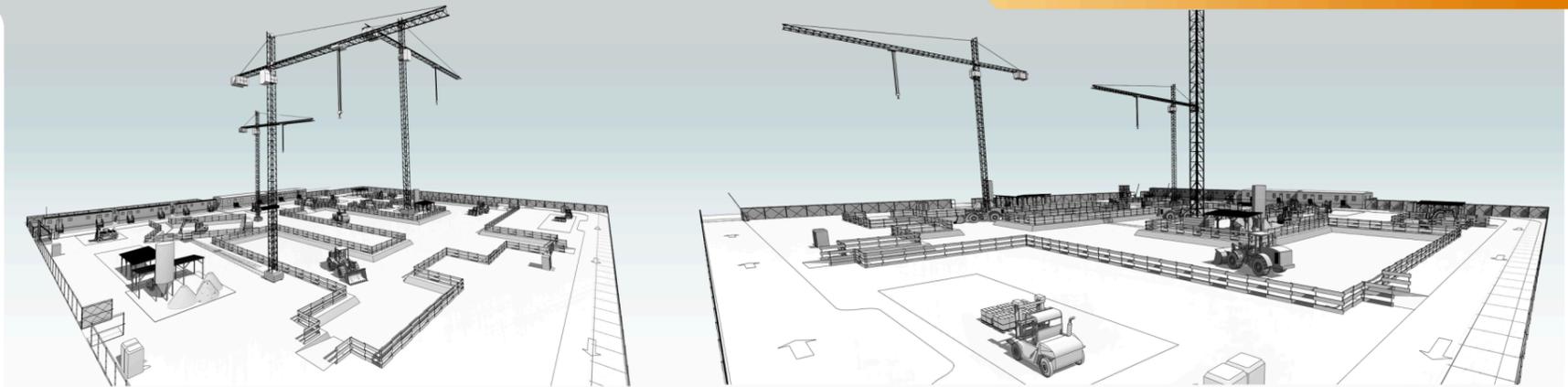
SCALA 1:500

LEGENDA

- Distribuzione corrente 220v
- Distribuzione corrente 380v
- Distribuzione acqua (allacciato ad acquedotto locale)
- Recinzione cantiere
- Elementi di protezione dello scavo
- Percorso preferenziale di accesso ai lavori

1. Quadro elettrico;
2. Ufficio ricevimento merci, controllo bolle di consegna, fatture;
3. Custode/Portineria;
4. Capo cantiere, direzione cantiere, ufficio tecnico;
5. Ufficio direzione lavori;
6. Servizi/Pronto soccorso;
7. Magazzino attrezzi e pezzi di ricambio
8. Spogliatoi operai;
9. Refettorio;
10. Area stoccaggio 1;
11. Area stoccaggio mattoni, blocchi poroton, laterizi, materiali vari;
12. Area stoccaggio ferri ed armature;
13. Area lavorazione ferri ed armature;
14. Area di sosta per scarico merci;
15. Area stoccaggio 2;
16. Area lavorazione casseri in legno, falegnameria, sega circolare;
17. Parcheggio per il personale;
18. Impianto centrale di betonaggio;
19. Servizi igienici a dispersione;

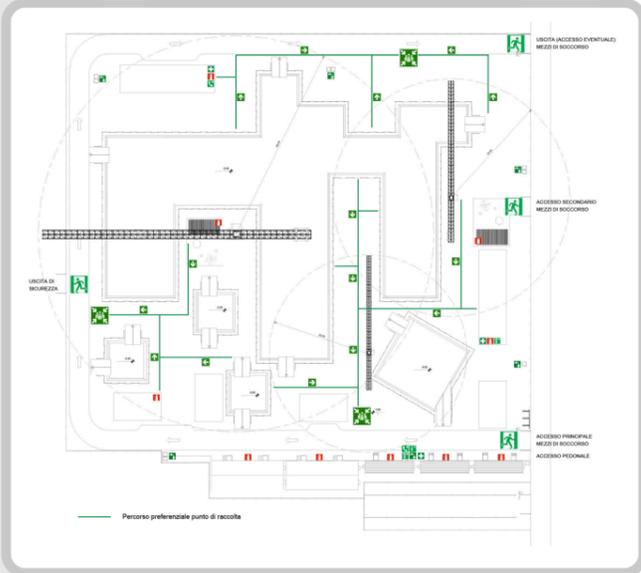
Rampa di accesso allo scavo (Lunghezza 500 cm, Larghezza 70+250+70 cm, Pendenza 20%)



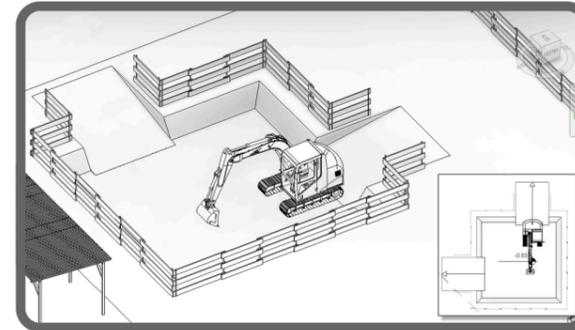
ABACCHI DEGLI ELEMENTI DI ATTUAZIONE

Abaco degli arredi	Tipo	Conteggio
Baraccatura di cantiere	Baraccatura 3m x 12m	3
	Baraccatura 7m x 18m	2
		5
Cartellone di cantiere	cartellone cantiere	1
		1
Centrale di betonaggio	Centrale di betonaggio	2
		2
Elemento modulare di protezione scavo	Protezione scavo	377
		377
Elemento modulare recinzione di cantiere	h 2.3m L 3m	169
		169
Elemento modulare recinzione di cantiere apribile	Passaggio mezzi	8
	Passaggio pedonale	3
		11
Gru a torre	R 50m	1
	R 25m	1
	R 30m	1
		3
Protezione zone fisse di lavoro	4m x 8m	2
		2
Quadro elettrico	Quadro elettrico di cantiere	1
		1
Sbarra di ingresso mobile	Singola	3
		3
Servizio igienico	WC chimico	9
		9

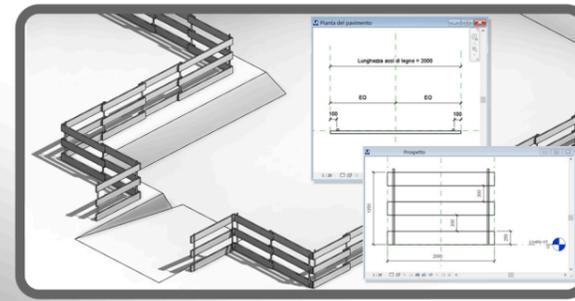
ELABORATI GRAFICI 2D



INGOMBRO EFFETTIVO MEZZI

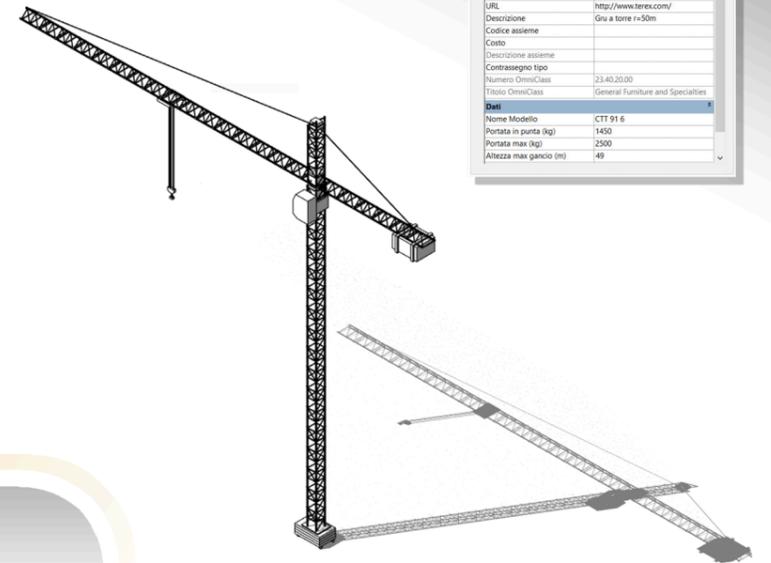


CREAZIONE FAMIGLIE



RELAZIONE TRA OGGETTI VIRTUALI E OGGETTI REALI

L'informazione che viene associata all'elemento digitale contribuisce a renderlo più aderente al suo duale reale.



Proprietà del tipo	
Famiglia:	c_gru 01
Nome:	R 50m
Parametri tipo	
Parametro	Valore
Dimensioni	
Lunghezza braccio (m)	50
Altezza minima (m)	116
Base di appoggio (m)	3.8x3.8
Dati Identità	
Immagine tipo	
Nota chiave	
Modello	CTT 91 6
Produttore	TEREX
Commenti sul tipo	
URL	http://www.terex.com/
Descrizione	Gru a torre r=50m
Codice assieme	
Costo	
Descrizione assieme	
Contrassegno tipo	
Numero OmniClass	23.40.20.00
Titolo OmniClass	General Furniture and Specialties
Dati	
Nome Modello	CTT 91 6
Portata in punta (kg)	1450
Portata max (kg)	2500
Altezza max gancio (m)	49

GEOLOCALIZZAZIONE



ESTRAPOLAZIONE DI DIVERSI TIPI DI DATI DAL MODELLO BIM RELATIVI AL PROGETTO

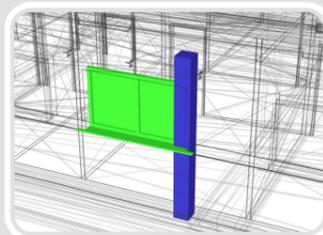
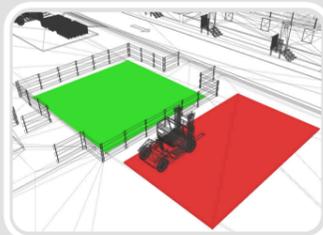


ANALISI E VERIFICHE ALL'INTERNO DEL PROCESSO BIM



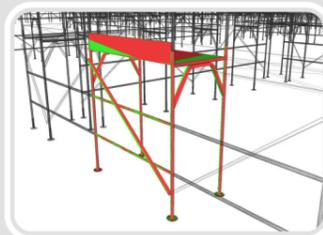
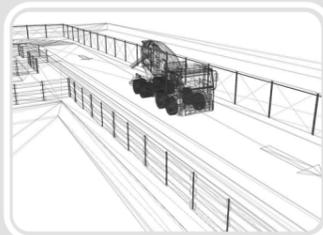
CLASH DETECTION

Analisi per il rilevamento delle interferenze



APPLICAZIONE:

- identificazione di eventuali errori nel modello
- rispetto indicazioni per garantire la sicurezza in cantiere
- individuazione di oggetti duplicati



MODELLO DINAMICO DEL CANTIERE

La visualizzazione tridimensionale del cantiere sulla base di un programma lavori permette un maggior grado di verifica delle scelte di progetto.



COMUNICAZIONE FORMAZIONE ED INFORMAZIONE



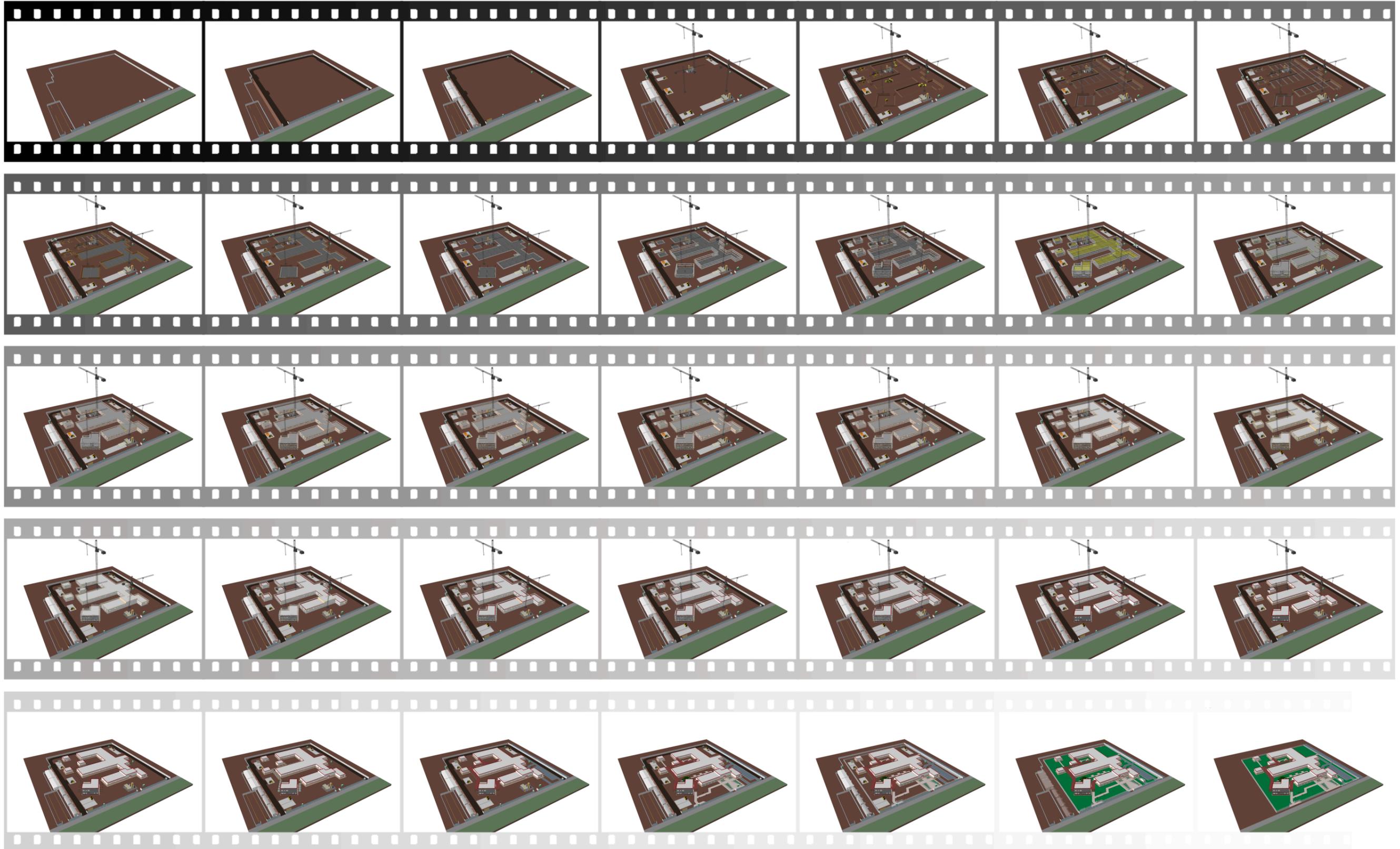
L'obiettivo è anche quello di rendere la trasmissione delle informazioni e la comunicazione più attive, al fine di garantire l'acquisizione dei contenuti del PSC da parte dei lavoratori.



Attraverso gli strumenti BIM è possibile ricavare diversi tipi di elaborati grafici, utili per descrivere le diverse scelte di progetto e le modalità di esecuzione dei lavori.

UN MODELLO DINAMICO DEL CANTIERE

Per mezzo di software come Navisworks è possibile creare un legame tra un programma lavori e il modello Bim dell'opera: in questo modo si può costruire un modello multidimensionale capace di offrire diversi benefici riguardo la fase di realizzazione dell'opera; questo oggetto si adatta alla dinamicità dell'evoluzione del cantiere e garantisce un continuo apporto per la gestione dello stesso, adattandosi anche a situazioni difficili da prevedere.



RINGRAZIAMENTI

Desidero innanzitutto ringraziare il *Professor Bragadin* per avermi dedicato il suo tempo, seguendomi con interesse durante questi mesi.

Ringrazio il *Professor Ciribini* per la sua disponibilità e le sue preziose indicazioni riguardo i temi da me trattati; un grazie anche alle sue assistenti, *S. Mastrolembo* e *M. Paneroni*, le quali mi hanno offerto suggerimenti ed aiuto in merito all'uso dei software.

Ringrazio l'*Ing. Venturi* per il contributo che ha fornito al mio lavoro e per la fiducia e gli insegnamenti che continua a darmi ogni giorno.

Un ringraziamento speciale va inoltre all'*Ing. Garagnani* il quale mi ha accompagnato lungo tutto il percorso della tesi, sostenendomi sia nei momenti bui, che nel raggiungimento dei piccoli traguardi. Grazie Simone per il tuo tempo ed i tuoi consigli.

Il grazie più grande va alla mia *famiglia*, senza la quale non avrei potuto conseguire i miei obiettivi:

mia madre, con la quale da piccola non sono mai andata d'accordo, e che oggi considero una delle mie migliori amiche; grazie per non aver insistito sul sistemare la camera mentre ero sotto esame e per i cocktail che mi preparavi quando lavoravo al pc;

mio padre, che anche quando mi dice di no, poi cerca sempre di soddisfare le mie richieste; grazie per tutto quello che hai fatto, soprattutto per tutti i posti in cui mi hai accompagnato per ragioni inerenti all'università, da Vedrana a Brescia;

mia sorella, con cui ho un rapporto che non si misura in abbracci; grazie per il tempo che trovi per me, specialmente per le nostre cose, che nessun altro può capire.

Grazie anche a tutti gli altri parenti, la mia numerosa famiglia: ringrazio chi è potuto venire alla mia laurea, ma anche chi è dovuto rimanere a casa e ciò nonostante ha sempre fatto il tifo per me. In particolare sento di voler ringraziare due persone: *Adriano*, con il quale ho legato poco prima di cominciare gli studi universitari, e che ho comunque sentito accanto a me ogni volta che sostenevo un esame; e *Mariella*, che mi è sempre stata vicina, mi ha incoraggiato ed ha creduto costantemente in me.

Ringrazio *Matteo* che in un modo tutto suo mi ha sostenuto nella parte più difficile dei miei studi. Grazie del tempo passato insieme lontano dai libri; se sono riuscita a terminare ciò che avevo iniziato è anche grazie a te.

Ringrazio i miei amici, quelli con cui ho un legame da una vita e quelli che ho incrociato lungo la mia strada:

Fippo, che nonostante si trovi spesso a far dei danni, rompendo cose o ferendosi, riesce sempre a riderci su; dopo più di 10 anni tu ci sei ancora, sempre e comunque, grazie, perché so che sopportarmi non è cosa da poco.

Meri, la mia kuruamica, ho davvero così tante cose per cui ringraziarti, che dovrei dedicarti un'intera pagina; sei una persona speciale e apprezzo tutto quello che fai, i problemi che ti crei, le parole che ti inventi; grazie per sopportare la mia dedizione nell'interromperti mentre parli, anche quando sto dormendo. TvR_{ck}

LaGiu, che cerca di trascinarci in folli avventure o eccitanti pazzie, ma dove sei finita? ..perché non rispondi al telefono? Penso che tu sia davvero una persona unica, che apre il suo cuore a poche persone: mi sento di ringraziarti per far parte di queste.

Orla, ma anche *Laura* e un po' pure *Irene*, grazie di essere un altro punto fermo in un mondo in continuo movimento; sei sempre stato una persona su cui io potessi contare, un amico vero, disponibile e paziente; grazie di tutto quello che fai per me e per gli altri.

Valensia, per me è come una sorella; un legame bellissimo che porto sempre nel cuore.

Margherita e *Giulia*, tra conigli e bulloni, grazie a voi due, quella che poteva essere una delle esperienze più traumatiche dell'università si è trasformata in un'avventura coinvolgente a lieto fine, dalla quale è nata una bella amicizia.

Enri, quante cose avrei da dire: nel bene o nel male ho certamente imparato tanto. Molto di ciò che sono oggi lo devo a te: una personalità tanto complessa che ho conosciuto molto a fondo, che mi ha permesso di capire parecchio anche su di me.

Gli Imolesi, PINO, FONT e TETO; con in quali ho avuto il piacere di intraprendere diversi esami di gruppo, grazie ai quali ho potuto imparare qualcosa da ognuno di loro, e trovare nuove amicizie. *Pino* in particolare mi ha permesso di riflettere su molte cose.

Per finire volevo ringraziare tutti gli altri compagni di avventura che ho incrociato più volte in questo viaggio: *Sara*, *Davide*, *Elia*, *Andreone*, *Tabè*, *Lufra*, *Alice*, *Tas*, *Rita*, *Rachele*, *Lory*, *Sonia*, *Serena*, ed i *5core*; gli amici di vecchia data *Angela*, i *Gemelli* e *Gianluca*; e gli altri due inquilini di via Venezia, *Sandro* e *Penny*.

Per ultima, ma non di importanza, un grazie a *me* che non ho mollato, che sono arrivata fin qui e sono pronta per andare ancora più in alto. Questa è certamente stata un'esperienza unica, che mi ha permesso di crescere ed imparare. Grazie di cuore a tutti coloro che l'anno resa tale.
