



# **POLITECNICO DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria  
Strutturale, Edile e Geotecnica

**Corso di Laurea Magistrale  
in Ingegneria dei Sistemi Edilizi**

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi del rischio e gestione delle interferenze attraverso  
SYNCHRO BIM Software: applicazione ad un cantiere complesso**

**Relatore:**

Prof. Ing. Alberto Lauria

**Correlatore:**

Prof. Ing. Valentina Villa

**Candidato:**

Bruno Antonio Clori

ANNO ACCADEMICO 2017-2018  
29 Novembre 2018



## INDICE

ABSTRACT .....	4
CAPITOLO 1: L'APPROCCIO METODOLOGICO.....	5
1.1 L'avvento del BIM e il Project Management.....	5
1.2 Casi reali presi in esame: l'utilizzo del BIM nelle grandi opere ingegneristiche .....	11
1.2.1 La sede Apple "Campus 2" a Cupertino, California.....	11
1.3 Metodologia operativa .....	19
CAPITOLO 2: IL CASO DI STUDIO.....	22
2.1 MondoJuve Shopping Center: il progetto generale.....	22
2.2 Descrizione del cantiere "Retail Park" MondoJuve: comparti "C" ed "E" .....	24
2.3 Schedulazione del progetto con tecnica WBS .....	31
2.3.1 WBS secondo UNI 8290-1981 .....	32
2.4 Schede Ergotecniche.....	42
2.4.1 SCHEDA ERGOTECNICA: Plinti di fondazione gettati in opera .....	43
2.4.2 SCHEDA ERGOTECNICA: Pilastri prefabbricati in c.a.v. ....	47
2.4.3 SCHEDA ERGOTECNICA: Travi prefabbricate in c.a.v./c.a.p.....	53
2.4.4 SCHEDA ERGOTECNICA: Tegoli di copertura in c.a.p (di tipo binervato).....	57
2.4.5 SCHEDA ERGOTECNICA: Pannelli orizzontali esterni (SANDWICH a Taglio Termico) .....	62
2.5 L'analisi delle tempistiche: durata delle attività.....	67
2.5.1 Gli input di calcolo.....	67
2.5.2 Il Piano Operativo.....	70
2.6 Cronoprogramma.....	73
CAPITOLO 3: MODELLAZIONE BIM .....	74
3.1 Modellazione 3D tramite Autodesk Revit.....	74
3.1.1 Famiglie e parametri in Revit, concetti di tipo e istanza.....	75
3.2 Fasi di costruzione del modello: comparti C ed E MondoJuve .....	77
3.2.1 Contestualizzazione del modello .....	85
3.3 Parametri condivisi IFC e inserimento codici WBS.....	87
CAPITOLO 4: SYNCHRO BIM SOFTWARE.....	89
4.1 La programmazione BIM 4D .....	89
4.2 Applicazione di Synchro BIM software al caso di studio.....	90

4.3 Analisi dei rischio .....	96
4.3.1 Modalità standard.....	96
4.3.2 Valutazione mediante Synchro .....	99
4.4 Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di Synchro BIM Software .....	100
CAPITOLO 5: CONCLUSIONI .....	103
6. BIBLIOGRAFIA .....	106
6.1 Articoli.....	107
6.2 Sitografia .....	108
7. ALLEGATI.....	109



## ABSTRACT

Lo studio svolto per la presente Tesi riguarda l'utilizzo del BIM nel mondo della progettazione, pianificazione e realizzazione di grandi opere edili.

In particolare il tema affrontato si incentra sulla "*progettazione della sicurezza in cantiere*", ovvero un'implementazione dei tradizionali metodi di pianificazione e gestione degli interventi relativi alla sicurezza sui luoghi di lavoro con l'intento di minimizzare i rischi attraverso l'utilizzo di una piattaforma 4D quale SYNCHRO BIM Software.

Le principali problematiche relative alle usuali modalità di approccio alla pianificazione e alla meta-progettazione del cantiere consistono nella mancanza di un quadro generale attraverso il quale avere sotto controllo ogni aspetto relativo alla tempistiche, costi e risorse in gioco e alla sicurezza stessa, ottenendo sempre più spesso come risultato analisi e misure di tutela molto generali e mai troppo specifiche per il cantiere in esame.

Per affrontare tale problema si è seguita una metodologia ben precisa, applicata ad un caso reale preso in esame: il cantiere del secondo lotto del progetto commerciale *MondoJuve Shopping Center* presso Vinivo (TO).

Partendo da tecniche di pianificazione adeguate che hanno previsto la *schedulazione* del progetto in sequenze di lavoro e la suddivisione in attività elementari attraverso la creazione di una *Work Breakdown Structure*, è stata condotta un'analisi delle tempistiche con la creazione di un piano operativo e delle schede ergotecniche della struttura da realizzare. La codifica della *WBS* è servita come informazione di *dialogo* tra il cronoprogramma ed il modello tridimensionale dell'intero cantiere (creato con l'utilizzo del software *Revit*) realizzati successivamente.

Importando il modello tridimensionale ed il cronoprogramma così realizzati sul programma 4D Synchro si è ottenuto come risultato una *simulazione virtuale del cantiere*, attraverso la quale è stato possibile, in un'unica interfaccia visiva, analizzare in tempo reale ciò che accade in cantiere e valutare l'effetto degli interventi pianificati relativi alla sicurezza istantaneamente ed in maniera preventiva alla realizzazione.

## CAPITOLO 1: L'APPROCCIO METODOLOGICO

### 1.1 L'avvento del BIM e il Project Management

Prima di inoltrarsi in un qualsiasi progetto, come in generale in ogni problema che ci si presenti dinanzi, e cominciare ad affrontare l'arduo ed incombente compito di analizzarlo in tutte le sue sfaccettature per escogitare la miglior soluzione ed il più opportuno approccio da utilizzare, diverso per ogni caso, ci si deve porre il problema di avere un'idonea metodologia di lavoro.

L'uso di un corretto approccio metodologico può nella maggioranza dei casi evitare tutta una serie di problematiche future e in corso d'opera, e portare ad un risultato ottimale in termini qualitativi, e riguardo a tempi e costi di produzione.

Nel campo delle opere edili e civili, non è scontato che un buon progetto possa portare ad un ottimo risultato finale, ed è probabile che questo possa scontrarsi, in corso di realizzazione e soprattutto nelle fasi cantieristiche, con problematiche di tipo organizzativo dovute ad una non corretta o addirittura assente analisi preventiva e organizzazione interattiva dei dati, delle risorse e delle tempistiche in gioco.

Partendo dalla definizione più generale di processo edilizio secondo norma UNI 7867 - 1979 (sostituita dalla UNI 10838 - 31 ottobre 1999 ancora in vigore) quale *"sequenza organizzata di fasi operative che portano dal rilevamento di esigenze al loro soddisfacimento in termini di produzione edilizia"*, possiamo notare come questo sia appunto una *sequenza* di fasi che vanno dall'affidamento di un'opera da parte di un Committente fino alla sua consegna finale e futura gestione e manutenzione dell'opera stessa, passando da diverse fasi quali quella decisionale, la programmazione degli interventi, la mera fase progettuale nelle sue diverse scale di definizione, la fase di esecuzione dei lavori e il collaudo dell'opera per la sua consegna.

Nel mondo della progettazione e pianificazione edilizia, sempre più aziende del settore stanno portando avanti un lento e graduale cambiamento,

partendo dal loro stesso organico e dalle modalità di approccio al progetto, per essere al passo con i tempi e con l'avvento del cosiddetto *Building Information Modeling* o BIM la cui definizione è data come un *“metodo per l'ottimizzazione della pianificazione, realizzazione e gestione di costruzioni tramite aiuto di un software, tramite il quale tutti i dati rilevanti di una costruzione possono essere raccolti, combinati e collegati digitalmente. La costruzione virtuale è visualizzabile come un modello geometrico tridimensionale”*.

Il Building Information Modeling ha avuto un'ingente successo nel settore edile sia per la progettazione che la costruzione (architettonica, ingegneristica, impiantistica) come anche nel facility management. In Italia si sta registrando un cambiamento epocale nel settore delle costruzioni dovuto alle grandi capacità e potenzialità di questo *“contenitore di informazioni”*, e tale dato è rilevabile soprattutto dal nuovo Codice degli appalti, poi Codice dei contratti, insieme al decreto attuativo sul BIM del dicembre 2017 pubblicato a gennaio del corrente anno sul sito del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti come *Decreto Ministeriale n.560 dell'1-12-2017*. Questo importante Decreto Ministeriale introduce dal 1° gennaio 2019 *“l'obbligo per le gare pubbliche superiori ai 100 milioni di richiedere l'utilizzo dei metodi e strumenti elettronici specifici, quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture”*, quello che per brevità definiamo BIM. Negli anni successivi questa soglia dei 100 milioni andrà abbassandosi gradualmente, fino ad arrivare a zero il 1° gennaio 2025. Questo sancisce un considerevole cambiamento nell'ambito della progettazione e costruzione in Italia, mettendola al passo con i più avanzati paesi di tutto il mondo e rendendola più competitiva all'estero e maggiormente produttiva all'interno. Il BIM quindi diventerà una prassi nei prossimi anni, ma questo cambiamento non deve trasformarsi in una semplice applicazione burocratica del Decreto senza andare a comprendere fino in fondo le potenzialità di tale tecnologia che, se usata in maniera non idonea, può addirittura portare a maggiori complicanze.

Esistono ormai diversi software che utilizzano la tecnologia BIM per la realizzazione di un modello tridimensionale contenente tutte le informazioni

possibili per la migliore gestione ed organizzazione del processo edilizio. Una delle più importanti potenzialità di questa tecnologia ovviamente è l'interoperabilità tra i diversi software che permette di implementare il modello anche con informazioni legate alla dimensione temporale (4D) e al costo (5D) delle lavorazioni "spacchettate". Generalmente un oggetto BIM viene salvato in un particolare formato noto come IFC (Industry Foundation Class), con estensione .ifc. Questi file vengono classificati come file di immagine 3D, che contengono anche altre informazioni tecniche, e sono compatibili con tutti i software che usano la tecnologia BIM.

Con la comparsa del BIM nel settore delle costruzioni, anche nuove figure professionali sono risultate necessarie per una completa gestione delle diverse fasi del processo edilizio e numerose aziende stanno implementando il loro organico o richiedendo la consulenza di un *Project Manager (PM)* che ha un ruolo di gestione operativa delle varie fasi e di responsabile del progetto e della sua buona riuscita. La tecnica del *Project Management* consiste in una strategia di "definizione di massima di come il progetto realizzerà gli obiettivi e soddisferà le misure di qualità previste".

Tutto questo ovviamente avviene mediante un'accurata pianificazione: il progetto viene decomposto o "spacchettato" in unità controllabili chiamate *Work packages* e composte ognuna da specifiche attività note come *Work Breakdown Structure* o semplicemente con l'acronimo *WBS*; si procede cioè ad una divisione da macro-fasi o sistemi di unità tecnologiche fino alle singole lavorazioni che insieme contribuiscono alla realizzazione di quella fase, costituite a loro volta da insiemi di singole attività elementari. Per ogni attività quindi si stabilisce la richiesta di risorse e la loro disponibilità, la durata e i rapporti di precedenza tra le stesse, si fa una stima dei costi e si costruisce in tal modo la rete del progetto (o *project network*).

Volendo dare una definizione accurata e standardizzata di questa tecnica manageriale la norma ISO 8402 - 1990 definisce il Project Management come un "processo unico consistente in un insieme di attività coordinate con scadenze iniziali e finali, intraprese per ottenere un obiettivo conforme a specifiche richieste quali vincoli di tempo, costo e risorse".



Le varie fasi della pianificazione si distinguono in una prima identificazione delle attività necessarie tramite appunto una struttura di suddivisione del lavoro in pacchetti di lavorazioni e poi attività; successivamente si passa, per ogni attività identificata, alla stima accurata delle durate e delle risorse necessarie alla loro realizzazione, rispettando i vincoli di qualità imposti inizialmente dal progetto stesso e che soddisfino i requisiti e le scelte della committenza. La fase successiva consta nella definizione della successione logica tra le varie attività e nella determinazione del cammino critico, ossia quella successione di attività fondamentali che determinano il più breve tempo possibile per il completamento del progetto la cui inosservanza o sfasamento porterebbe sicuramente ad un ritardo nella consegna finale.

Fondamentale è anche la fase di determinazione del budget totale di progetto e parziale delle singole lavorazioni, o addirittura il budget per le forniture e l'approvvigionamento; il progetto spesso viene suddiviso in più fasi e più consegne, con tempi limite ben definiti, terminate le quali vengono rilasciati i fondi per il proseguimento della realizzazione dell'opera. Ultima ma non per importanza è l'identificazione delle responsabilità per le singole attività, fase che ha rilevanza però più da un punto di vista legale e organizzativo dell'azienda stessa.

La tecnica della WBS è una delle più utilizzate nel settore edilizio soprattutto per quanto riguarda il campo delle grandi costruzioni, di progetti e opere

pubbliche di grande rilevanza dal punto di vista dimensionale ma anche e soprattutto comunitario. Per meglio comprendere la modalità di suddivisione in cui è strutturata questa tecnica di spaccettamento delle opere in singole attività seguono alcune immagini riportanti un banale ma alquanto intuitivo esempio di WBS utilizzato per il *Centro residenziale Milano4*.

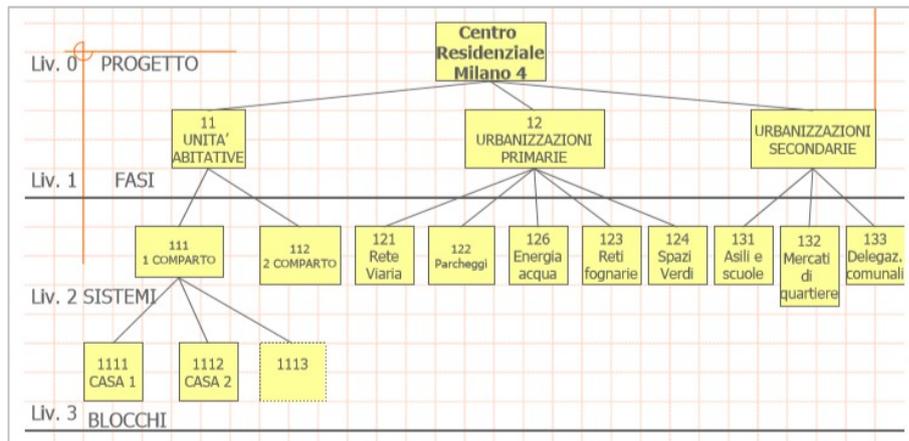


Figura 1: Work Breakdown Structure del Centro residenziale Milano4

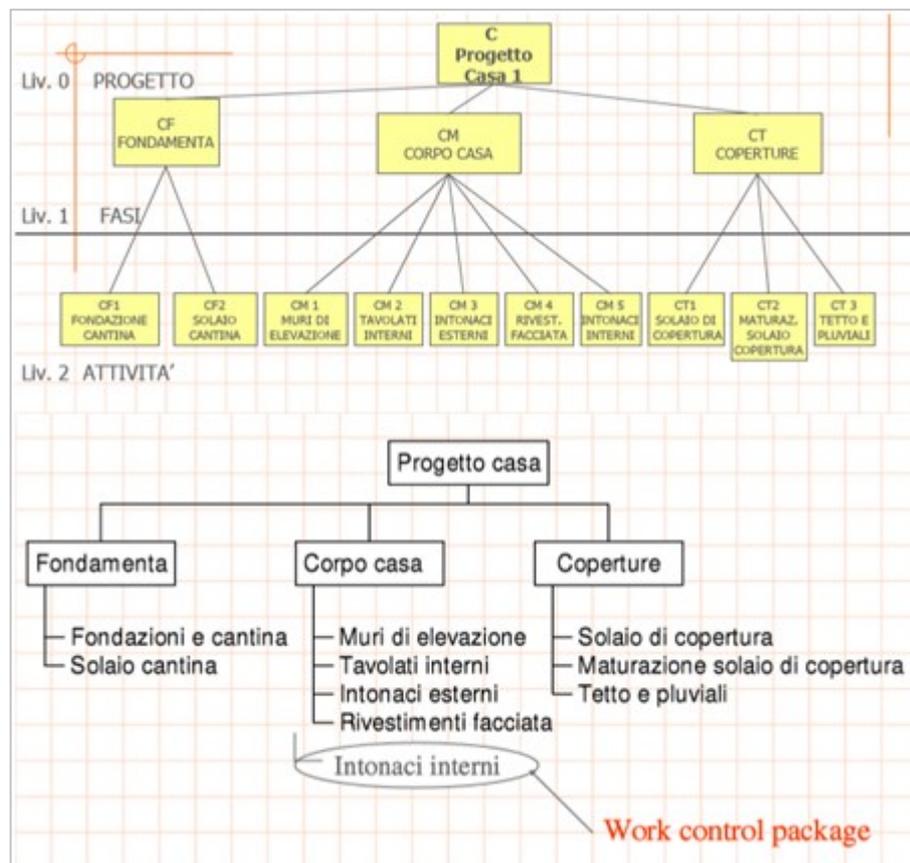


Figura 2: Work Breakdown Structure: Unità abitativa Casa 1

Possiamo notare come ognuno dei *WBE* (*Work Breakdown Element*) rappresenta un'attività della *WBS* per la quale il PM può stabilire una precisa durata, definire quanti e quali risorse (in termini di materiale, mezzi e manodopera) sono necessarie al suo completamento, e infine il costo totale che si va a sommare a tutte le altre attività concorrenti alla realizzazione di una singola lavorazione elencata. Oltre alla possibilità di utilizzare questa struttura come una specie di schedario per le attività, è possibile da questa rilevare anche gli stati di avanzamento dei lavori in cantiere e controllare le tempistiche, potendo in tal modo intervenire repentinamente ad una variazione, in caso di eventuali ritardi, apportando le dovute modifiche come ad esempio aumentando le risorse a disposizione per quella particolare attività.

Ogni *WBE* sarà collegato ad uno solo degli elementi del livello superiore e ovviamente come suddetto il lavoro richiesto per portarlo a termine è formato dalla somma del lavoro contenuto in tutti i *WBE* subordinati.

Esistono diverse tecniche di pianificazione del progetto messe in atto nel project management oltre alla già descritta procedura del *WBS*, che ovviamente interagiscono tra loro e si implementano a vicenda. In tutti i cantieri e per tutte le opere, già nella fase di progettazione e in particolare nel progetto esecutivo, che rappresenta l'ingegnerizzazione di tutti gli interventi previsti nelle precedenti fasi progettuali (preliminare e definitiva), deve essere presente, da normativa (*DPR 207/2010 Art. 33 "Documenti componenti il progetto esecutivo"*), un *cronoprogramma* definitivo dei lavori. Quest'ultimo può essere redatto in diverse modalità, ma la più utilizzata è quella tramite diagramma di *Gantt*, ovvero uno "*strumento di supporto alla gestione dei progetti, così chiamato in ricordo dell'ingegnere statunitense Henry Lawrence Gantt*". Tale diagramma è una rappresentazione su scala temporale dell'evoluzione del progetto suddiviso a sua volta in semplici attività. Ecco ancora una volta che entra in gioco lo spacchettamento dell'intero progetto in fasi, poi in lavorazioni fino ad arrivare alle più piccole unità (*WBE*). La tecnica del *Gantt* e la *WBS* sono strettamente correlate tra loro e costituiscono insieme un documento da seguire per la realizzazione dell'opera, che va aggiornandosi con l'avanzamento dei lavori e il susseguirsi delle attività.

Anche il Gantt si delinea, attraverso degli stadi temporali precisi per le singole lavorazioni, come un riferimento per il controllo dell'avanzamento dei lavori in cantiere e definisce degli eventi o date chiave (dette *milestones*) di consegna o semplicemente coordinamento delle fasi successive.

Cosa sono queste *Milestones* o *pietre miliari*?

A livello di micro-schedulazione definiscono i “*punti di controllo all’interno di ciascuna fase oppure di consegna di specifici deliverables o raggruppamenti di deliverables*” (ogni prodotto e servizio rilasciato/da rilasciare è appunto chiamato con il termine anglosassone “*deliverable*”). Sono normalmente delle attività considerate a durata zero, ma che servono per rintracciare all’interno della suddivisione i principali momenti di verifica delle consegne e/o di coordinamento all’interno del cantiere; esse possono infatti coincidere con riunioni di presentazione/coordinamento, firma di verbali di accettazione, e così via. Ognuna di queste circostanze serve per approvare quanto fatto a monte della milestone stessa ed autorizzare le attività previste a valle.

## **1.2 Casi reali presi in esame: l’utilizzo del BIM nelle grandi opere ingegneristiche**

Per meglio comprendere l’approccio metodologico da utilizzare nel mio lavoro di Tesi, è stata condotta inizialmente un’attenta analisi e studio critico di alcuni casi reali e contemporanei, in cui è applicata la tecnica di programmazione e gestione dell’opera tramite sviluppo BIM e schedulazione in WBS.

### **1.2.1 La sede Apple “Campus 2” a Cupertino, California**

Uno dei casi presi in esame è quello della nuova sede Apple a Cupertino in California, il Campus 2 (soprannominata “*Astronave*”), commissionata da Steve Jobs alla *Foster + Partners*, un rinomato studio britannico con sede principale a Londra che si occupa di architettura sostenibile, urbanistica e progettazione, fondato da Norman Foster nel 1967. Questo studio tra l’altro è uno dei più famosi nell’ambito delle nuove ricerche ed esplorazioni

progettuali in ambienti estremi, tanto da aver recentemente lavorato ad una competizione sostenuta dalla NASA per un habitat modulare stampato in 3D su Marte. Il progetto per Mars Habitat delinea i piani per un insediamento costruito da una serie di robot semi-autonomi e pre-programmati prima dell'arrivo finale degli astronauti. Tralasciando queste curiosità e senza uscire dal tema, la *Foster + Partners* è state più volte artefice di opere commissionate dalla Apple tra cui la sede di Macau in Cina, la Apple Dubai Mall, la sede a Singapore, e negli USA stessi già a Chicago e molti altri.



Figura 3: Nuova sede Apple a Cupertino, contea di Santa Clara, in California (USA)

Per il progetto della nuova sede di Cupertino, lo studio ha dovuto affrontare il tema della pianificazione di un progetto di dimensioni esagerate: Il campus, di forma circolare completamente coperto di vetri, è sormontato da pannelli solari costituendo un impianto fotovoltaico da 17 megawatt ed è inoltre una delle costruzioni con pannelli solari più grandi del mondo. Il sistema di ventilazione a ventilazione naturale permette di non utilizzare nessun riscaldamento o condizionamento per nove mesi l'anno. Nella realizzazione finale il complesso copre una superficie di 71 ettari, circa 710mila metri quadrati di cui oltre 260mila metri quadri di uffici, sottoterra poi trova spazio un auditorium con mille posti a sedere. Approcciarsi ad un progetto del genere sta a significare ovviamente anni ed anni di precedenti esperienze in cui la programmazione è stata affinata nei minimi dettagli e tenendo conto di ogni possibile problematica, tanto che dopo circa 4 anni di lavori, la sede è

stata inaugurata ad aprile del 2017 con soli 4 mesi di ritardo. Per il progetto della *Foster + Partners* la parte ingegneristica è stata curata dal famoso studio *Arup*.

Sarebbe impensabile vedere questi grandi numeri, in termini di dimensioni totali, numero di imprese, risorse e budget in gioco in questo enorme progetto, e pensare che tutto ciò sia possibile senza l'ausilio di un'ideale tecnologia come quella del BIM che permette di ridurre i tempi ed effettuare una progettazione "*integrale*" ed "*integrata*".

E' noto che la *Foster + Partners* utilizza software Bentley (quali ProjectWise Construction Management, Synchro BIM Software) ed Autodesk come strumento di scelta BIM, il che fa sorgere il dubbio che il campus Apple sia stato progettato, documentato e pianificato direttamente su PC. Non si è sicuri di quali strumenti si servì invece lo studio *Arup*, tuttavia sarebbe interessante conoscere meglio i loro processi per modellare l'edificio e in che modalità le informazioni e i dati vengono scambiati tra i soggetti interessati al progetto.

In un articolo pubblicato lo scorso settembre dalla *O'Dell Engineering* sul loro sito ufficiale, che ha assunto nel suo organico Leo Castillo, il BIM Manager per il progetto Apple Park a Cupertino, è descritto in parte il lavoro di questa figura all'interno della progettazione e pianificazione. Egli infatti "*ha guidato il programma di verifica della costruzione 3D di scansione laser per vari edifici in tutto il campus, nonché il programma di gestione BIM di Apple Park Siteworks Grading & Utility, che ha coinvolto la modellazione e il coordinamento del livellamento in tutto il sito e delle utilità sotterranee per il Project Surveyor, gli appaltatori e i progettisti*".

E' possibile notare come nelle aziende si è sempre più alla ricerca di figure professionali per lo sviluppo di progetti 3D, sondaggi 3D e flussi di lavoro di costruzione tridimensionale a vantaggio del coordinamento dei progetti, della gestione dei rischi e del controllo dei costi.

Interessante è soprattutto la progettazione della grande facciata in vetro curvato dell'Apple Campus 2. Essa copre una circonferenza esterna di circa

1,60 km con grandi lastre di vetro di dimensione 3 m x 15 m, che offrono un'elevata trasparenza e permettono relazioni visive tra l'interno, il parco e le strutture esterne.

La nuova sede aziendale di Apple in California mostra in che modo il BIM può essere utilizzato in maniera efficiente. L'azienda fondata da Norman Foster ha utilizzato il modello BIM su una piattaforma comune con il Software di Autodesk per tutte le operazioni specifiche. Già il primo elemento della facciata è diventato di facile valutazione visiva nel 2012 ed è stato progettato su base tridimensionale. Con il modello comune non solo è stato progettato l'edificio, ma tutti i processi temporali del cantiere documentati e coordinati, rispettando i requisiti di garanzia della qualità previsti. Il modello geometrico iniziale è stato implementato con la dimensione temporale come quarta dimensione e per ulteriori informazioni esteso addirittura al 5D (come ad esempio informazioni sui costi delle lavorazioni). Il modello funziona su una piattaforma comune in commercio e sono stati risolti già in fase di pianificazione tutti gli eventuali problemi di non cooperazione e interoperabilità tra i diversi software. Correzioni, varianti di progetto e tempi di attesa in cantiere sono stati così ridotti al minimo e minuziosamente analizzati già nelle fasi precedenti la cantierizzazione vera e propria.

All'interno della documentazione di progetto inoltre è possibile vedere come il modello è stato ulteriormente integrato con un modello MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*). Gli impianti tecnologici costituiscono infatti una parte importante di ogni costruzione, di cui però, solo attraverso una visione d'insieme del sistema edificio-impianti, è possibile valutarne la coerenza spaziale all'interno della costruzione ed evitare gli errori più comuni.

I metodi tradizionali di progettazione impiantistica non permettevano tutto ciò, non consentivano infatti lo scambio di informazioni tra i diversi professionisti del settore e soprattutto c'era una grave mancanza di centralità del database informativo, con susseguenti problematiche a livello di coordinamento.

L'introduzione della metodologia BIM però ha portato un contributo sostanziale in questo senso. Molti dei software BIM (tra i quali anche Autodesk Revit) hanno integrato la possibilità di avere facilmente un modello MEP insieme ad un modello architettonico e strutturale. Questo è il punto di partenza per una soluzione impiantistica di base, che permette di creare e modificare rapidamente ed in modo interattivo reti impiantistiche MEP 3D (condutture, tubazioni e cablaggi) basate sul modello, ossia perfettamente coordinate e coerenti con il modello virtuale della costruzione dettagliato.

Sul sito ufficiale del Comune di Cupertino in California (*City of Cupertino, Cupertino Council website*), nella sezione del Community Development riferita ai maggiori progetti di sviluppo attuati nella Città, il comune mette a disposizione gratuitamente una serie di importanti documenti riguardanti il progetto del Campus 2 e alcuni dei disegni tecnici di progetto dai quali è possibile intuire come l'intera progettazione è stata pianificata in tutte le sue sfaccettature, alla base di una rigida politica di project management.

Si riportano di seguito alcuni esempi, tra cui disegni e tabelle, dimostrativi di come il lavoro è stato impostato.

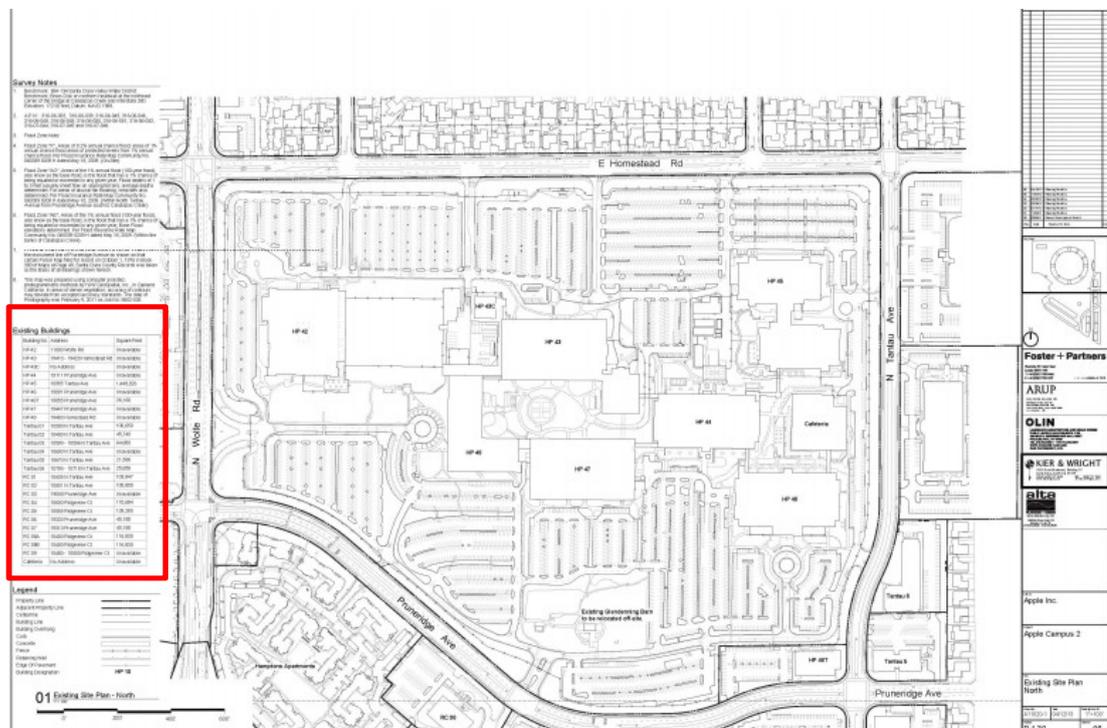


Figura 4: Planimetria di progetto sede Apple a Cupertino

Existing Buildings		
Building No.	Address	Square Feet
HP 42	11000 Wolfe Rd	Unavailable
HP 43	19410 - 19420 Homestead Rd	Unavailable
HP 43C	No Address	Unavailable
HP 44	19111 Pruneridge Ave	Unavailable
HP 45	10955 Tantau Ave	1,448,026
HP 46	19091 Pruneridge Ave	Unavailable
HP 46T	19055 Pruneridge Ave	26,160
HP 47	19447 Pruneridge Ave	Unavailable
HP 48	19483 Homestead Rd	Unavailable
Tantau 01	10300 N. Tantau Ave	100,650
Tantau 02	10400 N. Tantau Ave	45,740
Tantau 03	10590 - 10596 N. Tantau Ave	64,680
Tantau 04	10600 N. Tantau Ave	Unavailable
Tantau 05	10670 N. Tantau Ave	21,580
Tantau 06	10700 - 10710 N. Tantau Ave	25,850
RC 01	10435 N. Tantau Ave	103,047
RC 02	10501 N. Tantau Ave	100,800
RC 03	19050 Pruneridge Ave	Unavailable
RC 04	10600 Ridgeview Ct	110,684
RC 05	10555 Ridgeview Ct	139,285
RC 06	19320 Pruneridge Ave	40,180
RC 07	19310 Pruneridge Ave	40,180
RC 08A	10400 Ridgeview Ct	116,830
RC 08B	10450 Ridgeview Ct	116,830
RC 09	10480 - 10500 Ridgeview Ct	Unavailable
Cafeteria	No Address	Unavailable

E' possibile notare come ogni zona della struttura progettata abbia un suo codice identificativo, codice che sarà sicuramente ripreso nella creazione della struttura di disaggregazione o WBS dell'intero progetto. Questa suddivisione iniziale permette facilmente di gestire in maniera rapida il progetto e di facilitare le fasi successive per la creazione dei computi metrici estimativi, attribuendo semplicemente ad ogni zona, composta da diversi oggetti con parametri dimensionali e caratteristiche ben definiti, un semplice valore di

Easement Disposition Table				
Easement Number	Easement Type	Width	Record Information (Document - Date)	Easement Disposition
7	Public Utility	10' - 12'	7757 O.R. 626 - 06/20/1967	Relocate facility and / or easement
8	Pacific Gas & Electric Co.	10'	288 O.R. 892 - 03/21/1973	Section 90' to Tantau to be vacated
10	Public Utility	10'	7582 O.R. 607 - 12/07/1966	Relocate facility and / or easement
11	Cupertino Sanitary District	12' - 24'	9701 O.R. 83 - 02/11/1972	To be vacated
12	California Water Service Co.	12' - 24'	9879 O.R. 130 - 06/14/1972	To be vacated
13	Reciprocal Right-of-Way	Varies	F884 O.R. 241 - 02/03/1961	To be vacated
Modified			G504 O.R. 683 - 01/15/1962	To be vacated
14	Roadway	Varies	G271 O.R. 662 - 06/12/1961	To be vacated
Modified			H264 O.R. 492 - 01/12/1963	To be vacated
Modified			I043 O.R. 353 - 11/04/1963	To be vacated
Modified			J959 O.R. 1880 - 12/15/1966	To be vacated
Modified			K008 O.R. 903 - 07/19/1968	To be vacated
15	Pacific Gas & Electric Co.	10'	G047 O.R. 246 - 04/04/1963	To be vacated
Re-recorded			H451 O.R. 59 - 04/04/1963	To be vacated
16	California Water Service Co.	15'	H262 O.R. 662 - 01/11/1963	To be vacated
16a	Common Driveway	Varies	489 MAPS 13-14	To be vacated
17	Abutter's Rights		5889 O.R. 328 - 02/01/1963	To remain
18	Waiver Of Claims		5889 O.R. 328 - 02/01/1963	To remain
19	Public Utility	10'	8069 O.R. 646 - 03/27/1966	To be vacated
20	Sidewalk	5'	K414 O.R. 1507 - 01/08/1968	To remain
22	S.C.V.W.D.	Varies	P222 O.R. 0306 - 02/29/1966	Relocate facility and / or easement
23	Public Utility	10'	7582 O.R. 607 - 12/07/1966	Relocate facility and / or easement
24	Cupertino Sanitary District	12'	9701 O.R. 83 - 02/11/1972	To be vacated
26	S.C.V.W.D.	20' - 29'	G253 O.R. 217 - 06/03/1961	Relocate facility and / or easement
27	Roadway	12'	G271 O.R. 662 - 06/12/1961	To be vacated
Modified			H264 O.R. 492 - 01/12/1963	To be vacated
Modified			I043 O.R. 353 - 11/04/1963	To be vacated
Modified			J959 O.R. 1880 - 12/15/1966	To be vacated
Modified			K008 O.R. 903 - 07/19/1968	To be vacated
28	Public Utility	Varies	489 MAPS 13-14 - 08/25/1961	To be vacated
28	Common Driveway	Varies	489 MAPS 13-14 - 08/25/1961	To be vacated
28	Sanitary Sewer	10'	489 MAPS 13-14 - 08/25/1961	To be vacated
29	Pacific Gas & Electric Co.	10'	G047 O.R. 246 - 06/05/1962	To be vacated
31	Pacific Gas & Electric Co.	10'	H451 O.R. 62 - 04/04/1963	To be vacated
31a	California Water Service Co.	12'	9879 O.R. 130 - 06/14/1972	To be vacated
31b	Reciprocal Right-of-Way	12'	F884 O.R. 241 - 02/03/1961	To be vacated
Modified			G504 O.R. 683 - 01/15/1962	To be vacated
32	Abutter's Rights		5889 O.R. 328 - 02/01/1963	To remain
33	Abutter's Rights		5891 O.R. 95 - 02/04/1963	To remain
34	Abutter's Rights		G236 O.R. 8 - 10/17/1963	To remain
35	Cupertino Sanitary District	12'	9701 O.R. 83 - 02/11/1972	To be vacated
36	California Water Service Co.	12'	9879 O.R. 130 - 06/14/1972	To be vacated
38	Reciprocal Right-of-Way	12'	F884 O.R. 241 - 02/03/1961	To be vacated
Modified			G504 O.R. 683 - 01/15/1962	To be vacated
40	Common Driveway	12' - 20'	G271 O.R. 662 - 06/12/1961	To be vacated
Modified			H264 O.R. 492 - 01/12/1963	To be vacated
Modified			I043 O.R. 353 - 11/04/1963	To be vacated
Modified			J959 O.R. 1880 - 12/15/1966	To be vacated
Modified			K008 O.R. 903 - 07/19/1968	To be vacated
41	Common Driveway	12' - 20'	489 MAPS 13-14	To be vacated

Figura 5-6: Abachi e tabelle di progetto; sede Apple a Cupertino.

costo da prezzario e creando automaticamente una tabella o abaco dal software. Sono state create inoltre, e correlate direttamente con le rispettive zone del modello tridimensionale, delle easement disposition tables per tutto quell'elenco di azioni da intraprendere nel corso del progetto dopo l'approvazione del terreno comunale da parte delle autorità competenti. Quindi capiamo come questi software ci aiutino anche per quanto riguarda tutti quegli aspetti burocratici da

valutare e considerare durante la fase di progettazione e pianificazione che ci danno una visione d'insieme dell'intera gamma di operazioni da compiersi.

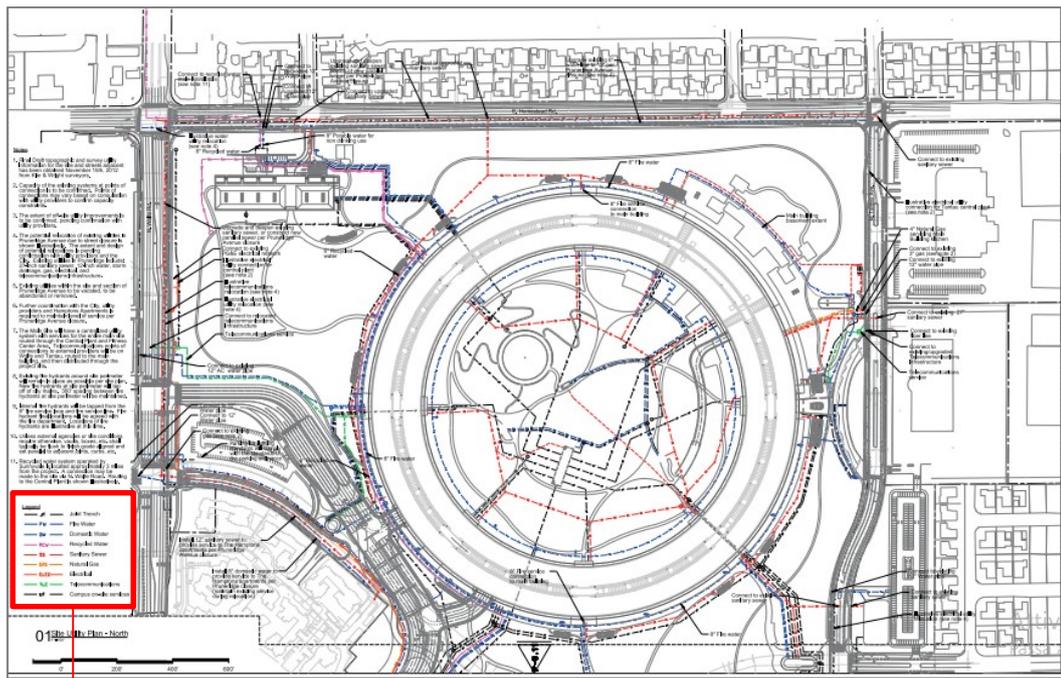
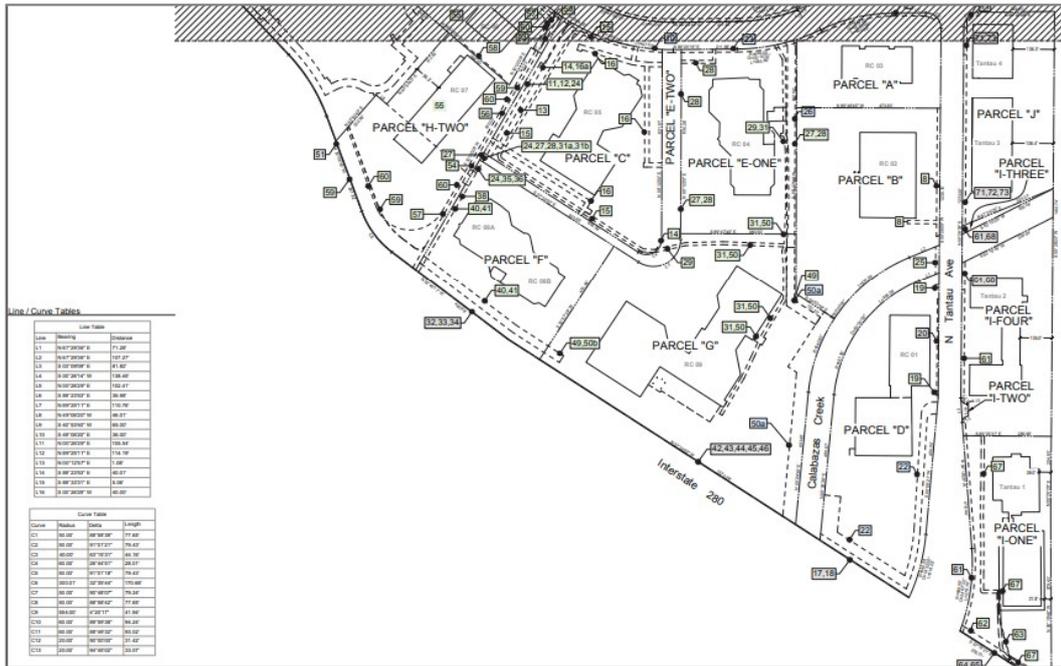


Figura 7-8: Mappa particellare e tavola reti impiantistiche; sede Apple a Cupertino.

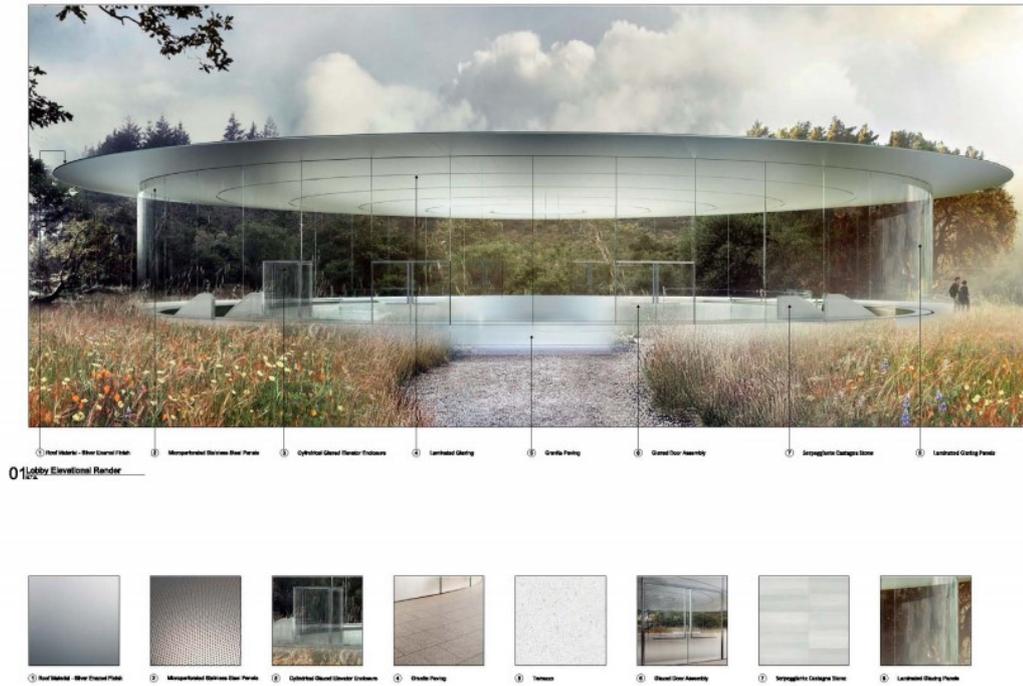


Figura 9: Render realistico dello Steve Jobs Theatre situato nell'Apple Park di Cupertino; scelta dei materiali area esterna.

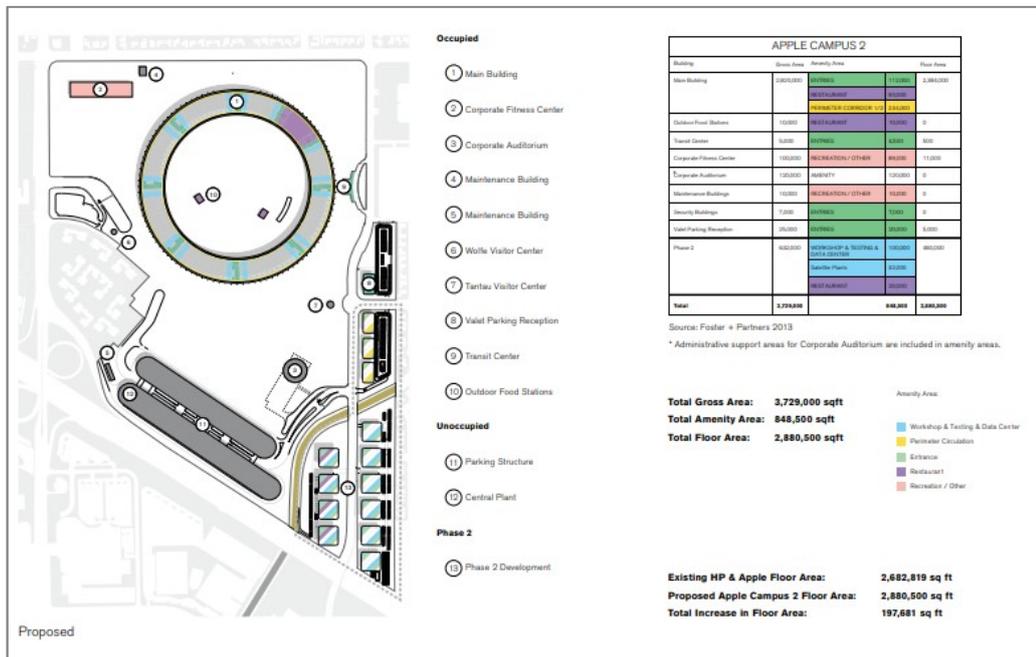


Figura 10: Divisione e mappatura in settori del progetto BIM; sede Apple "Campus2", Cupertino.

Utilizzando questo esempio, più che sproporzionato in realtà per il caso di studio di questa Tesi, ma che fa riflettere sull'enorme potenzialità del mondo della progettazione BIM, ho potuto dare il via alla creazione di un metodo da utilizzare per il mio lavoro, descritto nel paragrafo seguente.

### 1.3 Metodologia operativa

Il lavoro di Tesi, improntato come precedentemente descritto su tecniche di pianificazione e programmazione del processo edilizio ma in particolare della fase di realizzazione o “cantieristica” dell’opera, è finalizzato al coordinamento della sicurezza all’interno dei cantieri temporanei o mobili. L’obiettivo è quello di implementare tale fase di coordinamento, già nella fase di pianificazione preventiva, attraverso una metodologia operativa che permetta di organizzare le fasi di realizzazione al dettaglio, utilizzando l’ausilio di software di progettazione BIM e pianificazione.

Immaginiamo di trovarci dinanzi al problema di dover coordinare all’interno di un cantiere complesso le attività di più aziende, preoccupandoci della sicurezza sul luogo di lavoro, dovendo analizzare ogni lavorazione composta a sua volta da un sottoinsieme di singole attività, analizzare i rischi derivanti da ogni lavorazione, e cercare di evitare ogni possibile interferenza tra queste ultime. Sarebbe come costruirsi mentalmente l’intero processo realizzativo visto come un “*film*”, la sequenza logica delle diverse attività, la suddivisione delle aree di cantiere, i percorsi, le durate di ogni lavorazione, le procedure attuative svolte in sicurezza e le risorse necessarie.

Tutto questo lavoro è possibile attraverso il BIM, che non sostituisce il lavoro del coordinatore ma va ad integrarlo, costituendo un significativo aiuto al coordinamento e alla visione d’insieme del cantiere. Attraverso l’interoperabilità dei diversi software infatti, è possibile implementare il modello BIM tridimensionale con il cronoprogramma delle lavorazioni, precedentemente studiato ad hoc e formulato tramite le tecniche di WBS e Gantt già viste. Il software SYNCHRO PRO, software di pianificazione 4D e virtual design, permette infatti di realizzare una simulazione virtuale del progetto, che consente a sua volta di migliorare la sicurezza all’interno del cantiere, di scoprire i lavori concomitanti ed a rischio sicurezza, di prendere in esame diversi approcci e sequenze lavorative, mettendoli a confronto ed identificandone l’impatto in maniera preventiva.

In pratica il software Synchro permette di accoppiare diversi software tra loro, come ad esempio quello utilizzato per la realizzazione del modello tridimensionale con il cronoprogramma dei lavori realizzato tramite piattaforma Microsoft Project. Da ciò è possibile simulare appunto le fasi di cantiere, assegnando ad ogni oggetto delle risorse, una durata, dei mezzi di cantiere, creando una vera e propria “*macchina del tempo virtuale*” con cui è possibile analizzare visivamente ed in quattro dimensioni il progetto, spostandosi avanti e indietro nel tempo con la possibilità di aggiungere risorse e apportare tutte le modifiche necessarie in tempi rapidi.

Il lavoro di Tesi è stato quindi applicato ad un caso di studio reale, un cantiere complesso per la realizzazione di un centro commerciale, prevalentemente costituito da strutture prefabbricate in cemento armato, che sarà approfondito nel capitolo seguente.

Avendo ampiamente discusso e approfondito il tema della scelta di una corretta metodologia di lavoro, si passa alla descrizione della metodologia operativa utilizzata per l'appunto nella presente Tesi.

Le fasi operative seguite per il raggiungimento degli obiettivi prefissati sono le seguenti:

- Studio e analisi del progetto (caso di studio);
- Determinazione dei componenti di progetto;
- Schedulazione del progetto tramite la tecnica della Work Breakdown Structure (WBS);
- Creazione di codici (WBS) secondo norma UNI 8290 – 1981 “*Edilizia residenziale. Sistema tecnologico*”;
- Realizzazione, per ogni Work Breakdown Element (WBE), di schede ergotecniche;
- Analisi delle tempistiche;
- Costituzione di un Piano Operativo;
- Realizzazione di un cronoprogramma dei lavori tramite Microsoft Project;
- Attribuzione dei codici WBS ad ogni attività del cronoprogramma;

- Realizzazione di un modello tridimensionale tramite l'utilizzo del software BIM Revit Autodesk;
- Implementazione dei componenti del modello 3D tramite parametri IFC;
- Importazione del modello 3D e del cronoprogramma su Synchro BIM Software;
- “*Automatching*” tra attività e risorse;
- Importazione dei relativi “*Equipment*” associati alle attività e generazione dei percorsi di cantiere. Implementazione del cronoprogramma;
- Realizzazione della simulazione virtuale del progetto;
- Analisi dei rischi e delle interferenze, gestione della sicurezza;
- Interpretazione dei risultati e verifiche.

## CAPITOLO 2: IL CASO DI STUDIO

### 2.1 MondoJuve Shopping Center: il progetto generale

Il caso di studio della presente Tesi di Laurea, sul quale è stata applicata la metodologia operativa appena descritta, riguarda il cantiere del nuovo centro commerciale chiamato MondoJuve Shopping Center, che si estende tra i comuni di Vinovo e Nichelino, con accesso tramite strada Debouchè, situato a circa 4,5 Km a sud-est della Palazzina di Caccia di Stupinigi.

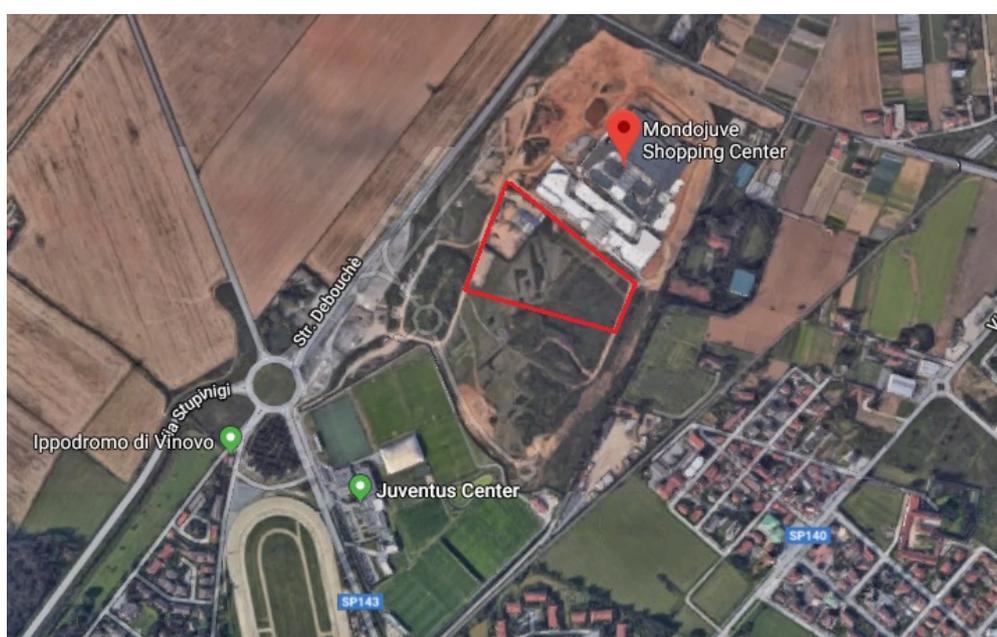


Figura 11: Inquadramento del cantiere MondoJuve Shopping Center, Vinovo (TO).

Il primo lotto del centro commerciale comprendente i fabbricati A e B visibili nella mappa, è stato realizzato e concluso con successo lo scorso settembre 2017. Oltre i due fabbricati che ospitano circa 80 negozi, è già stata realizzata la piazza antistante, molti spazi verdi, strutture di servizio, parcheggi, ed il progetto ha interessato anche opere di viabilità importanti per la zona in questione. Il nuovo assetto viario infatti ha contribuito a risolvere alcune criticità presenti, attraverso una serie di articolazioni dovute a nuove infrastrutture stradali che si connettono a strade preesistenti e a interventi di adeguamento e potenziamento di infrastrutture.

L'intero progetto, comprendente anche i lotti da realizzare ed in fase di realizzazione, consiste in un enorme progetto immobiliare commerciale di circa 80.000 metri quadrati (superficie lorda locabile), il cui impatto occupazionale interessa 12 comuni vicini oltre ovviamente ai principali comuni di Vinovo e Nichelino sui quali gravita, e che sarà, una volta completato, il più grande del Piemonte.

La proprietà dell'area è della nota società *Gruppo Gilardi (Finanziaria Gilardi, Campi di Vinovo, CGG Costruzioni Generali Gilardi)*, che si ritrova ad essere quindi Committente dell'opera, oltre che impresa costruttrice e Project Management. Il concept ed il design dell'intero progetto sono stati curati invece dallo studio di architettura *Design International*, un famoso studio di livello internazionale fondato a Toronto (Canada) nel 1965.

Il progetto inoltre pone una grande attenzione all'innovazione tecnologica e alla sostenibilità, evidente nell'uso estensivo di tecnologie rinnovabili, tra le quali i pannelli solari e fotovoltaici, il recupero del calore nel trattamento dell'aria e la raccolta dell'acqua piovana accumulata in copertura per l'irrigazione degli immensi spazi verdi.

L'attenzione e lo studio si sono focalizzati però sul secondo lotto, ancora in fase di realizzazione, partito, con la posa simbolica della prima pietra, martedì 17 aprile 2018. Il cantiere del secondo lotto, denominato *Retail Park* di MondoJuve, ideato sempre dallo Studio *Design International*, ha una superficie complessiva di 30.000 metri quadri ed è partito con la realizzazione dei due grandi blocchi di edifici C ed E, suddivisi in 4 fabbricati (due esterni C1 ed E1, e due interni C2 ed E2) visibili in figura 12.



Figura 12: Render dell'intero progetto MondoJuve Shopping Center.

L'inizio effettivo dei lavori, da *cronoprogramma*, è avvenuto solo a giugno, e la consegna e quindi il termine del cantiere è previsto per marzo del prossimo anno con il completamento anche delle aree verdi esterne e dei parcheggi antistanti i quattro fabbricati. La realizzazione ovviamente è affidata a CGG, che ha subappaltato parte dei lavori ad altre aziende quali *Itinera S.p.A.* per la fornitura dei prefabbricati e il supporto al montaggio di questi ultimi, e aziende per il servizio autogru per lavori industriali come *Autovictor S.r.l.*

## 2.2 Descrizione del cantiere “Retail Park” MondoJuve: comparti “C” ed “E”

Oggetto: Realizzazione fabbricati commerciali “C” ed “E”, secondo lotto del progetto MondoJuve Shopping Center.

Localizzazione: via Debouche' angolo viale degli ippodromi torinesi – Vinovo (TO).



Figura 13: Planimetria generale e localizzazione corpi C ed E del cantiere MondoJuve Shopping Center, Vinovo (TO).

Il complesso sorge su un terreno fluvio-glaciale costituito prevalentemente da materiali ghiaiosi, sabbiosi e limosi con presenza talvolta di ciottoli silicatici, silicei e calcarei di grosse dimensioni. Nella loro parte sommitale sono caratterizzati dalla presenza di un paleosuolo rosso-arancio tendente al bruno, limoso argilloso. L'area di cantiere ha una grande estensione di circa 270m x 170m e si estende a sud-ovest del lotto già realizzato, ad una distanza ravvicinata di circa 15 metri tra gli edifici C1 ed E1 e il fabbricato B esistente.

Il cantiere è raggiungibile dalla tangenziale sud di Torino in territorio di Nichelino tramite lo svincolo strada Debouchè, percorrendola per un breve tratto, oppure attraverso la Statale 23, viabilità storica che conduce da Torino alla palazzina di caccia di Stupinigi, e da questa al Centro storico di Vinovo (Provinciale 143).



Figura 14: Percorsi stradali per accesso al cantiere dai tre poli principali (Torino, Vinovo, Nichelino).

La giacitura dell'area è sostanzialmente pianeggiante. L'area di intervento è contigua allo "Juventus Training Center", sito in Via Stupinigi, 182 nel comune di Vinovo, intervento già concluso e operativo, presso il quale la società calcistica "Juventus F.C." effettua giornalmente le proprie attività.

L'area è inoltre situata in un settore ad elevata urbanizzazione, con a nord-ovest (Via Debouchè) una serie di aree destinate alla coltivazione, a est

troviamo altre aree destinate alla coltivazione, nuclei abitativi, e la presenza della linea ferroviaria di Torino – Pinerolo. A nord-est del lotto (via Scarrone) si estende come già visto il centro commerciale MondoJuve con i suoi edifici A e B, più alcuni insediamenti industriali, mentre a sud-ovest troviamo appunto lo Juventus Training Center.



Figura 15: Identificazione aree del contesto urbano ed edifici sensibili.

La recinzione del cantiere in questione è interamente di tipo *cieca in metallo*, formata da pannelli in acciaio zincato inseriti tra due montanti con profilo sagomato. Questa scelta permette un'ottima riservatezza per evitare qualsiasi introspezione dall'esterno, e data la localizzazione del cantiere, prossimo al primo lotto del centro commerciale già realizzato, è indicata come la migliore per evitare che il cantiere interferisca con l'ambiente esterno e viceversa. L'area di cantiere infatti deve essere totalmente delimitata al fine di poter regolamentare ed eventualmente impedire l'accesso ai non addetti ai lavori scongiurando eventuali infortuni. L'art. 96 del D. Lgs 81/2008, tra gli obblighi del datore di lavoro, dei dirigenti e dei preposti recita che essi: "*Predispongono l'accesso e la recinzione del cantiere con modalità chiaramente visibili e individuabili*". Inoltre, secondo l'art. 109 dello stesso

decreto: "Il cantiere, in relazione al tipo di lavori effettuati, deve essere dotato di recinzione avente caratteristiche idonee atte ad impedire l'accesso agli estranei alle lavorazioni".

L'accesso al cantiere è realizzato mediante dei cancelli carrabili composti da due ante metalliche apribili a 180°. Le ante, con larghezza superiore a 3,0 m, sono supportate alla base da una coppia di ruote autolivellanti con elemento ammortizzante in elastomero, così da consentire un'escursione fino a 4 cm per il terreno non omogeneo.



Figura 16: Accesso al cantiere dallo svincolo di strada Debouchè.



Figura 17: Recinzione di cantiere "cieca" in metallo con puntellature di controvento.

L'accesso inoltre ha una larghezza di circa 6 metri per permettere l'ingresso ed il transito dei mezzi designati all'approvvigionamento del materiale in cantiere quali autotreni, autocarri, e per la movimentazione terra e materiale quali escavatori e autogru.

Si rammenta che è obbligatorio per i mezzi di cantiere rispettare il limite di velocità imposto dal decreto 81 di 10 Km/h, per scongiurare il rischio investimento.

I fabbricati da realizzare, suddivisi come già visto in 4 corpi (C1, C2, E1, E2) sono costituiti prevalentemente da elementi prefabbricati in cemento armato precompresso e/o vibrato, si elevano per un'altezza di circa 7,30 metri lungo il perimetro fino ad un massimo di 8,30 metri in mezzeria con una pendenza estradossale del tetto pari all'1%. I due comparti denominati C ed E sono sostanzialmente identici e simmetrici rispetto ad un asse di simmetria che taglia longitudinalmente i fabbricati A e B esistenti.

In entrambi i comparti l'idea progettuale è caratterizzata da linee essenziali e forme semplici con superfici in pianta di forma trapezoidale, rivestiti all'esterno da pannelli prefabbricati a sviluppo orizzontale e da una facciata principale vetrata ancorata alla struttura.

La superficie dei singoli comparti, per un totale di circa 15.000 metri quadrati, è rispettivamente:

- Comparto C: 2955 (C1) + 4568 (C2) metri quadri;
- Comparto E: 2955 (E1) + 4568 (E2) metri quadri.

Le tipologie strutturali previste dal progetto generale sono sostanzialmente tre e si distinguono in elementi prefabbricati in c.a. e c.a.p., elementi in c.a. gettato in opera, elementi in carpenteria metallica.

Le fase di realizzazione della struttura prefabbricata consisterà nella fornitura, con eventuale stoccaggio degli elementi a piè d'opera, e montaggio di questi ultimi nella loro sede definitiva secondo progetto, più le attività complementari di getto integrativo per la sigillatura finale.

Questi elementi che costituiranno l'orditura principale dei fabbricati sono sinteticamente rappresentati da:

- Pilastri monopiano in cemento armato vibrato (c.a.v.);
- Travi in cemento armato precompresso (c.a.p.);
- Tegoli di copertura a TT in c.a.p.;

- Pannelli di tamponamento esterni in c.a.v. a taglio termico di tipo “sandwich”.

Le strutture in opera sono invece rappresentate sostanzialmente da fondazioni di tipo isolato e diretto, plinti, con basamenti in c.a. a cui andranno connessi i pilastri prefabbricati tramite un sistema misto armatubo e connettori strutturali di tipo peikko d’angolo al fine di garantire una corretta fase di montaggio e messa in opera.

Ovviamente completano la struttura una serie di lavorazioni di finitura e getti integrativi, sistemi di scarico e smaltimento delle acque meteoriche, serramenti, pavimentazioni, rivestimento dei pannelli esterni con sistema schermante, impiantistica, comprese le lavorazioni per il manto di copertura costituito da uno strato coibente con guaina impermeabilizzante superiore e getto di calcestruzzo alleggerito.

L’azienda esecutrice e project management dell’opera, *COSTRUZIONI GENERALI GILARDI s.p.a.*, all’interno del proprio *POS (Piano Operativo di Sicurezza)* ha stilato una prima lista di fasi operative che si susseguiranno in cantiere ad indicare una sequenza logica di attività da seguire per la realizzazione dell’opera. La lista, che non può definirsi cronoprogramma per la mancanza delle durate delle lavorazioni, è composta dalle seguenti lavorazioni/attività:

- Allestimento del cantiere;
- Bonifica del terreno, estirpazione della vegetazione con macchine operatrici, eliminazione dei rifiuti presenti;
- Installazione di attrezzature quali argano, betoniera a bicchiere, macchina piegaferri, silo per gli inerti o per il cemento, impianti di messa a terra;
- Scavi di fondazione o di trincea eseguiti a mano o macchine op. per movimento terra e autocarro;
- Fondazioni: casserature in legno per plinti in c.a., lavorazione del ferro, posa del ferro lavorato, confezionamento calcestruzzo e getto del calcestruzzo con autobetoniera;

- Strutture verticali e orizzontali prefabbricate;
- Realizzazione di soletta con lamiera grecata di completamento
- Posa di pannelli prefabbricati di calcestruzzo armato per strutture orizzontali;
- Montaggio di strutture in ferro verticali e orizzontali;
- Vespaio, muretti, tavelloni, rete elettrosaldata e getti di cls con autopompa;
- Sottofondo in ciottoli, ghiaia o altri materiali e getti di calcestruzzo con autopompa;
- Pavimentazioni in genere;
- Impermeabilizzazione dei muri contro terra e copertura con guaina bituminosa posata a caldo e rivestimento di protezione;
- Ponteggi metallici a montante: montaggio e smontaggio
- Murature in blocchi/divisori interni in laterizio e cartongesso
- Intonaci interni eseguiti a mano o a macchina /tinteggiature eseguite a spruzzo o a rullo o pennello.

E' tuttavia presente anche un cronoprogramma, comprensivo delle durate delle lavorazioni con cadenza quindicinale, non troppo dettagliato e senza la suddivisione dei comparti C ed E nei reali quattro fabbricati da realizzare.

Prendendo come punto di partenza questi dati e cercando di attuare le modalità operative descritte nel primo capitolo della presente Tesi, al fine di raggiungere gli obiettivi prefissati, è stato inizialmente possibile creare una schedulazione più dettagliata del progetto attraverso la tecnica della *Work Breakdown Structure* o *WBS*. Questa codifica sarà poi applicata alle varie attività del *Gantt* e successivamente ai diversi elementi costituenti il modello tridimensionale realizzato, per cercare di creare un "dialogo" e una corrispondenza tra le due parti e farle interagire.

## 2.3 Schedulazione del progetto con tecnica WBS

Le tecniche di *scheduling* sono delle tecniche di controllo del progetto utilizzate per il *management* aziendale, che si trova costantemente alla ricerca di nuovi e migliori metodi per far fronte alle complessità e alle grandi quantità di dati caratteristici delle grandi opere nel settore delle costruzioni e non solo. Le tecniche più utilizzate fino ad ora sono le seguenti:

- Diagrammi a barre o di *Gantt*;
- Diagrammi delle milestone;
- Tecniche reticolari (*PERT, ADM, PDM, GERT*).

Questo *scheduling* su rete presenta una serie di vantaggi, primo fra tutti il formare una base per tutta la pianificazione progettuale e costituire quindi una previsione realistica delle risorse necessarie per raggiungere gli obiettivi prefissati di tempi e di costo dell'intero processo.

Alla base dei diagrammi di schedulazione elencati ci deve essere lo sviluppo di una *WBS*, suddivisione del progetto ad albero genealogico, come passaggio principale della pianificazione. Questa *WBS* rappresenta, come già visto, uno strumento per suddividere il progetto in attività elementari che siano gestibili, indipendenti dalle altre attività elementari, integrabili in modo tale da poter scorgere l'intero pacchetto di lavorazione che esse formano, ma soprattutto valutabili in termini di stato di avanzamento della realizzazione dell'opera.

Ovviamente la *WBS* assume la propria conformazione in modo diverso per ogni progetto, proprio in base alle procedure in cui il lavoro verrà eseguito, e riflette i costi del progetto stesso. La costruzione della *WBS* quindi acquisisce una particolare rilevanza sulla buona riuscita del progetto e sul rispetto dei suoi standard, e fornisce a sua volta la base per la creazione di:

- Matrici di responsabilità;
- Lo *scheduling* su rete (*Gantt*);
- Analisi del rischio;
- Coordinamento degli obiettivi;
- Controllo dello stato di avanzamento dell'opera.

### 2.3.1 WBS secondo UNI 8290-1981

Esistono diverse modalità e teorie sullo sviluppo di una corretta struttura organizzativa del progetto, ma per il cantiere in questione, la scelta è ricaduta sulla costruzione di una *Work Breakdown Structure* secondo normativa *UNI 8290 – 1981, “Edilizia residenziale. Sistema tecnologico”*. Tale norma è stata pensata appunto per consentire una scomposizione del sistema edilizio in più livelli, attraverso regole omogenee di facile comprensione. La scomposizione, visibile in un estratto di tabella di seguito riportato, si estende ai primi tre livelli del sistema denominati (secondo *UNI 7867-IV, 1979*) come segue:

- I. Classi di unità tecnologiche;
- II. Unità tecnologiche;
- III. Classi di elementi tecnici.

EDILIZIA RESIDENZIALE - SISTEMA TECNOLOGICO CLASSIFICAZIONE E TERMINOLOGIA (NORMA UNI 8290 - 1981)		
Classi di unità tecnologiche	Unità tecnologiche	Classi di elementi tecnici
1. Struttura portante	1.1 Struttura di fondazione	1.1.1 Strutture di fondazione dirette 1.1.2 Strutture di fondazione dirette
	1.2 Struttura di elevazione	1.2.1 Strutture di elevazione verticali 1.2.2 Strutture di elevazione orizzontali e inclinate 1.2.3 Strutture di elevazione spaziali
	1.3 Struttura di contenimento	1.3.1 Strutture di contenimento verticali 1.3.2 Strutture di contenimento orizzontali
2. Chiusura	2.1 Chiusura verticale	2.1.1 Pareti perimetrali verticali 2.1.2 Infissi esterni verticali
	2.2 Chiusura orizzontale inferiore	2.2.1 Solai a terra 2.2.2 Infissi orizzontali
	2.3 Chiusura orizzontale su spazi esterni	2.3.1 Solai su spazi aperti
	2.4 Chiusura superiore	2.4.1 Coperture 2.4.2 Infissi esterni orizzontali
3. Partizione interna	3.1 Partizione interna verticale	3.1.1 Pareti interne verticali 3.1.2 Infissi interni verticali 3.1.3 Elementi di protezione
	3.2 Partizione interna orizzontale	3.2.1 Solai 3.2.2 Soppalchi 3.2.3 Infissi interni orizzontali
	3.3 Partizione interna inclinata	3.3.1 Scale interne 3.3.2 Rampe interne

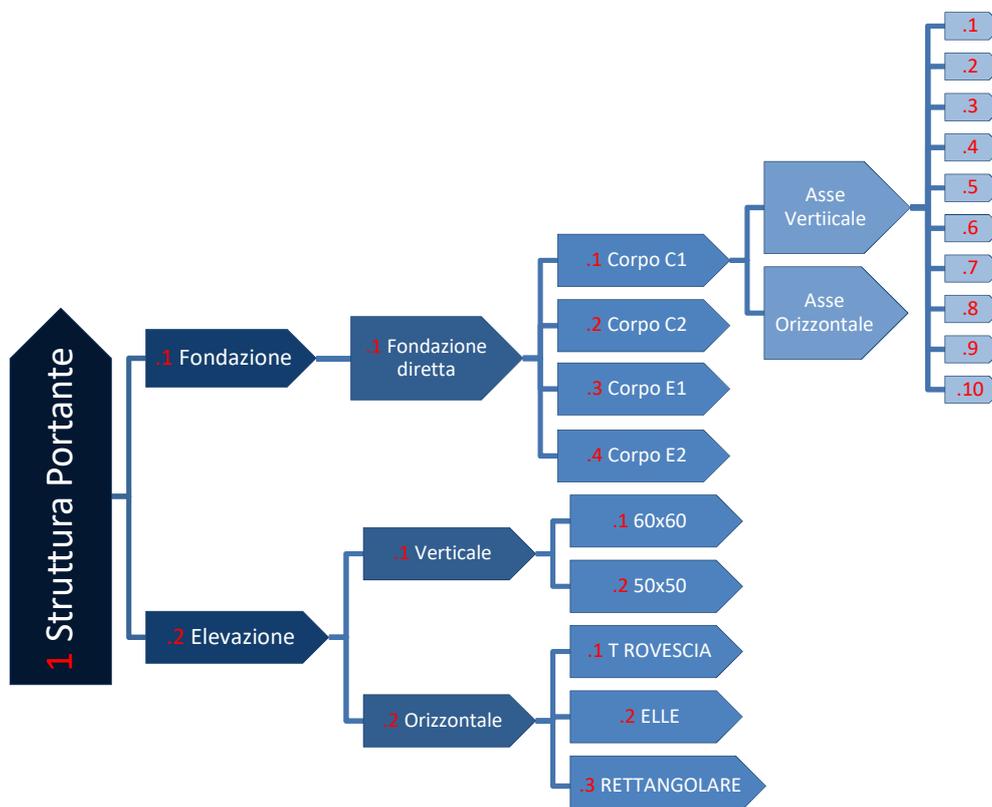
Figura 18: Estratto di tabella UNI 8290-1:1981; scomposizione del sistema edilizio.

La norma si fonda su un criterio di definizione dei termini basato sulla funzione dell'oggetto, considerato come un piccola parte del sistema edilizio, ma ciò non preclude la possibilità di attribuire agli oggetti stessi altre funzioni/caratteristiche complementari di volta in volta messe in evidenza e necessarie allo scopo. Infatti la scomposizione può essere estesa ad ulteriori livelli (quarto livello e successivi) non menzionati dalla normativa, che fissa però alcuni criteri di individuazione.

Il piano di classificazione della *UNI 8290*, permette cioè di “*codificare*” l'elemento tecnico. Anzi, addirittura un determinato codice assegnato ad un elemento, come ad esempio il codice 1.2.1.2, identifica in realtà la composizione di codici che rappresentano anche l'unità tecnologica di riferimento a cui appartiene (in questo caso strutture in elevazione) e la classe di unità tecnologiche (struttura portante); ecco che in tal modo, si riesce a dare all'elemento tecnico un'informazione.

E' stato possibile quindi, seguendo questa procedura, analizzare gli elementi caratterizzanti il progetto dei comparti C ed E di MondoJuve, e attribuire ad ognuno di essi un determinato codice identificativo.

La struttura della WBS creata segue la classica forma ad albero.



Si riportano di seguito le tabelle con i codici di riferimento di ogni elemento all'interno del progetto:

<b>FONDAZIONI DIRETTE 1.1.1</b>			
<b>.1</b> Corpo C1	<b>.2</b> Corpo C2	<b>.3</b> Corpo E1	<b>.4</b> Corpo E2
TOT 39	TOT 45	TOT 39	TOT 45
1.1.1.1.1.A	1.1.1.2	1.1.1.3	1.1.1.4
1.1.1.1.1.B			
1.1.1.1.1.C			
1.1.1.1.1.D			
1.1.1.1.1.E			
1.1.1.1.1.F			
1.1.1.1.1.G			
1.1.1.1.1.H			
1.1.1.1.1.I			
1.1.1.1.2.A			
1.1.1.1.2.I			
1.1.1.1.3.A			
1.1.1.1.3.C			
1.1.1.1.3.E			
1.1.1.1.3.G			
1.1.1.1.3.I			
1.1.1.1.4.A			
1.1.1.1.4.I			
1.1.1.1.5.A			
1.1.1.1.5.C			
1.1.1.1.5.E			
1.1.1.1.5.G			
1.1.1.1.5.I			
1.1.1.1.6.A			
1.1.1.1.7.A			
1.1.1.1.7.C			
1.1.1.1.7.E			
1.1.1.1.8.A			
1.1.1.1.9.A			
1.1.1.1.9.B			
1.1.1.1.9.C			
1.1.1.1.9.D			
1.1.1.1.10.J			
1.1.1.1.10.K			
1.1.1.1.10.L			
1.1.1.1.10.M			
1.1.1.1.10.N			
1.1.1.1.10.O			
1.1.1.1.10.P			

**PILASTRI 1.2.1**

<b>.1 Corpo C1 (TOT 39)</b>						<b>.2</b>	<b>.3</b>	<b>.4</b>
						Corpo	Corpo	Corpo
						C2	E1	E2
						TOT 45	TOT 39	TOT 45
<b>.1 Centrali</b>	<b>.1 (60X60)</b>		<b>.2 (50X50)</b>					
	<b>.2</b>	<b>.3</b>	<b>.1</b>	<b>.2</b>	<b>.3</b>			
	Angolari	Ruotati	Centrali	Angolari	Ruotati			
	1.2.1.1.1.					1.2.1.2	1.2.1.3	1.2.1.4
	2.1.A							
<b>1.2.1.1.1.1.1.</b>								
<b>B</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.1.</b>								
<b>C</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.1.</b>								
<b>D</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.1.</b>								
<b>E</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.1.</b>								
<b>F</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.1.</b>								
<b>G</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.1.</b>								
<b>H</b>								
	1.2.1.1.1.							
	2.1.I							
			1.2.1.1.					
			2.1.2.A					
			1.2.1.1.					
			2.1.2.I					
<b>1.2.1.1.1.1.3.</b>								
<b>A</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.3.</b>								
<b>C</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.3.</b>								
<b>E</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.3.</b>								
<b>G</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.3.</b>								
<b>I</b>								
			1.2.1.1.					
			2.1.4.A					
			1.2.1.1.					
			2.1.4.I					
<b>1.2.1.1.1.1.5.</b>								
<b>A</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.5.</b>								
<b>C</b>								
<b>1.2.1.1.1.1.5.</b>								
<b>E</b>								

<b>1.2.1.1.1.1.5.</b>		
<b>G</b>		
	1.2.1.1.1.	
	2.5.I	
		1.2.1.1.
		2.1.6.A
<b>1.2.1.1.1.1.7.</b>		
<b>A</b>		
<b>1.2.1.1.1.1.7.</b>		
<b>C</b>		
<b>1.2.1.1.1.1.7.</b>		
<b>E</b>		
		1.2.1.1.
		2.1.8.A
	1.2.1.1.1.	
	2.9.A	
<b>1.2.1.1.1.1.9.</b>		
<b>B</b>		
<b>1.2.1.1.1.1.9.</b>		
<b>C</b>		
	1.2.1.1.1.	
	2.9.D	
		1.2.1.1.2.
		3.10.J
		1.2.1.1.2.
		3.10.K
		1.2.1.1.2.
		3.10.L
		1.2.1.1.2.
		3.10.M
		1.2.1.1.2.
		3.10.N
		1.2.1.1.2.
		3.10.O
		1.2.1.1.2.
		3.10.P

**TRAVI 1.2.2**

<b>.1 Corpo C1 (TOT 31)</b>			<b>.2 Corpo C2</b>	<b>.3 Corpo E1</b>	<b>.4 Corpo E2</b>
<b>.1 T ROVESCIA</b>	<b>.2 TRAVI A ELLE</b>	<b>.3 RETTANGOLARI</b>	TOT 38	TOT 31	TOT 38
1.2.2.1.1.3.A-C	1.2.2.1.2.1.A-B	1.2.2.1.3.A.8-9	1.2.2.2	1.2.2.3	1.2.2.4
1.2.2.1.1.3.C-E	1.2.2.1.2.1.B-C				
1.2.2.1.1.3.E-G	1.2.2.1.2.1.C-D				
1.2.2.1.1.3.G-I	1.2.2.1.2.1.D-E				
1.2.2.1.1.5.A-C	1.2.2.1.2.1.E-F				
1.2.2.1.1.5.C-E	1.2.2.1.2.1.F-G				
1.2.2.1.1.5.E-G	1.2.2.1.2.1.G-H				
1.2.2.1.1.5.G-I	1.2.2.1.2.1.H-I				
1.2.2.1.1.7.A-C	1.2.2.1.2.9.A-B				
1.2.2.1.1.7.C-E	1.2.2.1.2.9.B-C				
1.2.2.1.1.7.E-M	1.2.2.1.2.9.C-D				
	1.2.2.1.2.10.D-J				
	1.2.2.1.2.10.J-K				
	1.2.2.1.2.10.K-L				
	1.2.2.1.2.10.L-M				
	1.2.2.1.2.10.M-N				
	1.2.2.1.2.10.N-O				
	1.2.2.1.2.10.O-P				
	1.2.2.1.2.10.P-I				

**TEGOLI TT DI COPERTURA 2.4.1**

<b>.1 Corpo C1 (TOT)</b>				<b>.2 Corpo C2</b>				<b>.3</b>	<b>.4</b>
<b>.1 FILA</b>	<b>.2 FILA</b>	<b>.3 FILA</b>	<b>.4 FILA</b>	<b>.1 FILA</b>	<b>.2 FILA</b>	<b>.3 FILA</b>	<b>.4 FILA</b>	Corpo E1	Corpo E2
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	Fila	Fila
2.4.1.1.1.1	2.4.1.1.2.1	2.4.1.1.3.1	2.4.1.1.4.1	2.4.1.2.1.1	2.4.1.2.2.1	2.4.1.2.3.1	2.4.1.2.4.1	2.4.1.3	2.4.1.4
2.4.1.1.1.2	2.4.1.1.2.2	2.4.1.1.3.2	2.4.1.1.4.2	2.4.1.2.1.2	2.4.1.2.2.2	2.4.1.2.3.2	2.4.1.2.4.2		
2.4.1.1.1.3	2.4.1.1.2.3	2.4.1.1.3.3	2.4.1.1.4.3	2.4.1.2.1.3	2.4.1.2.2.3	2.4.1.2.3.3	2.4.1.2.4.3		
2.4.1.1.1.4	2.4.1.1.2.4	2.4.1.1.3.4	2.4.1.1.4.4	2.4.1.2.1.4	2.4.1.2.2.4	2.4.1.2.3.4	2.4.1.2.4.4		
2.4.1.1.1.5	2.4.1.1.2.5	2.4.1.1.3.5	2.4.1.1.4.5	2.4.1.2.1.5	2.4.1.2.2.5	2.4.1.2.3.5	2.4.1.2.4.5		
2.4.1.1.1.6	2.4.1.1.2.6	2.4.1.1.3.6	2.4.1.1.4.6	2.4.1.2.1.6	2.4.1.2.2.6	2.4.1.2.3.6	2.4.1.2.4.6		
2.4.1.1.1.7	2.4.1.1.2.7	2.4.1.1.3.7	2.4.1.1.4.7	2.4.1.2.1.7	2.4.1.2.2.7	2.4.1.2.3.7	2.4.1.2.4.7		
2.4.1.1.1.8	2.4.1.1.2.8	2.4.1.1.3.8	2.4.1.1.4.8	2.4.1.2.1.8	2.4.1.2.2.8	2.4.1.2.3.8	2.4.1.2.4.8		
2.4.1.1.1.9	2.4.1.1.2.9	2.4.1.1.3.9	2.4.1.1.4.9	2.4.1.2.1.9	2.4.1.2.2.9	2.4.1.2.3.9	2.4.1.2.4.9		
2.4.1.1.1.10	2.4.1.1.2.10	2.4.1.1.3.10	2.4.1.1.4.10	2.4.1.2.1.10	2.4.1.2.2.10	2.4.1.2.3.10	2.4.1.2.4.10		
2.4.1.1.1.11	2.4.1.1.2.11	2.4.1.1.3.11	2.4.1.1.4.11	2.4.1.2.1.11	2.4.1.2.2.11	2.4.1.2.3.11	2.4.1.2.4.11		
2.4.1.1.1.12	2.4.1.1.2.12	2.4.1.1.3.12	2.4.1.1.4.12	2.4.1.2.1.12	2.4.1.2.2.12	2.4.1.2.3.12	2.4.1.2.4.12		
2.4.1.1.1.13	2.4.1.1.2.13	2.4.1.1.3.13	2.4.1.1.4.13	2.4.1.2.1.13	2.4.1.2.2.13	2.4.1.2.3.13	2.4.1.2.4.13		
2.4.1.1.1.14	2.4.1.1.2.14	2.4.1.1.3.14	2.4.1.1.4.14	2.4.1.2.1.14	2.4.1.2.2.14	2.4.1.2.3.14	2.4.1.2.4.14		
2.4.1.1.1.15	2.4.1.1.2.15	2.4.1.1.3.15	2.4.1.1.4.15	2.4.1.2.1.15	2.4.1.2.2.15	2.4.1.2.3.15	2.4.1.2.4.15		
2.4.1.1.1.16	2.4.1.1.2.16	2.4.1.1.3.16		2.4.1.2.1.16	2.4.1.2.2.16	2.4.1.2.3.16	2.4.1.2.4.16		
2.4.1.1.1.17	2.4.1.1.2.17	2.4.1.1.3.17		2.4.1.2.1.17	2.4.1.2.2.17	2.4.1.2.3.17	2.4.1.2.4.17		
2.4.1.1.1.18	2.4.1.1.2.18	2.4.1.1.3.18		2.4.1.2.1.18	2.4.1.2.2.18	2.4.1.2.3.18	2.4.1.2.4.18		
2.4.1.1.1.19	2.4.1.1.2.19	2.4.1.1.3.19		2.4.1.2.1.19	2.4.1.2.2.19	2.4.1.2.3.19	2.4.1.2.4.19		
2.4.1.1.1.20	2.4.1.1.2.20	2.4.1.1.3.20		2.4.1.2.1.20	2.4.1.2.2.20	2.4.1.2.3.20	2.4.1.2.4.20		
2.4.1.1.1.21	2.4.1.1.2.21	2.4.1.1.3.21		2.4.1.2.1.21	2.4.1.2.2.21	2.4.1.2.3.21	2.4.1.2.4.21		
2.4.1.1.1.22	2.4.1.1.2.22	2.4.1.1.3.22		2.4.1.2.1.22	2.4.1.2.2.22	2.4.1.2.3.22	2.4.1.2.4.22		

<b>2.4.1.1.</b>	2.4.1.1.	2.4.1.2.	2.4.1.2.	2.4.1.2.	2.4.1.2.
<b>1.23</b>	2.23	1.23	2.23	3.23	4.23
		2.4.1.2.	2.4.1.2.		
		1.24	2.24		

**PANNELLI PERIMETRALI PREFABBRICATI 2.1.1**

**.1 Corpo C1**

<b>.1 EST</b>				<b>.2 SUD</b>				<b>.3 N</b>	<b>.4 O</b>
<b>.1 FILA</b>	<b>.2 FILA</b>	<b>.3 FILA</b>	<b>.4 FILA</b>	<b>.1 FILA</b>	<b>.2 FILA</b>	<b>.3 FILA</b>	<b>.4 FILA</b>	2.1.1.1.3	2.1.1.1.4
<b>1</b>	2	3	4	1	2	3	4		
<b>(+1,3)</b>	(+3,3)	(+5,3)	(+8,3)	(+1,3)	(+3,3)	(+5,3)	(+8,3)		
<b>2.1.1.1</b>	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1		
<b>.1.1.1</b>	.1.2.1	.1.3.1	.1.4.1	.2.1	.2.2	.2.3	.2.4		
<b>2.1.1.1</b>	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1						
<b>.1.1.2</b>	.1.2.2	.1.3.2	.1.4.2						
<b>2.1.1.1</b>	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1						
<b>.1.1.3</b>	.1.2.3	.1.3.3	.1.4.3						
<b>2.1.1.1</b>	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1						
<b>.1.1.4</b>	.1.2.4	.1.3.4	.1.4.4						
<b>2.1.1.1</b>	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1						
<b>.1.1.5</b>	.1.2.5	.1.3.5	.1.4.5						
<b>2.1.1.1</b>	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1						
<b>.1.1.6</b>	.1.2.6	.1.3.6	.1.4.6						
	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1						
	.1.2.7	.1.3.7	.1.4.7						
	2.1.1.1	2.1.1.1	2.1.1.1						
	.1.2.8	.1.3.8	.1.4.8						

**SOLAIO DI TERRA 2.2.1**

**.1 Corpo C1**

**.2 Corpo C2**

**.3 Corpo E1**

**.4 Corpo E2**

**2.2.1.1**

**2.2.1.2**

**2.2.1.3**

**2.2.1.4**

---

SCAVI SEZIONE OBBLIGATA FONDAZIONI T.1.1

**.1** Corpo C1                      **.2** Corpo C2                      **.3** Corpo E1                      **.4** Corpo E2

T.1.1.1.1.A	T.1.1.2	T.1.1.3	T.1.1.4
T.1.1.1.1.B			
T.1.1.1.1.C			
T.1.1.1.1.D			
T.1.1.1.1.E			
T.1.1.1.1.F			
T.1.1.1.1.G			
T.1.1.1.1.H			
T.1.1.1.1.I			
T.1.1.1.2.A			
T.1.1.1.2.I			
T.1.1.1.3.A			
T.1.1.1.3.C			
T.1.1.1.3.E			
T.1.1.1.3.G			
T.1.1.1.3.I			
T.1.1.1.4.A			
T.1.1.1.4.I			
T.1.1.1.5.A			
T.1.1.1.5.C			
T.1.1.1.5.E			
T.1.1.1.5.G			
T.1.1.1.5.I			
T.1.1.1.6.A			
T.1.1.1.7.A			
T.1.1.1.7.C			
T.1.1.1.7.E			
T.1.1.1.8.A			
T.1.1.1.9.A			
T.1.1.1.9.B			
T.1.1.1.9.C			
T.1.1.1.9.D			
T.1.1.1.10.J			
T.1.1.1.10.K			
T.1.1.1.10.L			
T.1.1.1.10.M			
T.1.1.1.10.N			
T.1.1.1.10.O			
T.1.1.1.10.P			

---

Come si evince dalle tabelle riportate, in alcuni casi la classificazione è scesa addirittura fino al sesto o settimo livello di dettaglio, avendo codificato alcuni elementi, oltre che per la loro funzione/caratteristica/forma, anche in base alla modalità realizzativa e la posizione all'interno del progetto in modo da avere ben chiara fin dall'inizio la sequenza logica delle lavorazioni che si susseguiranno in cantiere per dar vita al prodotto finale.

Tale livello di dettaglio spesso non è richiesto e addirittura può fuorviare da quello che è il vero scopo di una *WBS*, ma in questo caso, siffatta scomposizione permette di facilitare le fasi successive di esportazione del modello per l'integrazione del fattore tempo agli elementi tridimensionali, quindi è stata implementata per adattarsi allo scopo/obiettivo finale del lavoro.

Il passo successivo, sarebbe quello di creare un cronoprogramma (*diagramma di Gantt*) dettagliato dei lavori in riferimento alla scomposizione delle lavorazioni utilizzata nella creazione della *WBS* sopra elencata. Prima di poter fare questo però, è stata necessaria un'attenta analisi del cantiere in esame e dei componenti caratterizzanti l'opera da realizzare. Partendo dalla precedente descrizione delle strutture prefabbricate e non, è stato condotto uno studio in riferimento alle modalità operative in cantiere, cercando di valutare i rischi derivanti da ogni lavorazione, la manodopera e le risorse necessarie e la durata effettiva, creando delle vere e proprie *schede ergotecniche*.

## 2.4 Schede Ergotecniche

Per una migliore analisi della sicurezza e gestione dei rischi all'interno del cantiere in esame, sono state realizzate delle schede ergotecniche delle varie "parti" ed elementi che compongono nel loro insieme la struttura dei quattro grandi fabbricati da realizzare. In tali schede vengono esaminati, per ogni componente, importanti aspetti di gestione del cantiere stesso dai quali sarà possibile, una volta definiti e studiati nel dettaglio, una migliore gestione dei rischi e analisi riguardanti la sicurezza sul lavoro secondo decreto 81/2008. Tali aspetti in particolare riguarderanno le modalità di trasporto in cantiere del materiale, l'approvvigionamento, le più adeguate modalità di stoccaggio in apposite aree all'interno del cantiere (se necessario a seconda dei casi), la movimentazione delle strutture prefabbricate e infine le procedure da seguire per la corretta posa in opera delle stesse.

Un approfondimento di tali importanti problematiche permette di effettuare delle scelte in tema di sicurezza che siano più attinenti al cantiere in questione, evitando di seguire procedure standard che possano fuorviare dall'individuazione di tutti i rischi derivanti dalle lavorazioni.

Il progetto del centro commerciale MondoJuve Shopping Center sito nell'area compresa tra i comuni di Vinovo e Nichelino in provincia di Torino prevede, come già visto, la realizzazione di quattro grandi fabbricati posti sul versante Sud-Ovest dei preesistenti fabbricati del primo lotto. La struttura è simile a quella del primo lotto e prevede la posa di strutture prefabbricate in c.a. e in c.a.p. quali pilastri, travi, tegole di copertura e pannelli perimetrali esterni di chiusura, oltre che alla realizzazione di parti in opera quali i plinti di fondazione, i solai contro terra e ulteriori getti di completamento ad ausilio della posa in opera dei componenti prefabbricati.

Ognuno di questi elementi è stato studiato nel dettaglio e la macro-lavorazione riguardante il montaggio dei prefabbricati è stata suddivisa in attività elementari.

## 2.4.1 SCHEDA ERGOTECNICA: Plinti di fondazione gettati in opera

**Analisi:** La struttura di fondazione, al contrario di quanto fatto usualmente in tali situazioni, non prevede l'uso di fondazioni prefabbricate cosiddette "a bicchiere" per la successiva posa dei pilastri ma saranno invece realizzati dei plinti di fondazione, quindi fondazioni dirette discontinue, gettati in opera con all'interno, oltre la normale "gabbia" di armatura metallica, un particolare innesto di fondazione, sulla quale poggeranno i tirafondi che saranno bullonati insieme alle scarpe metalliche dei pilastri. Questo sistema di ancoraggio è sostanzialmente un sistema misto armatubo che permette l'innesto con dei connettori tipo peiKKo d'angolo al fine di garantire la fase di montaggio e messa in opera dei pilastri.



Figura 19: Elemento Plinto di fondazione gettato in opera.



Figure 20-21-22-23: Fasi di realizzazione dei plinti di cls gettati in opera nel cantiere MondoJuve (corpi C ed E); dettagli di armatura e innesto di fondazione con tubi corrugati.

I plinti hanno dimensioni variabili e sono posti a quote diverse comprese tra -0,20m a -1,45m (quota all'estradosso del plinto) con altezze dei plinti di 0,7 e 0,8 metri a seconda della loro localizzazione.

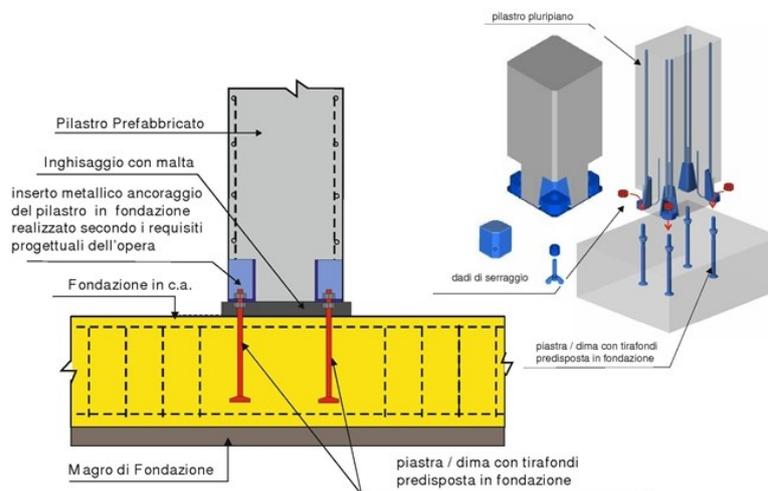


Figura 24: Dettaglio degli elementi di connessione tra plinto e pilastro prefabbricato.

### Movimentazione e trasporto:

Il trasporto del calcestruzzo fresco avviene con autobetoniera provvista di una botte rotante che mantiene in costante agitazione l'impasto al fine di prevenire la

separazione degli aggregati grossi che, altrimenti, tenderebbero a depositarsi sul fondo mentre l'acqua e la pasta di cemento rifluirebbero verso la superficie. Il peso del mezzo carico non deve eccedere le 44 tonnellate complessive, come da prescrizioni delle norme vigenti per la circolazione stradale e, inoltre, deve rientrare nelle dimensioni massime fornite dalla sagoma limite per la circolazione ordinaria. Per condizioni ottimali di fornitura con autobetoniera a piè d'opera è necessario prevenire le segregazioni e ridurre i tempi di trasporto, di attesa in cantiere e di scarico. Bisogna adeguare anche gli intervalli di tempi tra i lotti di fornitura. La scelta



Figura 25: Autobetoniera per trasporto calcestruzzo in cantiere.

dell'impianto di betonaggio deve considerare i tempi di percorrenza e l'intervallo di tempo di scarico tra due autobetoniere consecutive che dipende dalla temperatura e dalla presenza di vento (mediamente 30 minuti). Eventuali ritardi sono da segnalare in modo da prendere precauzioni contro la potenziale creazione di fessure dovute alla ripresa di getto che potrebbero indurre a problemi riguardanti la resistenza a compressione del calcestruzzo e quindi la stabilità dell'opera, oltre che costituire una via di infiltrazione dell'acqua con conseguente ossidazione (e quindi decremento di prestazione a trazione) dei tondi di armatura.

Se l'autobetoniera deve sostare al sole con temperature superiori ai 20°C occorre mantenere bagnato l'esterno del tamburo. Al momento dello scarico la consistenza deve corrispondere a quella di progetto. L'autobetoniera può entrare in cantiere solo dopo aver stabilito l'esatto percorso evitando percorsi cedevoli e con pendenze non idonee, mantenendo le giuste distanze dagli scavi (porgendo particolare attenzione alle vibrazioni in gioco) e procedendo a passo d'uomo. Il transito del mezzo in cantiere deve essere segnalato con un girofaro e segnali acustici per evitare il rischio di collisione con altri mezzi e opere cantieristiche o investire persone.

L'autista dell'autobetoniera deve rimanere all'interno della cabina di guida fino al raggiungimento della zona di fermo del mezzo e deve essere dotato dei seguenti D.P.I.:

- calzature di sicurezza per non scivolare;
- casco per la protezione da oggetti caduti dall'alto;
- gilet ad alta visibilità;
- mascherine anti-polvere;
- occhiali per proteggersi dagli schizzi di boiaccia;
- guanti.

Per la sosta del mezzo per lo scarico bisogna azionare il freno di stazionamento, porre dei cunei alle ruote e stabilizzare al suolo l'autobetoniera con gli stabilizzatori (se presenti in dotazione del mezzo). La sistemazione della canaletta (in quanto parte integrante dell'autobetoniera)

deve essere eseguita dal fornitore, mentre la preparazione della benna è a capo degli operai di cantiere (anche loro protetti dai D.P.I. sopra citati). Il getto dei plinti di fondazione non dovrebbe prevedere l'utilizzo della benna e può essere effettuato direttamente tramite pompa nelle casseforme.

Anche in questo caso andrebbero evitati i seguenti errori che porterebbero alla segregazione del calcestruzzo:

- eccessiva altezza di caduta libera del conglomerato per raggiungere il fondo del cassero;
- urto del calcestruzzo contro i casseri in legno, con conseguente fuoriuscita di aggregato: questo potrebbe creare, al momento del disarmo, i famosi "nidi d'ape" che oltre ad un impatto estetico sgradevole possono causare infiltrazioni d'acqua verso l'interno del getto con conseguente ossidazione dei ferri d'armatura;
- inadeguata o insufficiente vibrazione del getto.

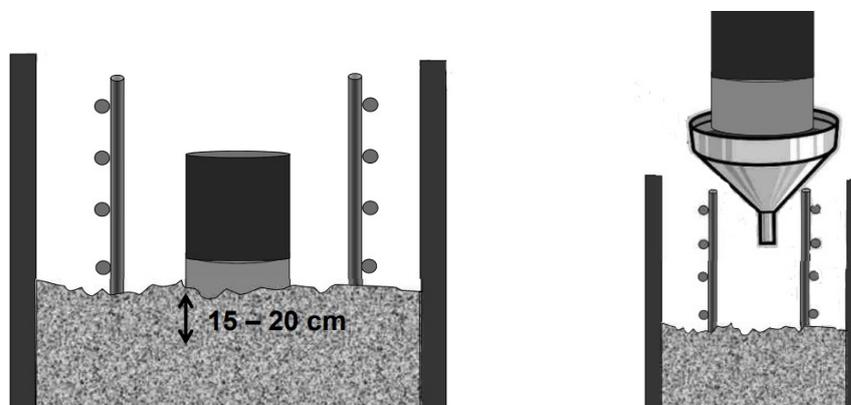


Figura 26: Prescrizioni per il corretto getto di cls; altezza di caduta ed uso di convogliatori

Per evitare ciò si potrebbero utilizzare dei convogliatori come ad esempio un imbuto con un gambo di lunghezza variabile da 1.5 a 3.5 metri (a seconda dell'altezza dell'elemento da gettare) che possa convogliare il calcestruzzo al centro della cassaforma evitando che ci sia collisione dell'impasto con la gabbia di armatura e le sponde dei casseri.

**Approvvigionamento:** Viene fornito un calcestruzzo con le seguenti caratteristiche:

- classe di resistenza Rck:  $300 \text{ daN/cm}^2$  ( la norma UNI 11104, integrazione italiana della norma UNI EN 206-1, prevede per strutture armate una classe di esposizione XC1 che ha tra i requisiti minimi un Rck di  $30,0 \text{ N/mm}^2$ );
- classe di consistenza: S5 (superfluida).

Il produttore, seguendo i criteri imposti dalla normativa UNI, realizza il calcestruzzo con i requisiti richiesti, incluse le prescrizioni fornite dalla classe di esposizione. Si utilizzano aggregati grossi.

#### 2.4.2 SCHEDA ERGOTECNICA: Pilastrì prefabbricati in c.a.v.

**Analisi:** Il progetto prevede la fornitura, la movimentazione e la messa in opera di ben 168 pilastrì prefabbricati in c.a.v. (cemento armato vibrato), divisi tra i quattro corpi C (C1 e C2) ed E (E1 ed E2).

I pilastrì, di sezioni ed altezze opportune, arriveranno in cantiere completi di tutto quanto necessario e previsto per la posa ed il fissaggio delle successive travi prefabbricate e delle pannellature perimetrali addossate ad essi (mensole, capitelli, lesene, attacchi, ancoraggi e simili). Alcuni dei pilastrì dovranno presentare al loro interno un pluviale in pvc  $\varphi_{\text{min}}160$  (con innesto superiore "femmina" ed uscita inferiore su faccia laterale "maschio" con camicia). In testa e al piede di ciascun pilastrò saranno realizzati, qualora necessario, elementi di collegamento tra le armature metalliche interne degli stessi e la rete di messa a terra, mediante fornitura in opera di piastre collegate con saldatura all'armatura.

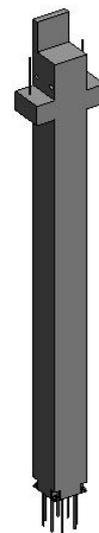


Figura 27: Elemento Pilastro prefabbricato (modello Revit).

La giunzione tra plinto-pilastro è realizzata mediante ferri fuoriuscenti dai pilastri stessi che andranno inseriti all'interno di guaine corrugate predisposte nei plinti in opera, e mediante delle scarpe di tipo peiKKo disposte al quattro angoli del basamento del pilastro nella quale alloggeranno i tirafondi sempre già predisposti nel plinti di fondazione. Successivamente i corrugati andranno riempiti con cemento antiritiro tipo 'Emaco' sempre a cura del prefabbricatore.



Figura 28: Montaggio pilastri prefabbricati; cantiere MondoJuve.

**Trasporto:** Il trasporto dei pilastri prefabbricati (così come tutti gli elementi prefabbricati) deve seguire innanzitutto le disposizioni generali previste dalla Circolare Ministero del Lavoro n° 13/82 (ALLEGATO III) di cui si riporta un estratto:

***“TITOLO III: TRASPORTO E MONTAGGIO DEGLI ELEMENTI PREFABBRICATI***

***Disposizioni di carattere generale (art.19)***

- 1) Il carico, il trasporto e lo scarico degli elementi prefabbricati devono essere effettuati con i mezzi e le modalità appropriati in modo da assicurare la stabilità del carico e del mezzo in relazione alla velocità di quest'ultimo ed alle caratteristiche del percorso.***
- 2) I percorsi su aree private e nei cantieri devono essere fissati previo controllo della loro agibilità e portanza da ripetere ogni volta che, a***

*seguito di lavori o fenomeni atmosferici, se ne possa presumere la modifica”.*

Il trasporto avviene mediante autotreno che non deve superare i limiti imposti dal codice della strada negli articoli 61 e 62: le normali misure di sagoma, oltre le quali si rientra nella definizione di trasporto eccezionale, sono rispettivamente di non più di 16,50 metri di lunghezza, di 2,55 metri di larghezza e 4 metri di altezza.

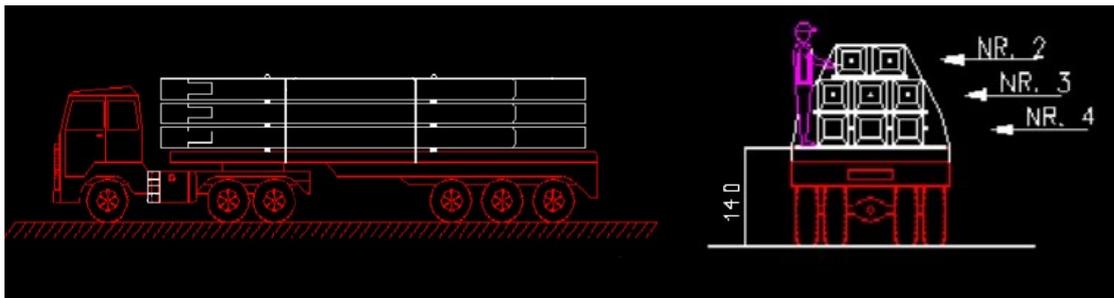


Figura 29: Trasporto pilastri prefabbricati tramite autotreno; modalità corrette.

La lunghezza è comprensiva di un eventuale rimorchio e può raggiungere i 18,75 metri in casi di particolari tipi di motrice con rimorchio. I pilastri dell'opera in questione hanno lunghezze variabili ma che non superano mai i 9 metri e hanno una sezione massima di 0,6 metri, non considerando però eventuali mensole per il sostegno delle travi. Essendo l'altezza limite di trasporto 4 metri è consigliabile disporre i pilastri a piramide con un massimo di tre file sovrapposte (tre piani) mai sporgenti dall'autotreno e posizionando tra un piano e l'altro due traversine di appoggio in legno duro (sezione minima 2,5x5 centimetri) sui quarti della lunghezza totale del pilastro posto orizzontalmente. Il numero massimo di pilastri caricabili sull'autotreno è di 9 posti come suddetto a piramide per un massimo di 3 piani.

**Approvvigionamento e movimentazione (carico e scarico):** Giunto in cantiere, l'autotreno si avvicina all'autogru già posizionata per il montaggio dei pilastri stessi. Un operatore addetto all'aggancio per lo scarico dall'autotreno predispone in seguito una scala per il raggiungimento del punto di ancoraggio mentre un secondo operatore tiene ferma la scala al piede. Per salire sull'autotreno, si farà uso di una scaletta presente sul mezzo stesso su uno dei lati. Una volta fissato il primo gancio di una fune

l'operatore scende dalla scala e si sposta presso il secondo gancio per eseguire la stessa procedura.

Le funi di sollevamento dovranno formare un angolo di inclinazione rispetto al pilastro non inferiore a 60 gradi e avere una lunghezza minima pari alla distanza tra i due ganci di ancoraggio; dovranno inoltre avere una portata minima per singola fune pari al 50% dell'elemento da sollevare, perciò è necessario conoscere il peso massimo dei pilastri prefabbricati, o almeno di quello più pesante in modo da effettuare una scelta adeguata delle funi di sollevamento.

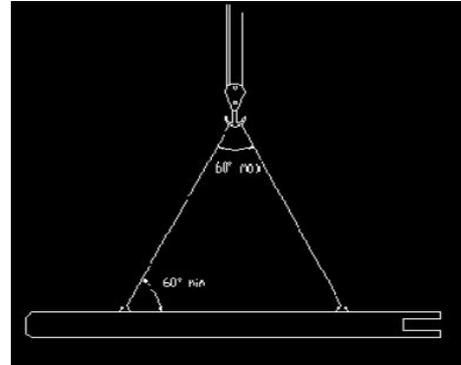


Figura 30: Angoli di inclinazione funi di sollevamento

Prescrizioni per lo scarico: durante le operazioni di scarico gli addetti a terra (2 addetti) devono mantenersi a distanza di sicurezza e devono inoltre preventivamente interdire le zone di scarico al transito pedonale e carroio, al fine di evitare la trasmissione dei rischi collaterali. L'operatore deve inoltre fare attenzione a non anteporre gli arti tra l'intradosso del pilastro e il piano di appoggio.

**Stoccaggio:** Lo stoccaggio dei pilastri prefabbricati sarà di tipo provvisorio a piè d'opera. I pilastri infatti, già codificati secondo la loro posizione finale, saranno scaricati direttamente in corrispondenza o nelle immediate vicinanze dei rispettivi plinti di fondazione, predisponendo preventivamente delle traverse per l'appoggio a terra in corrispondenza dei ganci di sollevamento, oppure direttamente sul terreno se le condizioni del piazzale lo permettono. Si possono eventualmente accostare fino ad un massimo di due pilastri sovrapposti, avendo cura però di posizionare dei distanziatori in legno perfettamente in asse con le traverse sottostanti.

**Posa in opera:** Le fasi di messa in opera del pilastro prefabbricato consistono nel sollevamento da posizione orizzontale, verticalizzazione e centratura del pilastro nella posizione finale, bullonatura e successivi getti di completamento.



Figure 31-32-33-34-35-36: Sequenza logica di fasi per la posa in opera dei pilastri prefabbricati; cantiere MondoJuve Shopping Center

Il sollevamento avviene tramite la predisposizione a terra di un golfare ad occhiello avvitato nella boccia filettata inserita nel punto di ancoraggio predisposto nel pilastro presso l'estremità inferiore. All'estremità superiore invece si predispongono l'ancoraggio tramite degli spinotti in acciaio, aventi diametro idoneo a seconda dei fori del pilastro, necessari per il sollevamento e che permettono una semplice movimentazione e verticalità del pilastro stesso.

Con il sollevamento quindi il pilastro viene eretto in posizione verticale tramite autogru. E' assolutamente vietato verticalizzare il pilastro direttamente dall'automezzo, e durante questa fase il personale deve essere al di fuori del raggio di eventuale caduta.

Una delle estremità dello spinotto di sollevamento deve presentare una coppiglia amovibile collegata da una fune che, una volta posto il pilastro in verticale e posizionato, viene tirata dall'addetto a terra per sganciarla e rimuovere lo spinotto dal pilastro.

L'altra estremità deve presentare invece una parte con arresto fisso collegata anch'essa ad una fune, allo scopo di impedire lo sfilamento o sganciamento accidentale.

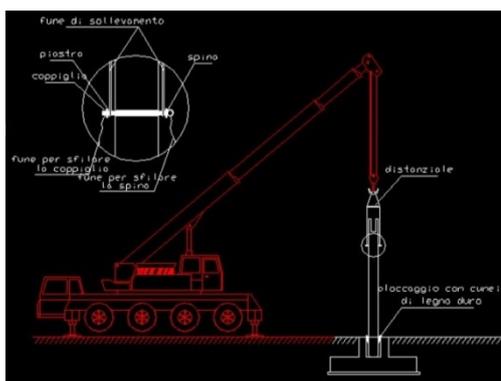


Figura 37: Modalità di sgancio degli spinotti.

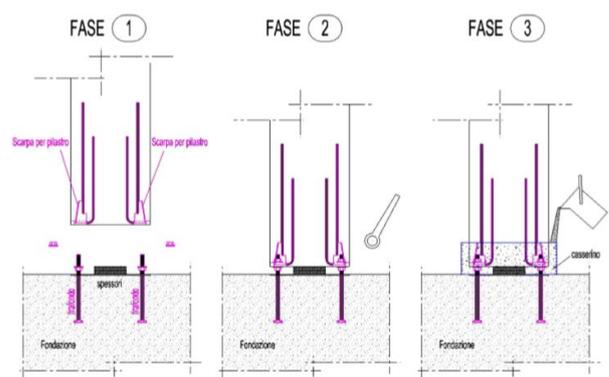


Figura 38: Fasi di sigillatura del collegamento pilastro-pilastro

Una volta verticalizzato, gli addetti a terra potranno avvicinarsi al pilastro e orientarlo manualmente quando questo si troverà ad una quota di circa 30 centimetri dal punto di inserimento. Questa fase è detta messa a piombo del pilastro. Gli operatori devono assicurarsi, negli ultimi centimetri di discesa del pilastro che i ferri fuoriuscenti da questo siano perfettamente allineati con le

guaine corrugate presenti nel plinto; stessa cosa vale tra i tirafondi e le scarpe del pilastro. Il pilastro viene infatti infilato sui tirafondi appoggiandolo sui dadi inferiori e sulle piastre predisposte ad un'altezza di 5 cm dall'estradosso del plinto; vengono in seguito avvitati i dadi superiori con rondelle ai tirafondi.

Dopo averlo posizionato, si procede con la sigillatura mediante getto di conglomerato di cemento antiritiro tipo 'Emaco'.

E' vietato lasciare i pilastri durante il fine settimana o durante la notte senza aver provveduto ad effettuare il getto di sigillatura.

#### 2.4.3 SCHEDA ERGOTECNICA: Travi prefabbricate in c.a.v./c.a.p

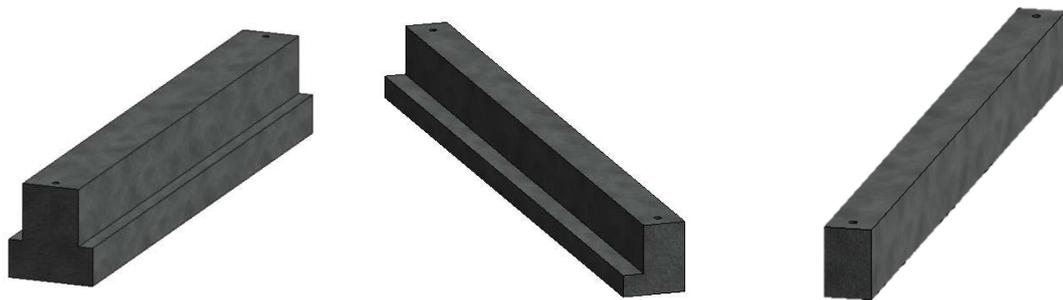


Figura 39: Elemento Trave prefabbricata; sezione a T rovescia, "elle" e rettangolare (modello Revit).

**Analisi:** Per il progetto in esame sono state previste sostanzialmente tre distinte categorie di travi prefabbricate in cemento armato precompresso o vibrato a fili aderenti, con sezioni variabili a seconda del collocamento in opera e del corpo di appartenenza (C o E):

- Travi a sezione a T rovescia (o a L binate)
- Travi a sezione a L
- Travi a sezione rettangolare

Le travi dovranno arrivare in cantiere complete di tutto quanto necessario per la corretta posa in opera e ancoraggio con le strutture di appoggio delle stesse.

**Trasporto:** Il trasporto delle travi avviene mediante l'utilizzo di autotreno nelle stesse modalità sopracitate per il trasporto dei pilastri prefabbricati, ricordando i limiti del codice della strada per il trasporto eccezionale (anche in questo caso la lunghezza delle travi non supera i limiti imposti dalla legge). Si fa inoltre riferimento, come prescrizioni generali di trasporto di elementi prefabbricati alla Circolare Ministero del Lavoro n° 13/82 (TITOLO III).

**Approvvigionamento e movimentazione (carico e scarico):** Giunto in cantiere l'autotreno si posiziona ancora una volta vicino l'autogru predisposta per lo scarico e il sollevamento delle travi prefabbricate. L'operatore esegue le stesse procedure già trattate per i pilastri per l'aggancio delle travi mediante l'uso di una scala per raggiungere gli ancoraggi alla sommità della piramide di travi.

**Stoccaggio:** Le travi prefabbricate vengono stoccate provvisoriamente nei pressi della zona di posa nella loro posizione definitiva. Per lo stoccaggio delle travi a terra bisogna innanzitutto verificare il fondo d'appoggio, e, se non adeguato, prevedere apposite traversine in legno sulle quali posarle, opportunamente distanziate a circa un quarto dalle estremità della trave. Le travi non vanno mai sovrapposte, ma sono posizionate l'una di fianco all'altra e vengono utilizzati dei puntoni laterali e cunei in legno per evitare che l'ultima trave della serie rimanga instabile.

L'angolo di inclinazione delle funi di sollevamento rispetto all'orizzontale deve essere maggiore o uguale a 60 gradi con angolo massimo al vertice di 60 gradi.



*Figura 40: Stoccaggio a piè d'opera delle travi prefabbricate in cantiere.*



Figura 41: Dettaglio traversine in legno per stoccaggio travi a terra.

Durante la fase di stoccaggio provvisorio e obbligatoriamente prima della posa in opera della trave, si predispone a piè d'opera, come sistema di protezione contro le cadute dall'alto, l'assemblaggio di una linea vita flessibile temporanea di tipo B UNI EN 795-2012. Si procede cioè al fissaggio di paletti alle boccole, già predisposte dal prefabricatore secondo piano antinfortunistico di montaggio, e successivamente viene montato il nastro di sicurezza (anticaduta) che deve essere adeguatamente ancorata ai paletti e all'estremità ai dispositivi di ancoraggio annegati nella trave. Il nastro verrà messo in tensione tramite tiranti e solo dopo si potrà procedere con le operazioni di posa in opera.

Si rammenta inoltre il concetto di tirante d'aria da tenere in conto per il corretto funzionamento del sistema di arresto della caduta dei DPI (doppio cordino anticaduta UNI 354 + imbragatura UNI 361 + assorbitore d'energia UNI 355) indossati dagli operatori che opereranno sulla trave e collegati alla linea vita.

**Posa in opera:** Si procede con il sollevamento della trave mediante apposita autogru. L'operazione richiede almeno 5 operatori, tra cui il gruista addetto al sollevamento, 2 operatori a terra addetti all'aggancio delle funi agli ancoraggi della trave e 2 operatori su PLE (piattaforme di lavoro mobile elevabile) che

guidano la trave in quota fino alla posizione finale e sganciano le funi di sollevamento.



Figura 42: Fase di posa in opera; aggancio delle funi alle boccole della trave prefabbricata.

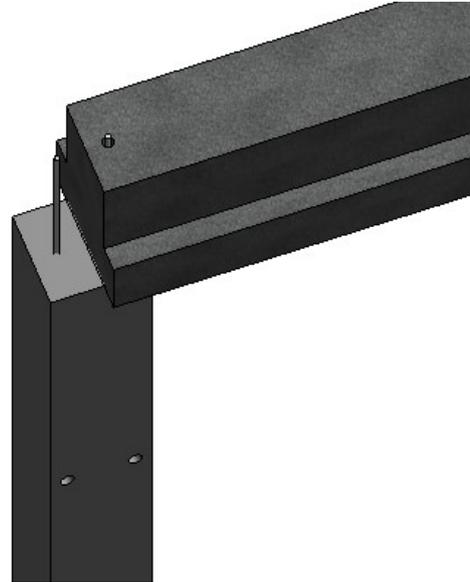


Figura 43: Fase di sollevamento della trave mediante autogru e operatori su PLE per guida alla posizione finale.

L'uso della PLE in queste operazioni è obbligatorio e sostituisce l'utilizzo della scala che costituisce invece un'attrezzatura che espone ad un alto rischio di caduta dall'alto. Per i principi contenuti nell'art. 15 del D. Lgs. 81/08 lett. c) e f) infatti occorre perseguire «l'eliminazione dei rischi e, ove ciò non sia possibile, la loro riduzione al minimo in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico» e «sostituire ciò che è pericoloso con

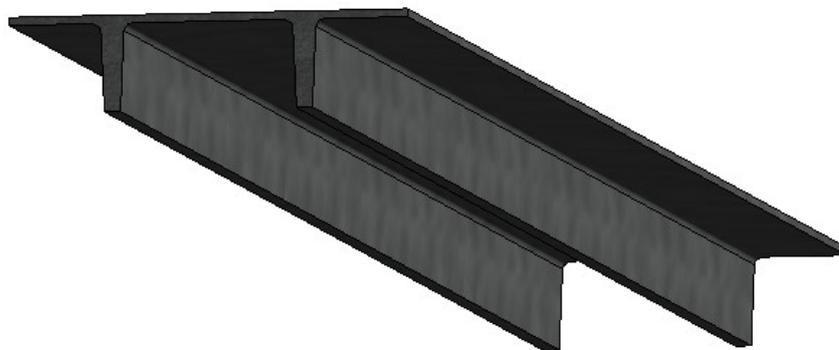
*ciò che non lo è, o è meno pericoloso». Perciò l'operazione di sgancio delle funi deve avvenire sempre con PLE o, nel caso in cui non sia possibile, con la scala rispettandone i limiti d'uso in quanto tale modalità lavorativa comporta meno rischi per l'incolumità fisica del lavoratore rispetto alla salita sulla trave per collegarsi al sistema anticaduta e operazione inversa di discesa.*

Verrà effettuato inoltre un getto integrativo di cemento antiritiro anche per il collegamento trave-pilastro effettuato mediante dei ferri di armatura fuoriuscenti dal pilastro e dei fori predisposti dal prefabbricatore sulla trave, di diametro adeguato, necessari per la centratura di quest'ultima nella posizione finale.



*Figura 44: Dettaglio collegamento Trave-Pilastro; modello tridimensionale Revit.*

#### **2.4.4 SCHEDA ERGOTECNICA: Tegoli di copertura in c.a.p (di tipo binervato)**



*Figura 45: Elemento Tegolo con sezione TT prefabbricato; modello Revit.*

**Analisi:** Tegoli di copertura prefabbricati a doppia T di tipo binervato in cemento armato precompresso, da posarsi a secco in appoggio sulle travi a L di bordo e le travi a T rovescia delle campate centrali con inclinazioni differenti a seconda della posizione.

I tegoli hanno sezioni differenti per i corpi laterali (C1 ed E1) e quelli centrali (C2 ed E2). Gli elementi di copertura arriveranno in cantiere con gli adeguati tagli per eventuali lucernari o per il passaggio dei pilastri di bordo e non possono in nessun caso essere manomessi in cantiere.

**Trasporto:** Il trasporto dei tegoli è effettuato tramite appositi autotreni disponendo in sovrapposizione un numero massimo di 3 tegoli per rispettare l'altezza limite di trasporto di 4 metri (altezza H di riferimento per singolo tegolo di 70 cm). Si rammenta inoltre che durante il trasporto e lo stoccaggio i tegoli andranno sovrapposti in corrispondenza degli elementi portanti, con superfici di appoggio adeguate.



Figure 46-47: Trasporto dei tegoli prefabbricati in cantiere mediante autotreno

**Approvvigionamento e Movimentazione:** I tegoli arrivano in cantiere in numero di tre per autotreno, è necessario quindi organizzare bene l'approvvigionamento di questi ultimi. E' possibile optare per due soluzioni: una in cui arrivino in cantiere più autotreni successivi e i tegoli vengano stoccati a piè d'opera prima della posa in quota, operazione più comune ma rischiosa per la presenza di più mezzi in cantiere che possono portare maggiori rischi per la sicurezza degli operatori a terra e deve necessariamente prevedere dei percorsi preferenziali; altrimenti la seconda

soluzione da poter usare nel cantiere in esame è quella di non stoccare il materiale, ma sollevarlo e posarlo direttamente da autotreno che, una volta scarico, esce dal cantiere. Nel secondo caso bisogna programmare l'approvvigionamento dei tegoli con autotreni che arrivino in cantiere a distanza di 30-45 minuti circa. Inoltre non sarà necessaria alcuna movimentazione del materiale che viene agganciato direttamente sull'autotreno per la sua posa in opera e questo permette di avere dei benefici in termini di tempo.

**Stoccaggio:** Come già accennato, lo stoccaggio dei tegoli in cantiere può essere provvisorio o può addirittura non essere necessario nel momento in cui si opta per il sollevamento degli elementi di copertura direttamente dall'autotreno.

Nel caso in cui si optasse per lo stoccaggio del materiale a piè d'opera la procedura sarà la stessa seguita per pilastri e travi prefabbricate.

**Posa in opera:** Supponendo che la scelta sia caduta sulla posa in opera dei tegoli di copertura direttamente dall'autotreno e senza stoccaggio a piè d'opera, le modalità sono le seguenti.



Innanzitutto l'operazione necessita di due addetti che, saliti sull'autotreno mediante una scala fino alla sommità dell'ultimo tegolo della pila, aggancino le funi agli 8 ancoraggi predisposti dal prefabbricatore, 4 per



Figure 48-49: Sollevamento dei Tegoli prefabbricati mediante autogru e l'ausilio di operatori su PLE.

estremità, per il sollevamento di quest'ultimo. Gli operatori devono essere provvisti di tutti i d.p.i. adeguati minimi quali casco, scarpe antinfortunistiche e guanti antitaglio. Questa

operazione tuttavia, comporta un rischio di caduta dall'alto per gli operatori che, avendo come piano di lavoro per l'aggancio, l'estradosso stesso del terzo tegolo impilato, si trovano a lavorare ad una quota maggiore di 2,00 metri da terra. Ovviamente il rischio è limitato all'aggancio dell'ultimo tegolo e non perviene per i restanti due, ma deve essere evitato. Sarebbe impensabile e scomodo effettuare l'aggancio dell'elemento tramite PLE, o ancora difficile predisporre dei parapetti adeguati sull'autotreno poiché, dovendo questi superare di 1 metro la quota di estradosso del terzo tegolo, andrebbero a superare il limite di 4 metri del codice della strada per trasporto eccezionale. Questo infatti, è uno dei rischi derivanti dalla lavorazione stessa, che è difficile da evitare e bisognerebbe studiare dei sistemi adeguati di protezione, poiché l'esposizione al rischio di caduta dall'alto deve essere nulla, in qualunque caso.

Una volta agganciato il tegolo si procede con il sollevamento mediante autogru. Altri due operatori dovranno posizionarsi in quota tramite cestello (PLE).

Questa operazione ovviamente avviene in maniera differente per il primo tegolo rispetto ai successivi:

Il primo manufatto (tegolo) va posizionato direttamente stando all'interno del cestello da due operatori alle estremità opposte. Nel caso in cui non sia possibile usare il cestello l'operatore sale su una stilata di ponteggio allestita munito di imbragatura e doppio cordino. Giunto sull'ultimo piano collegherà il cordino alla linea vita già posata sulla trave e regolerà la posa del primo tegolo. Infatti prima di questa fase seguendo le istruzioni di sicurezza contenute nella procedura di montaggio della struttura l'operatore non ha mai dovuto portarsi fisicamente sulla trave utilizzando la linea vita realizzata a piè d'opera col rischio di attivare il sistema anticaduta in quanto ha condotto la guida della trave sulla sella dei pilastri stando all'interno del cestello della PLE. Fino ad ora l'esposizione al rischio caduta persone dall'alto è stata nulla per tutte le precedenti fasi. Da questa fase in poi invece occorre individuare le modalità di accesso alla trave più sicure tenendo conto del principio cogente sancito nell'art. 111, co. 2 del D. Lgs. 81/08 di seguito

citato: «Il datore di lavoro sceglie il tipo più idoneo di sistema di accesso ai posti di lavoro temporanei in quota in rapporto alla frequenza di circolazione, al dislivello e alla durata dell'impiego».

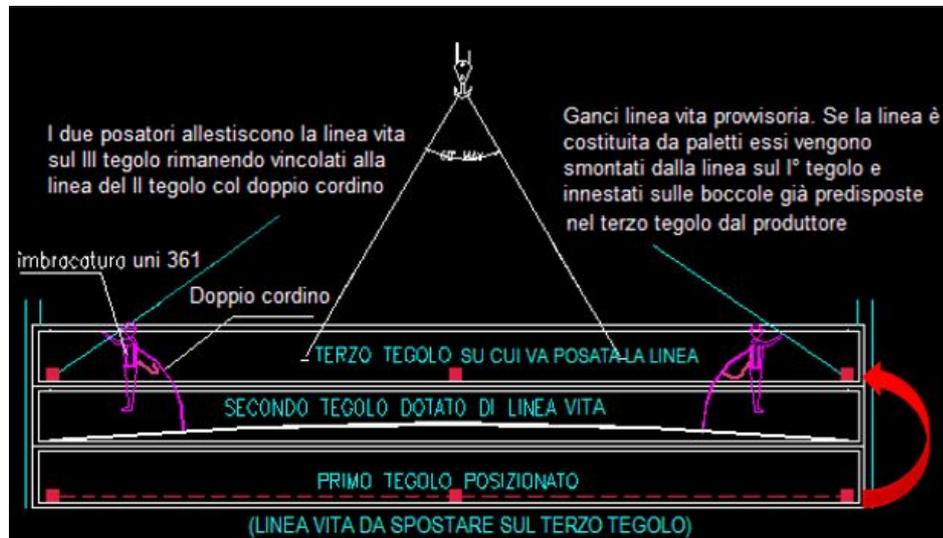


Figura 50: Modalità di posa dei tegoli; linee guida relative alla sicurezza in cantiere.

La posa del secondo tegolo in realtà avviene nelle stesse modalità del primo, fatta eccezione per la preventiva installazione in una delle stremità longitudinali di apposita linea vita come visto per le travi. Per la posa del terzo tegolo i due operatori, muniti di imbragatura UNI 361, tramite il moschettone di una delle due corde del doppio cordino anticaduta si assicurano alla linea vita già posata sul secondo tegolo e rimanendo sul tegolo sganciano le funi di sollevamento del terzo tegolo una volta posizionato sulla struttura. La linea vita sul 1° tegolo, posizionata invece in fase successiva alla sua posa in opera, viene spostata e predisposta sempre dai due operai sul terzo tegolo mentre essi rimangono vincolati alla linea vita realizzata sul secondo tegolo, e così via.

## 2.4.5 SCHEDA ERGOTECNICA: Pannelli orizzontali esterni (SANDWICH a Taglio Termico)



Figure 51-52: Elemento Pannello prefabbricato orizzontale esterno di tipo "sandwich"

**Analisi:** Pannelli perimetrali di chiusura "sandwich" a taglio termico e a sviluppo orizzontale posti all'esterno dei pilastri con spessore di riferimento 30 centimetri. I pannelli hanno una stratigrafia composta da:

- Strato interno di calcestruzzo "portante" (a frattazzo industriale)
- Strato di alleggerimento costituito da materiale isolante ad alta densità
- Strato isolante costituito da materiale isolante ad alta densità
- Strato esterno "portato" di calcestruzzo (grigio fondocassero)

Il sistema è realizzato con l'ausilio di connettori e sospensioni metalliche in grado di sostenere e collegare tra loro i due strati di calcestruzzo, fisicamente separati, consentendo agli stessi di dilatarsi in maniera differente. Tale pannellatura inoltre dovrà prevedere la possibilità di sospensione esterna di un rivestimento metallico leggero (di peso massimo pari a 30 daN/mq).

La trasmittanza termica del pannello è minore di 0,30 W/mqK con potere fonoisolante di 48 dB.

**Trasporto:** Il trasporto dei pannelli perimetrali prefabbricati è eseguito tramite autotreno. Le pannellature saranno opportunamente adagate su bilico normale utilizzato per altezze massime di 250 centimetri (l'altezza massima dei pannelli in questione è pari a 200 centimetri). I cavalletti devono essere posizionati in corrispondenza dei ganci di sollevamento.

I pannelli insieme al bilico portapannelli saranno legati e assicurati all'autotreno mediante funi metalliche più ulteriori funi angolari paraspigolo. I

pannelli non dovranno in nessun caso essere sporgenti dal posteriore dell'autocarro.

Il numero massimo di pannelli caricabili sul bilico è di 3 + 3 (esterni), più 1 (eventuale pannello centrale al bilico per carichi dispari) e devono in ogni caso essere centrati sul piano di carico. Bisogna inoltre aggiungere un cavalletto in mezzeria (oltre ai cavalletti in corrispondenza dei ganci di sollevamento) per pannelli che superano

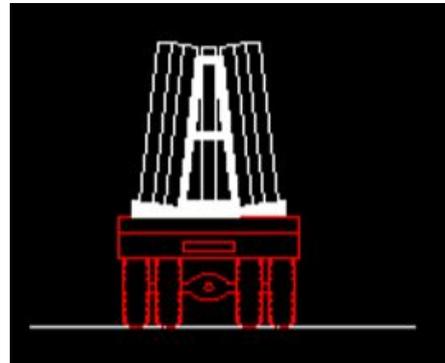


Figura 53: Trasporto dei pannelli su bilico.

gli 11 metri di lunghezza. Fare sempre attenzione al rispetto dei limiti imposti dal codice della strada per trasporti eccezionali, ma non dovrebbe essere necessario, dato che la lunghezza massima raggiunta dai pannelli esterni è di 12 metri.

**Approvvigionamento:** L'approvvigionamento dei pannelli perimetrali esterni può avvenire in diversi modi a seconda delle tempistiche di cantiere. Anche in questo caso, essendoci la possibilità di non stoccare il materiale e di posarlo direttamente dall'autotreno, l'approvvigionamento potrebbe avvenire a step orari ben precisi, con un autotreno che lascia il cantiere ed il successivo che arriva pronto per la posa dei pannelli seguenti. Il numero massimo di pannelli portati tramite autotreno può variare a seconda della loro estensione orizzontale. Essendo previste da progetto dimensioni molto variabili di suddetti elementi, il numero massimo può variare da 4 agli 8 pannelli (elementi di lunghezze ridotte utilizzando più di un bilico) trasportati da un unico autotreno.

**Movimentazione e stoccaggio:** Giunto in cantiere l'autotreno viene fatto stabilizzare, seguendo percorsi preferenziali e chiusi al traffico pedonale, nei pressi della zona di posa dei pannelli trasportati di fianco all'autogru adibita al loro sollevamento. Degli operatori a terra, muniti di apposita scala procedono all'aggancio delle funi presso i ganci di ancoraggio predisposti alla sommità dei pannelli. Le funi di sollevamento devono avere un'inclinazione rispetto

all'orizzontale maggiore di 75 gradi, con angolo massimo di inclinazione al vertice di 30 gradi.

A questo punto i pannelli possono essere stoccati a piè d'opera o direttamente posati nella loro sede definitiva agganciandoli opportunamente sull'esterno dei pilastri prefabbricati.

Lo stoccaggio dei pannelli esterni avviene su appositi cavalletti, una volta verificato il fondo d'appoggio, in un numero massimo di 5 per lato del cavalletto, prevedendo un ulteriore cavalletto in mezzeria per pannelli di dimensioni superiori agli 11 metri di estensione orizzontale.

**Posa in opera:** La messa in opera dei pannelli può avvenire in due modalità che presentano prescrizioni operative differenti.

Il sollevamento avviene tramite autogru opportunamente stabilizzata a terra prima dell'inizio dell'operazione, e la posa è realizzata con l'ausilio di altri due operatori che guidano il pannello



*Figura 54: Fase di posa in opera pannelli prefabbricati in cantiere.*

tramite apposite funi. La posa della prima fila di pannelli orizzontali ha luogo con gli operatori a terra, avendo questi un'altezza di 1,5 metri dal piano di lavoro. Gli operatori possono facilmente guidare tramite funi il pannello nella sua sede di posa e procedere da terra agli opportuni agganci. Gli ancoraggi del pannello all'esterno dei pilastri avviene tramite delle guide metalliche di tipo 'Halfen' predisposte sulla faccia esterna dei pilastri.

Per la posa delle file successive di pannellatura esterna a quote superiori gli operatori possono lavorare in 2 modalità:

- **Tramite l'utilizzo della scala a pioli:** L'operatore sale in quota con la scala tenuta a terra da un secondo operatore, si aggancia al sistema antinfortunistico presente nel pilastro ed attende l'arrivo del pannello, lo dirige nella sede definitiva, quindi scende a terra con la scala

trattenuta e risale in prossimità delle funi per procedere allo sgancio delle stesse;

- **Utilizzando una PLE (piattaforma di lavoro mobile elevabile).**

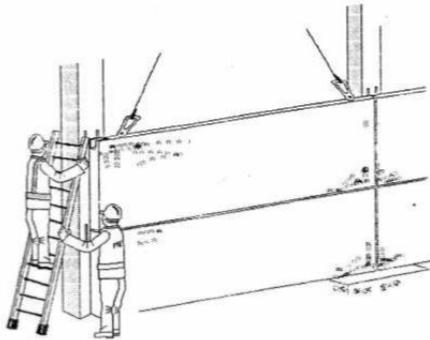


Figura 55: Utilizzo della scala a pioli per aggancio pannelli prefabbricati.

Criticità: L'art. 111, comma 3 del D. Lgs. 81/08 (Testo Unico in materia di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro) afferma che «*Il datore di lavoro dispone affinché sia utilizzata una scala a pioli quale posto di lavoro in quota solo nei casi in cui l'uso di altre attrezzature di lavoro considerate più sicure non è*

*giustificato a causa del limitato livello di rischio e della breve durata di impiego oppure delle caratteristiche esistenti dei siti che non può modificare*».

A questo punto, volendo interpretare il decreto, non si ha nulla da ribadire sul secondo punto dell'articolo, cioè sulla breve durata dell'utilizzo della scala a pioli per la posa dei pannelli prefabbricati. Il dubbio rimane sul primo punto, su quanto concerne il *limitato livello di rischio*. Tale livello di rischio, sebbene non facilmente interpretabile, è presumibilmente basso, quindi limitato, se l'utilizzo della scala si limitasse alla posa di pannelli con punti di ancoraggio ad una quota tale per cui il piolo di appoggio dell'operatore si trovasse sotto i 2 metri di altezza. Qualora si superasse il limite dei 2 metri, l'operatore si ritrova esposto ad un rischio di caduta dall'alto. In questi casi, l'utilizzo della scala prevede alcuni accorgimenti ulteriori previsti dall'articolo 113:

- La scala deve sempre essere assicurata ad un punto stabile;
- durante l'esecuzione dei lavori, una persona deve esercitare da terra una continua vigilanza della scala;
- L'operaio che sale deve essere assicurato da doppio cordino ai pioli;

- le scale a pioli usate per l'accesso devono essere tali da sporgere a sufficienza oltre il livello di accesso, a meno che altri dispositivi garantiscono una presa sicura;
- La scala deve essere legata o agganciata ad un punto stabile (nel nostro caso attorno al pilastro);
- Sistemare i piedi della scala su suolo stabile, con operatore a terra che sorregge la scala stessa;
- Il piede da dare alla scala (inclinazione) deve essere pari ad un quarto dell'altezza di appoggio.

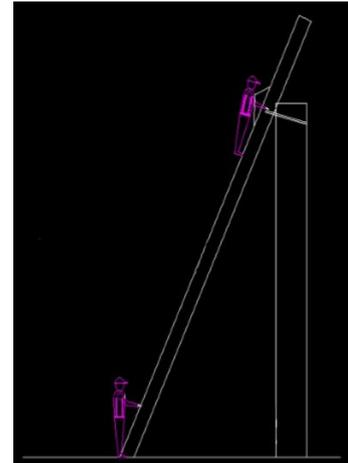


Figura 56: Prescrizione di sicurezza per l'uso della scala.

Inoltre le linee guida per l'utilizzo delle scale portatili nei cantieri temporanei e mobili hanno evidenziato un dato statistico e quindi oggettivo di cui bisogna necessariamente tenere conto e che purtroppo non è molto noto: le analisi statistiche condotte

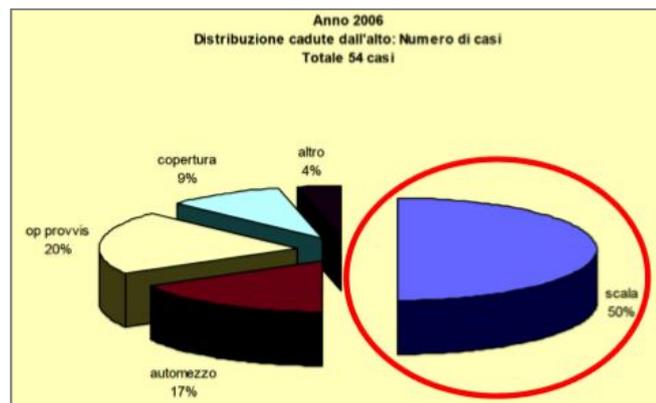


Figura 57: Distribuzione statistica a torta dell'analisi relativa al rischio caduta dall'alto nell'anno 2006.

nell'ambito degli infortuni gravi e mortali in edilizia per caduta dall'alto hanno analizzato i diversi determinanti, quali coperture, opere provvisionali, automezzi ed, appunto, l'uso di scale portatili hanno messo in evidenza il "peso statistico" elevatissimo della scala.

Analizzati questi aspetti, è consigliabile l'utilizzo della PLE nelle procedure di sicurezza al posto della scala a pioli, che oltre ad essere oggettivamente più pericolosa, richiede delle procedure operative con elevato dispendio di tempo, dato che l'operatore, prima di raggiungere il punto di ancoraggio predisposto sul pilastro, deve continuamente spostare le corde del doppio cordino sui pioli della scala. Tuttavia anche l'utilizzo della PLE richiede

particolari attenzioni nella valutazione dei rischi, poiché se si escludono i rischi generati dalle condizioni ambientali, il maggior pericolo nel suo utilizzo è la proiezione, con successiva caduta, dal “basso verso l’alto” dovuta all’effetto “CATAPULTA” o “CANNA DA PESCA”. A questo si può ovviare dando disposizioni all’operatore di indossare congiuntamente all’utilizzo della PLE un dispositivo di protezione anticaduta dotato di assorbitore di energia incorporato.

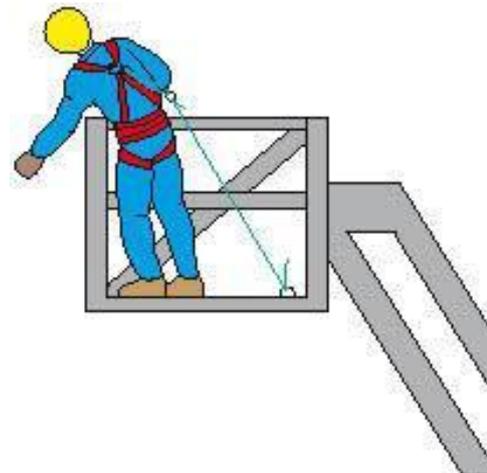


Figura 58: Prescrizioni di sicurezza per l'utilizzo della PLE con DPI anticaduta.

## 2.5 L'analisi delle tempistiche: durata delle attività

### 2.5.1 Gli input di calcolo

Per l'analisi ed il calcolo dei tempi da attribuire ad ogni lavorazione e sotto-attività sono stati evidenziati, come dati di input, i vincoli di precedenza delle varie attività, già codificate, e i tipi di legame tra di esse.

Avendo già in mente la sequenza logica di lavoro è stato possibile pianificarlo, collegando in una specie di reticolo le varie attività che saranno svolte in cantiere e definendo le interrelazioni. Ogni attività, eccetto la prima e l'ultima della sequenza, presentano un'attività *predecessore*, e un *successore*, secondo dei vincoli ben definiti. Questi vincoli definiscono il tipo di legame tra due mansioni che possono iniziare nello stesso momento oppure subordinano l'inizio di una delle due alla fine di quella immediatamente precedente. I legami infatti si dividono sostanzialmente in:

- Legame di fine-inizio (FS)
- Legame di inizio-inizio (SS)
- Legame di fine-fine (FF)

Il legame generalmente più diffuso è quello di tipo FS che vincola un'attività che chiamiamo per semplicità *B* a cominciare solo dopo che si è completata la precedente attività *A*; tale legame è l'unico utilizzato nel calcolo delle durate secondo il metodo *CPM (Critical Path Method)* o metodo del percorso critico. L'utilizzo degli altri tipi di legame di vincolo tra le attività è applicato invece in un metodo alternativo conosciuto come *MPM (Metra Potential Method)* che consente quindi di trattare con maggiore flessibilità l'interdipendenza tra le varie operazioni.

Il legame di tipo SS vincola invece l'attività *B* a non poter cominciare prima dell'inizio della precedente *A*, mentre l'ultimo, il legame FF, sta ad indicare che la chiusura dell'attività *B* è legata al completamento dell'attività *A*.

Si riporta un piccolo estratto di tabella per mostrare la modalità di lavoro:

ATTIVITA'	CODICE WBS	PREDECESSORE	LEGAME
SCAVI	T.1.1.1	P.2	-
GETTO FONDAZIONI	1.1.1	T.1.1.1	FS
MONTAGGIO PILASTRI	1.2.1	-	-
PILASTRI CORPO C1	1.2.1.1	1.1.1	FS
PILASTRI CORPO C2	1.2.1.2	1.2.2.1	FS
PILASTRI CORPO E1	1.2.1.3	1.2.2.2	FS
PILASTRI CORPO E2	1.2.1.4	1.2.2.3	FS
MONTAGGIO TRAVI	1.2.2	-	-
C1	1.2.2.1	1.2.1.1	FS
Travi a T Rovescia	1.2.2.1.1	1.2.2.1.1	SS
Travi a L	1.2.2.1.2	1.2.2.1.2	SS
Travi Rettangolari	1.2.2.1.3	1.2.2.1.1	FF
C2	1.2.2.2	1.2.1.2	FS
E1	1.2.2.3	1.2.1.3	FS
E2	1.2.2.4	1.2.1.4	FS
MONTAGGIO TEGOLI TT	2.4.1	-	-
C1	2.4.1.1	1.2.2.1	FS
Fila 1	2.4.1.1.1	1.2.2.1.2	FS
Fila 2	2.4.1.1.2	2.4.1.1.1	SS
Fila 3	2.4.1.1.3	2.4.1.1.2	SS
Fila 4	2.4.1.1.4	2.4.1.1.3	SS
C2	2.4.1.2	1.2.2.2	FS
E1	2.4.1.3	1.2.2.3	FS
E2	2.4.1.4	1.2.2.4	FS
MONTAGGIO PANNELLI	2.1.1.	2.4.1	FS

Non sono state però ancora definite le durate delle singole attività, ma questo è servito solamente come input per una migliore e più facile rappresentazione dei percorsi da seguire e delle interrelazioni tra le varie fasi di lavoro. Non esiste un modo univoco di determinare la durata di un'attività, essa viene *stimata* in genere sulla base delle entità di lavoro/risorse che ciascuna attività richiede, utilizzando perlopiù il fattore esperienza. Proprio a questo proposito risultano molto utili le schede ergotecniche trattate tramite le quali, con la conoscenza delle modalità operative attuate in cantiere e delle risorse (in termini di manodopera, mezzi e attrezzature) necessarie, è stato possibile ipotizzare una durata ed un tempo di completamento *probabile* del cantiere in questione. Si potrebbe fare una stima molto più accurata, calcolando un tempo di completamento *ottimistico*, un tempo *pessimistico* (che dovrebbero verificarsi circa nell'1% dei casi) e quello *probabile*, avendo a disposizione da progetto un computo metrico già definito per conoscere la consistenza di ogni attività. Con questi dati infatti sarebbe possibile calcolare anche la deviazione standard di ciascuna attività e combinare tra loro i risultati per determinare il tempo *atteso*  $t_e$  come:

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Dove:

- $a$ : tempo ottimistico (presume che tutto vada secondo i piani);
- $b$ : tempo pessimistico (presume che tutto vada male);
- $m$ : tempo probabile;
- $\sigma=1/6$ : deviazione standard pari ad 1/6 dell'intervallo di tempo richiesto.

Non avendo a disposizione la totalità dei dati necessari è stata semplicemente ipotizzata una durata probabile delle singole attività, basata appunto sulle schede ergotecniche, sull'esperienza personale e sulle visite in cantiere già in fase di realizzazione, potendo cioè vedere personalmente e cronometrare l'effettiva durata di alcune delle movimentazioni e lavorazioni eseguite.

## 2.5.2 Il Piano Operativo

Tramite i dati raccolti e le modalità sopra elencate è stata realizzata una scheda in forma tabellare riportante, per ogni lavorazione e sotto gruppo di attività, le risorse necessarie e la durata stimata espressa in ore lavorative, considerando un periodo di attività di otto ore al giorno e cinque giorni settimanali.

UNITA'	COMPONENTI	LAVORAZIONE	SUB-ATTIVITA'	
			Singola	N° Tot.
STRUTTURA DI FONDAZIONE 1.1.1	SCAVO	Scavo di sbancamento	Scavo singolo Plinto	168
	PLINTO	Realizzazione Magrone sp. 10 cm	Posa cassero	168
			Getto Magrone	168
		Posa gabbia di armatura	Posa armatura plinto	168
			Posa innesto + Tirafondi	168
Getto Plinto in opera	Getto cls	168		
PILASTRI PREFABBRICATI 1.2.1	PILASTRO 60x60	Montaggio	Trasporto	116
			Stoccaggio	
			Posa in opera	
	PILASTRO 50x50	Montaggio	Trasporto	52
			Stoccaggio	
			Posa in opera	
TRAVI PREFABBRICATE 1.2.2	TRAVI T ROVESCIA	Montaggio	Trasporto	48
			Stoccaggio	
			Posa in opera	
	TRAVI L	Montaggio	Trasporto	74
			Stoccaggio	
			Posa in opera	
	TRAVI RETTANGOLARI	Montaggio	Trasporto	16
			Stoccaggio	
			Posa in opera	

SUB-ATTIVITA'		RISORSE					
Singola	N° Tot.	Attrezzatura/Materiale	N°	Mezzi trasporto/messa in opera	N°	Capacità	Capac. Tot
Scavo singolo Plinto	168	-		Escavatore HMK 220 LC	1	1 mc	-
		-		Autocarro	1	20 mc	
Posa cassero	168	Casseri in legno	168	-	-	-	-
Getto Magrone	168	cls magro	150 mc	Autobetoniera	17	9 mc	153
Posa armatura plinto	168	Ferri		Autotreno	-	-	-
Posa innesto + Tirafondi	168	Innesti	168	-	-	-	-
		Tirafondi	672	-	-	-	-
Getto cls	168	cls	1058,4 mc	Autobetoniera con pompa getto	89	12 mc	1068
Trasporto	116	-	-	Autotreno	13	9	116
Stoccaggio		-	-	Autogru	1	1	
Posa in opera		-	-	Cestello (PLE)	2		
	-	-	Autogru	1	1		
Trasporto	52	-	-	Autotreno	6	9	52
Stoccaggio		-	-	Autogru	1	1	
Posa in opera		-	-	Autogru	1	1	
	-	-	Cestello (PLE)	2			
Trasporto	48	-	-	Autotreno	10	5	48
Stoccaggio		-	-	Autogru	1	1	
Posa in opera		-	-	Cestello (PLE)	2		
	-	-	Autogru	1	1		
Trasporto	74	-	-	Autotreno	13	6	74
Stoccaggio		-	-	Autogru	1	1	
Posa in opera		-	-	Cestello (PLE)	2		
	-	-	Autogru	1	1		
Trasporto	16	-	-	Autotreno	2	9	16
Stoccaggio		-	-	Autogru	1	1	
Posa in opera		-	-	Cestello (PLE)	2		
	-	-	Autogru	1	1		

LAVORAZIONE	SUB-ATTIVITA'		DURATA OPERAZIONE [min]					
	Singola	N° Tot.	Singola	Tot. Parziale Attività	Tot. Parziale Lavoraz.	TOT. [h]	Giorni	GG Lavorativi
Scavo di sbancamento	Scavo singolo Plinto	168	15	55	3080	51,3 3333	6,416 6667	7
			10					
Realizzazione Magrone sp. 10 cm	Posa cassero	168	-	-	-	-	-	-
	Getto Magrone	168	40	40	672	11,2	1,4	2
Posa gabbia di armatura	Posa armatura plinto	168	-	-	-	-	-	5
	Posa innesto + Tirafondi	168	-	-	-	-	-	5
Getto Plinto in opera	Getto cls	168	40	40	3560	59,3 3333	7,416 6667	8
Montaggio Pilastrini 60x60	Trasporto	116	0	0	0	77,3 3333	9,666 6667	14
	Stoccaggio		10	90	1160			
	Posa in opera		30	270	3480			
Montaggio Pilastrini 50x50	Trasporto	52	0	0	0	30,3 3333	3,791 6667	14
	Stoccaggio		10	90	520			
	Posa in opera		25	225	1300			
Montaggio Travi T Rovescia	Trasporto	48	0	0	0	24	3	14
	Stoccaggio		10	50	480			
	Posa in opera		20	100	960			
Montaggio Travi a L	Trasporto	74	0	0	0	37	4,625	9
	Stoccaggio		10	60	740			
	Posa in opera		20	120	1480			
Montaggio Travi Rettangolari	Trasporto	16	0	0	0	8	1	14
	Stoccaggio		10	90	160			
	Posa in opera		20	180	320			

Lo stesso calcolo è stato condotto per la restante parte della struttura prefabbricata composta dai tegoli di copertura ed i pannelli prefabbricati, non riportati in tabella. Grazie al calcolo delle durate complessive delle lavorazioni si è potuto procedere alla creazione del cronoprogramma.

## 2.6 Cronoprogramma

Il diagramma di Gantt risultante di tutto il lavoro e le analisi svolte finora, integrato con i codici identificativi *WBS* delle singole attività è riportato come allegato alla fine della presente Tesi.

Il diagramma a barre riportato permette di visionare giorno per giorno le attività che andranno a svolgersi in cantiere, in tutta la fase di montaggio della struttura prefabbricata oltre le lavorazioni precedenti, ed è frutto della scomposizione in singole attività (*WBS*) e delle stime delle durate affrontate finora.

Il passo successivo è stato quello della modellazione tridimensionale del cantiere.

## CAPITOLO 3: MODELLAZIONE BIM

### 3.1 Modellazione 3D tramite Autodesk Revit

E' stato ampiamente trattato il tema di come l'avvento del BIM nell'edilizia abbia portato ad una serie di cambiamenti negli ultimi anni e ne porterà sicuramente in futuro. La vera peculiarità di questo strumento infatti, non sta semplicemente nella creazione di un modello tridimensionale, anzi, tale modello costituisce solamente la base del lavoro; questo significa in altre parole che oltre alla rappresentazione puramente geometrica dell'edificio oggetto di progettazione, è possibile creare una vera e propria ricostruzione virtuale del progetto, una specie di pre-costruzione utilizzando componenti e *famiglie* di oggetti che sono la rappresentazione virtuale di quelli che si utilizzeranno nella realtà. Questi "*prototipi*" inoltre, possiedono una certa *intelligenza*, contengono delle informazioni che gli consentono di relazionarsi e interagire tra loro. Grazie a queste informazioni, la funzione del BIM e dei software di progettazione BIM non si esaurisce alla fase di progettazione stessa, ma continua a costituire un supporto durante il ciclo di vita del manufatto e nelle operazioni di gestione.

Tutta l'informazione inoltre è raggruppata in un unico database generale (questa è una delle grandi differenze rispetto al CAD tradizionale), e ogni modifica fatta al progetto in una delle sue tavole tecniche, abachi o viste di progetto, si ripercuote nell'intero modello e viene aggiornata istantaneamente e soprattutto automaticamente dal software stesso.

Il modello tridimensionale di base è stato realizzato mediante l'utilizzo del software Autodesk Revit. Tale software comprende funzionalità per la progettazione architettonica, l'ingegneria MEP, la progettazione strutturale e le costruzioni e supporta un processo di progettazione collaborativo multidisciplinare. Permette inoltre di comunicare e interagire con una serie di software di progettazione ingegneristica e modellazione e di importare quindi o esportare modelli in più formati diversi.

### 3.1.1 Famiglie e parametri in Revit, concetti di tipo e istanza

Prima di esporre le fasi di costruzione del modello tridimensionale riferito al cantiere di MondoJuve Shopping Center, è opportuno comprendere dei concetti basilari del software che ne costituiscono il cuore, permettendo di comprenderne la struttura, la logica dei comportamenti e l'intero ambiente di lavoro.

Innanzitutto possiamo dire che ogni elemento, ogni tipo di oggetto presente in Revit può essere considerato una *famiglia*. Una famiglia secondo la descrizione stessa del software rappresenta *“un gruppo di elementi con un insieme di proprietà comuni denominate parametri ed una rappresentazione grafica associata”*. Le famiglie quindi sono i componenti tramite i quali si può effettivamente concretizzare un progetto e si dividono in tre tipologie:

- Famiglie di Sistema;
- Famiglie Caricabili;
- Famiglie Locali.

Le prime comprendono tutti quegli elementi che normalmente sono usati per una costruzione, elementi di base quindi come possono esserlo i muri, i pavimenti, le scale, i tetti e così via. Esse costituiscono in pratica la base dell'intero progetto; proprio per tale motivo le possibilità di modifica e personalizzazione delle famiglie di sistema sono ampie ma limitate ai soli parametri predefiniti del software stesso. Questo perché le famiglie di sistema risiedono e possono esistere solamente all'interno di un file di progetto, e non possono in alcun modo essere separate dal file stesso come entità a parte.

Le famiglie caricabili sono formate da tutto quello che è complementare alla costruzione e soddisfano le più svariate esigenze di progetto; di queste fanno parte ad esempio gli arredi, i serramenti, oggetti di planimetria, ma anche travi prefabbricate, profilati in acciaio e molto altro. Il nome stesso di questo tipo di famiglie ci permette di intuire che esse non risiedono fisicamente nel file di progetto come le prime ma possono essere caricate (importate) nel modello tramite l'ampia libreria di famiglie di Revit stesso o da librerie esterne. Revit permette inoltre di modificare questo tipo di famiglia e crearne

dei nuovi tipi, duplicando semplicemente la famiglia che si desidera ed editandola in una sezione del software chiamata *editor delle famiglie* in cui è possibile definire un numero illimitato di parametri ed interazioni.

L'ultimo tipo invece, le famiglie locali, rappresentano quelle particolarità del progetto, talmente specifiche che sarebbe inopportuno e difficile realizzare, come un elemento di arredo su misura o un particolare rivestimento; queste famiglie costituiscono un ibrido delle prime due in termini di editazione e parametrizzazione.

Un qualsiasi tipo di famiglia comunque, è costituita da un insieme di caratteristiche che vengono chiamate parametri o proprietà e possono essere editati assumendo valori differenti; esiste uno strumento logico che raggruppa tutti questi parametri e le loro variazioni che viene chiamato *Tipo*, che si concretizza appunto quando si assegna un certo valore ad un parametro. In parole povere un muro, un pavimento o qualsiasi altra famiglia può esistere in diversi *tipi*, ad esempio possiamo avere un tipo di pavimento in calcestruzzo, un tipo in laterizio, un tipo per pavimentazioni industriali e via dicendo. Il pavimento cioè continua a mantenere le sue principali caratteristiche, resta sempre un pavimento appartenente a quella *famiglia*, ma le caratteristiche legate ai materiali, alla stratigrafia e lo spessore lo distinguono per *tipo*.

L'ultimo concetto per comprendere a pieno le funzionalità e l'ambiente di lavoro di Autodesk Revit è il concetto di *istanza*. Abbiamo parlato di *famiglie* che esistono all'interno del file di modello o in librerie esterne, ogni *famiglia* è composta da diversi *tipi* tra cui scegliere, in cui variano i parametri dell'oggetto, e la materializzazione di questo specifico *tipo* nell'ambiente di progetto di Revit è denominata *istanza*.

Diverso è invece il concetto di *parametro tipo* e *parametro istanza* da non confondere con le definizioni di *tipo* ed *istanza* date. Essi sono due parametri appunti, editabili, ed è fondamentale capire che la modifica di un *parametro tipo* può controllare e variare quindi tutte le *istanze* posizionate nel progetto dello stesso *tipo*, mentre la modifica di un *parametro istanza* ha effetto solo sull'elemento selezionato e lascia praticamente inalterate tutte le altre *istanze*.

### 3.2 Fasi di costruzione del modello: comparti C ed E MondoJuve

Per la creazione del modello riferito ai corpi C ed E del cantiere MondoJuve "Retail Park", è stato inizialmente importato sul programma il reticolo di tracciamento iniziale delle fondazioni e dei pilastri da piattaforma CAD, per avere in tal modo una base, una *griglia* di partenza, alla progettazione tridimensionale.

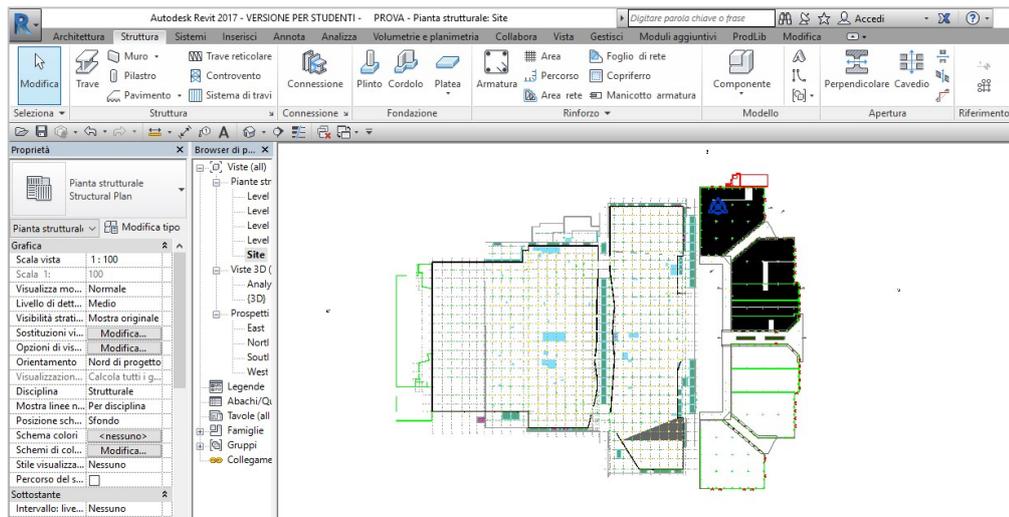


Figura 59: Importazione pianta strutturale dei pilastri (CAD) su Autodesk Revit.

Oltre a questo sono state create le viste di riferimento in pianta ed in prospettiva (*livelli*), alle quote stabilite, in modo tale da avere una visione completa degli elementi da realizzare; importantissimo infatti è definire dei riferimenti spaziali entro cui si svilupperà il progetto, ossia i cosiddetti *filii fissi*

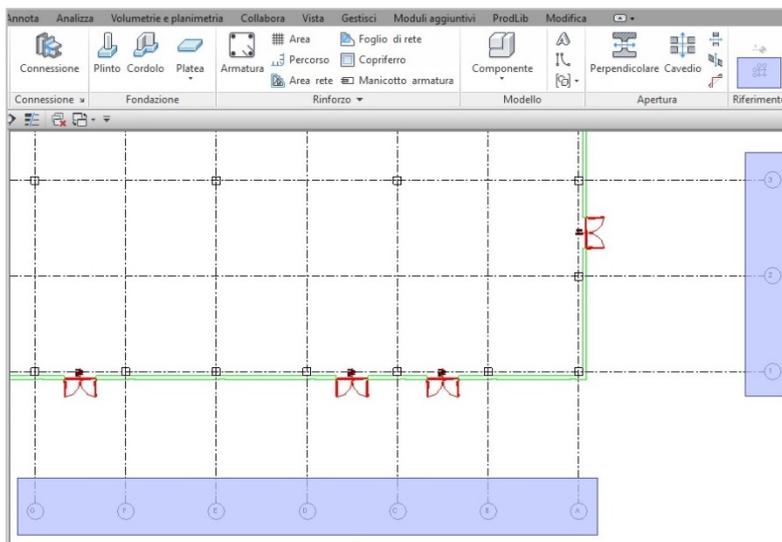


Figura 60: Costruzione griglia su Revit come riferimento spaziale.

delle strutture. In questo modo risulterà più facile ed intuitivo il posizionamento ad esempio di un pilastro della struttura, che sarà individuato da una intersezione tra griglie e la sua

altezza si svilupperà per un certo numero di *livelli*. Al numero di livelli creati corrispondono altrettante viste di riferimento in pianta, mentre la visualizzazione in prospetto dell'edificio è possibile nelle quattro viste nord, sud, est ed ovest di default, integrate eventualmente da nuove viste.

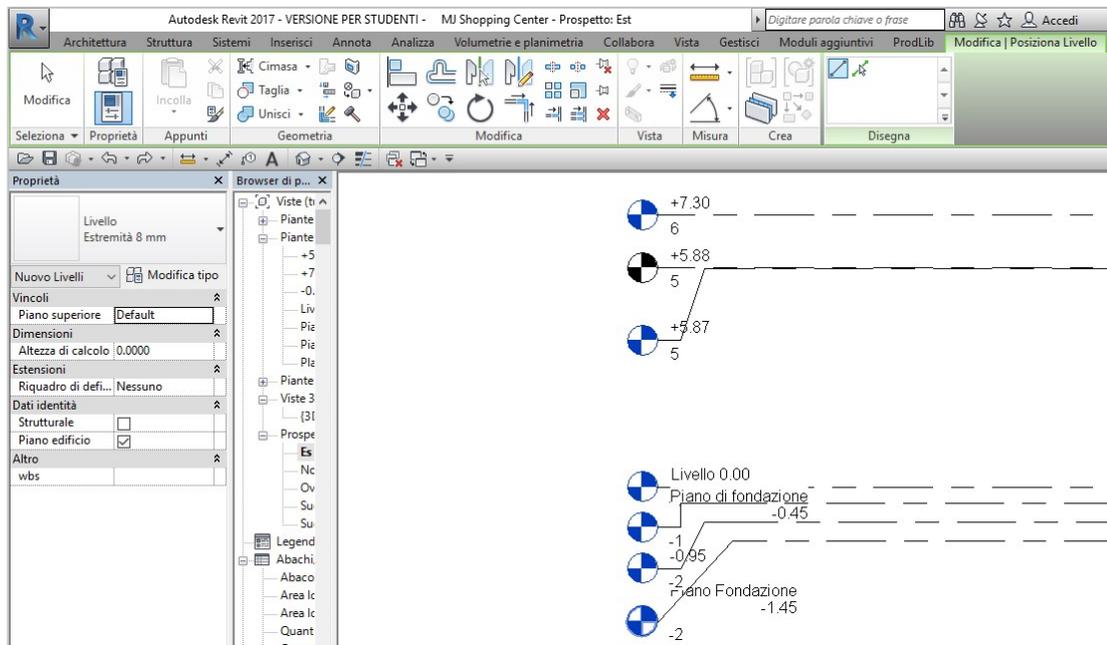
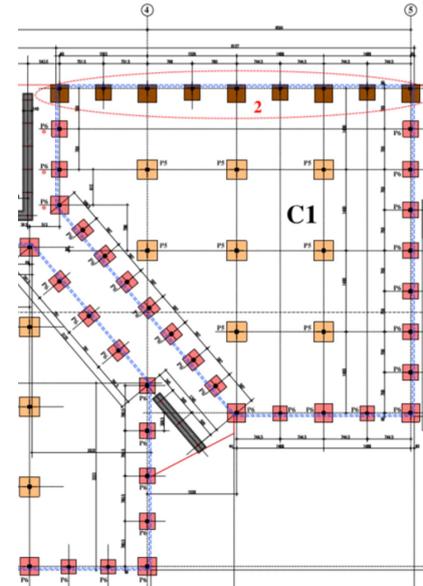
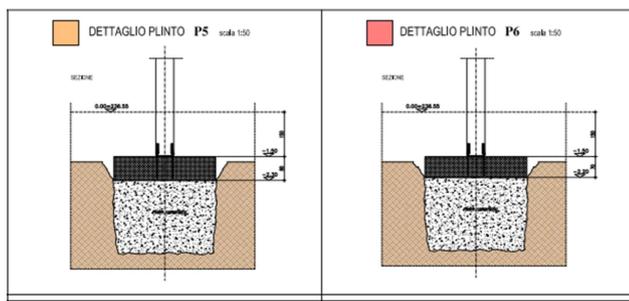


Figura 61: Creazione di livelli a quote diverse per diversificare i piani di lavoro su Revit.

Il flusso di lavoro su Revit per la realizzazione del modello completo relativo ai quattro fabbricati del secondo lotto ha seguito, quasi interamente, la stessa sequenza logica di fasi della costruzione vera e propria. Partendo dalla creazione dei riferimenti spaziali in cui saranno individuati gli oggetti, sono stati realizzati e posizionati prima i plinti di fondazione, seguiti dalla realizzazione delle connessioni strutturali tra plinti e pilastri, in seguito i diversi tipi di pilastri, poi le travi e via discorrendo.

Per la realizzazione dei plinti di fondazione sono state utilizzate le famiglie caricabili appartenenti alla libreria stessa del software, in particolare fondazioni rettangolari di tipo *precast concrete*, variando per ogni tipologia i parametri della famiglia e realizzando quindi diversi *tipi* della stessa famiglia.

Le dimensioni dei diversi tipi di plinti e le quote altimetriche sono state recepite dalle tavole esecutive di progetto, messe a disposizione dall'azienda costruttrice e proprietaria dell'opera *Gilardi*.



Il materiale fornito riguarda, oltre alle tavole esecutive strutturali ed architettoniche, anche tutta la documentazione necessaria ad uno studio approfondito degli elementi tecnici di progetto e dei particolari costruttivi, comprese le specifiche tecniche del prefabbricatore e le schede dei carichi.

Figure 62-63: Pianta strutturale tracciamento plinti di fondazione e dettagli sezione di scavo.

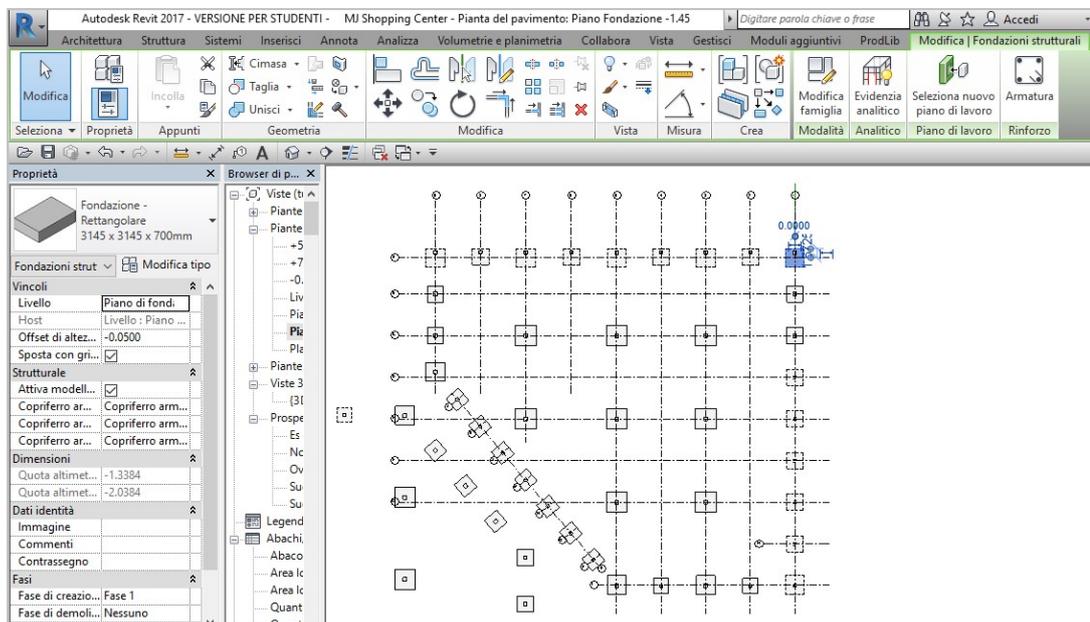
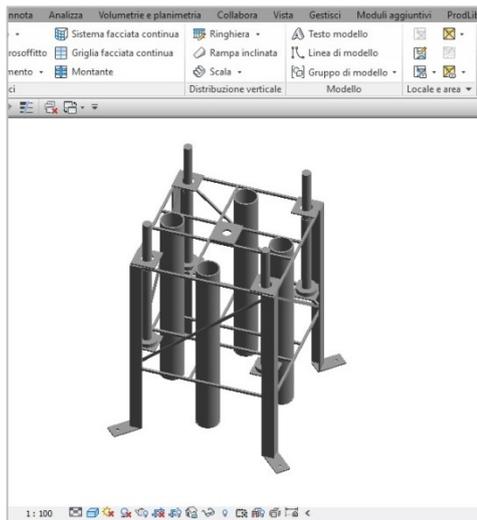


Figura 64: Creazione e posizionamento su griglia degli elementi plinto nel modello Revit.

Come già descritto in precedenza, la connessione strutturale tra plinto di fondazione e pilastro consiste in un sistema misto armatubo, ovvero in una specie di struttura metallica di *innesto* che costituisce una base di appoggio per i tirafondi e che, tramite i tubi corrugati, ospita i tondi di armatura



antisismici inglobati alla base del pilastro stesso. Essendo una struttura abbastanza specifica, la modellazione ha richiesto la creazione di una nuova *famiglia* di connessioni strutturali attraverso l'editor di famiglia di Revit. Sono state realizzate due tipologie di innesti strutturali, diversi per pilastri con sezione (60x60) cm e (50x50) cm.

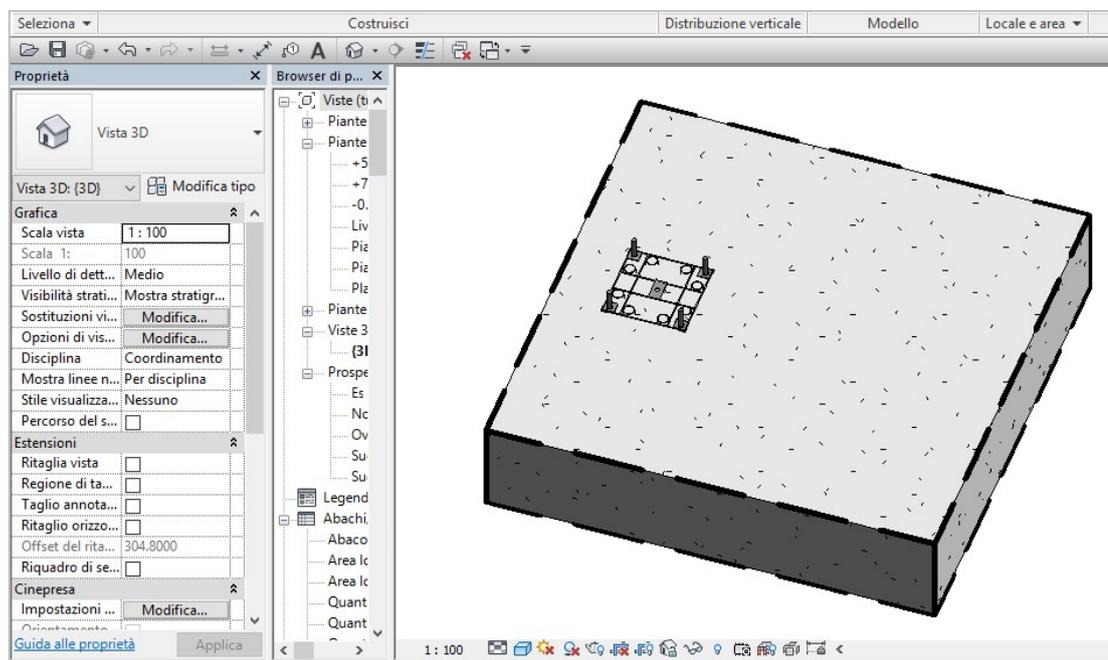


Figure 65-66: Creazione degli elementi di connessione strutturale detti "innesti di fondazione" su Revit.

Successivamente sono stati realizzati i pilastri prefabbricati dei quattro edifici, per un totale di 168 elementi pilastro, che si suddividono principalmente in due categorie in base alle loro dimensioni in sezione:

- Pilastri 60x60 cm;
- Pilastri 50x50 cm.

Un ulteriore suddivisione è stata fatta tra i pilastri centrali, privi di aggetto che ospiteranno alla sommità le travi a T rovescia, ed i pilastri di bordo con aggetti esterni ad una quota di circa 6 metri per la posa delle travi ad "elle"

prefabbricate. I pilastri d'angolo invece presentano degli aggetti a quote diverse, per facilitare il montaggio dei pannelli di tamponamento esterni nel cambio di direzione tramite delle connessioni di tipo "halfen" annegate nel calcestruzzo stesso.

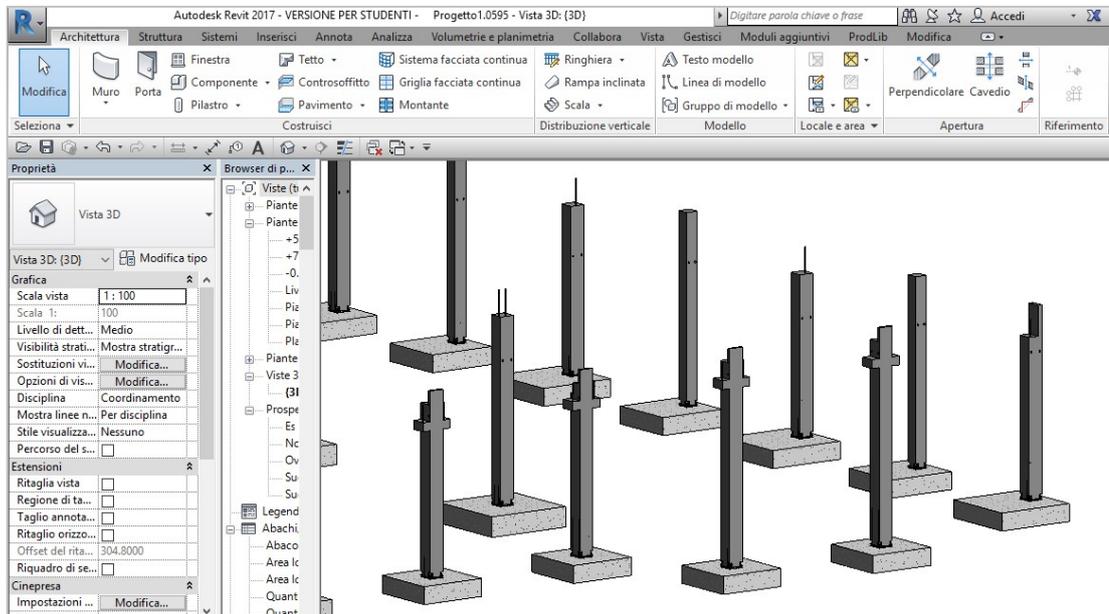


Figura 67: Realizzazione pilastri prefabbricati a sezioni diverse e posizionamento; vista 3D di Revit.

La realizzazione dei pilastri ha previsto anche la creazione delle connessioni strutturali alla base degli stessi, costituite da elementi quali "scarpe" peiKKo di tipo HPKM30 ad angolo (importati come elementi tridimensionali da una libreria esterna) ed i ferri di armatura da alloggiare nei tubi corrugati degli innesti.

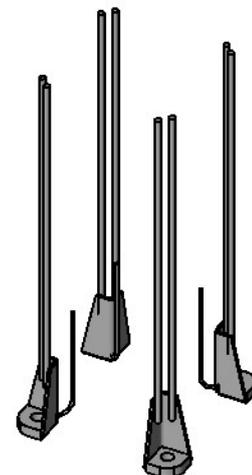
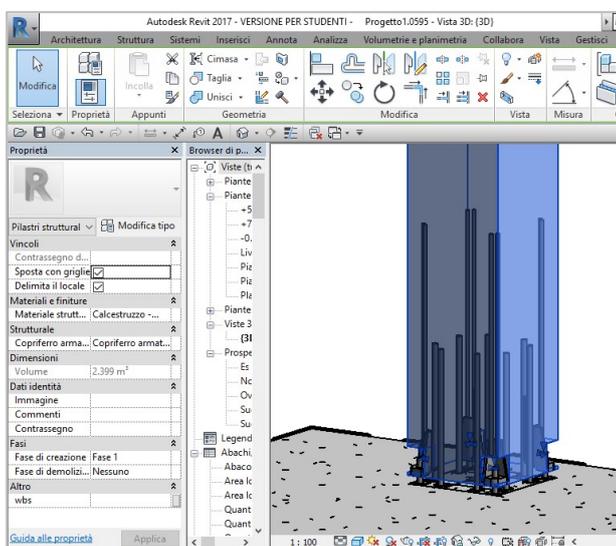


Figure 68-69: Dettaglio connessioni strutturali plinto-pilastro; inserimento delle "scarpe per pilastri HPKM30" nel modello Revit.

Anche per le travi è stata fatta una distinzione iniziale in tre tipologie in base alla loro forma in sezione:

- Travi prefabbricate a T rovescia;
- Travi prefabbricate a “elle”;
- Travi prefabbricate rettangolari.

Per la loro modellazione sono state duplicate e parametrizzate famiglie di travi esistenti del tipo *precast concrete*, adattate alle reali dimensioni in progetto. Per la maggioranza degli elementi trave però, sono state create nuove famiglie sulla base di quelle esistenti per implementarle con appositi fori di dimensioni idonee per l'alloggiamento delle stesse sui ferri/connesioni disposti sulla parte sommitale dei pilastri.

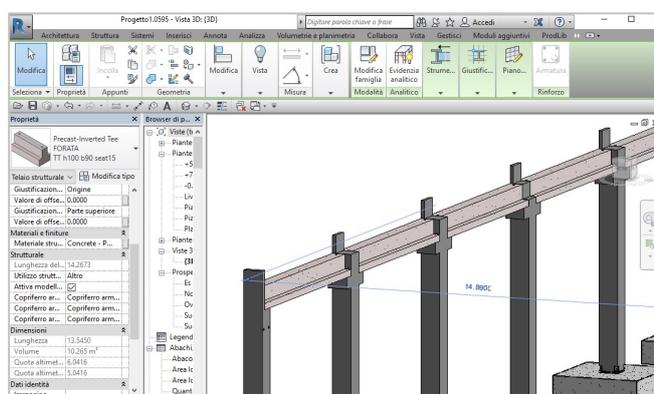


Figura 70: Posizionamento degli elementi trave su Revit.

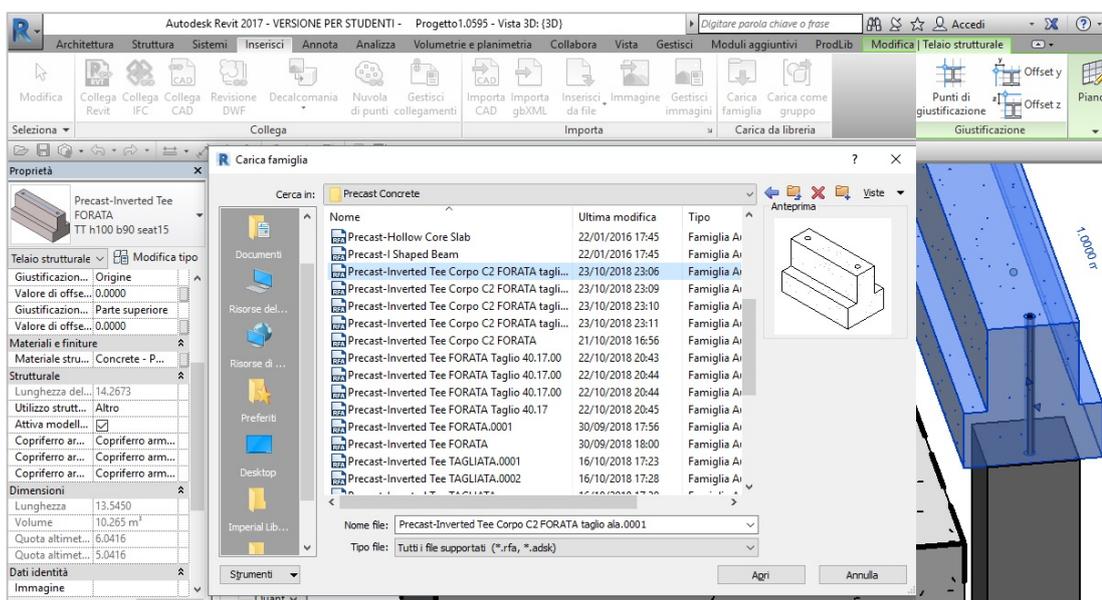


Figura 71: Modifica delle famiglie caricabili di Revit e creazione di nuove famiglie per la realizzazione dei “tipi” di travi a sezioni diverse del progetto.

Dovendo rispondere a svariate esigenze, le famiglie di travi presenti in Revit possiedono un elevato numero di parametri che ne descrivono il comportamento. In particolare si può notare come nel gruppo di proprietà chiamato *vincoli* è possibile definire per ogni *istanza* di trave selezionata tre parametri:

- Livello di riferimento: indica a quale dei livelli creati inizialmente è associata la trave da inserire;
- Piano di lavoro: nel caso in cui la trave sia associata ad un piano piuttosto che ad un livello;
- Offset livello iniziale: indica lo scostamento, offset, dell'estremità iniziale della trave dal livello di riferimento in cui è stata posizionata; è molto utile nel caso in cui lo scostamento sia di alcuni centimetri, e non si vogliano creare troppi livelli di riferimento diversi. E' possibile inoltre in questo modo dare una pendenza alla trave inserendo scostamenti differenti tra le due estremità opposte.

Con le stesse modalità è avvenuta anche la modellazione dei tegoli TT di copertura, che sono stati distinti in due tipologie in base alle diverse sezioni:

- Tegoli TT 60/10 corpi C1-E1;
- Tegoli TT 70/15 corpi C2-E2.

Sono state modificate anche in questo caso le famiglie caricabili dei tegoli TT prefabbricati di Revit per la creazione dei lucernari e dei tegoli speciali ad angolo.

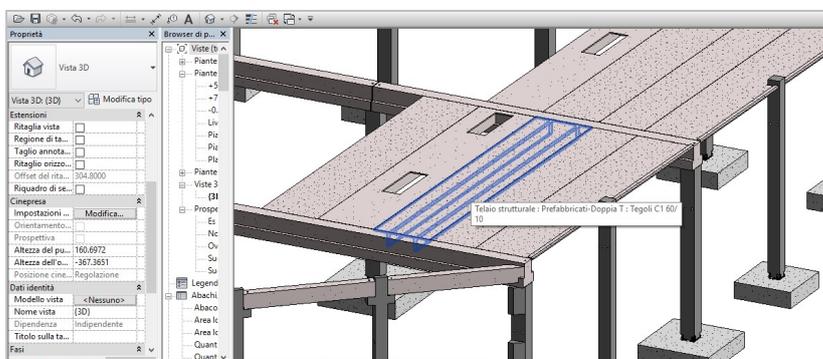


Figura 72: Creazione e posizionamento degli elementi Tegoli TT in Revit.

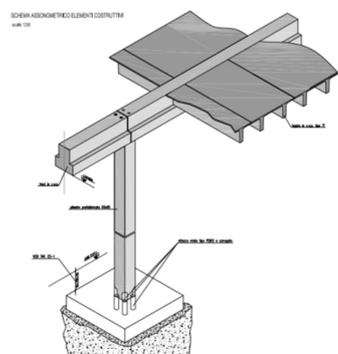


Figura 73: Schema assonometrico degli elementi strutturali.

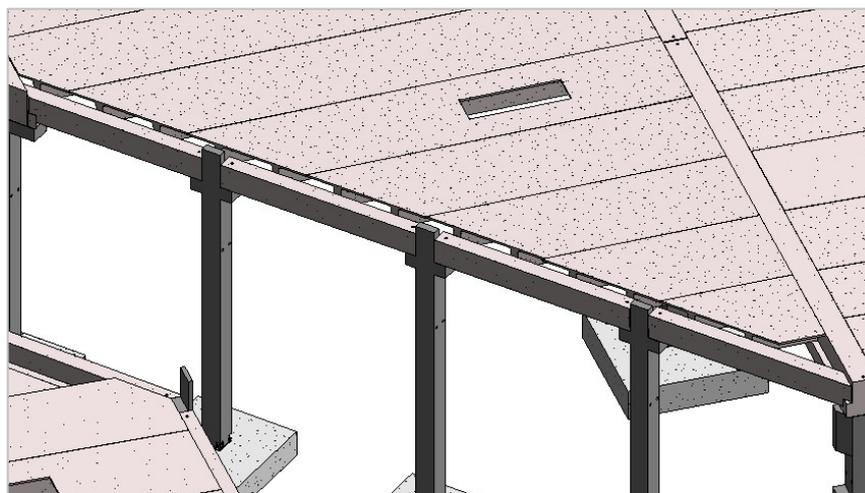


Figura 74: Creazione degli elementi tegolo speciali d'angolo e creazione dei vuoti.

I pannelli prefabbricati esterni a taglio termico, sono stati introdotti all'interno del file di progetto tramite l'utilizzo dell'elemento muro; i muri appartengono come citato precedentemente alle famiglie di sistema di Revit, che ci offrono la maggiore libertà di modifica e personalizzazione. Sono degli elementi di base del progetto infatti ed i parametri che li caratterizzano permettono facilmente di risolvere la maggioranza dei problemi costruttivi che si incontrano durante la modellazione. E' possibile variare la stratigrafia del muro a proprio piacimento e definire la dimensione e la posizione in modo semplice ed intuitivo, potendo creare inoltre delle aperture per i serramenti senza entrare nella schermata dell'editor di progetto ma con un comando presente tra gli strumenti della scheda *modifica* nell'interfaccia di Revit.

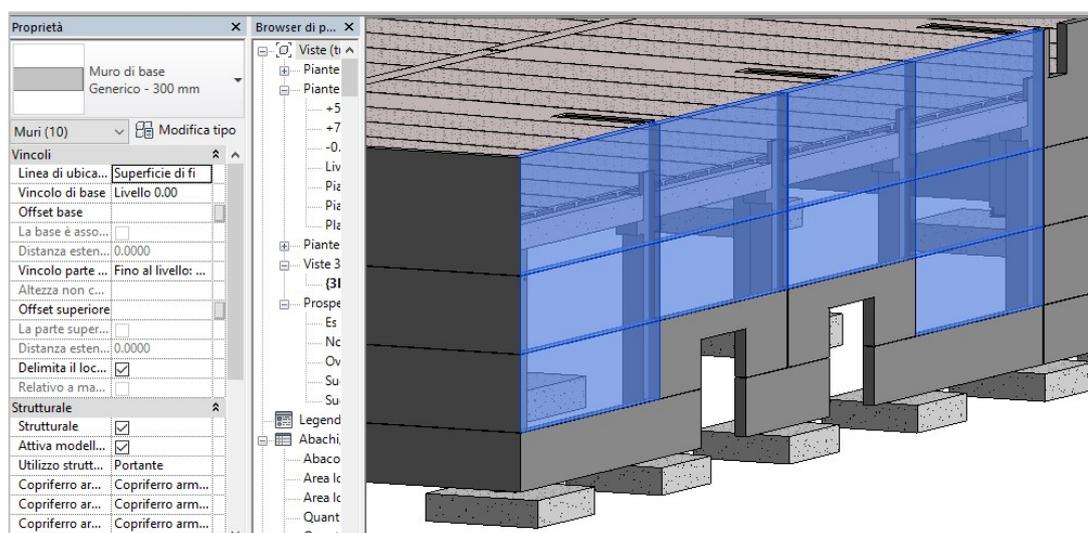


Figura 75: Creazione dei pannelli esterni di rivestimento tramite la famiglia muro di Revit.

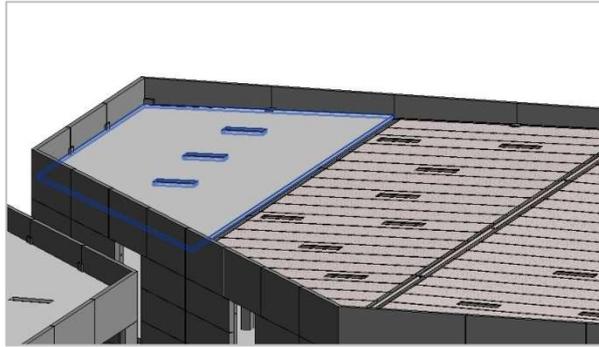


Figura 76: Realizzazione getto di completamento in copertura dei corpi C ed E del modello.

Al modello, oltre i prefabbricati, sono stati aggiunti elementi quali le guaine di impermeabilizzazione ed il getto di calcestruzzo di completamento in copertura, il solaio contro terra ed altri elementi di finitura esterni.

### 3.2.1 Contestualizzazione del modello

Per contestualizzare l'opera è stata inserita infine una superficie topografica da importazione, utilizzando un software complementare come SketchUp che è in grado di acquisire direttamente dalla mappa geografica il sito desiderato importando nel programma le reali curve di livello e quote altimetriche.

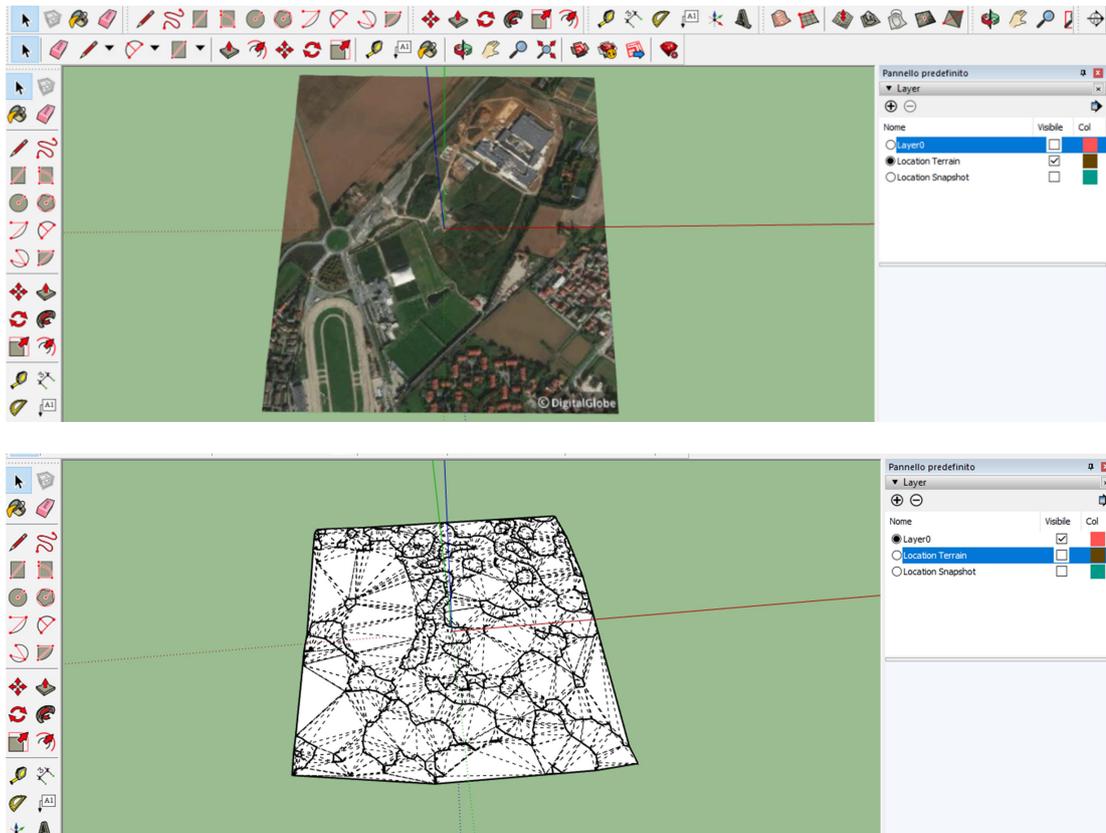


Figure 77-78: Importazione linee di livello e creazione superficie topografica tramite la funzione "aggiungi posizione" del software SketchUp.

Si è proceduto in tal modo al posizionamento su Revit della superficie topografica della zona interessata e successivamente sono state introdotte anche una serie di opere provvisorie per la costruzione del cantiere vero e proprio, comprendenti ponteggi di accesso alle coperture, le recinzioni di cantiere per la delimitazione dell'area e i baraccamenti, come visibile nelle immagini riportate di seguito.

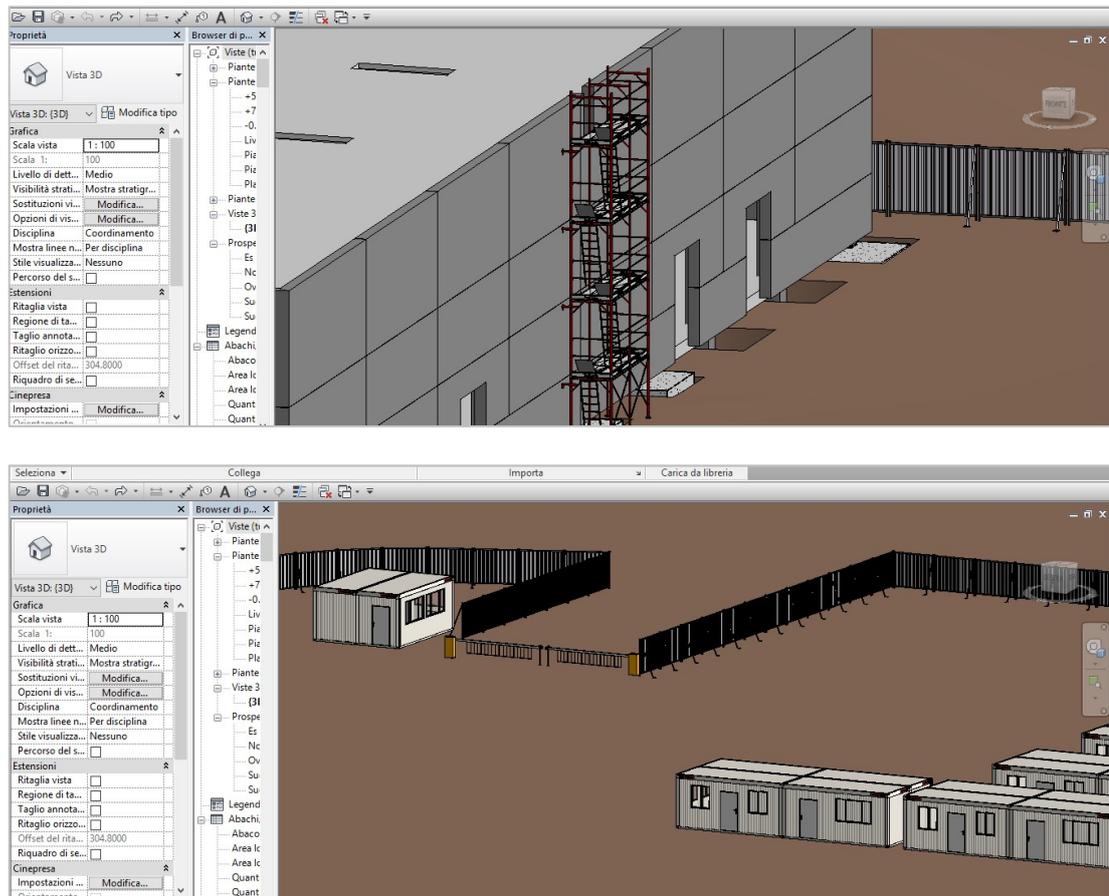


Figure 79-80: Realizzazione opere provvisorie di cantiere all'interno del file di progetto Revit.

Il cantiere è stato a sua volta contestualizzato con l'inserimento dei volumi del preesistente lotto e di alcuni elementi di planimetria per avere una visione generale della viabilità esterna, degli edifici sensibili e del contesto territoriale e urbano in cui esso si inserisce. Ciò è stato possibile importando in Revit il file esterno CAD della planimetria generale dell'intero progetto di MondoJuve Shopping Center.

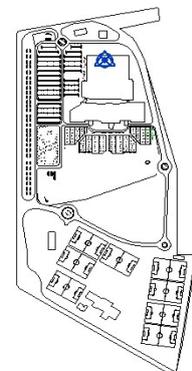


Figura 81: Planimetria generale modello Revit.



Figura 82: Contestualizzazione del modello con la creazione del sito e di elementi di planimetria.

### 3.3 Parametri condivisi IFC e inserimento codici WBS

Il formato *IFC* è stata la prima norma sviluppata dalla *buildingSMART International (ex IAI)*, che rappresenta l'autorità mondiale che sta guidando la trasformazione dell'economia del patrimonio costruito attraverso la creazione e l'adozione di standard internazionali aperti. Il suo nucleo tecnologico si basa su uno schema comune di dati (modello) chiamato appunto *IFC* (acronimo di *Industry Foundation Classes*) che gestisce l'interoperabilità tra i diversi software BIM e CAD, consentendo di conservare e scambiare dati rilevanti di progetto. Per importare/esportare un file *IFC*, Autodesk Revit fa ricorso ad un *layer software* in grado di tradurre i dati in linguaggio *IFC*, e affinché il sistema funzioni, propone una serie di parametri in grado di definirne il comportamento. Mentre infatti il *layer software* ha il solo compito di esportazione/importazione del file, i parametri definibili tramite Revit e raggruppati in tabelle consentono di stabilire delle regole che indicano, per ogni *famiglia* del modello, quali dati è necessario esportare nel file *IFC* come parametri condivisi e quali invece no.

Avendo definito una *WBS* di progetto, e assegnato ad ogni attività un codice identificativo, era opportuno definire un dialogo tra le attività presenti nel cronoprogramma realizzato e gli elementi tridimensionali del modello Revit.

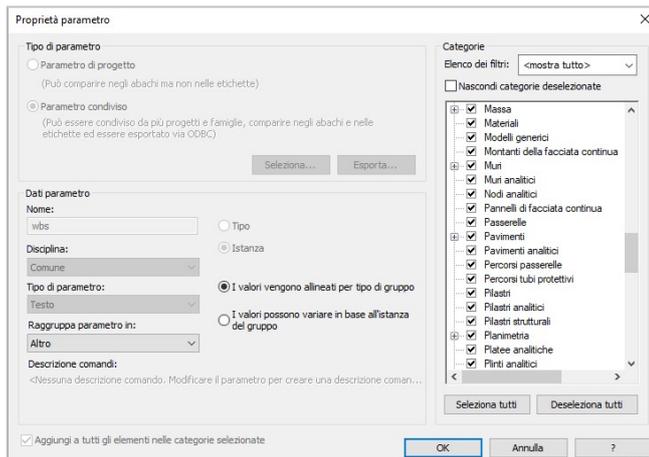
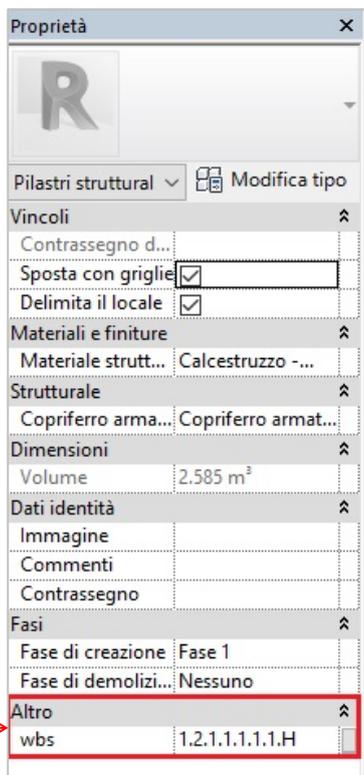


Figura 83: Riquadro inserimento parametri condivisi Revit.

Questo dialogo ha l'obiettivo di creare una corrispondenza biunivoca tra un elemento virtuale e un'attività precisa del diagramma di Gantt destrutturato in WBS, e facilitare in tal modo il successivo lavoro su piattaforma Synchro per la



realizzazione del modello 4D. E' stato quindi creato un file IFC di testo ed importato in Revit come parametro di progetto; tale parametro condiviso è stato assegnato a tutte le categorie di famiglie presenti nel modello virtuale realizzato. In questo modo, selezionando un qualsiasi elemento del modello tridimensionale, nella tabella delle proprietà dell'elemento stesso era già presente il parametro appena creato, chiamato per semplicità "wbs", in cui è stato digitato il corrispettivo codice identificativo per tutte le tipologie di elementi.

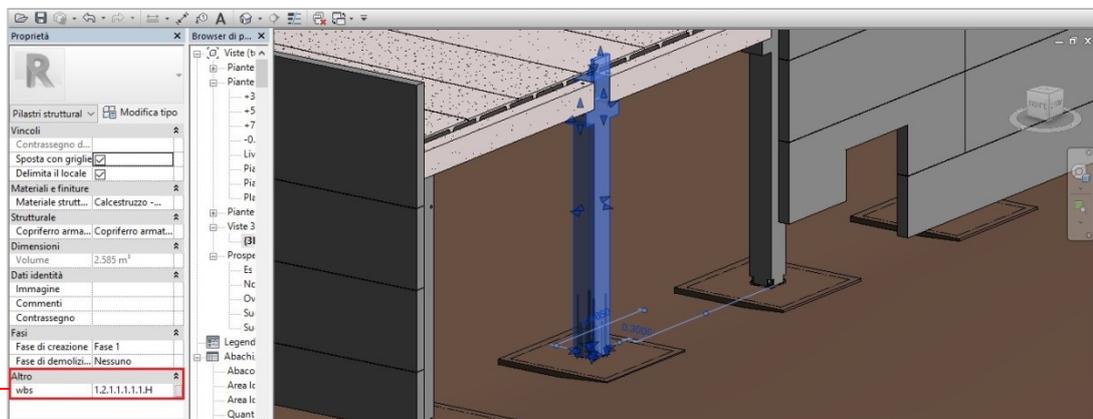


Figure 84-85: Assegnazione dei codici identificativi della WBS ad ogni elemento del modello 3D.

## CAPITOLO 4: SYNCHRO BIM SOFTWARE

### 4.1 La programmazione BIM 4D

La modellazione BIM 4D rappresenta il futuro della gestione dei progetti in campo edile e racchiude in un unico software operazioni di pianificazione, programmazione e analisi dei dati, oltre che il modello virtuale stesso. Il 4D integra la capacità di visualizzare il progetto e di analizzare i dati spaziali dinamici, gestire le risorse ed avere sotto controllo i tempi direttamente sul computer; prima che l'opera venga realizzata crea un campo di pratica per il team di consegna che è altamente coinvolgente ed efficiente.

L'esperienza di aziende internazionali interfacciate in questa realtà dimostra che il valore di questi software tra cui Synchro, porta ad enormi risultati quali:

- vincere più offerte;
- ridurre i ritardi in cantiere;
- rilevare gli errori di pianificazione in anticipo;
- scongiurare rischi pericolosi e costosi.

La relazione intrinseca tra persone, processi e tecnologia crea le basi per il successo, per il raggiungimento dell'obiettivo nelle grandi opere di costruzione. A tal fine, il software Synchro offre una piattaforma di tecnologia digitale altamente interoperabile per guidare l'evoluzione nel campo delle costruzioni sin dalla pianificazione 2D tradizionale e dai flussi di lavoro silenziosi, fino ad arrivare ad una progettazione visiva 4D altamente efficiente e cooperativa e al processo di gestione dei progetti *VDC (Virtual Design and Construction)*. La piattaforma Synchro fornisce in modo univoco una soluzione tecnologica per visualizzare, analizzare, modificare e tenere traccia in modo accurato dell'intero progetto, compresi logistica e lavori temporanei. Questo ambiente visivo e ricco di dati coinvolge tutti i membri del team in un processo trasparente per ottimizzare i progetti di costruzione di tutti i tipi, dalla gara alla costruzione, alla messa in servizio e alla consegna. Il risultato è un miglioramento continuo, l'eliminazione degli sprechi, costi minori dunque ma soprattutto la preventiva analisi delle interferenze e dei rischi in cantiere.

Synchro Pro utilizza la visualizzazione in tempo reale, una simulazione appunto delle varie fasi di cantiere come in una “*macchina del tempo virtuale*”, per fornire informazioni e controllo sui progetti in ogni sua fase. Un motore di pianificazione *CPM* integrato consente di rivedere e aggiornare visivamente e rapidamente la pianificazione del progetto in tempo reale sul computer, compresi i dati sulla logistica, i lavori temporanei e le risorse; risolvere i conflitti di progettazione, spaziali e temporali, ed evidenziare condizioni di lavoro non sicure. Essendo una soluzione digitale, è garantito per essere veloce e interoperabile con gli attuali software CAD, BIM e per lo Scheduling.

Caratteristiche principali del software:

- Tecnologia di costruzione BIM avanzata, affidabile ed efficace;
- Monitoraggio del progresso;
- Test di sequenze alternative per alta precisione a costi inferiori;
- Produttività alla velocità della luce;
- Pianificazione CPM;
- Segnalazione personalizzata;
- Gestione delle risorse e ottimizzazione;
- Visualizza i file di progetto completi con Open Viewer;
- Hosting di progetti sicuro e accurato con Workgroup Project.

## **4.2 Applicazione di Synchro BIM software al caso di studio**

Tutto quanto realizzato fino a questo momento, dalla pianificazione iniziale, lo scheduling, la creazione di una *WBS*, fino alla redazione di un cronoprogramma e dell'intero modello tridimensionale BIM del cantiere in esame, costituisce la base di lavoro su piattaforma Synchro per la realizzazione di una simulazione virtuale di cantiere in quattro dimensioni. E' opportuno precisare però che il lavoro svolto su Synchro non è finalizzato a sé stesso, o meglio il suo scopo non è la creazione di un video di

simulazione di cantiere per mostrare le modalità operative attuate, ma proprio attraverso questa simulazione è possibile avere una visione globale del progetto, analizzare le interferenze e le maggiori cause di incidenti in cantiere, con il fine di porvi rimedio in maniera preventiva.

L'interfaccia del programma appare subito molto elaborata ma intuitiva, satura di funzioni e di schede che permettono la gestione completa del progetto, a partire dalla scheda *Plan* attraverso la quale è possibile implementare il cronoprogramma con nuove attività e modificarlo, a quella *3D* in cui è possibile addirittura creare nuovi oggetti sotto forma di *box* o estrusioni, fino ad arrivare alla scheda *4D Review* e *Navigator* con cui gestire la quarta dimensione relativa al tempo e le impostazioni video. Esiste una scheda denominata *Assign Resources* tramite la quale viene gestita l'assegnazione delle risorse e degli elementi tridimensionale alle corrispettive attività (*tasks*) del Gantt e crea quindi una corrispondenza tra i due file.

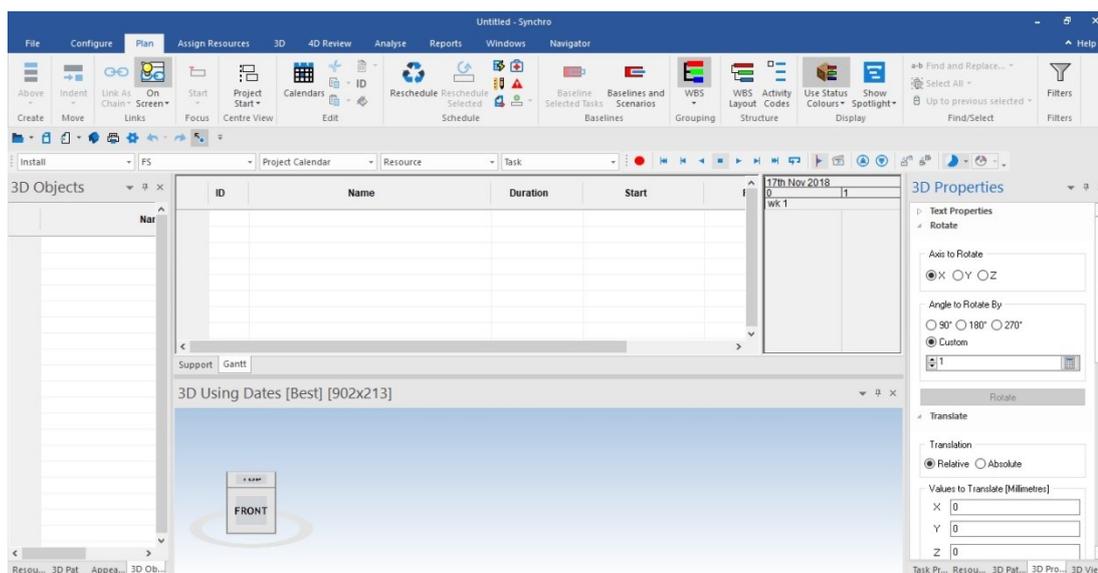


Figura 86: Interfaccia del software Synchro.

La schermata principale inoltre è tripartita verticalmente, presentando a sinistra gli elenchi degli oggetti tridimensionali presenti, le risorse e i file importati, a destra le schede proprietà degli elementi mentre al centro è ulteriormente suddivisa in due; sulla parte superiore troviamo la finestra relativa al cronoprogramma da importare o creare mentre inferiormente giace la finestra di visualizzazione del modello 3D.

Il primo passo per l'utilizzo del software è stato quello dell'importazione del cronoprogramma tramite il file *.xml* di Microsoft Project. E' stato possibile importare sia la lista delle attività in cui è stato suddiviso il Gantt che il file di testo in cui sono stati inseriti i codici della *WBS* relativi ad ognuna.

Lo stesso procedimento è stato seguito per l'importazione in Synchro del modello tridimensionale. In realtà, tramite un *plug-in* di Synchro per la piattaforma Revit, il modello 3D è stato esportato da Revit stesso come file *Synchro project export (.spx)* e caricato direttamente sul programma, comprensivo del file *IFC* contenente i codici *WBS* identificativi di ogni elemento virtuale.

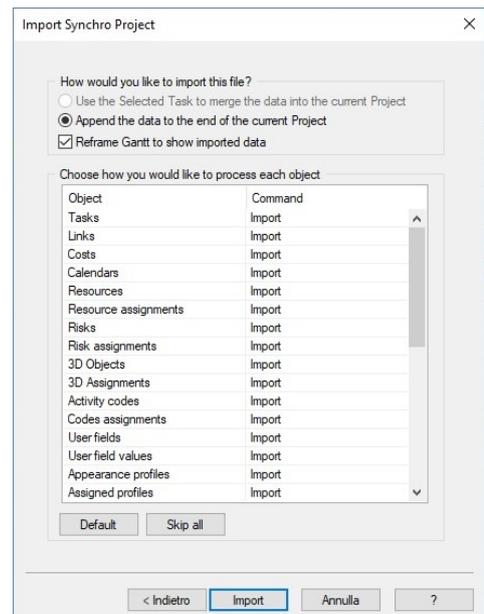


Figura 87: Parametri di importazione Gantt.

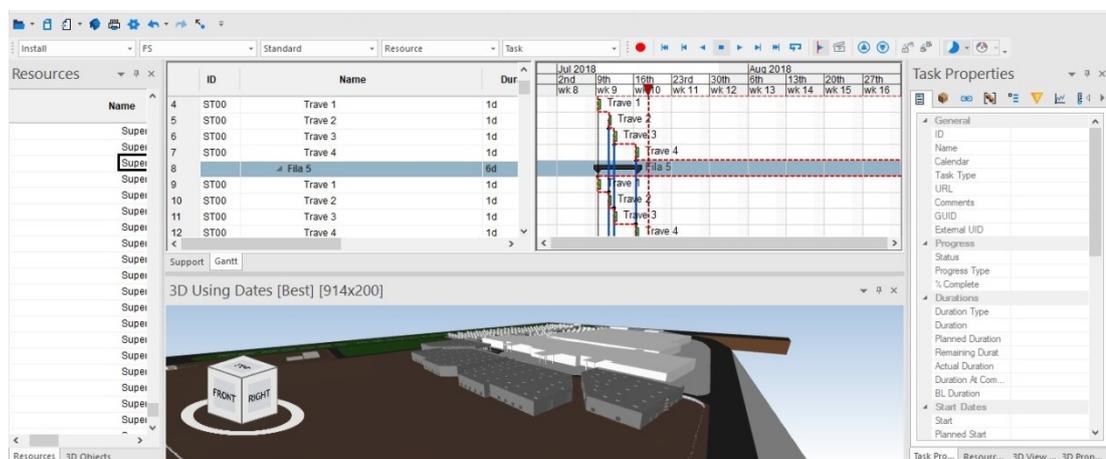


Figura 88: Importazione su Synchro del modello tridimensionale e del cronoprogramma.

In questo momento si evince quanto il lavoro di schedulazione e codifica fatto precedentemente sia stato utile; il programma infatti presenta una funzione, nella scheda *Assign Resources* descritta, chiamata *"Auto Matching"*. Attraverso tale funzione in pratica, il software è in grado di assegnare automaticamente ad ogni *Task* presente nel cronoprogramma, la corrispondente risorsa, ovvero il rispettivo elemento tridimensionale del

modello, avendo definito preventivamente una regola “one-to-one” oppure “many-to-many” (nel caso in cui più elementi abbiano lo stesso codice relativo ad un'unica attività) da seguire. Il programma chiede di impostare l'attributo/riferimento delle risorse e delle attività attraverso il quale effettuare il “match” ed è possibile infatti scegliere, tra gli *user fields*, di “accoppiare” risorse e attività sulla base dei file *WBS* creati.

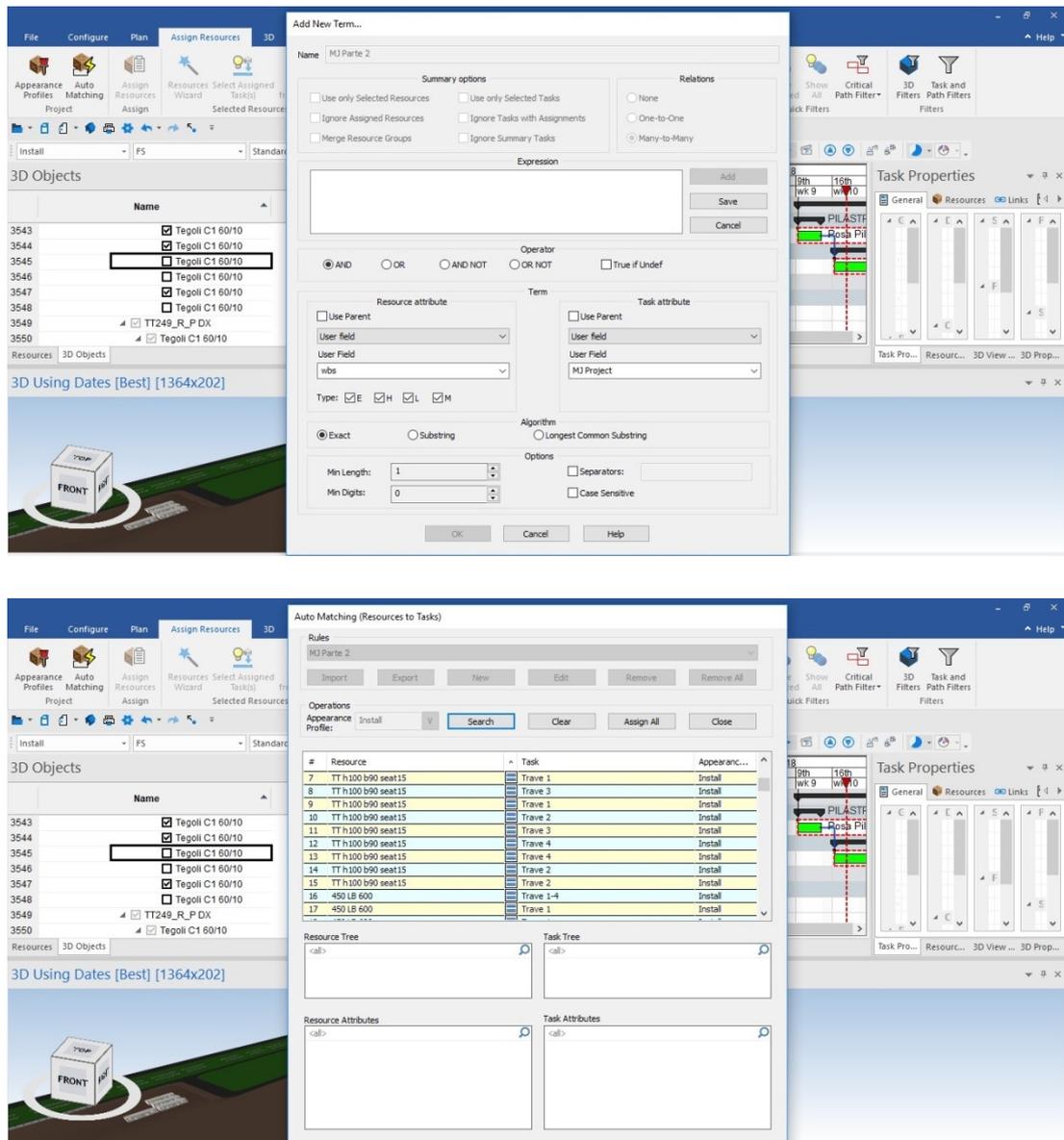


Figure 89-90: Impostazione e calcolo dell'“Automatching” tra risorse ed attività da parte di Synchro.

Come si evince dall'immagine riportata, dopo il calcolo Synchro mostra una lista di risorse e attività che sono state accoppiate automaticamente in base ai codici attribuiti ai due file importati.

A questo punto, avendo tutti gli elementi collegati e la sequenza temporale già definita dal cronoprogramma realizzato, la mole di lavoro sul programma è stata notevolmente ridimensionata; la restante parte si è incentrata sull'importazione dei mezzi di cantiere e la definizione dei 3D paths, ovvero dei percorsi di cantiere da seguire.

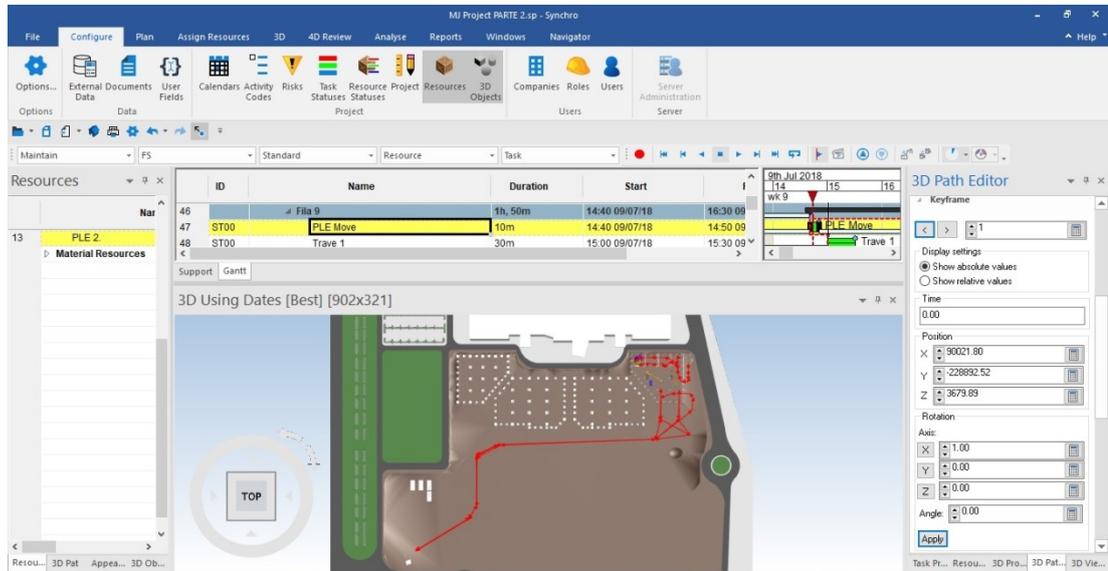


Figura 91: Creazione dei 3D Paths relativi ai mezzi di cantiere.

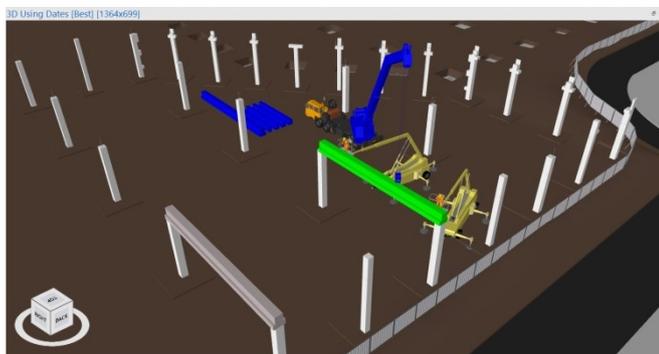


Figure 92-93: Impostazione delle fasi di cantiere su Synchro; fase di montaggio travi prefabbricate.

E' possibile definire per ogni assegnazione tra una risorsa ed un'attività, un *Appearance Profile*, ovvero la modalità in cui l'elemento comparirà nella scena/modello. Di default, con l'automatching effettuato, ogni elemento apparirà come una installazione (in verde), un elemento di progetto da installare nel momento indicato dal Gantt.

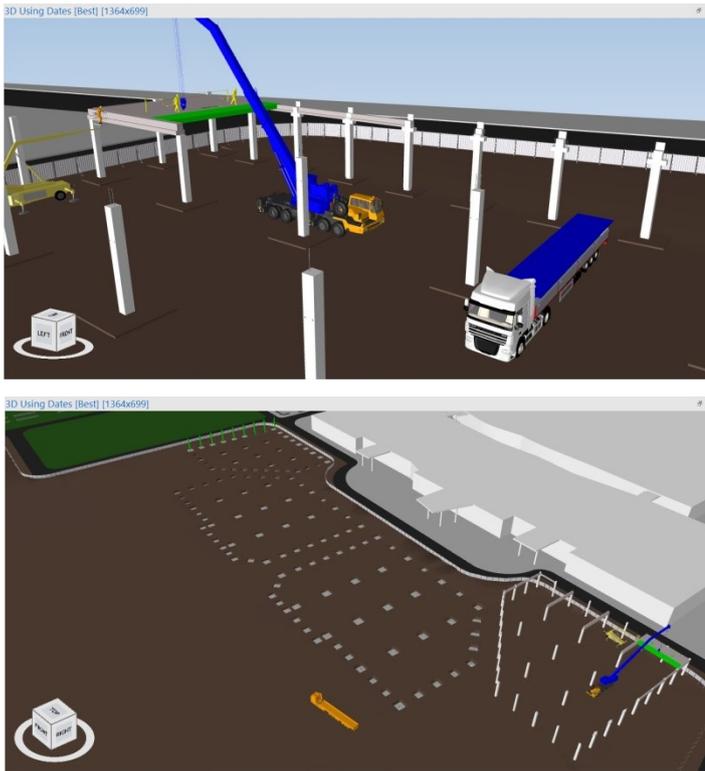


Figure 94-95: Focused Time sui percorsi dei mezzi in cantiere; trasporto di pannelli prefabbricati con autotreno.

Questa opzione può essere modificata ovviamente, scegliendo tra diversi tipo di appearance profiles esistenti (*install, remove, mantain, temporary*) o creandone di nuovi per la realizzazione ad esempio dei getti di cls, simulando una crescita (*grow up*) del plinto ad esempio, dal basso verso l'alto, come nella realtà.

Per una verifica in tempo reale di quanto fatto, è possibile muovere la barra del “*focused time*” in rosso lungo il grafico a barre ed all’inizio o alla fine di ogni attività selezionata, visualizzando sulla finestra 3D gli spostamenti dei mezzi e l’avanzamento dei lavori. In questo modo l’intero progetto è tenuto sotto controllo ed è possibile focalizzare l’attenzione su più zone a rischio in maniera sincronica ed istantanea, valutando le più idonee misure da attuare.

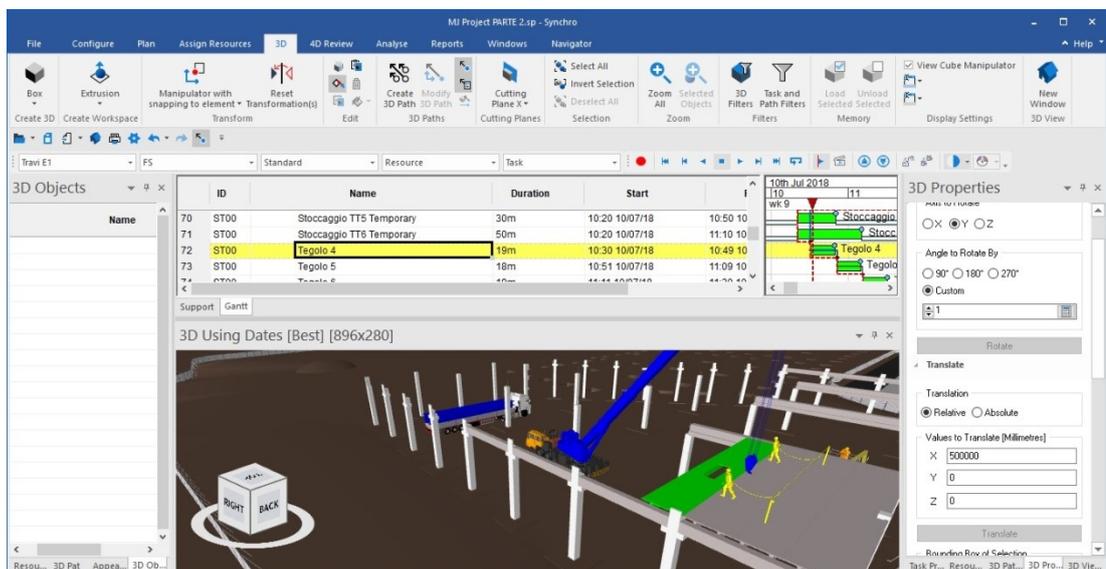


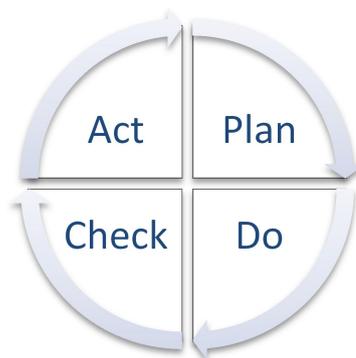
Figura 96: Visualizzazione in tempo reale dell’avanzamento dei lavori del cantiere virtuale.

## 4.3 Analisi dei rischio

### 4.3.1 Modalità standard

L'art. 2, Capo I, Titolo I del D.Lgs. 81/2008 fornisce una serie di definizioni che possono tornare utili; definisce innanzitutto il rischio come la *“probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione”*, intendendo per danno la conseguenza del verificarsi dell'evento pericoloso. In altre parole il rischio si concretizza non in presenza di un pericolo, ma solo quando ci sono degli *esposti* a quel determinato pericolo. Altra definizione importante è quella della valutazione dei rischi; il decreto, nello stesso articolo, la definisce come una *“valutazione globale e documentata di tutti i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori presenti nell'ambito dell'organizzazione in cui essi prestano la propria attività, finalizzata ad individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione e ad elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e sicurezza.*

La procedura standard utilizzata per la valutazione dei rischi segue il metodo di gestione iterativo del *ciclo di Deming*, conosciuto anche come ciclo di *PDCA* (acronimo di *Plan-Do-Check-Act*).



Bisogna prendere in considerazione ovviamente solo i rischi ragionevolmente prevedibili, attuando un processo di organizzazione, controllo e verifica dei rischi residui dopo l'applicazione delle misure di prevenzione pianificate.

Esiste una gerarchia degli interventi da attuare enunciata nell'*articolo 15 – Misure di tutela* - dello stesso decreto che prevede come primo passo l'eliminazione dei rischi ove possibile, seguito dalla sostituzione di ciò che è rischioso con ciò che non lo è, l'isolamento delle zone pericolose in modo tale da evitare che il rischio possa manifestarsi, e solo come ultimo intervento di tutela, le misure di protezione collettive ed individuali. La normativa stessa predilige ovviamente misure di prevenzione a quelle di protezione, essendo queste ultime delle misure per scongiurare i rischi residui dopo la valutazione e gli interventi di prevenzione stessi.

Il documento di valutazione dei rischi, DVR, i cui contenuti sono descritti nell'*articolo 28 del Titolo I, D.Lgs 81/08*, è redatto congiuntamente dal datore di lavoro, il responsabile del servizio prevenzione e protezione (RSPP) e il medico competente dell'azienda, previa consultazione del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza, e deve essere custodito presso l'unità produttiva alla quale la valutazione si riferisce.

La valutazione standard è effettuata mediante una semplice operazione:

$$R = P \cdot D$$

Dove:

- *R*: entità del rischio
- *P*: probabilità di accadimento di un fatto dannoso per la salute e/o sicurezza dei lavoratori
- *D*: gravità del danno

(P)	Altamente probabile	4	8	12	16
	probabile	3	6	9	12
	Poco probabile	2	4	6	8
	improbabile	1	2	3	4
		Lieve	Medio	Grave	gravissimo
		Scala del Danno(D)			

Figura 97: Matrice di Rischio per la valutazione.

Il rischio viene valutato sulla base di un sistema matriciale, mettendo sulle ordinate la probabilità  $P$  e sulle ascisse il danno  $D$ . I due parametri assumono dei valori compresi tra 1 e 4 che indicano la bassa o elevata probabilità di accadimento e la lieve o grave entità del danno a seconda del rischio che si sta analizzando.

Esistono inoltre delle curve dette *isorischio* in cui è possibile notare le modalità attuative per la riduzione del rischio.

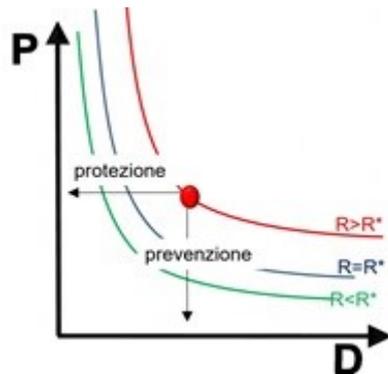


Figura 98: Curve isorischio.

Osservando la figura ed identificando  $R^*$  come il rischio residuo ineliminabile dovuto alla lavorazione stessa, vediamo come sia possibile ridurre il rischio in due modalità:

- Agendo sulla probabilità  $P$
- Agendo sull'entità del danno  $D$

La scelta migliore ovviamente è quella di intervenire sulla probabilità che l'evento si verifichi adottando misure di prevenzione che annullino o quantomeno riducano la frequenza di accadimento del rischio.

I.A.	FASCIA DI APPARTENENZA [dB(A)]	MANSIONE \ LAVORATORE \ REPARTO	MISURE
0	$LEX_{d1} \leq 80$ $P_{max} \leq 135$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASSISTENTE CANTIERE</li> <li>• CAPO CANTIERE</li> <li>• IMPIEGATO IN CANTIERE</li> <li>• MAGAZZINIERE</li> </ul>	Il rischio è presente ad un livello irrilevante, e non è prevedibile che aumentino in futuro. La valutazione viene terminata, non sono necessarie ulteriori misure.
1	$80 < LEX_{d1} \leq 85$ $135 < P_{max} \leq 137$	Non esistono gruppi di lavoratori o reparti esposti a questa fascia di rischio in questo documento	Il rischio è presente ad un livello Basso e viene tenuto sotto controllo attuando le misure previste dalla normativa vigente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consegna dei DPI di protezione dell'udito e uso facoltativo da parte dei lavoratori</li> <li>• Sorveglianza sanitaria sul rischio specifico solo su richiesta del lavoratore</li> <li>• Informazione e formazione dei lavoratori esposti</li> </ul>
2	$85 < LEX_{d1} \leq 87$ $137 < P_{max} \leq 140$	Non esistono gruppi di lavoratori o reparti esposti a questa fascia di rischio in questo documento	Il rischio è presente ad un livello medio e viene tenuto sotto controllo attuando le misure previste dalla normativa vigente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consegna dei DPI di protezione dell'udito e uso obbligatorio da parte dei lavoratori</li> <li>• Sorveglianza sanitaria sul rischio specifico a cura del medico competente</li> <li>• Informazione e formazione dei lavoratori esposti</li> <li>• Turnazione degli addetti</li> <li>• Verificare l'adeguatezza dei DPI</li> <li>• Segnalare con idonea cartellonistica l'area a rischio</li> <li>• Prevedere un adeguato programma di manutenzione delle attrezzature rumorose</li> </ul>
3	$LEX_{d1} > 87$ $P_{max} > 140$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OPERAIO COMUNE</li> <li>• OPERAIO GRUISTA</li> <li>• OPERAIO MULETTISTA</li> </ul>	Il rischio è presente ad un livello elevato e viene tenuto sotto controllo attuando le misure previste dalla normativa vigente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consegna dei DPI di protezione dell'udito e uso obbligatorio da parte dei lavoratori</li> <li>• Sorveglianza sanitaria sul rischio specifico a cura del medico competente</li> <li>• Informazione e formazione dei lavoratori esposti</li> </ul>

Figura 99: Estratto valutazione rischio rumore del POS dell'impresa costruttrice CGG.

Questo tipo di analisi non è stato affrontato all'interno della presente Tesi, essendo già presente una idonea valutazione dei rischi all'interno del PSC integrata per le specifiche lavorazioni dal DVR all'interno del POS dell'azienda CGG di cui si riporta un estratto nell'immagine 99.

### 4.3.2 Valutazione mediante Synchro

L'efficacia dell'utilizzo di Synchro risiede nella funzionalità stessa del software, nella sua capacità di creare, analizzare, modificare, segnalare e gestire i progetti attraverso una singola interfaccia visiva. La possibilità di visionare, tramite una simulazione virtuale in quattro dimensioni, quello che sarà attuato in cantiere in maniera preventiva e in un ambiente per così dire "neutro", senza rischi e pericoli reali ma che emulano la realtà, costituisce un enorme vantaggio sul piano della valutazione dei rischi e gestione delle interferenze. Questo infatti permette di spostarci su un altro livello di pianificazione di interventi e misure di tutela per la salute e sicurezza dei lavoratori mai visto prima, consentendo cioè di valutare visivamente l'impatto dell'attuazione di tali interventi sul cantiere in esame ed intuire i rischi residui già in fase di pianificazione. In seguito a ciò, la realtà del cantiere e le modalità operative di ogni lavorazione saranno solamente la messa in pratica di qualcosa di già visto, già preventivato e valutato attentamente tramite Synchro per evitare qualsiasi esposizione al rischio.

Qualsiasi interferenza tra più lavorazioni inoltre potrà essere gestita virtualmente arrivando ad una soluzione ottimale sia in termini di tempo ma soprattutto di spazio avendo sotto controllo appunto l'intero modello tridimensionale del cantiere e potendo quindi gestire le varie aree di lavorazione. La gestione delle interferenze avverrà nelle stesse modalità usate finora, attraverso cioè uno sfasamento spaziale delle aree interferenti quando possibile, oppure uno sfasamento temporale andando a modificare il cronoprogramma; l'unica e sostanziale differenza è che questa gestione avverrà con un certo criterio, non più basato solo su piante, sezioni, planimetrie 2D, ma sull'attuazione immediata dello sfasamento lavorando sul modello (spaziale) o sul Gantt (temporale) in Synchro e valutando in tempo reale gli effetti di tale soluzione.

Lavorando sul software d'altronde e dovendo inserire manualmente i percorsi dei mezzi, le aree di lavorazione e magari dei modelli di operatori che lavoreranno in cantiere (per alcune lavorazioni particolari), già nelle fasi di

impostazione del modello virtuale e del video di cantiere ci si può rendere conto visivamente che alcune delle soluzioni previste teoricamente, non siano le migliori per quel tipo di lavorazione ad esempio. L'impatto visivo del software è molto significativo e, se gestito correttamente, può portare ad elevati livelli di precisione per una gestione del cantiere addirittura "al quarto d'ora", calcolando accuratamente i tempi di approvvigionamento, trasporto, stoccaggio, movimentazione e quant'altro.

#### 4.4 Vantaggi e svantaggi nell'utilizzo di Synchro BIM Software

Sono state analizzate le principali caratteristiche del software 4D Synchro e i suoi punti di forza e debolezza in base ad una serie di aspetti presi in esame, creando una scheda riportata di seguito:

Qualità	Synchro		Commenti
	Pro	Contro	
Facilità d'utilizzo	✓		Synchro appare relativamente semplice da utilizzare e presenta un'interfaccia intuitiva, anche se gli input del programma risultano molto avanzati. Infatti permette all'utente di creare programmazioni complesse con una serie di funzionalità avanzate quali ad esempio la funzione di vincolo " <i>start as late as possible</i> ", inserire ritardi di lavorazioni, computare i percorsi critici e molte altre funzioni.
Estensione delle funzionalità 4D	✓		Il software è focalizzato sulla programmazione 4D che può essere svolta intuitivamente ed in maniera efficace e permette di pianificare operazioni relative a progetti sia semplici che complessi. La capacità di Synchro di accoppiare risorse materiali/attrezzature/mezzi alle attività del Gantt permette una facile gestione del modello e l'implementazione di tecniche comprovate di pianificazione.

Qualità	Synchro		Commenti
	Pro	Contro	
Animazione/ creazione di simulazioni virtuali	✓		Synchro permette di creare animazioni e video di cantiere facilmente tramite la scheda 4D Review del programma e non richiede un lavoro impegnativo per la generazione della simulazione
Gestione delle micro-attività e visualizzazione delle operazioni di dettaglio		✓	La qualità dell'animazione realizzata con Synchro è una delle migliori, dopo <i>Navisworks</i> , tra i software di programmazione 4D, ma risulta comunque lontana dalla realtà e non permette di cogliere nel dettaglio alcuni particolari costruttivi o lavori di minuteria. In questo senso sarebbe meglio affidare l'analisi dei rischi e la gestione delle interferenze di tutta quella serie di micro-attività e lavorazioni di completamento ad uno studio dettagliato secondo i metodi tradizionali di valutazione.
Lavoro in condivisione	✓		SYNCHRO Workgroup Project (SWP) è un'ulteriore applicazione del software consistente in un server di database progettato per coordinare l'accesso ai dati del progetto 4D all'interno di ambienti di gruppo. Esso consente a più utenti di lavorare sullo stesso file nello stesso momento, non solo da PRO ma anche da OpenViewer, Scheduler, e altre applicazioni di terze parti.
Aggiornamento /allineamento rispetto all'effettivo avanzamento dell'opera		✓	Si potrebbe definire uno svantaggio la scarsa possibilità di aggiornamento del modello con la reale situazione in cantiere, ma non avrebbe in realtà alcun senso l'utilizzo del software di programmazione virtuale durante le fasi di costruzione dell'opera, essendo questo nato per una migliore pianificazione e gestione delle interferenze e dei rischi relativi al cantiere in maniera preventiva.

Qualità	Synchro		Commenti
	Pro	Contro	
Pianificazione degli interventi e gestione della sicurezza	✓		<p>Synchro permette di effettuare un'attenta analisi dei rischi e delle interferenze presumibili per uno specifico cantiere attraverso la creazione di una simulazione virtuale in quattro dimensioni. L'analisi effettuata tramite il software ovviamente non potrebbe sussistere senza la previa valutazione dei rischi delle varie lavorazioni e redazione di un DVR che potrà essere implementato o modificato dopo l'utilizzo del programma.</p>
Entità di lavoro ore/uomo		✓	<p>Il lavoro su Synchro di per sé non richiede un grande sforzo in termini di ore lavorative, tranne forse per la realizzazione dei percorsi dei mezzi e l'implementazione delle attività del cronoprogramma. Ma la velocità di accoppiamento tra risorse e attività di Synchro richiede un lungo ed elaborato lavoro di programmazione e schedulazione iniziale, e la realizzazione di un modello tridimensionale che abbia le "informazioni" adeguate per l'importazione su piattaforma 4D ed il dialogo con ogni WBE del diagramma a barre di Gantt.</p> <p>L'entità di lavoro richiesta per le attività di <i>scheduling</i> e la realizzazione del modello 3D su Revit è stata di circa <b>8 settimane (300 ore/uomo)</b>.</p> <p>La simulazione realizzata tramite Synchro, avendo eseguito l'automatching dei file importati, opportunamente codificati, che ha velocizzato il tutto, ha richiesto circa <b>2/3 settimane (100 ore/uomo)</b>.</p> <p>A mio parere, più che uno svantaggio, definito in relazione alle ore di lavoro normalmente impiegate per la tradizionale valutazione dei rischi in un cantiere, queste ore in più permettono una migliore gestione del progetto sia in termini di costi, che di tempi di consegna e soprattutto in riferimento alla sicurezza sul luogo di lavoro.</p>

## CAPITOLO 5: CONCLUSIONI

Al termine di questo percorso di Tesi, nascono spontanee alcune domande relative all'utilità e all'effettivo utilizzo di queste nuove tecnologie nel modo del lavoro e delle costruzioni in generale.

Il continuo ed incessante aggiornamento delle modalità costruttive, dei metodi di pianificazione e di gestione utilizzati nelle aziende, della progettazione stessa attraverso la crescita del mondo del BIM, che avrà il suo culmine nel prossimo decennio, ci pone dinanzi diversi quesiti: quanto è importante l'aggiornamento? Queste nuove tecnologie portano dei benefici nel mondo della progettazione/costruzione in termini di qualità, costi, tempo e sicurezza? Come è possibile utilizzare queste tecnologie in senso pratico? Quali e quante nuove possibilità derivano dalla loro conoscenza e utilizzo nel mondo del lavoro?

La presente Tesi ha cercato di rispondere ad alcune di queste domande. Innanzitutto, il mondo del BIM porta con sé una serie di innovazioni e funzionalità delle quali è stato già possibile valutarne l'effetto, come la riduzione dei tempi di progettazione, l'accumulo di informazioni all'interno del modello stesso e in un unico database, l'interoperabilità tra i diversi software di progettazione e la possibilità di lavoro in condivisione.

La trattazione ha riguardato particolarmente l'utilizzo del software Synchro per la modellazione 4D relativa ad un caso reale: il cantiere del secondo lotto del progetto commerciale MondoJuve Shopping Center di Vinivo (TO). Come prodotto finale della Tesi ne risulta una simulazione virtuale delle fasi realizzative di cantiere partendo dall'allestimento iniziale fino al completamento della struttura principale prefabbricata con la realizzazione di ulteriori opere di finitura. Tale simulazione come già visto non è fine a se stessa ma è servita da strumento per l'implementazione dei tradizionali metodi di gestione dei rischi relativi alla sicurezza in cantiere e delle interferenze tra le varie sotto-attività in cui l'intero progetto è stato suddiviso.

La principale questione rimasta in sospeso è l'applicazione di questa tecnologia in ambito professionale. In quale modo si possono utilizzare le potenzialità di questo software in senso pratico?

La risposta è abbastanza intuitiva; il software nasce con lo scopo di fornire uno strumento unico in cui è possibile visionare ed avere sotto controllo più aspetti relativi alla meta-progettazione del cantiere e alla sua logistica, e ovviamente valutare l'effetto delle misure di tutela per la salute e la sicurezza dei lavoratori in modo istantaneo e preventivo alla realizzazione vera e propria. Uno dei più importanti vantaggi della piattaforma virtuale è la possibilità di visionare in tempo reale e soprattutto giorno per giorno le mutazioni che il cantiere stesso subisce e quali effetti/rischi portano per la sicurezza. Al contrario dei tradizionali metodi di progettazione della logistica in cantiere, in cui l'intero progetto è suddiviso in macro-fasi, ovvero fasi in cui il cantiere non subisce significative variazioni come possono essere la fase degli scavi, la fase delle strutture in elevazione e via discorrendo, il programma permette invece di valutare ogni possibile modifica, anche piccola e non prevista, che avviene durante le fasi stesse, definendo così una serie di sotto-fasi in cui è possibile studiare i percorsi dei mezzi di cantiere, le aree di stoccaggio che varieranno magari per ogni fornitura, le aree di lavorazione stesse e le varie movimentazioni.

Oltre alla comodità quindi di avere in un'unica interfaccia visiva, tutto l'occorrente per lo studio adeguato della cantierizzazione, dell'ingegnerizzazione del progetto, il prodotto finale (simulazione) può essere utilizzato a scopo formativo ed addestrativo. Mostrando infatti la simulazione di quello che accadrà giorno per giorno in cantiere, anche in una sola fase, alle varie maestranze come ad esempio alla ditta prefabbricatrice o agli stessi addetti alla movimentazione dei carichi, durante le stesse riunioni di coordinamento tra membri di più aziende, tale strumento risulta di facile comprensione e può essere utilizzato come una guida, una serie di istruzioni per la buona riuscita del progetto e l'esecuzione dei lavori in sicurezza.

A mio parere, l'utilizzo di piattaforme del genere, in grado di analizzare ed anticipare l'intero iter costruttivo già in fase di progettazione e che

costituiscono un ausilio alla realizzazione stessa dell'opera e alle decisioni relative alla sicurezza in cantiere, rappresenta un'enorme rivoluzione nel settore edile e non solo, costituendo sicuramente il futuro verso il quale già siamo avviati.

Ovviamente, possono sorgere spontanei alcuni dubbi sull'efficacia del programma in alcune situazioni particolari che si verificano abitualmente in cantiere. Se ad esempio ci fossero delle variazioni in corso d'opera, delle varianti di progetto o qualsivoglia mutamento della tabella di marcia, si potrebbe obiettare sul come e quanto rapidamente la previsione virtuale possa portare benefici. Effettivamente, in alcuni casi non avrebbe senso l'utilizzo del software, come ad esempio per piccoli cambiamenti e/o slittamenti relativi ad una singola fase di cantiere o addirittura attività. Nel caso di varianti di progetto invece, le modifiche da attuare, che comunque non riguarderebbero la piattaforma 4D ma i file all'interno di essa come l'aggiornamento del modello tridimensionale o del cronoprogramma dei lavori, richiederebbero comunque lo stesso tempo dell'aggiornamento del piano di sicurezza e coordinamento, o dei piani operativi delle singole aziende. E' sbagliato pensare che il BIM richieda una mole di lavoro sproporzionata rispetto al lavoro che comunque è necessario svolgere per l'attuazione dei tradizionali metodi operativi.

L'utilizzo o meno di questa tecnologia soprattutto nel campo delle grandi opere edili e civili, potrebbe incidere notevolmente sull'esito finale, avendo un peso significativo sui tempi di realizzazione, sui costi e soprattutto sulla vita dei lavoratori, che si ritrovano spesso lesi in incidenti potenzialmente prevedibili, dovuti ad una non corretta o inesistente pianificazione dei lavori. La sicurezza nei cantieri assume il carattere di requisito imprescindibile che occorre pianificare correttamente, soprattutto ove siano presenti più imprese, senza eccezioni di alcun tipo, poiché *“la sicurezza è un valore e come tale va salvaguardato con tutti i mezzi”*.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Kerzner Harold, *Project Management. Pianificazione, scheduling e controllo dei progetti*, Milano, Hoepli, 2005;

Amato R., Chiappi R., *Tecniche di project management. Pianificazione e controllo dei progetti*, Milano, FrancoAngeli, 2000, 4<sup>a</sup> edizione;

Archibald R. D., *Project Management. La gestione di progetti e programmi complessi*, Milano, FrancoAngeli, 1985, prima edizione italiana. Titolo originale: *Managing High-Tecnology Programs and Projects*, Wiley, New York, USA;

Molinari C., *Elementi di cultura tecnica. Lezioni del corso di materiali e progettazione di elementi costruttivi*, s.l., Maggioli, 1998;

Pozzoli S., Bonazza M., *Autodesk Revit Architecture 2015. Guida alla progettazione BIM*, Lecco, AM4 Educational, 2014;

Sabatino R., Di Muro A., *La progettazione della sicurezza nel cantiere*, Milano, INAIL, 2015;

AA.VV., *La valutazione dei rischi nelle costruzioni edili. Modelli per la redazione del documento di valutazione dei rischi, piano operativo di sicurezza e piano di sicurezza sostitutivo*, Torino, CPT di Torino e INAIL Piemonte, 2009;

Decreto Legislativo 81 del 9 aprile 2008, *Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro*, e sue modifiche e integrazioni;

Pavan A., Mirarchi C., Giani M., *BIM: Metodi e Strumenti. Progettare, gestire e costruire nell'era digitale*, s.l., Tecniche Nuove, 2017;

Eynon J., *Construction Manager's. BIM Handbook*, West Sussex, UK, WILEY Blackwell, 2016;

Kibert Charles J., *Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery*, Hoboken, New Jersey, WILEY, 2016.

## 6.1 Articoli

Dr.-Ing. Mathias Klaiber, Josef Gartner GmbH, Gundelfingen, *Mit BIM komplexe Fassaden planen und konstruieren. Von virtuellen 3-D-Modellen zur digitalen Plattform mit 4-D und 5-D*, tratto dalla rivista edile tedesca "Umrisse - Zeitschrift für Baukultur", 2017;

Bryde D., Broquatas M., Volm J. M., *The project benefits of Building Information Modelling (BIM)*, in "International Journal of Project Management", Volume 31, numero 7, ottobre 2013, pagine 971-980;

Zhang J. P., Hu Z. Z., *BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies*, in "Automation in Construction", Volume 20, numero 2, marzo 2011, pagine 155-166.

Azhar, S., Behringer, A., Sattineni, A., Mqsood, T., *BIM for facilitating construction safety planning and management at jobsites*, procedimento della CIB W099 International Conference on "Modelling and Building Health and Safety", settembre 2012, Singapore, pagine 82-92.

## 6.2 Sitografia

<https://www.cantieredili.net>

<https://www.edilportale.com>

<http://www.gisinfrastrutture.it>

<https://www.lastampa.it>

<https://www.repubblica.it>

Cupertino Council website:

<https://www.cupertino.org/our-city/departments/community-development/planning/major-projects/apple-park>

<https://www.theb1m.com/video/construction-progresses-at-apples-campus-2>

[https://www.codiceappalti.it/DPR\\_207\\_2010](https://www.codiceappalti.it/DPR_207_2010)

<https://www.bentley.com/it/products/product-line/construction-software>

<https://www.ingenio-web.it>

<https://odellengineering.com>

<https://www.wired.com>

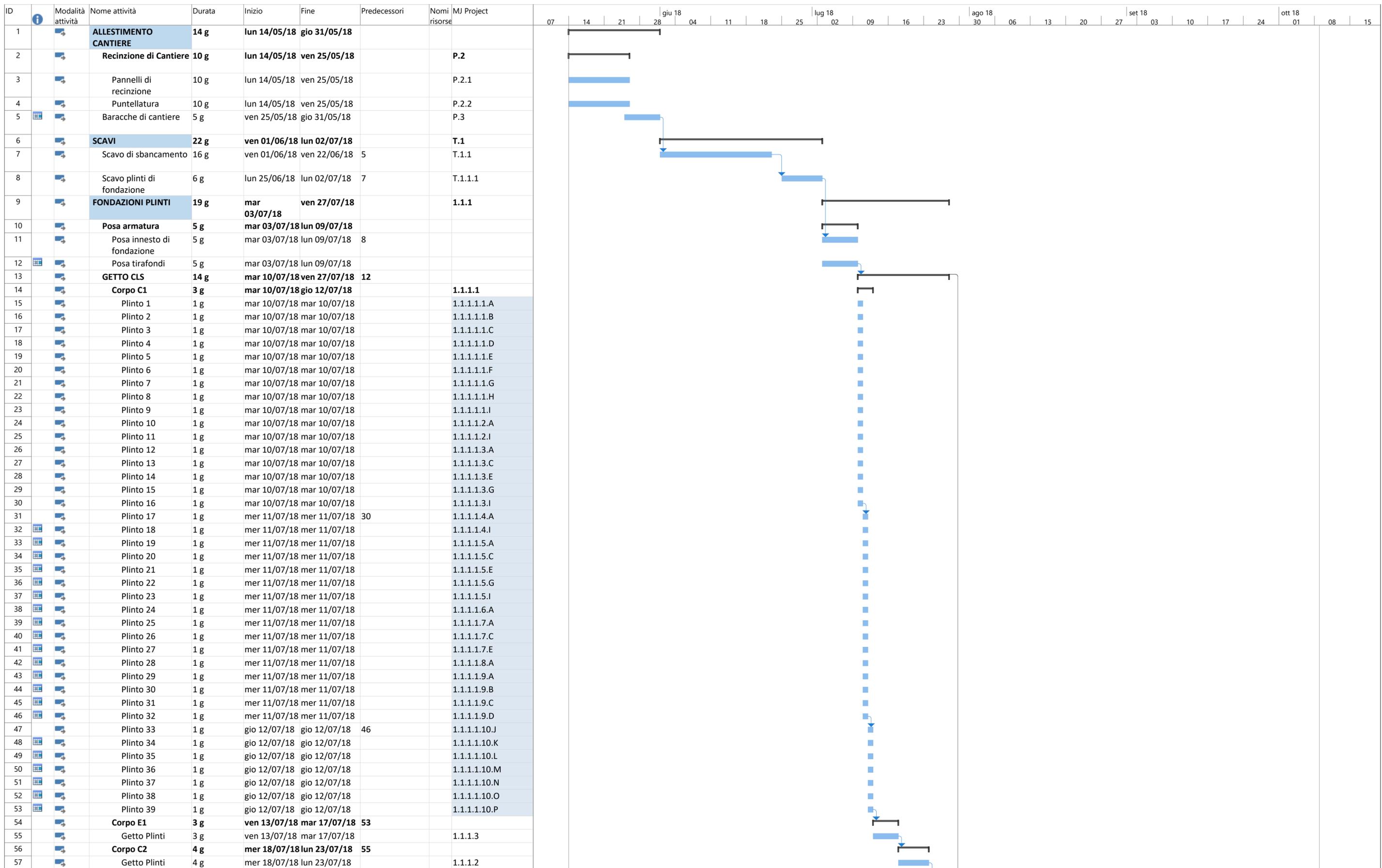
<https://www.wired.com>

<https://www.synchroltd.com>

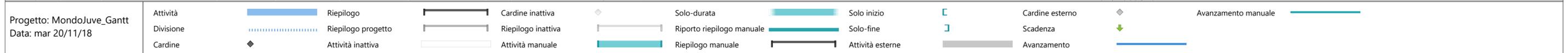
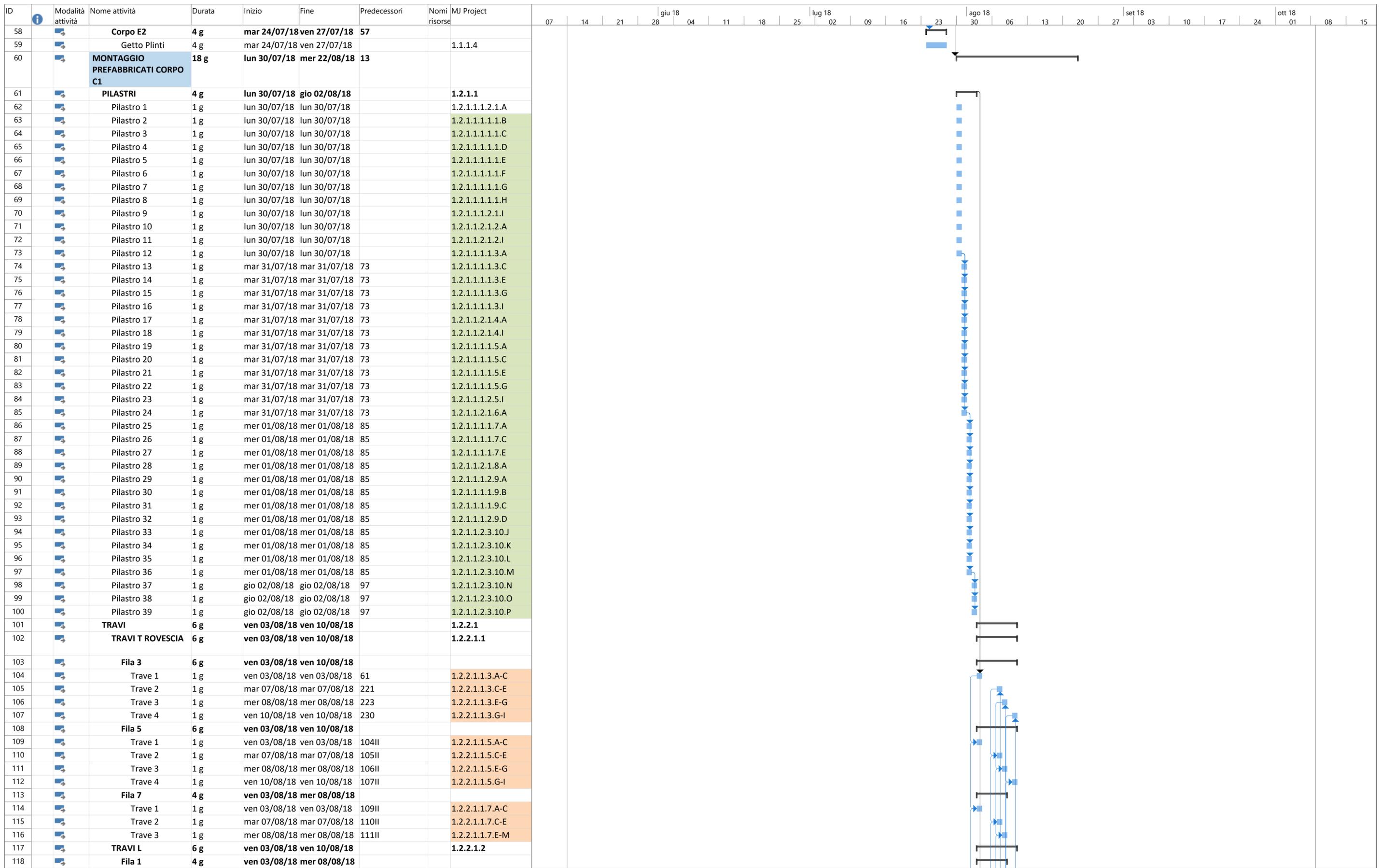
[https://www.unirc.it/documentazione/materiale\\_didattico/1464\\_2016\\_415\\_24\\_847.pdf](https://www.unirc.it/documentazione/materiale_didattico/1464_2016_415_24_847.pdf)

<http://www.ordineingegnerimantova.it/wp-content/uploads/2016/09/slide-rischi-montaggio-strutture-prefabbr-Gallo.pptx-Sola-lettura.pdf>

## **7. ALLEGATI**



Progetto: MondoJuve_Gantt	Attività		Riepilogo		Riepilogo progetto		Cardine inattiva		Riepilogo inattiva		Attività manuale		Solo-durata		Riepilogo manuale		Solo inizio		Solo-fine		Attività esterne		Cardine esterno		Scadenza		Avanzamento		Avanzamento manuale	
Data: mar 20/11/18	Divisione																													
	Cardine																													



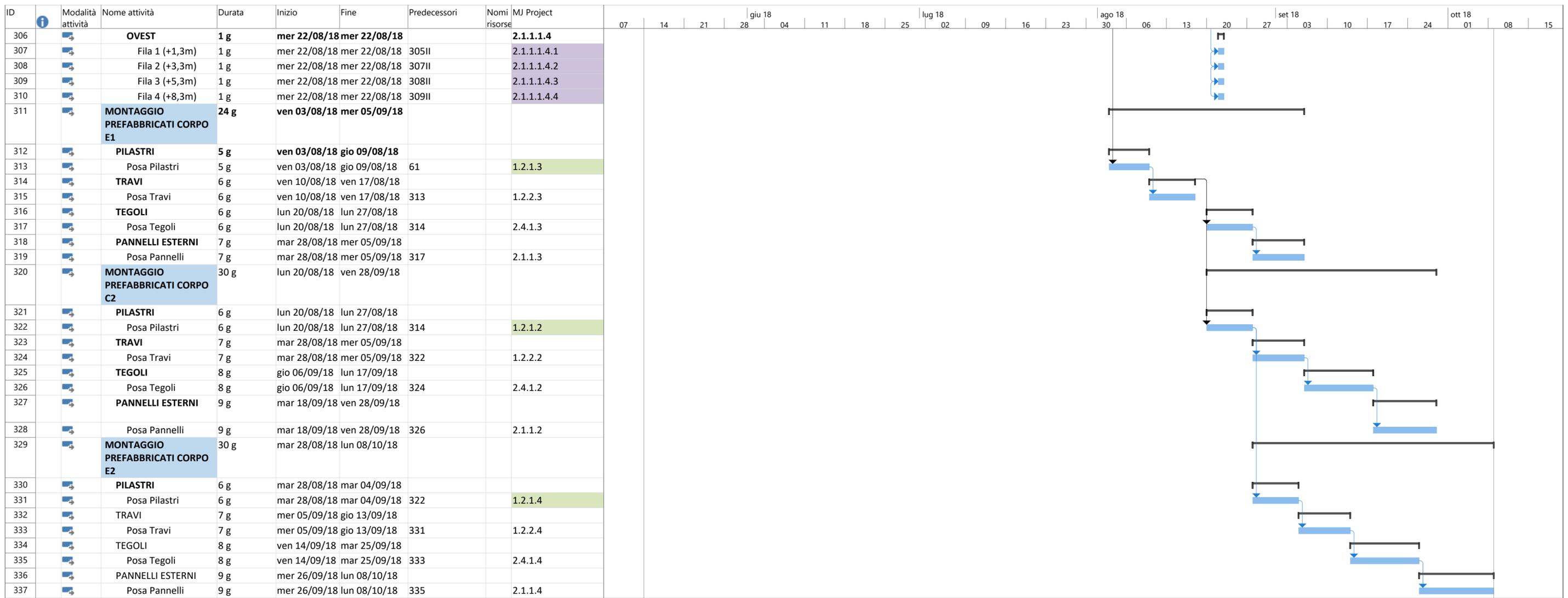


Progetto: MondoJuve\_Gantt  
Data: mar 20/11/18









Progetto: MondoJuve_Gantt Data: mar 20/11/18	Attività		Riepilogo		Cardine inattiva		Solo-durata		Solo inizio		Cardine esterno		Avanzamento manuale	
	Divisione		Riepilogo progetto		Riepilogo inattiva		Riporto riepilogo manuale		Solo-fine		Scadenza			
	Cardine		Attività inattiva		Attività manuale		Riepilogo manuale		Attività esterne		Avanzamento			