

ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE A CICLO UNICO IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA IN ORGANIZZAZIONE DEI CANTIERI EDILI

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL
CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA
TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Candidata:

Giulia Garavini

Relatore: Chiar.mo

Prof. Ing. Marco Alvise Bragadin

Correlatrice:

Prof. Ing. Valeria Vignali

Anno Accademico 2024/25

II Sessione di Laurea

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

ABSTRACT

Il presente lavoro di tesi – *Strumenti di Project Control e verifica della qualità del cronoprogramma dei lavori: caso di studio della Linea Tramviaria 3.2.1 di Firenze* – parte dall'esamina dei metodi reticolari per la pianificazione, la programmazione e la gestione del processo costruttivo e degli standard di qualità dei cronoprogrammi lavori forniti dalla *Defence Contract Management Agency – DCMA 14 point assessment* – nel documento *Earned Value Management System (EVMS) Program Analysis Pamphlet (PAP)*. Mediante l'applicazione del *Precedence Diagramming Method* generalizzato alla tratta “D2 - Lungarno del Tempio” – effettuato con il software Primavera P6 Professional e concepito in base ai dettami della DCMA – ci si pone l'obiettivo di verificare l'applicabilità di tali standard al caso di studio della linea tramviaria fiorentina. La pianificazione e programmazione dei lavori è effettuata tramite l'individuazione di una Work Breakdown Structure che porti dalla scala del progetto all'individuazione delle singole attività elementari. Ad esse si associa di un valore di durata fissa per procedere all'inserimento delle attività nel software di programmazione – Primavera P6 – e all'individuazione dei legami tra attività o definizione della logica di reticolo. Infine, si effettua l'applicazione rigorosa dei criteri di valutazione esaminati, si propone una seconda stesura del reticolo che rispetti i dettami della DCMA e si effettua un confronto critico tra i reticolari di prima e di seconda stesura. Nell'ambito dello studio ci si è avvalsi di elaborati e dati di input reperiti nell'ambito del tirocinio di tesi svolto a settembre 2024 presso la sede della “Società cooperativa muratori e braccianti cmb” – impresa mandataria del Raggruppamento Temporaneo di Imprese per la realizzazione della Linea 3.2.1: Firenze – Bagno a Ripoli.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Capitolo 1 – Metodi e strumenti per la programmazione, l’organizzazione e la gestione del processo produttivo	9
Pianificazione, Programmazione e Controllo	9
La redazione del programma lavori e il Cronoprogramma nel codice dei contratti	11
Il cronoprogramma di Gantt.....	12
L’introduzione dei vincoli logici tra attività: <i>l’Harmonygraph</i> di Adamiecky	13
Tecniche Reticolari per la Programmazione dei Lavori.....	14
La Ricerca Operativa	14
La Teoria dei Grafi	15
I Reticoli per attività elementari o Activity Networks	16
Applicazione delle tecniche reticolari alla pianificazione e programmazione dei lavori	17
Precedence Diagramming Method.....	20
Origini del Precedence Diagramming Method	21
Decostruzione del processo costruttivo: attività e legami tra attività	21
Tipologie di Legame nel PDM Semplice e nel PDM Generalizzato	22
Classificazione e rappresentazione grafica del reticolo: nodi ed archi	24
Regole per la realizzazione del reticolo	25
Gestione della sovrapposizione tra attività nel Precedence Diagramming Method.....	27
Analisi dei tempi nel PDM Semplice.....	29
Analisi dei tempi nel PDM Generalizzato	34
Teoria dei margini di attività	38
Capitolo 2 – La valutazione in 14 punti della DCMA per la verifica della qualità della programmazione lavori	43
Generalità	43
Scelta dello standard di verifica della qualità	43
Originì del sistema di valutazione.....	44
Ambito di applicazione della valutazione	45

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Struttura della valutazione	45
Analisi dei 14 criteri di valutazione	45
Assessment 1 – Missing Logic.....	46
Assessment 2 – Negative Lags (Leads)	48
Assessment 3 – Positive Lags	49
Assessment 4 – Relationships	51
Assessment 5 – Hard Constraints.....	52
Assessment 6 – High Float.....	54
Assessment 7 – Negative Float	55
Assessment 8 – High Duration Tasks.....	58
Assessment 9 – Invalid Dates.....	60
Assessment 10 – Resources	62
Assessment 11 – Missed Tasks	62
Assessment 12 – Critical Path Test	65
Assessment 13 – Critical Path Length Index (CPLI).....	66
Assessment 14 – Baseline Execution Index (BEI).....	67
Capitolo 3 – Identificazione e descrizione del caso studio	70
Il sistema di trasporto tramviario: definizioni e normative di riferimento.....	70
Obiettivi di progetto: principali documenti strategici di indirizzo.....	73
L'Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile.....	73
Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza	74
Il Piano Urbano per la Mobilità Sostenibile (PUMS) della Città Metropolitana di Firenze.....	75
Il sistema tramviario fiorentino	76
Caratteristiche generali del sistema tramviario fiorentino	76
Stato di Fatto: la tramvia di oggi.....	77
Stato di Progetto: la tramvia di domani	78
Schema di riepilogo	80

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

La Linea 3.2.1 “Piazza della Libertà – Bagno a Ripoli”.....	82
Descrizione del tracciato e suddivisione in tratte.....	83
Il nuovo deposito a Bagno a Ripoli: rimessaggio – officina manutenzione rotabili – sottostazione elettrica – officina impianti fissi	92
I parcheggi scambiatori.....	93
Le opere d’arte	93
Sistemi tecnologici tramviari	93
Parametri geometrici di progetto.....	95
Descrizione del materiale rotabile.....	97
Capitolo 4 – Pianificazione e Programmazione del Cantiere D2 - Macrocampo Lungarni	99
Pianificazione dei Lavori: la Work Breakdown Structure per la parzalizzazione dell’opera in attività elementari.....	99
WBS di Primo Livello: la suddivisione in Macrocampi.....	100
WBS di Secondo Livello: la suddivisione in Cantieri	101
Il Cantiere D2: Lungarno del Tempio	104
WBS di Terzo Livello: la suddivisione del Cantiere D2 in Fasi sequenziali	106
WBS di Quarto Livello: la suddivisione in SuperCategorie di lavori del CME	110
WBS di Quinto Livello: Sicurezza di cantiere.....	111
Oneri conferimento terre e Archeologia.....	113
WBS di Quinto e Sesto Livello: Spostamento dei Sottoservizi	113
WBS di Quinto e Sesto Livello: Sistemazioni urbane	115
WBS di Quinto Livello: Illuminazione pubblica	118
WBS di Quinto: Incroci e segnaletica.....	120
WBS di Quinto e Sesto Livello: Sede tramviaria	120
WBS di Quinto e Sesto Livello: Fermate.....	123
WBS di Quinto e Sesto Livello: Armamento.....	124

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Le SuperCategorie sui sistemi tecnologici tramviari: Segnalamento, Sistemi informativi e Trasmissivi, Linea di contatto, Alimentazione Elettrica MT e SSE, Luce e Forza Motrice	124
WBS di progetto.....	126
Stima della Durata delle Attività Elementari	127
Programmazione dei Lavori: attribuzione delle relazioni tra attività	132
Sicurezza di cantiere	133
Spostamento dei Sottoservizi	134
Sistemazioni Urbane e Illuminazione Pubblica	135
Sede Tramviaria e Armamento.....	136
Capitolo 5: Verifica della qualità del cronoprogramma lavori mediante applicazione della DCMA	14
Point Assessment	141
Risultato della verifica sul reticolo di prima stesura.....	141
Analisi e modifica del Reticolo di Prima Fase.....	144
Reticolo di Prima Stesura.....	144
Dangling Activities o attività senza predecessori o successori	144
Relazioni con positive lag	145
Relazioni tra attività diverse dal tipo Finish to Start.....	147
Attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore	148
Strategie correttive	148
Reticolo di Seconda Stesura.....	149
Osservazioni sul reticolo di seconda stesura.....	149
Analisi e modifica del Reticolo di Seconda Fase.....	151
Reticolo di Prima Stesura.....	151
Relazioni con positive lag	152
Attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore	154
Strategie correttive	154
Reticolo di Seconda Stesura.....	154

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Osservazioni sul reticolo di seconda stesura.....	154
Analisi e modifica del Reticolo di Terza Fase	156
Reticolo di Prima Stesura.....	156
Dangling Activities o attività senza predecessori o successori	157
Relazioni con positive lag.....	157
Attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore	158
Strategie correttive	159
Reticolo di Seconda Stesura.....	160
Osservazioni sul reticolo di seconda stesura.....	160
Reticoli a confronto.....	161
Conclusioni	162
Bibliografia	165
Sitografia.....	166
Ringraziamenti	167

CAPITOLO 1 – METODI E STRUMENTI PER LA PROGRAMMAZIONE, L’ORGANIZZAZIONE E LA GESTIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

I principali applicativi informatici disponibili oggi sul mercato per il *Project Time Management*, ovvero per la programmazione, l’organizzazione e la gestione del cantiere, messi a disposizione dalla Ricerca Operativa per la gestione dei Progetti secondo il corpo di conoscenze noto come *Project Management*, si basano su algoritmi definiti dai cosiddetti metodi reticolari per la programmazione e il controllo. Parlando di tecniche reticolari intendiamo dei modelli matematici che approssimano la realtà – nel nostro campo di applicazione ci riferiamo alla realtà del cantiere – per controllarla e guiderla. L’obiettivo che si pone è l’ottimizzazione della fase esecutiva della costruzione in funzione del fattore tempo. In questo capitolo si analizzerà nel dettaglio il Precedence Diagramming Method (PDM) nella forma generalizzata.

PIANIFICAZIONE, PROGRAMMAZIONE E CONTROLLO

Definiamo il concetto di programmazione, essendo i metodi di programmazione del cantiere l’oggetto di questo capitolo. La programmazione dei lavori è legata alla pianificazione, attività precedente, ed al controllo, attività “susseguente”. Pertanto, occorre definire i tre termini chiave del processo. Le virgolette sono dovute alla circolarità che nasce tra programmazione e controllo. Ciò in quanto ogni azione di controllo determina un aggiornamento della programmazione, azione senza la quale quest’ultima perderebbe di significato. Il processo prosegue con una successiva azione di controllo sulla programmazione aggiornata.

$$\text{Pianificazione} \rightarrow \text{Programmazione} \xrightarrow{\quad} \text{Controllo}$$

La pianificazione è un processo decisionale. Essa consiste nella scomposizione del processo in attività, quindi, individua tutte le attività, correlate e dipendenti tra loro, che occorre necessariamente svolgere per raggiungere uno scopo. Con scopo, nel caso del cantiere, si intende il raggiungimento di un obiettivo definito in termini di tempo, costo e qualità, quindi, la realizzazione dell’opera nelle sue caratteristiche fisico-geometriche e nei suoi requisiti prestazionali, ma anche temporali, stabili negli elaborati progettuali.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

La pianificazione è effettuata sulla base della progettazione esecutiva la cui esistenza e conoscenza è, quindi, una premessa imprescindibile: per poter analizzare un oggetto, scomporlo e prevederne il processo costruttivo, occorre che tale oggetto sia definito e noto. Alla data in cui scrivo il comune di Firenze, per principio di trasparenza, fornisce gli elaborati relativi alla progettazione esecutiva sui canali di comunicazione istituzionali in forma digitale, scaricabili e visualizzabili liberamente. Si sottolinea, tuttavia, che il processo produttivo non è né il piano né i tabulati e gli elaborati grafici che lo rappresentano sono sistemi per permettere di stimare una struttura organizzativa della produzione¹. Gli elaborati contengono sempre una modellazione della realtà e, in quanto modellazione, è evidentemente differente dal fenomeno che si vuole descrivere: la struttura organizzativa della produzione in cantiere. Pertanto, l'obiettivo che con la pianificazione si intende perseguire non è quello di una perfetta corrispondenza tra progettato e costruito ma è la riduzione al minimo dello scarto tra obiettivo e risultato.

L'azione di programmazione consiste nell'attribuire un valore di durata a ciascuna attività, nel definire le date di inizio e fine attività – allocazione temporale delle attività o *scheduling* – e i vincoli tra attività. Mentre quest'ultimi derivano dalla logica di processo e possono essere stabiliti senza grossolane indeterminazioni, i tempi associati all'esecuzione delle attività derivano da considerazioni probabilistiche e la loro accuratezza dipende dalla banca dati a disposizione del programmatore oltre ad essere influenzata da numerose variabili non sempre controllabili o prevedibili, sia interne che esterne al cantiere. Una modalità di gestione dell'incertezza è fornita dal metodo PERT – *Program Evaluation and Review Technique*, il quale applica considerazioni probabilistiche alla sola durata delle attività, che è, quindi, variabile, mentre la sequenza delle attività e la quantificazione e allocazione delle risorse – materiali, macchine e impianti, manodopera e denaro – sono valori deterministici.

Riferendoci alla programmazione del cantiere, ci riferiamo al livello di programmazione che in letteratura viene definitivo *operativo* ovvero una programmazione in cui si definiscono i comportamenti di tipo operativo, nell'ambito dei quali vengono preciseate le specifiche modalità di esecuzione delle singole azioni da svolgere e le corrispondenti scadenze temporali².

Fondamento per l'applicazione reale della programmazione è l'azione di controllo. Questa fissa il punto di riferimento – i contenuti della programmazione –, rileva lo stato di avanzamento e analizza

¹ Bragadin, Marco Alvise, *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari – Metodi e Strumenti di Project Time Management per la Costruzione*, Seconda (Maggioli Editore, 2011).

² Bragadin, Marco Alvise, *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari – Metodi e Strumenti di Project Time Management per la Costruzione*.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

i dati derivanti dal cantiere. Infine, sulla base del confronto tra programmato e rilevato, stabilisce le azioni correttive necessarie al successo del progetto.

LA REDAZIONE DEL PROGRAMMA LAVORI E IL CRONOPROGRAMMA NEL CODICE DEI CONTRATTI

Le tre fasi descritte – pianificazione, programmazione e controllo – sono funzionali alla redazione del “programma” lavori. Inseriamo le virgolette in quanto, a regola d’arte, occorre riferirsi in realtà a cinque programmi differenti, tra loro intrinsecamente correlati. L’impresa esecutrice redige infatti, di prassi, un programma lavori per ciascuna risorsa fondamentale del processo esecutivo, cinque variabili interdipendenti, ovvero materie, macchine e impianti, manodopera, denaro e tempo. Se si segue la *Gerarchia dei programmi di Harris*³ si procederà con la redazione del programma relativo al tempo, il *cronoprogramma*, e, sulla base di quest’ultimo, si procede con la programmazione delle altre risorse seguendo il seguente ordine: materie, macchine e impianti, manodopera, denaro.

L’attuale normativa per i lavori pubblici – Decreto Legislativo 31 marzo 2023, n. 36, Allegato I.7, Articolo 30 – prescrive l’inserimento, tra gli elaborati del progetto esecutivo, del cosiddetto *cronoprogramma*, definito come “un diagramma che rappresenta graficamente, in forma chiaramente leggibile, tutte le fasi attuative dell’intervento (...) e per ciascuna fase indica i relativi tempi di attuazione”⁴. Si noti che, rientrando negli elaborati di progetto, in seguito all’accettazione di quest’ultimo da parte dell’appaltatore, il cronoprogramma dei lavori diventa vincolante. Dovrà, quindi, essere garantita la sequenza delle lavorazioni, i volumi di produzione e il coordinamento delle attività definiti al suo interno.

Altro adempimento normativo è la stesura del piano di sicurezza e coordinamento, come previsto dal decreto legislativo 81/08, Articolo 100⁵. Il PSC e il cronoprogramma dei lavori sono correlati in quanto il primo viene redatto sulla base di quanto previsto dal secondo, quindi dalla sequenza delle lavorazioni alla disposizione delle aree di lavoro, con l’obiettivo di garantire la sicurezza sui luoghi di lavoro.

Concretamente, tale obbligo sull’inserimento del *cronoprogramma*, per come viene definito dalla normativa, può essere adempiuto mediante la redazione di quello che comunemente è noto come

³ Harris, Robert B., *Planning and Arrow Networking Techniques for Construction* (John Wiley & Sons, 1978).

⁴ Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36, Codice dei contratti pubblici in attuazione dell’articolo 1 della legge 21 giugno 2022, Legislazione No. 36 (2023).

⁵ Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro (2008).

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

diagramma di Gantt, accompagnato in genere da una relazione descrittiva delle fasi di cantiere detta cantierizzazione. Questo è infatti un diffuso strumento grafico per la programmazione dei lavori e anche output grafico della programmazione svolta con software basati sui metodi reticolari, che si distinguono tuttavia, come vedremo, da una programmazione puramente grafica quale quella svolta con il *Gantt*. Ne inseriamo ora una breve descrizione al fine di evidenziarne vantaggi e limiti e metterli successivamente a confronto con i metodi di programmazione reticolari.

IL CRONOPROGRAMMA DI GANTT

Il cronoprogramma di Gantt o cronoprogramma a barre prende il nome dal suo ideatore, Henry Laurence Gantt, ed è uno strumento grafico che unisce pianificazione e programmazione. Esso effettua contemporaneamente l'identificazione e la schedulazione delle attività. È costituito da un diagramma in cui sull'asse delle ascisse è riportata la variabile temporale mentre sull'asse delle ordinate sono riportate le attività, individuando presunte date di inizio e fine attività, nonché consentendo di visualizzare in maniera immediata le sovrapposizioni tra attività. È uno strumento estremamente diffuso a causa della semplicità di stesura e lettura, in quanto consente il rapido passaggio di informazioni dal pianificatore agli operatori.

Esempio cronoprogramma a barre

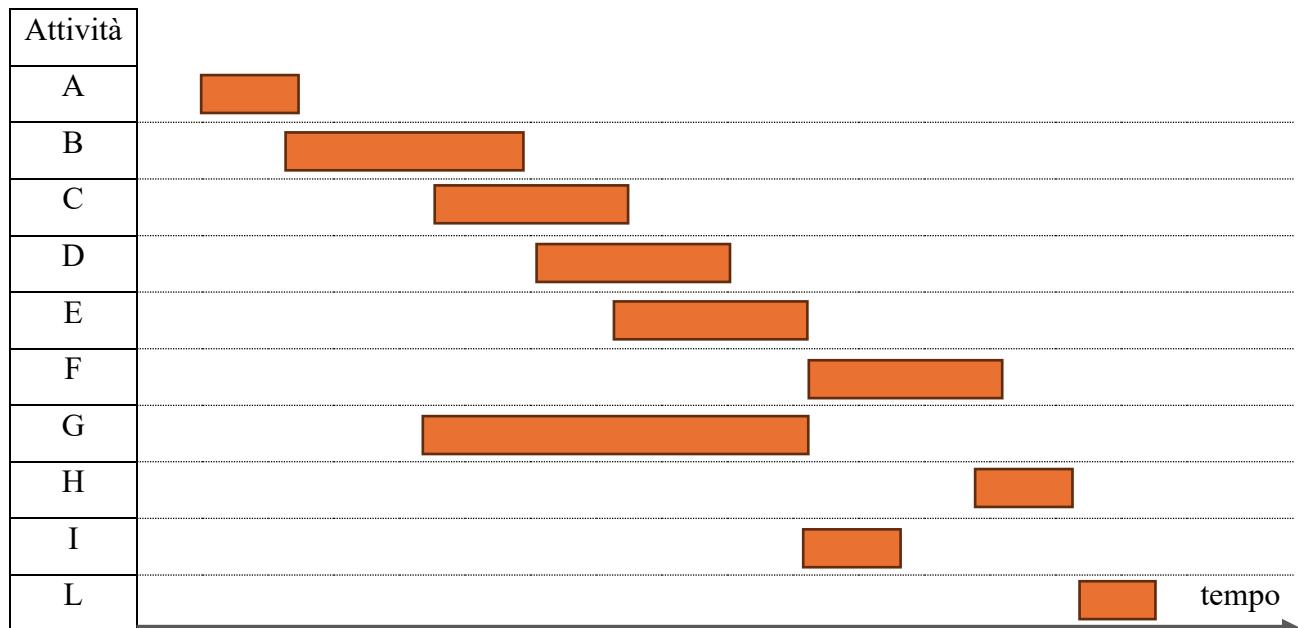


Fig. 1 Cronoprogramma a barre

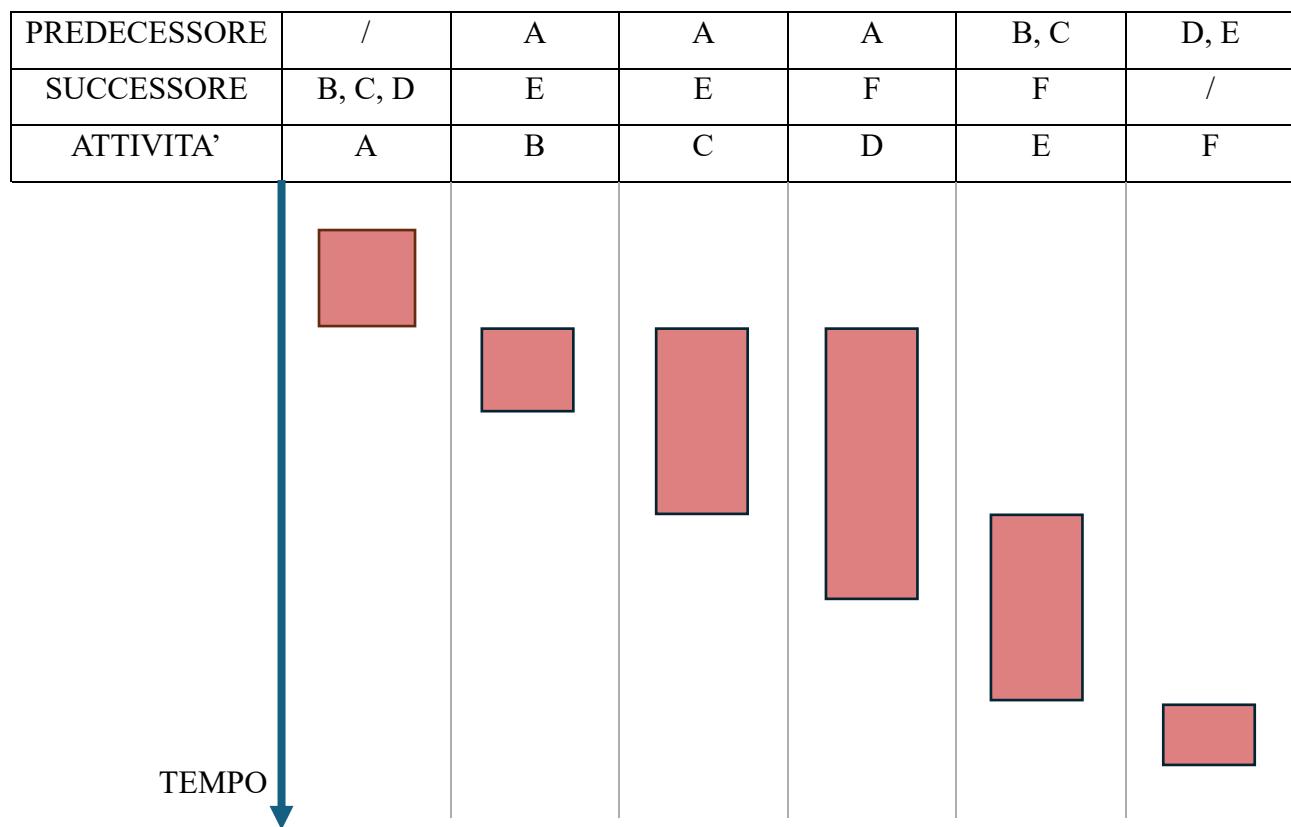
Il limite del Gantt risiede nell'assenza della rappresentazione dei legami di interdipendenza tra le attività. Questo rende il Gantt difficilmente aggiornabile in seguito alle attività di controllo in cantiere in quanto non è possibile stabilire cosa comporti lo slittamento temporale di un'attività sulle altre

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

attività costituenti il processo e, quindi, sul ritardo nella data di completamento dei lavori. Il rischio consiste nell’ottenimento di una programmazione non aggiornata e non in linea con quanto effettivamente accade in cantiere, dunque in una perdita di significato e di utilità del cronoprogramma, il quale si riduce ad un puro adempimento burocratico.

L’INTRODUZIONE DEI VINCOLI LOGICI TRA ATTIVITÀ: L’*HARMONYGRAPH* DI ADAMIECKY

Tra gli strumenti puramente grafici come il *cronoprogramma di Gantt* e i modelli reticolari può essere inserito l’*Harmonygraph* di Adamiecky. Adamiecky ha il merito di aver introdotto uno strumento di programmazione che tenesse conto dei vincoli logici tra le attività sorpassando il limite fondamentale che caratterizzava gli strumenti precedentemente descritti. L’*Harmonygraph* è un metodo grafico basato su di un diagramma in cui in ascissa sono riportate le attività mentre in ordinata è riportato il tempo – un diagramma a barre “specchiato” – che integra per ciascuna attività l’informazione relativa ai predecessori ed ai successori logici.



TECNICHE RETICOLARI PER LA PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI

Ripercorriamo le origini delle tecniche reticolari per la programmazione dei lavori, individuate nella Ricerca Operativa, definiamo i reticoli per attività elementari in qualità di grafi, e, infine, analizziamo le modalità di applicazione dei reticoli alle attività di pianificazione e programmazione lavori.

LA RICERCA OPERATIVA

LE ORIGINI DELLA RICERCA OPERATIVA

La formulazione delle tecniche reticolari per la programmazione dei lavori si deve alla Ricerca Operativa. Quest'ultima nasce da necessità belliche durante la Seconda Guerra Mondiale, mentre il campo di applicazione, a partire dalla seconda metà degli anni '50 del secolo scorso, si è esteso alla gestione dei progetti con l'introduzione delle tecniche di programmazione reticolare.

Un contributo alla nascita della Ricerca Operativa è dato dalla “Teoria dei sistemi” di Ludwig von Bertalanffy⁶ definita nel 1936. L'intuizione fondamentale del biologo e studioso risiede nel riconoscimento dell'importanza delle *relazioni tra gli elementi di un sistema*, le quali possono qualificare gli elementi stessi.

RICERCA OPERATIVA COME SCIENZA DELLE DECISIONI

La Ricerca Operativa può essere definita come una scienza che *utilizza metodi matematici e strumenti informatici* applicandoli allo *studio di strutture organizzate complesse* con il fine di fornire uno *strumento di supporto alle decisioni* e, pertanto, è anche detta scienza della gestione – Management Science – o scienza delle decisioni – Decision Science.

Dalla precedente definizione si evidenzia come la Ricerca Operativa, diversamente da quanto visto per il caso degli strumenti di programmazione grafici come il Gantt, utilizza dei modelli non esclusivamente grafici bensì grafico-matematici. Il campo di applicazione sono *strutture organizzate complesse* caratterizzate non soltanto da una serie di attività ma nelle quali *le relazioni tra le attività sono altrettanto importanti come elementi qualificanti il sistema complesso oggetto di analisi e studio*.

⁶ Von Bertalanffy, Ludwig, *Teoria generale dei sistemi: fondamenti, sviluppi, applicazioni* (Mondadori, 2004).

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

MODELLO MATEMATICO COME STRUMENTO DI SUPPORTO ALLE DECISIONI DI LIVELLO OPERATIVO

Gli strumenti della Ricerca Operativa consentono, pertanto, la definizione di un modello matematico, una rappresentazione semplificata della realtà, in continuo aggiornamento. Il modello è occasione di analisi della realtà, comporta un aumento di conoscenza della stessa, e diventa, quindi, strumento di supporto alla risoluzione di problemi decisionali, situazioni in cui occorre scegliere una *strada* tra diverse alternative. Con la definizione del modello è auspicabile evidenziare le attività che rivestono carattere di criticità per il raggiungimento dell’obiettivo di progetto.

Riferendoci alla attività di programmazione dei lavori nell’industria delle costruzioni *i problemi decisionali* affrontati sono di *livello operativo* ovvero, definite le scelte strategiche, tramite la risoluzione di un problema decisionale di livello operativo, *si definisce la sequenza di operazioni* da svolgere necessariamente per pervenire al raggiungimento di un obiettivo.

Nello specifico, i modelli simbolici utilizzati dalla programmazione reticolare sono detti *reticolli per attività elementari*. Essendo poi questi ultimi dei *grafi*, trattiamo brevemente la cosiddetta *teoria dei grafi*.

LA TEORIA DEI GRAFI

EULERO E IL PROBLEMA DEI SETTE PONTI DI KONIGSBERG

Dalla *Teoria dei Grafi*, attribuita ad Eulero, il quale la elaborò nella ricerca di una soluzione al *problema dei Sette ponti di Konigsberg*, si fanno derivare le tecniche di programmazione reticolare. Per la risoluzione del problema, Eulero si avvalse di un grafo ovvero di un diagramma costituito da nodi e archi con il quale astrarre dal caso reale un modello.

In seguito, i grafi sono stati utilizzati per la risoluzione di problemi inerenti molteplici ambiti, tra i quali la programmazione delle attività di un progetto, quindi, dei lavori di costruzione.

DEFINIZIONE DI GRAFO ORIENTATO

Una definizione matematica di grafo orientato comunemente accettata è la seguente:

“Un grafo orientato è una coppia $G = (V, E)$ con V insieme finito di elementi, detti nodi ed E insieme finito di coppie ordinate di nodi detti archi. I grafi orientati possono essere rappresentati graficamente disegnando ogni nodo con un cerchietto e ogni arco (u, v) con una freccia che esce dal nodo u ed entra nel nodo v . Il numero di nodi e il numero di archi sono di solito indicati, rispettivamente, con n

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

ed m , oppure con $|V| \leq |E|$. Poiché possono esserci al più $n - 1$ archi uscenti da ciascun nodo, risulta $0 \leq m \leq n \cdot (n - 1)$.⁷

Il grafo manifesta il suo vantaggio principale nell'essere una rappresentazione grafica ovvero la traduzione grafica di un problema di diversa natura. In tale modello i *nodi* vengono schematizzati con punti o cerchi mentre i *legami* tra i nodi sono rappresentati con archi. Se questi ultimi sono costituiti da frecce orientate, ovvero se le coppie (x_i, x_j) sono coppie orientate di elementi di X , allora si parlerà di grafo orientato o *digrapho*, viceversa di grafo non orientato. Se, poi, gli elementi dell'insieme X sono in numero finito allora si parlerà di grafo finito, viceversa, se gli elementi di X sono in numero infinito allora si parlerà di grafo infinito.

Infine, tra i diversi modi in cui un grafo può essere rappresentato – mediante rappresentazione analitica, matrici, ecc.... – nei casi applicativi di interesse la rappresentazione più funzionale è mediante *Reticoli per attività elementari* detti anche *Activity Networks*.

I RETICOLI PER ATTIVITÀ ELEMENTARI O ACTIVITY NETWORKS

DEFINIZIONE ED ELEMENTI COSTITUENTI

I *Reticoli per attività elementari* o *Activity Networks* sono *grafi orientati*, detti anche *digrafi, finiti*. Dato un processo costruttivo caratterizzato da una successione di attività *elementari*, appunto, connesse tra loro da vincoli logici-cronologici, i *reticoli* consentono di costruire un *modello di tale processo costruttivo* a supporto del sistema decisionale.

In quanto grafo, il reticolo risulta costituito da due classi principali di elementi che sono le attività elementari – alle volte rappresentate sui nodi, alle volte sugli archi – ovvero gli elementi in cui il processo è scomponibile, e le relazioni tra le attività – rappresentate sugli archi – dette anche *vincoli di precedenza* derivanti dalla tecnologia costruttiva.

CLASSIFICAZIONE DEI RETICOLI IN BASE ALLA LORO STRUTTURAZIONE

I reticoli per attività elementari possono essere classificati in vario modo. Tuttavia, la classificazione per noi più rilevante avviene in base alla strutturazione del reticolo:

- Reticoli *Activity On Arc (AOA)*

⁷ Bertossi, Alan e Montresor, Alberto, *Algoritmi e strutture di dati*, Terza (CittàStudi Edizioni, 2014).

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Sono reticolari in cui gli archi rappresentano sia le attività elementari sia le relazioni tra queste, mentre i nodi indicano generalmente le date di inizio e fine attività.

- Reticoli *Activity On Node (AON)*

Sono reticolari la cui strutturazione prevede la rappresentazione delle attività nei nodi mentre gli archi assolvono il solo compito di rappresentare le relazioni tra attività.

APPLICAZIONE DELLE TECNICHE RETICOLARI ALLA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI

OBIETTIVI DELLE TECNICHE DI PROGRAMMAZIONE RETICOLARE

Si individuano i seguenti *obiettivi delle tecniche di programmazione reticolare*:

- 1) La programmazione dello sviluppo temporale dei lavori ed il controllo dello stato di avanzamento dei lavori – *programmazione e controllo dei lavori*;
- 2) La programmazione dello sviluppo dei costi ed il controllo dell’incremento dei costi – *programmazione e controllo dei costi*;
- 3) La definizione di tecniche per la gestione dell’incertezza nella determinazione delle durate dei lavori e delle sequenze delle lavorazioni – *gestione dell’incertezza*;
- 4) La programmazione, l’ottimizzazione e il controllo dell’uso delle risorse in condizioni di tempo limitato e risorse limitate – *livellamento dell’uso delle risorse*.

Tecniche reticolari a supporto del raggiungimento degli obiettivi elencati sono, relativamente alla programmazione e controllo dei lavori e dei costi, il *Critical Path Method* (CPM) e il *Precedence Diagramming Method* (PDM) e, relativamente alla gestione dell’incertezza sulla durata delle attività, il *Program Evaluation and Review Technique* (PERT).

AZIONI FONDAMENTALI PER L’APPLICAZIONE PRATICA DELLE TECNICHE RETICOLARI ALLA PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI

Le tecniche reticolari possono essere applicate alla pianificazione ed alla programmazione dei lavori. Questa operazione necessita lo svolgimento di due azioni fondamentali:

- 1) Si parzializzano le opere ovvero si individuano le fasi in cui il progetto può essere scomposto. Queste ultime sono caratterizzate da due elementi, ovvero gli eventi e le attività. Gli eventi sono istanti di tempo, in genere date di inizio e fine attività, che quindi non prevedono consumo di tempo e, generalmente, di risorse, diversamente dalle attività, le quali rappresentano ogni

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

operazione che, consentendo un avanzamento del processo, prevedono consumo di tempo – la durata dell’attività – e risorse.

- 2) Si evidenziano le relazioni logico-cronologiche tra le attività ovvero, stilata la lista delle attività, si indicano per ciascuna di esse predecessori – le attività che devono essere concluse prima dell’inizio dell’attività in esame -, successori – le attività che possono iniziare solo in seguito alla conclusione dell’attività in esame – e si evidenziano quali attività possono essere svolte in totale o parziale contemporaneità – le attività che possono iniziare e/o concludersi durante lo svolgimento dell’attività in esame.

Strumenti per la programmazione analizzati nel seguito sono il Precedence Diagramming Method (PDM) nella forma semplice e nella sua evoluzione in PDM Generalizzato. Faremo talvolta riferimento a un metodo reticolare diffusosi precedentemente al PDM, e che pertanto può ritenersi il precursore, che è il Critical Path Method nella forma I – J, specialmente per quanto concerne la teoria dei margini di attività.

IPOTESI FONDAMENTALI PER L’APPLICAZIONE DELLE TECNICHE RETICOLARI

Indipendentemente dallo strumento adottato, si possono individuare *quattro ipotesi applicative fondamentali* che consentono alle tecniche reticolari di poter essere utilizzate a servizio della programmazione e gestione del cantiere:

- il reticolo deve comprendere tutte le attività svolte in cantiere;
- ciascuna attività deve essere individuata in maniera univoca;
- a ciascuna attività deve essere associata una durata – un valore temporale – sia esso ricavato in maniera deterministica o probabilistica;
- le attività sono ordinate seguendo l’allocazione temporale – lo scorrere del tempo – che è unidirezionale, e, pertanto, non possono essere presenti circuiti o loop temporali.

DEFINIZIONE DELLA LOGICA DEL RETICOLO: PIANIFICAZIONE E SCHEDULAZIONE

Il progettista che si appresta ad effettuare la programmazione dei lavori con l’ausilio delle tecniche reticolari dovrà articolare il proprio lavoro in due fasi fondamentali. La prima fase è detta di *pianificazione* e consiste sostanzialmente nelle azioni prima evidenziate di *parzializzazione del progetto in attività e individuazione dei legami logico-cronologico tra attività*. La seconda fase è detta *schedulazione* ed avviene in maniera differente in funzione della tecnica reticolare utilizzata.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

L'insieme delle relazioni logico-cronologiche tra le attività costituisce quella che viene detta *logica del reticolo*. Pertanto, pianificare assume il significato di stabilire la logica del reticolo, effettuando al contempo le scelte realizzative della costruzione in quanto la successione e le relazioni tra le attività sono conseguenza diretta dell'assunzione di una scelta realizzativa o di cantiere.

DEFINIZIONE DELLA LOGICA DEL RETICOLO: CONDIZIONI AL CONTORNO

Tali scelte, quindi, la logica del reticolo stessa, vengono effettuate nei limiti imposti da molteplici condizioni al contorno che possono essere fatte rientrare all'interno di tre categorie di condizioni:

- condizioni *di sicurezza*, in quanto questa è certamente determinata, tra altri fattori, significativamente dalla sequenza delle attività;
- condizioni *di spazio*, in quanto lo svolgimento di qualsiasi attività di cantiere necessita di spazi idonei all'attività svolta;
- condizioni di *struttura*, intesa come realizzazione della struttura portante, la quale è determinante per la definizione della logica del reticolo.

DEFINIZIONE DELLA LOGICA DEL RETICOLO: VINCOLI E LORO INTRODUZIONE NELLA STESURA DEL PROGRAMMA

La logica del reticolo, quindi le relazioni di dipendenza logica-cronologica, sono determinate da vincoli di tipo naturale, di risorsa o di progetto.

I *vincoli di tipo naturale* sono di tipo *fisico e tecnologico*, in quanto la scelta dell'utilizzo di una tecnologia vincola una determinata sequenza di operazioni. Un esempio utilizzato spesso in letteratura perché frequente è come la scelta di utilizzare il calcestruzzo armato vincoli la successione delle operazioni di realizzazione e posa dei casseri, realizzazione e posizionamento dei ferri, prima di poter effettuare il getto di calcestruzzo, cui seguono operazioni di vibrazione del getto, attesa dei tempi di presa e ritiro. Gli stessi casseri *si muovono* all'interno del cantiere in quanto possono essere riutilizzati per più getti. Ci ricollegiamo in questo modo alla seconda tipologia di vincoli.

I *vincoli di risorsa* derivano dall'utilizzo continuo della stessa risorsa per una sequenza di operazioni. All'interno delle risorse, in cantiere, oltre alle materie, rientrano la manodopera (gli operatori), le attrezzature (gru, betoniere, muletti eccetera) e gli impianti. Con vincoli sugli impianti si intendono i vincoli sulla produttività. Ad esempio, una centrale di betonaggio avrà un limite superiore alla sua produttività intesa come massimo volume al giorno di calcestruzzo confezionato. Tra gli obiettivi della programmazione, di conseguenza obiettivo delle tecniche reticolari, vi è sicuramente quello di

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

massimizzare l'uso delle risorse; pertanto, la logica del reticolo dovrà tenere conto dei vincoli di risorsa. Tuttavia, la prima stesura del reticolo viene effettuata sotto l'ipotesi di *risorse illimitate* mentre solo in un secondo momento verrà studiata una strategia per ottimizzare l'uso delle risorse.

I *vincoli di progetto* comprendono tutte le altre tipologie di vincoli e sono di natura diversa; vincoli di affollamento legati alla capacità del cantiere di ospitare spazialmente operatori, materie e macchine, vincoli contrattuali, vincoli di tipo ambientale / meteorologico legati al fatto che non tutte le operazioni di cantiere possono essere svolte in ogni condizione metereologica e per i quali la produttività prevista dovrebbe essere inferiore in inverno e maggiore in estate, vincoli di sicurezza dettati dal Piano di Sicurezza e Coordinamento in quanto sequenza delle attività e sicurezza sono intrinsecamente legate, forse più di quanto non lo siano sicurezza e produttività.

Precedentemente abbiamo individuato due fasi di cui si compone la programmazione dei lavori con le tecniche reticolari: *pianificazione e schedulazione dei tempi*. Relativamente alla fase di *pianificazione*, che ricordiamo essere quella in cui viene effettuata la parzializzazione del progetto e in cui viene stabilita la logica del reticolo, è consigliato procedere alla stesura del reticolo in *tre tempi* introducendo una tipologia di vincolo per volta. *La prima stesura*, infatti, è preferibile che venga effettuata sotto i soli vincoli naturali, fisico-tecnologici, *sotto l'ipotesi di risorse illimitate*. Si introducono, in seconda stesura, i vincoli di progetto e, in terza stesura, i vincoli di risorsa. Si precisa come la pianificazione possa essere svolta solo da un programmatore che abbia a disposizione un progetto definito in ogni sua parte senza indeterminazioni in quanto quest'ultimo costituisce il dato di input della pianificazione. Passando alla fase di *schedulazione dei tempi*, questa dipende dall'algoritmo scelto ed una volta definito le calcolazioni vengono eseguite dall'elaboratore elettronico.

PRECEDENCE DIAGRAMMING METHOD

Il Precedence Diagramming Method (PDM) è oggi il più diffuso metodo di programmazione reticolare applicato all'industria delle costruzioni. È lo strumento di programmazione reticolare alla base degli applicativi informatici per la programmazione ed il controllo dei lavori utilizzato nel presente progetto. In letteratura si distingue tra PDM Semplice e PDM Generalizzato, la cui differenza risiede nelle diverse tipologie di legame tra attività contemplate nella definizione della logica del reticolo.

ORIGINI DEL PRECEDENCE DIAGRAMMING METHOD

La prima definizione del *Precedence Diagramming Method* nella forma semplice (PDM Semplice), seppur con diversa denominazione iniziale – *Circle and Connecting Line, Activity On Node, Node Diagramming*, e, infine, *PDM* –, la si deve al Prof. Fondhal che, nel 1961, adattò il Critical Path Method⁸, un metodo reticolare di pochi anni precedente al PDM e con strutturazione AOA, ad una rappresentazione di tipo *Activity On Node*. Questa volta il campo di applicazione pratica che porta alla formulazione del metodo è quello delle costruzioni, diversamente dai casi precedenti in cui la formulazione degli strumenti di programmazione aveva in input motivazioni belliche. La denominazione attuale, *PDM Semplice*, compare però solo nel 1964 in un manuale IBM di istruzione all'uso degli elaboratori elettronici il cui principale autore era Craig, assieme al termine *PDM Generalizzato*⁹.

DECOSTRUZIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO: ATTIVITÀ E LEGAMI TRA ATTIVITÀ

Il processo costruttivo, ai fini della definizione della logica del reticolo, viene decostruito in attività e legami tra attività. Nei software quali Primavera P6 Professional e Microsoft Project si rappresentano gli eventi detti *milestones*. Definiamo i concetti di attività, eventi e legami tra attività.

Attività: si considera attività ciascuna unità elementare in cui può essere scomposto il processo costruttivo del quale si sta effettuando la programmazione. Un'attività è ogni operazione del processo che determini un avanzamento del progetto. Le attività comportano consumo di tempo e risorse.

Evento o milestone: si considera evento una situazione creatasi al termine dello svolgimento di una o più attività nonché una situazione che deve necessariamente crearsi per poter consentire l'inizio di una o più attività. Gli eventi non comportano consumo di tempo e risorse.

Legame tra attività: si considera legame tra attività, anche detto relazione logico-cronologica o relazione di precedenza/successione, l'elemento che definisce l'interdipendenza tra le attività costituenti il processo costruttivo. Nel PDM il legame può essere *valutato*, ovvero associato ad un valore temporale *n* spesso espresso in giorni – ritardo di vincolo o tempo di attesa – definito dal

⁸ Fondhal, John W., *A Non Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry*, vol. 9, Technical Report (The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Standford University, 1961).

⁹ Bragadin, Marco Alvise, *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari – Metodi e Strumenti di Project Time Management per la Costruzione*.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

programmatore e che viene inserito tra l'inizio o la fine del predecessore e l'inizio o la fine del successore.

TIPOLOGIE DI LEGAME NEL PDM SEMPLICE E NEL PDM GENERALIZZATO

La denominazione del PDM Semplice deriva dalla tipologia di legame, detto legame “Fine – Inizio” o legame semplice. Si tratta di un legame di tipo Finish To Start o FTS il quale vincola l'inizio dell'attività detta successore alla fine dell'attività detta predecessore. Questa tipologia di legame può essere definita nel seguente modo:

Siano A e B attività – A detta predecessore di B e B detta successore di A – e sia n la valutazione del legame in giorni. Si dice che A e B sono legate semplicemente se l'inizio dell'attività B può avvenire solo dopo n giorni dalla fine dell'attività A. Tale legame è detto Semplice o legame “Fine – Inizio” ed indicato brevemente con la sigla $FTS_{AB} = n$ ovvero Finish To Start – AB pari a n giorni.

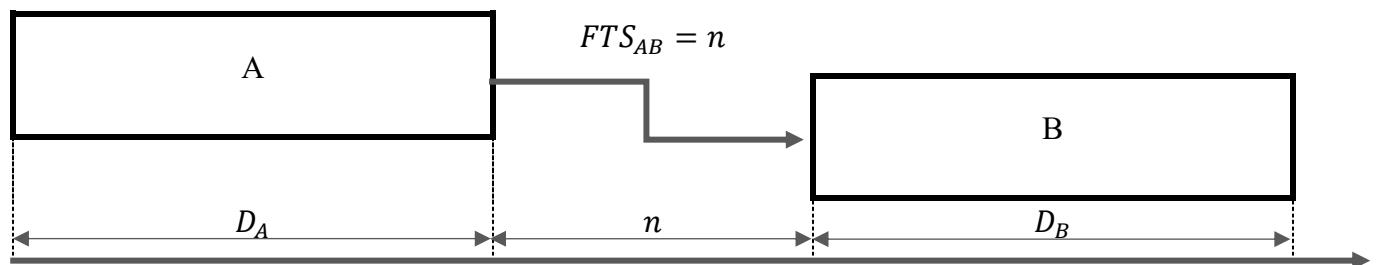


Fig. 3 Legame semplice con valutazione o Finish to Start $AB = n$

Con la codifica del Precedence Diagramming Method nella forma generalizzata viene superata la limitazione sulla tipologia di legame tra attività e si introducono i legami generalizzati, da cui la denominazione del metodo. Il PDM generalizzato prevede l'utilizzo di quattro tipologie di legame tra attività, compreso il legame semplice precedentemente definito. Analizziamo le tre tipologie di legame introdotte dal PDM generalizzato.

Il legame di tipo Finish to Finish o FTF vincola la fine dell'attività detta successore alla fine dell'attività detta predecessore. Può essere definito nel seguente modo:

Siano A e B attività – A detta predecessore di B e B detta successore di A – e sia n la valutazione del legame in giorni. Si dice che A e B sono legate con legame di tipo “Fine – Fine”, ed indicato brevemente con la sigla $FTF_{AB} = n$ ovvero Finish to Finish – AB pari a n giorni, se la fine dell'attività B può avvenire solo dopo n giorni dalla fine dell'attività A.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

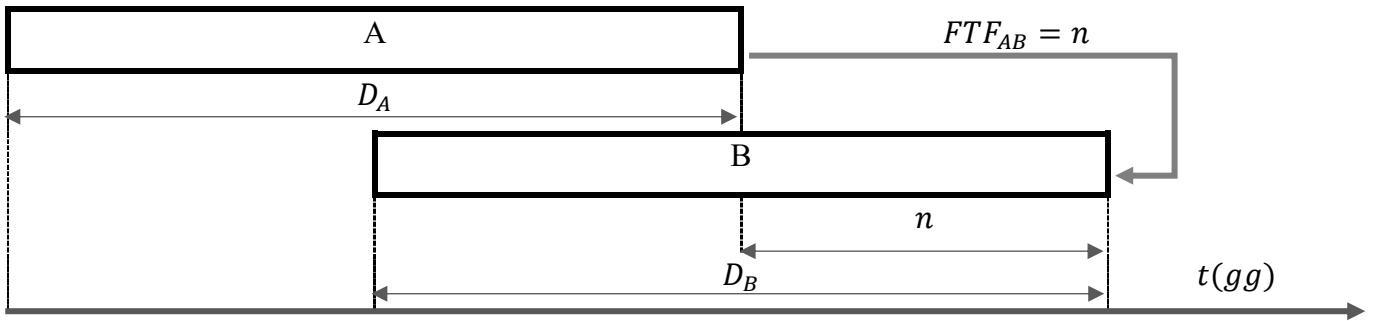


Fig. 4 Legame generalizzato FTF con valutazione – Legame Finish to Finish $AB = n$

Il legame di tipo Start to Start o STS vincola l'inizio dell'attività detta successore all'inizio dell'attività detta predecessore. Può essere definito nel seguente modo:

Siano A e B attività – A detta predecessore di B e B detta successore di A – e sia n la valutazione del legame in giorni. Si dice che A e B sono legate con legame di tipo “Inizio - Inizio”, ed indicato brevemente con la sigla $STS_{AB} = n$ ovvero Start to Start – AB pari a n giorni, se l'inizio dell'attività B può avvenire solo dopo n giorni dall'inizio dell'attività A.

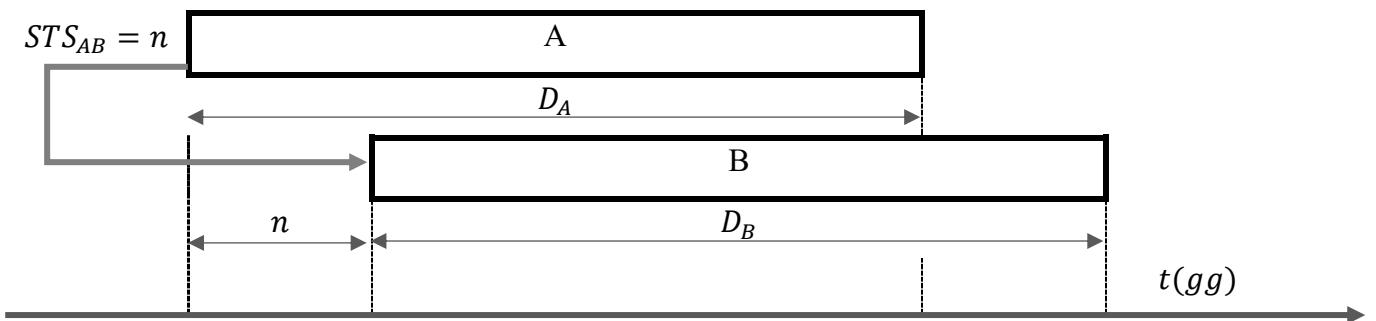


Fig. 5 Legame generalizzato STS con valutazione – Legame Start to Start $AB = n$

Infine, il legame di tipo Start to Finish o STF vincola la fine dell'attività detta successore all'inizio dell'attività detta predecessore. Può essere definito nel seguente modo:

Siano A e B attività – A detta predecessore di B e B detta successore di A – e sia n la valutazione del legame in giorni. Si dice che A e B sono legate con legame di tipo “Inizio - Fine”, ed indicato brevemente con la sigla $STF_{AB} = n$ ovvero Start to Finish – AB pari a n giorni, se la fine dell'attività B può avvenire solo dopo n giorni dall'inizio dell'attività A.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

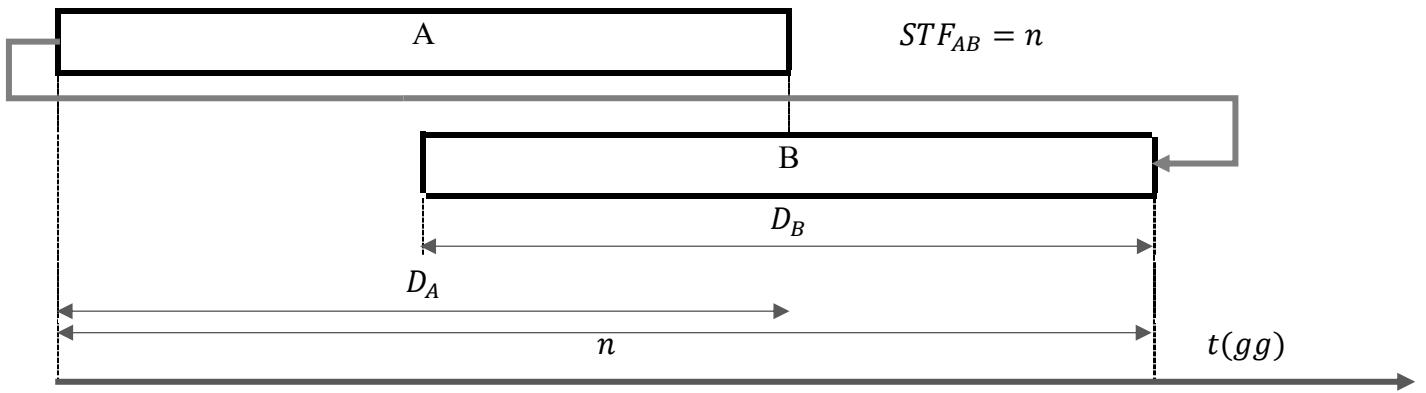


Fig. 6 Legame generalizzato STF con valutazione – Legame Start to Finish $AB = n$

È possibile dare una definizione di legame generalizzato:

Siano A e B attività – A detta predecessore di B e B detta successore di A – e siano X stato di controllo di A e Y stato di controllo di B. Si dice che A e B sono legate con legame generalizzato valutato n ed indicato con $XY_{AB} = n$ se la realizzazione dello stato di controllo X – inizio o fine di A – consente la realizzazione dello stato di controllo Y – inizio o fine di B – trascorso un intervallo di tempo pari a n.

CLASSIFICAZIONE E RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEL RETICOLO: NODI ED ARCHI

In base alla classificazione dei reticolati per attività elementari in funzione della loro strutturazione, il reticolo sotteso al PDM è di tipo *Activity On Node* o *AON*, ovvero un reticolo con attività rappresentate nei nodi. Esso è costituito da nodi connessi da archi o frecce orientate, essendo un digrafo o grafo orientato.

- *Nodi:* nella rappresentazione grafica del metodo PDM, in quanto reticolo con strutturazione *Activity On Node*, i nodi hanno la funzione di identificare le attività. Essendo rappresentative delle attività, e comportando queste ultime consumo di tempo e risorse, a ciascun nodo è associato un valore di tempo detto *durata dell'attività*. Ogni nodo del reticolo è compreso tra due o più frecce. Fanno eccezione le attività speciali di inizio e fine reticolo dette rispettivamente *sorgente* o *source* e *pozzo* o *sink*. Nessuna freccia entra nella sorgente e nessuna freccia diparte dal pozzo.

Infine si osserva che, mentre nel PDM semplice i nodi possono essere rappresentati mediante cerchi – come accadeva nel CPM –, nel PDM generalizzato è buona prassi la rappresentazione mediante rettangoli o box. In tal modo si evidenziano gli istanti di inizio e fine attività coincidenti con i bordi verticali del nodo – il bordo di inizio coincide con il lato verticale di sinistra mentre il bordo di fine coincide con il lato verticale di destra – e si facilita la visualizzazione delle totali o parziali contemporaneità tra attività.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- *Frecce orientate o archi:* identificano la sola progressione logica-cronologica tra attività. Ciascuna freccia è compresa tra due nodi del reticolo. Non c'è proporzionalità tra la lunghezza delle frecce e la durata delle attività. Il verso delle frecce, convenzionalmente da sinistra a destra, segue e individua lo scorrere del tempo e dato che questo non può tornare indietro, nel reticolo non possono essere presenti loop logici, ovvero successioni di frecce che partono e ritornano ad uno stesso nodo.

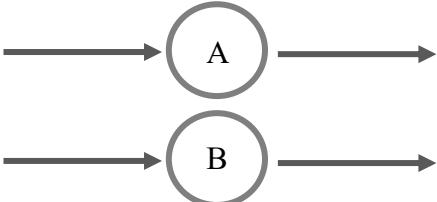
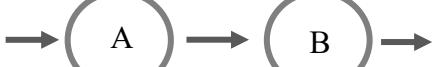
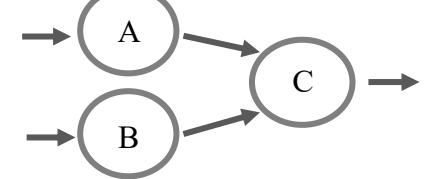
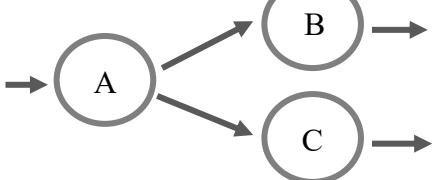
Una realizzazione del reticolo è data da una sequenza di attività legate da frecce. Per definire la logica del reticolo occorre avere a disposizione sia la lista delle attività che una lista del tipo IPA o *Immediate Predecessor Activity List*, lista dei predecessori immediati, o del tipo ISA o *Immediate Successor Activity List*, lista dei successori immediati.

Nel PDM Semplice, dati un nodo di inizio ed un nodo di fine – attività di inizio e di fine di uno stesso processo costruttivo – questi possono essere collegati tra loro da uno o più percorsi detti anche *cammini*, costituiti da una successione di attività. Avendo associato a ciascuna attività un valore temporale – la *durata dell'attività* – è possibile ricavare la durata di tutti i percorsi del reticolo, sommando le durate delle attività di uno stesso cammino, ed iterando questa operazione per ciascun cammino del reticolo. È detto *cammino critico* il percorso cui è associato il valore massimo di durata tra tutti i cammini del reticolo. La “lunghezza” del cammino critico è detta *durata del processo*.

REGOLE PER LA REALIZZAZIONE DEL RETICOLO

Harris individua quattro regole fondamentali per il tracciamento del reticolo PDM Semplice. Riportiamo le quattro regole nella seguente tabella adottando la rappresentazione dei nodi con cerchi tipica del PDM Semplice, ricordando che per il PDM Generalizzato è preferibile la rappresentazione mediante rettangoli:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Regola	Definizione	Rappresentazione nel PDM Semplice con cerchi
Attività indipendenti	<i>Siano A e B attività del reticolo. Esse si dicono attività indipendenti se tra i rispettivi nodi del reticolo che le rappresentano non vi è alcun legame di relazione.</i>	
Attività dipendenti con legame FTS	<i>Siano A e B attività del reticolo. Esse si dicono attività dipendenti se tra i rispettivi nodi del reticolo che le rappresentano è posto un legame di relazione di tipo FTS_{AB}.</i>	
Attività di convergenza	<i>Siano A, B e C attività reticolo con A predecessore di C, B predecessore di C e C successore di A e B. In tal caso l'attività C è detta attività di convergenza.</i>	
Attività di divergenza	<i>Siano A, B e C attività reticolo con A predecessore di B e C, B successore di C e C successore di A. In tal caso l'attività A è detta attività di divergenza.</i>	

Tab. 1 Regole di Harris per la realizzazione del reticolo PDM Semplice

Alle regole applicative fondamentali di cui sopra, è una prassi il rispetto di ulteriori regole di buona pratica per garantire l'univocità della rappresentazione, la chiarezza grafica e la corretta applicabilità degli algoritmi di calcolo.

UNICITÀ DELLE ATTIVITÀ INIZIALI E FINALI DEL RETICOLO

L'unicità delle attività iniziali e finali del reticolo è una prassi operativa essenziale per evitare fraintendimenti e difficoltà nell'analisi dei tempi, in particolare durante le fasi di schedulazione. Il reticolo PDM deve essere strutturato con un unico nodo di origine o sorgente – *source* – e un unico nodo di fine o pozzo – *sink*. Se si presentano estremi aperti – più attività iniziali o finali – ecco consigliato l'inserimento di attività fittizie – intendendo attività di durata nulla – per aprire o chiudere il reticolo in un unico nodo, ad esempio inserendo attività come “firma contratto” o “ultimazione lavori”.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

ORDINAZIONE DEL RETICOLO PER LIVELLI

La regola relativa all'ordinazione del reticolo per livelli consiste nella pratica di disporre in colonna le attività con lo stesso numero di predecessori – ordinazione per livelli al più presto – o con lo stesso numero di successori – ordinazione per livelli al più tardi. All'attività iniziale si attribuisce il livello zero. In tal modo si facilita la lettura del diagramma e si rende intuitiva la visualizzazione della progressione temporale e delle sovrapposizioni delle attività – supponendo di aver scomposto il processo in attività di durata comparabile – mantenendo invariata la logica del reticolo stesso.

GESTIONE DEI LEGAMI RIDONDANTI

Possono essere presenti legami ridondanti – detti anche sovrabbondanti – i quali non apportano generalmente significato logico-cronologico al reticolo ma complicano inutilmente il diagramma e incrementano il numero di operazioni necessarie all'analisi dei tempi. Sebbene i legami ridondanti possano talvolta esprimere vincoli presenti in cantiere – come vincoli di risorsa – la loro rimozione è in generale consigliata.

IDENTIFICAZIONE UNIVOCÀ DELLE ATTIVITÀ

Ogni nodo – attività – nel reticolo deve essere individuato in maniera univoca tramite l'attribuzione di un codice alfanumerico. La parte numerica del codice dovrebbe essere concorde alla progressione temporale delle attività mentre altre parti del codice identificativo dovrebbero contenere riferimenti alla Work Breakdown Structure, al capitolato o all'elenco prezzi, al fine di integrare il programma reticolare nel più ampio sistema di gestione. In tal modo il codice consente l'identificazione della categoria di lavori, della fase di esecuzione o altre informazioni ancora¹⁰.

GESTIONE DELLA SOVRAPPOSIZIONE TRA ATTIVITÀ NEL PRECEDENCE DIAGRAMMING METHOD

Affrontiamo il tema della sovrapposizione temporale totale o parziale delle attività in cantiere – aspetto cruciale della programmazione – gestito in modo dissimile nel PDM Semplice e nel PDM Generalizzato.

Il PDM Semplice utilizza come unica relazione logico-cronologica il legame Fine – Inizio con il quale si vincola l'inizio del successore alla fine del predecessore. Non prevedendo altre tipologie di legami, per poter rappresentare situazioni di parziale o completa sovrapposizione tra attività, il

¹⁰ Marchman, D.A., *Construction scheduling with Primavera Project Planner* (Delmar Publisher, 1998).

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

programmatore dovrà ricorrere ad alcuni stratagemmi. Concretamente, dovrà suddividere l'attività in sotto-attività o parti elementari, spesso in base a vincoli spaziali nello svolgimento delle stesse, e interconnettendole con legami che saranno obbligatoriamente di tipo FTS, essendo questa l'unica tipologia di legame contemplata dal metodo. Il risultato è la moltiplicazione del numero complessivo di attività e, di conseguenza, una diminuzione del grado di leggibilità e un aumento della complessità del calcolo nell'analisi dei tempi.

L'introduzione dei legami generalizzati, nel PDM Generalizzato, è funzionale al superamento del limite del PDM Semplice nella rappresentazione di attività eseguite in parziale o totale contemporaneità. Essi connettono tra loro i distinti stati di controllo – inizio e fine – di predecessori e successori, consentendo di rappresentare le sovrapposizioni con grande facilità. In tal modo non è più necessario suddividere le attività, contenendole in numero. La sovrapposizione si effettua valutando il legame, ovvero associando ad esso un *ritardo di vincolo n* pari – prendendo ad esempio il legame STS – al tempo stimato necessario all'esecuzione di una porzione di predecessore tale da consentire l'inizio del successore. Considerazioni analoghe possono essere ripetute per le altre tipologie di legame.

ESEMPIO: RAPPRESENTAZIONE DI TRE ATTIVITÀ PARZIALMENTE SOVRAPPOSTE NEL PDM SEMPLICE

Si supponga di dover programmare con reticolo PDM Semplice l'esecuzione di tre attività quali la posa dei casseri, la posa di armature, e il getto del calcestruzzo in parziale sovrapposizione, in quanto eseguite in successione in tre aree di cantiere differenti. Le squadre si sposteranno da un'area a quella successiva dopo aver terminato le operazioni nell'area precedente – vincoli di flusso delle risorse – mentre le attività nelle singole aree sono vincolate nella loro successione da legami FTS – vincoli tecnologici:

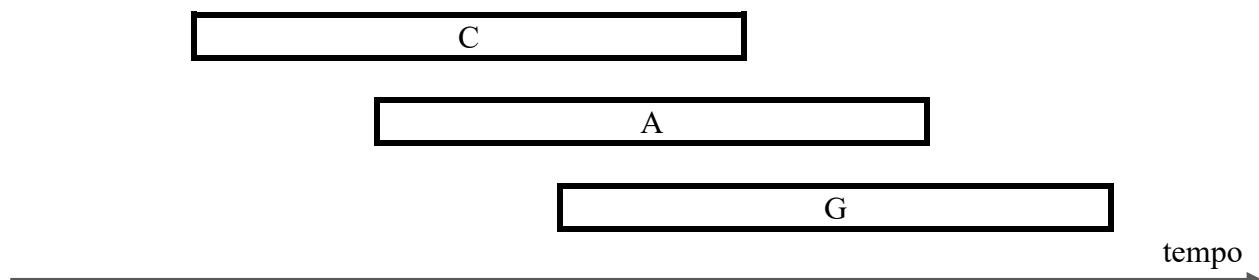


Fig. 7 Diagramma a barre di C, A e G parzialmente sovrapposte

La rappresentazione della parziale contemporaneità tra attività richiede di suddividere ciascuna attività in tre parti, una per ogni area di cantiere, passando da tre a nove attività interconnesse da legame FTS:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

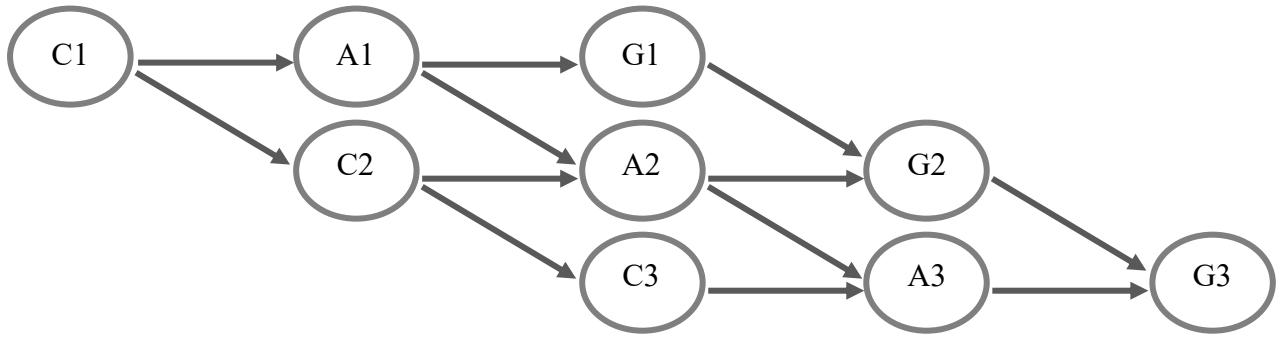


Fig. 8 Reticolo PDM semplice C, A, G scomposte per area di lavoro e sovrapposte

La possibilità di valutazione del legame nel PDM Generalizzato consente una più agevole rappresentazione della contemporaneità parziale tra attività, senza ricorrere allo stratagemma della scomposizione:

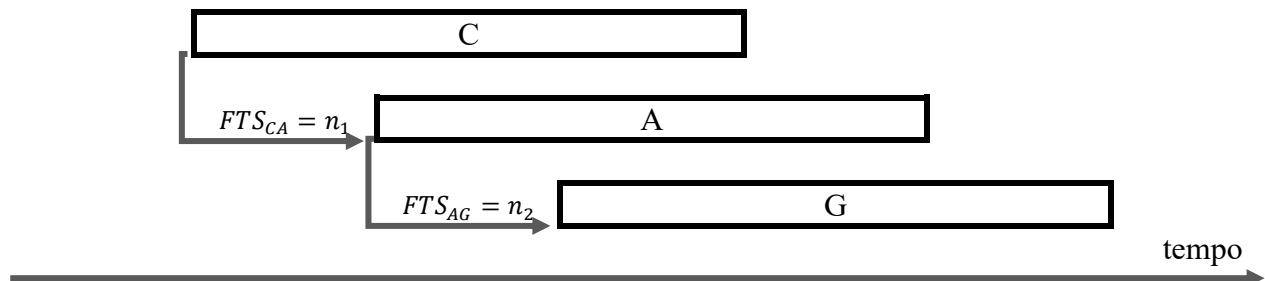


Fig. 9 Rappresentazione di attività parzialmente sovrapposte con valutazione del legame FTS nel PDM Generalizzato

Dove n_1 è il tempo stimato necessario alla posa dei casseri nella prima area di cantiere mentre n_2 è il tempo stimato necessario alla posa dell'armatura nella prima area di cantiere.

ANALISI DEI TEMPI NEL PDM SEMPLICE

L'algoritmo per la schedulazione dei tempi del metodo PDM Semplice *calcola i tempi relativi all'esecuzione delle attività*.

Si consideri una attività i -esima e si associa ad essa una durata dell'attività indicata con D_i , ovvero una durata di esecuzione costante; il metodo PDM definisce quattro schedulazioni possibili per l'attività o *tempi di esecuzione dell'attività*:

- 1) *Tempo minimo di inizio dell'attività i , detto Early Start i e indicato con ES_i* , ovvero il *tempo al più presto* di inizio dell'attività i . È il tempo in cui l'attività i può iniziare più vicino all'origine dell'asse dei tempi;
- 2) *Tempo massimo di inizio dell'attività i , detto Late Start i e indicato con LS_i* , ovvero il *tempo al più tardi* di inizio dell'attività i . È il tempo in cui l'attività i può iniziare più lontano dall'origine dell'asse dei tempi e tale da non modificare la data di ultimazione del processo;

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- 3) *Tempo minimo di fine dell'attività i, detto Early Finish i e indicato con EF_i , ovvero il tempo al più presto di fine dell'attività i.* È il tempo in cui l'attività i può finire più vicino all'origine dell'asse dei tempi;
- 4) *Tempo massimo di fine dell'attività i, detto Late Finish i e indicato con LF_i , ovvero il tempo al più tardi di fine dell'attività i.* È il tempo in cui l'attività i può finire più lontano dall'origine dell'asse dei tempi e tale da non modificare la data di ultimazione del processo.

Dalle precedenti definizioni derivano direttamente le seguenti relazioni tra i tempi di realizzazione dell'attività i:

$$\text{Relazioni tra i tempi al più presto: } ES_i = EF_i - D_i \Rightarrow EF_i = ES_i + D_i \quad (1)$$

$$\text{Relazioni tra i tempi al più tardi: } LS_i = LF_i - D_i \Rightarrow LF_i = LS_i + D_i \quad (2)$$

L'ANALISI IN AVANTI E L'ANALISI ALL'INDIETRO

Le relazioni sopra esplicitate vengono utilizzate nell'algoritmo per l'analisi temporale del PDM Semplice. Nello specifico, vengono messi a confronto i seguenti l'algoritmi per la schedulazione dei tempi:

<i>Analisi in avanti</i>	<i>Analisi all'indietro</i>
L'algoritmo che genera i tempi minimi è anche detto <i>Analisi in avanti</i> in quanto, partendo dall'attività iniziale, ripercorre il reticolo nel senso della progressione temporale, sino alla attività finale. Esso determina la schedulazione dei tempi al più presto o, anche, schedulazione <i>ASAP</i> , acronimo di <i>As Soon As Possible</i> .	L'algoritmo che genera i tempi massimi è anche detto <i>Analisi all'indietro</i> in quanto, partendo dall'attività finale, ripercorre il reticolo nel senso opposto alla progressione temporale, sino alla attività iniziale. Esso determina la schedulazione dei tempi al più tardi o, anche, schedulazione <i>ALAP</i> , acronimo di <i>As Late As Possible</i> .
L'algoritmo <i>ASAP</i> prevede l'iterazione di tre passi:	L'algoritmo <i>ALAP</i> prevede l'iterazione di tre passi:
Il programmatore impone il tempo minimo di inizio dell'attività iniziale j_0 , indicato con S , tempo minimo di inizio del processo:	Il programmatore impone il tempo massimo di fine dell'attività finale j_n , indicato con T , tempo massimo di ultimazione del processo:
<i>Primo passo ASAP</i> $ES_{j_0} = S$	<i>Primo passo ALAP</i> $LF_{j_n} = T$

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Si calcola il tempo minimo di fine attività, utilizzando la relazione (1):	Si calcola il tempo massimo di inizio attività utilizzando la relazione (2):
<i>Secondo passo ASAP:</i> $EF_i = ES_i + D_i$	<i>Secondo passo ALAP:</i> $LS_j = LF_j - D_j$
Si calcola il tempo minimo di inizio dei successori J dell'attività i-esima come valore massimo dei tempi di fine dei predecessori, ovvero:	Si calcola il tempo massimo di fine del predecessore I delle attività j-esime come valore minimo dei tempi di fine dei successori, ovvero:
<i>Terzo passo ASAP:</i> $ES_j = \max (EF_i) \forall i$	<i>Terzo passo ALAP:</i> $L_i = \min (LS_j) \forall j$

Se, nell'analisi in avanti, il programmatore sceglie di adottare un valore di S nullo si dice che si utilizza la *convenzione di scorrimento zero*.

Svolte le due tipologie di analisi si ottengono per ciascuna attività costituente il processo, due allocazioni o schedulazioni temporali all'interno della durata complessiva del programma lavori, ovvero tali da non richiedere una proroga alla data di fine lavori.

TEMPO TOTALE A DISPOSIZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE ATTIVITÀ PER GRADO DI CRITICITÀ

L'intervallo di tempo che intercorre tra la fine al più tardi e l'inizio al più presto di una attività i è detto *tempo totale a disposizione*: $TTD_i = LF_i - ES_i$ (3)

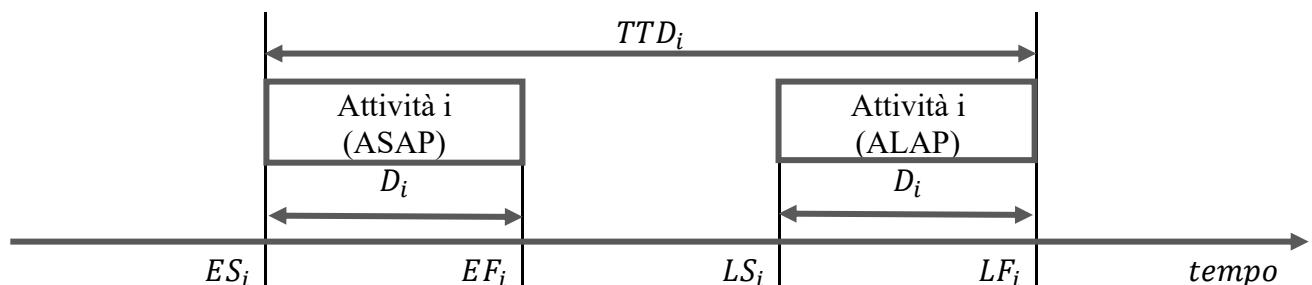


Fig. 10 Tempo totale a disposizione per l'attività i

Sulla base del valore assunto dal *tempo totale a disposizione* si distinguono tre situazioni:

- 1) Le schedulazioni dei tempi nelle analisi *ASAP* e *ALAP* di un'attività sono *coincidenti*: $TTD_i = D_i$. In tal caso non sono previsti scorrimenti che non determinino un ritardo nella data di completamento del programma lavori e l'attività è detta *critica per i tempi*;
- 2) Le schedulazioni dei tempi nelle analisi *ASAP* e *ALAP* di un'attività sono *distinte*: $TTD_i > D_i$. In tal caso l'attività è detta *subcritica per i tempi*. Sono possibili uno scorrimento nel tempo

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

dell'esecuzione dell'attività senza modifiche sulla data di ultimazione dei lavori per consentire l'ottimizzazione delle risorse e la gestione degli imprevisti;

- 3) Le schedulazioni dei tempi nelle analisi *ASAP* e *ALAP* di un'attività sono distinte: $TTD_i < D_i$. In tal caso l'attività è detta *ipercritica per i tempi*. Non è possibile il rispetto della data di ultimazione dei lavori, a meno di modifiche strutturali alla programmazione.

VANTAGGI E SVANTAGGI DELLE SCHEDULAZIONI ASAP E ALAP

Si analizzano vantaggi e svantaggi nell'adottare un programma lavori le cui attività sono state schedurate seguendo gli algoritmi dell'analisi in avanti e dell'analisi all'indietro.

Nel primo caso, *schedulazione al più presto*, le attività subcritiche inizieranno nei tempi minimi con una tendenza a concentrare attività e, di conseguenza, risorse nelle prime fasi del processo produttivo. Ciò determina, con molta probabilità, una distribuzione non ottimizzata nell'uso delle risorse mentre resta la possibilità in corso d'opera, qualora si renda necessario, di ritardare l'inizio di un'attività o dilatarne la durata.

Nel secondo caso, *schedulazione al più tardi*, le attività subcritiche inizieranno nei tempi massimi. Se ciò comporta normalmente una maggiore distribuzione delle risorse rispetto alla schedulazione al più presto, nell'analisi all'indietro tutte le attività diventeranno *critiche per i tempi* in quanto nessuna attività potrà ritardare il suo svolgimento senza determinare a sua volta ritardi dei termini temporali.

Nella prassi esecutiva generalmente si definisce un cosiddetto *programma target* che vede le attività subcritiche collocate in posizione “intermedia”, rispetto alle schedulazioni nei tempi massimi e minimi, scelta in modo tale da perseguire l'ottimizzazione delle risorse e dell'impegno produttivo ed economico.

RITARDI DI VINCOLO E RITARDI DI LEGAME

Contestualmente alla definizione di “*legame tra attività*” è stato introdotto il *ritardo di vincolo* – anche detto valutazione – quale attributo del legame imposto dal programmatore. Si tratta di un intervallo di tempo n che deve intercorrere tra lo stato di controllo del predecessore – fine nel PDM Semplice, inizio o fine nel PDM Generalizzato – e lo stato di controllo del successore – inizio nel PDM Semplice, inizio o fine nel PDM Generalizzato. La valutazione di legame si indica anche con la sigla *LT*, acronimo di *Lead Time* o tempo di risposta.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

L'utilizzo dei ritardi o *positive lags* – $LT = n > 0$ – e degli anticipi o *negative lags o leads* – $LT = n < 0$ – è oggetto della valutazione in 14 punti della DCMA per la verifica della qualità delle programmazioni dei lavori.

Il *ritardo di vincolo* è concettualmente distinto dal *ritardo di legame* o ritardo semplice. Se il primo è un dato imposto dal programmatore, il secondo deriva dall'algoritmo di calcolo dei tempi. Il ritardo di legame può essere definito come segue:

“Siano I e J attività con I predecessore di J e J successore di I legate con legame semplice FTS_{AB} . Siano state eseguite le schedulazioni delle attività mediante gli algoritmi dell’analisi in avanti e dell’analisi all’indietro.

Si dice ritardo di legame per i tempi minimi l’intervallo di tempo che intercorre tra il tempo minimo di inizio del successore J e il tempo minimo di fine del predecessore I e si indica con R_{IJ} .

$$\text{Pertanto: } R_{IJ} = ES_J - EF_I = r \quad (4)$$

Si dice ritardo di legame per i tempi massimi l’intervallo di tempo che intercorre tra il tempo massimo di inizio del successore J e il tempo massimo di fine del predecessore I e si indica con R_{IJ} .

$$\text{Pertanto: } R_{IJ} = LS_J - LF_I = s \quad (5)$$

Si procede per la sola analisi dei tempi minimi. Poniamo anche il caso in cui i legami siano privi di valutazione in quanto vedremo in seguito che la presenza di ritardi di vincolo viene limitata rigidamente dalla DCMA quando non è vietata, ovvero $FTS_{IJ} = 0$.

Si dice legame condizionante o limitante tra I e J un legame in cui il predecessore è più posticipato dei predecessori di J e, pertanto, definisce il tempo di inizio al più presto del successore:

$$R_{IJ} = 0 \Rightarrow \text{il legame tra I e J è condizionante}$$

Sostituendo nella definizione di ritardo si osserva che:

$$R_{IJ} = ES_J - EF_I = \max(EF_I) - EF_I \Rightarrow \begin{aligned} &\forall J \exists I \text{ predecessore di } J \text{ tale che } R_{IJ} = 0 \\ &R_{IJ} \geq 0 \quad \forall I, J \text{ attività del reticolo} \end{aligned}$$

Ciò significa che ogni nodo J del reticolo presenta un legame entrante, legame tra J e i relativi predecessori I, che è condizionante per esso. L'insieme dei legami con ritardo di legame nullo definisce nel reticolo PDM con solo legami semplici una struttura ad albero detta “albero del ritardo di legame nullo”.

ANALISI DEI TEMPI NEL PDM GENERALIZZATO

L'algoritmo “classico” – presentato da Crandall nel 1973¹¹ – per la schedulazione dei tempi del metodo PDM Generalizzato esposto nel seguito *calcola i tempi relativi all'esecuzione delle attività assumendo l'ipotesi di lavoro di attività continue con durata fissa*¹². Esso consiste, pertanto, nell'estensione dell'algoritmo CPM ad un reticolo AON con legami generalizzati.

Sono ancora valide le definizioni di tempi minimi e massimi per la schedulazione delle attività fornite al paragrafo sull'analisi dei tempi nel PDM Semplice.

L'ANALISI IN AVANTI E L'ANALISI ALL'INDIETRO

Ancora una volta, l'algoritmo per la schedulazione delle attività è distinto in due parti – l'analisi in avanti e l'analisi all'indietro – messe di seguito a confronto.

<i>Analisi in avanti</i>	<i>Analisi all'indietro</i>
<p>L'algoritmo che genera i tempi minimi è anche detto <i>Analisi in avanti</i>.</p> <p>Si pone un tempo minimo di inizio dell'attività iniziale j_0, indicato con S, tempo minimo di inizio del processo: $ES_{j_0} = S$.</p> <p>L'algoritmo percorre l'intero reticolo partendo dall'attività iniziale o <i>source</i>, sino all'ultima attività del reticolo o <i>sink</i>. Per ciascuna J-esima attività del reticolo si considerano tutti i legami logici entranti, sia nell'inizio che nella fine dell'attività, da tutti i predecessori i-esimi e determinandone la schedulazione al più presto iterando i seguenti passaggi:</p>	<p>L'algoritmo che genera i tempi massimi è anche detto <i>Analisi all'indietro</i>.</p> <p>Si pone un tempo di fine progetto indicato con T, convenzionalmente posto pari al massimo valore di fine al più presto tra tutte le attività del processo: $T = \max(EF_k) \quad \forall k = EF_I$.</p> <p>L'algoritmo percorre l'intero reticolo partendo dall'attività finale o <i>sink</i>, sino all'attività iniziale o <i>source</i>. Per ciascuna i-esima attività del reticolo si considerano tutti i legami logici uscenti, sia nell'inizio che nella fine dell'attività, verso tutti i successori j-esimi e determinandone la schedulazione al più tardi iterando i seguenti passaggi:</p>

¹¹ Crandall, K.C., «Project planning with precedence lead/lag factors», *Project Management Quarterly* 5, fasc. 3 (1973): 18–27.

¹² Moder, J.J. et al., *Project management with CPM, PERT and Precedence Diagramming Method*, Terza (Van Nostrand Reinhold Company, 1983).

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Si calcola il tempo minimo di inizio dell'attività J-esima con I-esimo successore, come massimo valore ottenuto applicando la relazione seguente a ciascuna i-esima attività predecessore di J:

Si calcola il tempo massimo di fine dell'attività I-esima con J-esimo predecessore, come minimo valore ottenuto applicando la relazione seguente a ciascuna j-esima attività predecessore di J:

Primo passo ASAP:

$$ES_j = \max \begin{cases} \text{Tempo iniziale} \\ EF_i + FTS_{ij} \\ ES_i + STS_{ij} \\ EF_i + FTF_{ij} - D_j \\ ES_i + STF_{ij} - D_j \end{cases} \quad \forall i$$

Primo passo ALAP:

$$LF_i = \min \begin{cases} \text{Tempo finale} \\ LS_j - FTS_{ij} \\ LF_j - FTF_{ij} \\ LS_j - STS_{ij} + D_i \\ LF_j - STF_{ij} + D_i \end{cases} \quad \forall j$$

Si calcola il tempo minimo di fine dell'attività J-esima applicando (1):

Si calcola il tempo massimo di inizio dell'attività I-esima applicando (2):

Secondo passo ASAP $EF_j = ES_j + D_j$

Secondo passo ALAP $LS_j = LF_i - D_i$

DATE DI CONTROLLO AL PIÙ PRESTO E AL PIÙ TARDI

Siano I e J attività – I predecessore di J e J successore di I – legate con legame generalizzato di valutazione $n XTY_{IJ} = n$ con X stato di controllo (inizio o fine) del predecessore e Y stato di controllo (inizio o fine) del successore.

- 1) Si definisce *data di controllo al più presto dell'attività i, detta Early Control Date i e indicata con ECDi* l'istante temporale che identifica lo stato al più presto dell'attività i in funzione del tipo di legame e della valutazione.
- 2) Si definisce *data di controllo al più tardi dell'attività i, detta Late Control Date i e indicata con LCDi* l'istante temporale che identifica lo stato al più tardi dell'attività i in funzione del tipo di legame e della valutazione.

RITARDI DI LEGAME PER I LEGAMI GENERALIZZATI

Estendiamo la definizione data in precedenza per il ritardo di legame semplice al ritardo di legame per legami generalizzati.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Siano I e J attività con I predecessore di J e J successore di I legate con legame generalizzato XTY_{IJ} .

Si dice ritardo R_{IJ} del legame XTY_{IJ} tra I e J l'intervallo di tempo che intercorre tra lo stato al più presto del successore J e lo stato al più presto del predecessore I, identificati dal tempo minimo di inizio o dal tempo minimo di fine come modificati dalla valutazione del legame: $R_{IJ} = ECD_J - ECD_I$.

La definizione di ritardo di legame per i tempi massimi è analoga.

Si calcola il ritardo di legame per i tempi minimi e massimi per ciascuna tipologia di legame con la seguente tabella:

Tipologia di legame	FTS_{IJ}	STS_{IJ}	FTF_{IJ}	STF_{IJ}
Valutazione	n	ni	nj	$ni + nj = n$
Stato al più presto del predecessore I ECD_I	$EF_I + n$	$ES_I + ni$	EF_I	$ES_i + ni$
Stato al più presto del successore J ECD_J	ES_J	ES_J	$EF_J - nj$	$EF_J - nj$
Ritardo di legame per i tempi minimi $R_{IJ} = ECD_J - ECD_I$	$ES_J - EF_I - n$	$ES_J - ES_I - ni$	$EF_J + nj - EF_I$	$EF_J - ES_I - n$
Stato al più tardi del predecessore I LCD_I	$LF_I + n$	$LS_I + ni$	LF_I	$LS_i + ni$
Stato al più tardi del successore J LCD_J	LS_J	LS_J	$LF_J - nj$	$LF_J - nj$
Ritardo di legame per i tempi massimi $R_{IJ} = LCD_J - LCD_I$	$LS_J - LF_I - n$	$LS_J - LS_I - ni$	$LF_J + nj - LF_I$	$LF_J - LS_I - n$

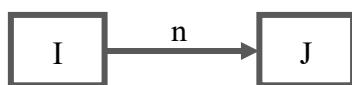
Tab. 2 Date di controllo e ritardi di legame al più presto e al più tardi in funzione del legame

Per ciascuna tipologia di legame si rappresentano e si ricavano stati al più presto e al più tardi di due attività I, J con I predecessore di J e J successore di I, e supponendo una valutazione di legame maggiore si visualizzano i ritardi di legame per i tempi minimi e per i tempi massimi ricavati in tabella.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

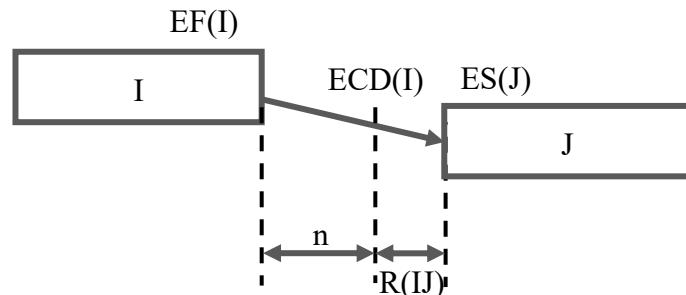
1) Legame fine-inizio:

$$FTS(IJ) = n$$



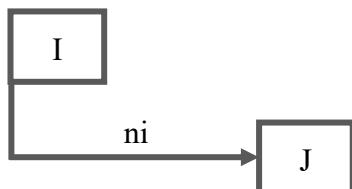
1) Legame fine-inizio:

$$R(IJ) = ES(J) - EF(I) - n$$



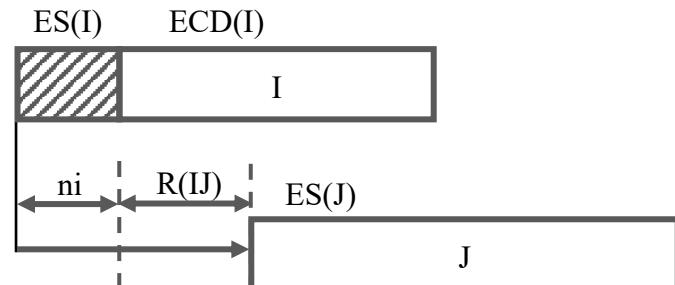
2) Legame inizio-inizio:

$$STS(IJ) = ni$$



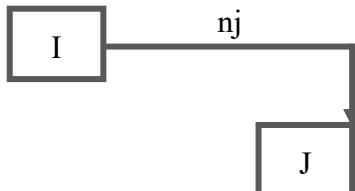
2) Legame inizio-inizio:

$$R(IJ) = ES(J) - ES(I) - ni$$



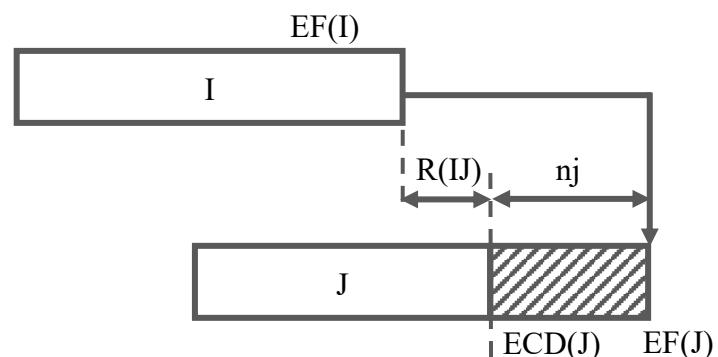
3) Legame fine-fine:

$$FTF(IJ) = nj$$



3) Legame fine-fine:

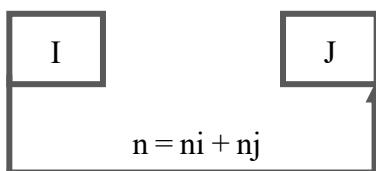
$$R(IJ) = EF(J) - EF(I) - nj$$



STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

4) Legame inizio-fine:

$$STF(IJ) = n = ni + nj$$



4) Legame inizio-fine:

$$R(IJ) = EF(J) - ni - ES(I) - nj = EF(J) - ES(I) - n$$

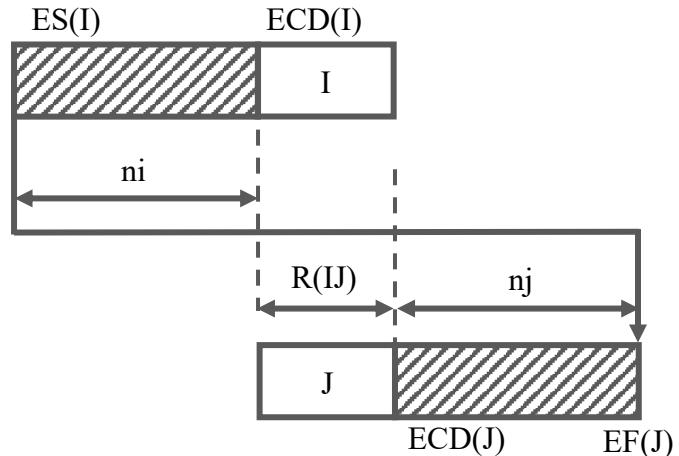


Fig. 11 Ritardi di legame PDM Generalizzato e date di controllo, estratto dal libro: *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari – Metodi e Strumenti di Project Time Management per la Costruzione* di Marco Alvise Bragadin (Maggioli Editore, 2011)

TEORIA DEI MARGINI DI ATTIVITÀ

Precedentemente le attività sono state distinte in *critiche e subcritiche per i tempi*, distinzione fondamentale nell’ambito della teoria dei margini di attività. Quest’ultima analizza gli *scorimenti*, detti anche *tempi marginali delle attività*, intendendo quei ritardi nello svolgimento di un’attività o nella realizzazione di un evento che siano tali da non comportare proroghe nell’ultimazione del processo costruttivo. Nell’ambito della teoria dei margini di attività *gli scorimenti vengono distinti in funzione delle conseguenze* che lo scorrimento dell’attività o dell’evento in esame comporta su attività ed eventi successori, quindi, a valle del processo.

Si individuano, in tal modo, sei tipologie di scorimenti per il PDM Semplice, ovvero lo scorrimento totale TF_j , lo scorrimento libero FF_j , lo scorrimento interferente $INTF_j$, lo scorrimento indipendente $INDF_j$, lo scorrimento condizionale $CONF_j$ o di sicurezza SAF_j , lo scorrimento programmato PF_j . Nel seguito vengono date definizioni e osservazioni per le tipologie di scorrimento più comunemente utilizzate.

SCORIMENTO TOTALE DI UNA ATTIVITÀ I

Lo *scorrimento totale dell’attività i*, indicato con TF_i , detto anche *Total Float i*, è dato dall’intervallo di tempo che intercorre tra il tempo massimo e minimo di inizio dell’attività i, che, assumendo la durata dell’attività come costante, è pari all’intervallo di tempo che intercorre tra il tempo massimo e minimo di fine dell’attività i, ovvero:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

$$TF_i = LS_i - ES_i = LF_i - EF_i \quad (6)$$

Esso fornisce il valore massimo di tempo di cui si può ritardare lo svolgimento dell'attività i senza causare un ritardo alla data di completamento del progetto, quindi, senza aumentare la durata complessiva prevista.

Inserendo la relazione (1), lo scorrimento totale dell'attività i può essere ricavato anche con la relazione seguente:

$$TF_i = LF_i - (ES_i + D_i) = LF_i - ES_i - D_i \quad (7)$$

Ricordando la definizione di Tempo Totale a Disposizione (TTD_i), valida per il PDM Semplice, si ha:

$$TF_i = LF_j - ES_i - D_{ij} = TTD_{ij} - D_{ij} \quad (8)$$

Nel caso di legame con valutazione non nulla è possibile definire lo scorrimento totale dell'attività i in funzione delle date di controllo. Operando alcune sostituzioni, per ogni tipologia di legame generalizzato si ottiene la seguente relazione:

$$TF_i = LCD_i - ECD_i \quad (9)$$

Osservazioni sullo scorrimento totale dell'attività i come attributo del percorso

Per quanto concerne lo scorrimento totale di un'attività, si evidenzia come non si tratti di una proprietà della singola attività ma come questo sia, piuttosto, un *attributo del percorso* e, pertanto, sia *condiviso dalle attività collocate su di esso*. Ciò significa, nella pratica, che l'utilizzo di parte dello scorrimento totale per un'attività i influenza gli scorrimenti dei successori lungo il percorso dell'attività i riducendoli, fino anche a trasformare attività subcritiche in attività critiche o ipercritiche.

Osservazioni sullo scorrimento totale dell'attività i e la criticità delle attività

Lo scorrimento totale dell'attività i consente di individuare analiticamente le attività critiche per i tempi in quanto queste ultime saranno caratterizzate dal valore minimo di scorrimento totale tra le attività del reticolo fino, in caso si sia adottata la convenzione di scorrimento zero, a possedere un valore di scorrimento totale nullo.

Ne consegue che:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

1) $TF_i = \min(TF_i) \forall i \Leftrightarrow i \text{ è attività critica per i tempi}$ (10)

2) Se $TF_i = 0 \Rightarrow i \text{ è attività critica con convenzione di scorrimento zero}$ (11)

Inoltre, può accadere che si abbia:

3) $TF_i < 0 \Rightarrow i \text{ è attività ipercritica}$ (12)

In questo ultimo caso, in cui il valore di scorrimento totale dell'attività è minore di zero, occorre ridurre la durata dell'attività per consentire al processo costruttivo di terminare entro le date prefissate.

Il cammino critico è un percorso del reticolo costituito da una successione di attività ed eventi critici per i tempi che congiunge l'attività iniziale con l'attività finale. Pertanto, le attività collocate su di un cammino critico avranno il valore minimo di scorrimento totale. In caso di adozione della convenzione di scorrimento zero, alle attività del cammino critico non sono concessi scorrimenti.

Dall'analisi dello scorrimento totale dell'attività i è possibile individuare il cammino critico e distinguere tra attività subcritiche, critiche ed ipercritiche. Questa operazione mette in evidenza come in uno stesso processo produttivo possano esistere attività "speciali", che è possibile individuare analiticamente tramite la *teoria dei margini di attività*, alle quali si dovrà porre la massima attenzione in quanto *il ritardo nelle operazioni di inizio o di fine attività o, anche, la dilatazione della durata di tali attività comporterà necessariamente aumenti sulla durata complessiva del progetto*. Se ciò è valido nel CPM/I-J e nel PDM Semplice, dove il cammino critico ha una chiara definizione, nel PDM Generalizzato è sempre possibile individuare le attività critiche ma non è possibile prevedere a priori le conseguenze di un cambiamento nella schedulazione di un'attività critica sul resto del reticolo.

Weist nel 1981 classifica le attività critiche sotto la convenzione di scorrimento zero¹³.

¹³ Weist, J.D., «Precedence Diagramming Methods: Some Unusual Characteristics and Their Implications for Project Managers», *Journal of Operations Management* 1, fasc. 3 (1981): 121–30.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Classificazione	Modifiche all'attività critica	Conseguenze sulla durata complessiva del progetto
<i>Attività Critica Normale</i>	Aumento di durata	Aumento di durata
	Diminuzione di durata	Diminuzione di durata
<i>Attività Critica Inversa</i>	Aumento di durata	Diminuzione di durata
	Diminuzione di durata	Aumento di durata
<i>Attività Bi – Critica</i>	Modifica di durata	Aumento di durata
<i>Attività Critica Neutra, con inizio critico</i>	Inizio ritardato	Aumento di durata
	Inizio anticipato	Diminuzione di durata
	Modifica di durata	Nessuna
<i>Attività Critica Neutra, con fine critica</i>	Fine ritardata	Aumento di durata
	Fine anticipata	Diminuzione di durata
	Modifica di durata	Nessuna

Tab. 3 Classificazione di Weist sulle attività critiche nel PDM Generalizzato

SCORRIMENTO LIBERO DI UNA ATTIVITÀ I

Nel PDM Semplice lo *scorrimento libero dell'attività i*, indicato con FF_i , detto anche *Free Float i*, è dato dall'intervallo di tempo di cui può essere ritardato l'inizio dell'attività i tale da non modificare i tempi minimi di inizio dei successori di i.

Lo scorrimento libero dell'attività i si determina analiticamente con la seguente relazione:

$$FF_i = \min(ES_k) - EF_i \quad \forall k \text{ successore di } i \quad (13)$$

Osservazioni sullo scorrimento libero dell'attività i

Lo scorrimento libero di un'attività, diversamente dallo scorrimento totale, è *un attributo dell'attività i e non del percorso*. Esso dovrebbe essere di fondamentale importanza per i decisori in quanto *utilizzare il solo scorrimento libero* per un'attività i nella definizione del programma lavori *consente di ottimizzare l'uso delle risorse senza ripercussioni sulle altre attività del processo*, le quali possono comunque iniziare al più presto.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

SCORRIMENTO INTERFERENTE DI UNA ATTIVITÀ I

Nel PDM Semplice lo *scorrimento interferente dell'attività i*, indicato con $INTF_i$, detto anche *Interfering Float i* consiste nella quota parte di scorrimento dell'attività i non più “utilizzabile” nel caso in cui il più anticipato dei successori inizi al più presto.

Analiticamente, lo scorrimento interferente si determina con la seguente relazione:

$$INTF_i = LF_i - \min(ES_k) \quad \forall k \text{ successore di } i \quad (14)$$

Osservazione sulla complementarità dello scorrimento libero e interferente

Effettuando alcune sostituzioni, si ricava che lo scorrimento totale di un'attività i può essere suddiviso in due aliquote date dallo *scorrimento libero* e dallo *scorrimento interferente*, complementari tra loro. Vale la seguente relazione:

$$TF_i = FF_i + INTF_i \quad (15)$$

SCORRIMENTO PROGRAMMATO DI UNA ATTIVITÀ I

Infine, diverso è lo *scorrimento programmato dell'attività i*, indicato con PF_i , comprendente tutti i vincoli che vengono imposti allo svolgimento dell'attività i col fine di definire il cosiddetto “*programma Target*” il quale, come anticipato, si pone l’obiettivo di un utilizzo ottimale, l’ottimizzazione, delle risorse, dei flussi economici e delle finalità produttive.

Si possono individuare otto tipologie di vincoli o scorrimenti imposti alle attività che sono il *Must Start On*, l’attività è vincolata ad iniziare esattamente nella data imposta, il *Must Start On or Later*, l’attività è vincolata ad iniziare nella data imposta o più tardi, il *Must Start On or Earlier*, l’attività è vincolata ad iniziare nella data imposta o più presto, il *Must Finish On*, l’attività è vincolata a finire esattamente nella data imposta, il *Must Finish On or Later*, l’attività è vincolata a finire nella data imposta o più tardi, il *Must Finish On or Earlier*, l’attività è vincolata a finire nella data imposta o più presto, il *Must Start Between*, l’attività è vincolata ad iniziare all’interno di un fissato intervallo di tempo, e, infine, il *Must Finish Between*, l’attività è vincolata a finire all’interno di un fissato intervallo di tempo. Questi trovano riscontro nei software di programmazione più diffusi come Primavera P6 Professional.

CAPITOLO 2 – LA VALUTAZIONE IN 14 PUNTI DELLA DCMA PER LA VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLA PROGRAMMAZIONE LAVORI

GENERALITÀ

La *DCMA 14 – point assessment* o Valutazione in 14 punti della DCMA è uno strumento per la verifica della qualità delle programmazioni lavori.

SCELTA DELLO STANDARD DI VERIFICA DELLA QUALITÀ

Nel presente lavoro si è scelto di adottare come strumento di verifica per la programmazione dei lavori lo standard *DCMA 14 – points assessment* proposto dalla DCMA, scegliendolo tra altri standard nazionali e internazionali generalmente applicati.

Per prima cosa, dovremmo chiederci se esista uno standard di qualità per il cronoprogramma dei lavori a livello nazionale. Una risposta è fornita da quanto contenuto all'interno del codice dei contratti, già citato in precedenza, il quale affronta il cronoprogramma e le caratteristiche prestazionali che esso dovrebbe possedere. Il nostro codice dei contratti, anche se ciò potrebbe non essere evidente a primo impatto, fornisce delle regole di qualità di tipo prestazionale, in linea con l'approccio italiano alla progettazione. Stabilisce infatti che il cronoprogramma debba includere la totalità delle attività, che debba avere una rappresentazione grafica chiaramente leggibile, che mostri i tempi di attuazione di ciascuna lavorazione e che debba essere relazionato ai costi, quindi al computo metrico esecutivo. Stabilendo un collegamento tra il cronoprogramma dei lavori e il computo metrico estimativo, fornisce un'indicazione sul livello di dettaglio del cronoprogramma.

Tuttavia, come detto, l'approccio italiano è di tipo prestazionale-qualitativo. Mentre nella presente tesi si è scelto di elaborare un cronoprogramma dei lavori che tenesse conto delle indicazioni sulla qualità del nostro codice dei contratti, vi è anche la necessità di uno strumento di verifica analitico. In base a questa necessità diventa necessario fare riferimento ad altri standard internazionali americani, e la scelta è stata indirizzata a quello della DCMA. Questo standard è diventato quello più adottato a livello internazionale.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Un’alternativa diffusa è l’applicazione dello standard del PMI (Project Management Institute). Questo fornisce delle linee guida a mio parere di difficile applicazione pratica per lo specifico caso di studio. Ne consegue che il limite dello standard del PMI è l’eccessiva analiticità, a differenza dello standard DCMA, che per via del numero ridotto di indicatori diventa più facilmente applicabile e inoltre fornisce delle indicazioni progettuali.

Un altro metodo utilizzato dalla DCMA è l’Earned Value Management (EVM), che tuttavia non è rilevante per gli scopi di questa tesi. Infatti, questo metodo di valutazione si basa sulla pianificazione dei lavori e sulla pianificazione dei costi per determinare il valore del lavoro compiuto fino ad un dato momento nel tempo. Non valuta quindi la qualità della pianificazione in sé, quanto quella dell’esecuzione delle attività già completate previste da una pianificazione esistente, contabilizzata sulla base di costi “a misura”.

Il Government Accountability Office (GAO) del governo degli USA ha pubblicato una guida che fornisce 10 *best practices* da applicare per la costruzione e la valutazione della programmazione lavori¹⁴. Rappresenta una metodologia qualitativa e processuale che viene seguita dal programmatore per produrre una programmazione lavori affidabile, e non un test standardizzato e automatizzabile da applicare ad una programmazione già esistente per valutarne la qualità tecnica.

Riguardo a questo aspetto di automazione del test, si è scelto di utilizzare come software per la programmazione Primavera P6, in quanto incorpora un tool per fornire un *check schedule report* i cui parametri sono i 14 points della DCMA.

ORIGINI DEL SISTEMA DI VALUTAZIONE

La valutazione in 14 punti è stata sviluppata dalla *Defence Contract Management Agency*¹⁵ in risposta al memorandum dell’Ufficio del Sottosegretario alla Difesa (USD AT&L) del marzo 2005 con il quale è stata imposta l’adozione dei cosiddetti “*Integrated Master Schedules (IMS)*” per tutti i contratti di difesa americani di importo superiore a 20 milioni di dollari e con il quale è stata incaricata la DCMA di sviluppare delle linee guida per la validazione delle programmazioni dei lavori.¹⁶

¹⁴ U.S. Government Accountability Office (GAO), *Schedule Assessment Guide: Best Practices for Project Schedules*, GAO-16-89G (Washington, D.C., 2015).

¹⁵ Defence Contract Management Agency, «*Earned Value Management System (EVMS) Program Analysis Pamphlet (PAP)*», ottobre 2012.

¹⁶ Bogle, Brandon et al., «*DCMA 14 – point Assessment for Project Schedule*», Edwards Performance Solutions, s.d.

AMBITO DI APPLICAZIONE DELLA VALUTAZIONE

Sebbene i programmi sottoposti a tale verifica da parte della *DCMA* siano, come scritto nel paragrafo precedente, solamente i progetti di difesa americani i cui contratti abbiano importi superiori a 20 milioni di dollari, essa incrementa le probabilità di successo delle programmazioni in genere. Pertanto, l'implementazione della *DCMA 14 – point assessment* all'atto della creazione del programma, nonché in ciascuna operazione di controllo e aggiornamento dello stesso, è da considerarsi una buona pratica di programmazione in quanto favorisce, se non garantisce, il rispetto degli obblighi contrattuali di ambo le parti: Concedente – Concessionario o Appaltatore – Stazione Appaltante.

STRUTTURA DELLA VALUTAZIONE

La valutazione elaborata dalla *DCMA* si articola in quattordici punti¹⁷:

1. *Missing Logic* o *Logica Mancante*;
2. *Leads (Negative Lags)* o *Anticipi (Ritardi Negativi)*;
3. *Positive Lags* o *Ritardi positivi*;
4. *Relationships* o *Relazioni tra attività*;
5. *Hard Constraints* o *Vincoli Rigidi*;
6. *High Total Float* o *Margine Totale di Scorrimento Elevato*;
7. *Negative Total Float* o *Margine Totale di Scorrimento Negativo*;
8. *High Duration Activities* o *Attività di Durata Elevata*;
9. *Invalid Dates* o *Date non Valide*
10. *Resource* o *Risorse*;
11. *Missed Tasks* o *Attività Mancate*;
12. *Critical Path Test* o *Test del percorso critico*;
13. *Critical Path Length Index (CPLI)* o *Indice di Lunghezza del Percorso Critico*;
14. *Baseline Execution Index (BEI)* o *Indice di Esecuzione della Baseline*.

ANALISI DEI 14 CRITERI DI VALUTAZIONE

In questo paragrafo viene proposta un'analisi di ciascun punto o criterio di valutazione previsto dalla DCMA. Per ciascun punto si esplicita l'oggetto posto a verifica, il criterio di verifica o la formula di

¹⁷ Montgomery, Steven J., «An Introduction to the DCMA 14-Point Assessment Guidelines», Tensix Consulting, 2019.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

verifica, le motivazioni sottese dalle limitazioni imposte, le conseguenze di un eventuale fallimento del criterio di valutazione e, laddove sia necessario per una migliore comprensione, alcuni casi esemplificativi.

ASSESSMENT 1 – MISSING LOGIC

Il primo criterio di valutazione prende in esame la logica del reticolo e, più precisamente, ricerca eventuali mancanze rispetto alla più completa descrizione del processo produttivo effettuabile tramite modellazione reticolare.

La logica del reticolo, come scritto nei capitoli precedenti, è il risultato della discretizzazione del processo in attività indivisibili o ambiti di progetto discreti e della definizione delle relazioni tra esse. Ricordiamo anche che il Precedence Diagramming Method nella forma Generalizzata prevede quattro tipologie di relazioni tra attività: FS o Finish to Start, SF o Start to Finish, SS o Start to Start, FF o Finish to Finish. La logica del reticolo viene tracciata tramite la definizione della relazione che intercorre tra l'inizio o la fine di una attività A detta Predecessore e l'inizio o la fine di una attività B detta Successore e iterando questa operazione per ciascuna attività che discretizza il progetto.

Dunque, un programma con logica di reticolo interamente definita, priva di mancanze, è un programma le cui *IPA List* e *ISA List* siano compilate per intero, ovvero un programma in cui per ciascuna attività vengono esplicitati in tabelle i relativi predecessori (logici) e successori (logici). È fatta eccezione per le attività speciali di progetto date dalla *source o sorgente*, la *milestone* che identifica l'inizio del progetto e che è priva di predecessori, e dal *sink o pozzo*, la *milestone* che identifica il completamento del progetto e che è priva di successori.

Quando tra le attività che discretizzano il processo ve ne sono alcune, fatta ancora eccezione per *pozzo e sorgente*, prive di successori e/o predecessori logici si parlerà di *dangling activities* o di *attività pendenti*.

Concretamente, il primo criterio di valutazione filtra il numero di *dangling activities*, lo mette a confronto con il numero di attività che alla *status date* (o *data date*) risultano incomplete e pone la seguente limitazione:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

$$\%Missing\ Logic = \frac{\#of\ tasks\ missing\ logic}{\# of incomplete tasks} \cdot 100 \leq 5\% \quad (16)$$

La valutazione del DCMA limita il numero delle *dangling activities* entro la soglia del 5% del totale delle attività incomplete di un programma, ovvero del totale delle attività per le quali alla *status date* non ne è stato registrato il completamento.

Per comprendere le motivazioni che risiedono dietro a questa limitazione analizziamo cosa significhi e cosa comporti la presenza di una *dangling activity*, specialmente qualora questa sia situata lungo il *Critical Path*.

Una programmazione alla data del suo aggiornamento, che chiamiamo *status date* o *data date* a seconda del software utilizzato, fornisce, per le attività situate alla sinistra della *status date* (nel passato), le date registrate di inizio/fine attività e, per le attività situate alla destra della *status date* (nel futuro), le date previste di inizio/fine attività. Se tra queste ultime – le attività che alla *status date* risultano incomplete – vi è una *dangling activity*, ovvero un'attività non connessa da dipendenze logiche di processo alle altre attività del reticolo, allora le date ad essa relative di inizio/fine attività, non potendo derivare dalla logica del reticolo, sono vincoli imposti dal responsabile della programmazione. Accade che, al momento di un successivo aggiornamento del programma, le date di inizio/fine attività, per tutte le attività correttamente connesse al reticolo, saranno ricalcolate automaticamente dal software sulla base dell'effettivo stato di avanzamento dei lavori, dando prova di un certo grado di dinamicità del reticolo, mentre la schedulazione della *dangling activity* resterà invariata e statica, con molta probabilità irrealistica.

Dunque, la DCMA limita l'utilizzo delle *dangling activities* in quanto esse minano la dinamicità della programmazione dei lavori rendendo il programma statico e non aggiornabile automaticamente sulla base dello stato di avanzamento lavori rilevato. Il rischio è di rendere il programma difficilmente aggiornabile e la schedulazione delle *dangling activities* priva di significato.

L'obiettivo del responsabile della programmazione è ottenere una calendarizzazione delle attività che deriva dalla logica del reticolo, ovvero stilare un programma dinamico che resti significativo a seguito degli aggiornamenti e degli inevitabili scostamenti dello stato di avanzamento rispetto alla *baseline*. Solo in questo modo la programmazione potrà continuare ad esercitare la sua funzione di strumento di controllo del processo produttivo.

ASSESSMENT 2 – NEGATIVE LAGS (LEADS)

Il secondo criterio di valutazione della DCMA prende in esame l'eventuale utilizzo di *Leads* o *Negative Lags*, che possiamo tradurre come *Anticipi* o *Ritardi Negativi*. I *Leads* sono intervalli di tempo che possono essere implementati in ciascuna tipologia di relazione tra attività prevista dal PDM nella forma Generalizzata. Essi associano ad una relazione tra attività un ritardo, nel caso dei *leads* negativo, quindi un anticipo, e, pertanto, sono anche detti “modificatori di ritardo”.

Prendendo ad esempio il caso che più comunemente si riscontra nella pratica di due attività con legame FS, Finish to Start, con *lead*, allora l'inizio del successore verrà anticipato rispetto alla fine del predecessore dell'intervallo di tempo fissata dal *lead*. In questo modo la relazione FS è resa meno rigida.

Il secondo criterio di valutazione ricava il numero di relazioni tra attività del programma cui sono associati ritardi negativi, lo mette a confronto con il numero totale di relazioni tra attività presenti nel reticolo e impone il rispetto della seguente limitazione:

$$\%Leads = \frac{\# \text{ of logic links with negative lags}}{\# \text{ of logic links}} \cdot 100 = 0\% \quad (17)$$

La DCMA vieta l'utilizzo dei *leads* nelle programmazioni dei lavori.

Nonostante questo divieto, alcuni *Project Manager* implementano i *leads* nelle relazioni tra le attività dei loro programmi, qualora non siano sottoposti a valutazione da parte della DCMA, in quanto sostengono che essi comportino alcuni vantaggi.

I *Project Managers* spesso scelgono di utilizzare i *leads* nelle loro programmazioni in quanto li percepiscono come una modalità per comprimere la durata del progetto consentendo, di fatto, l'esecuzione di due o più attività, prima poste in successione, in parallelo. In questa prospettiva i *leads* possono anche prendere il nome di “acceleratori di processo”.

La sostenibilità dell'incremento di produttività richiesto al cantiere con l'introduzione di questi “acceleratori” dovrebbe però essere verificata sulla base della disponibilità effettiva di risorse e di spazi di cantiere tali da non compromettere la sicurezza dei lavoratori e da consentirne la piena operatività.

Un'altra tesi sostenuta da coloro che utilizzano i *leads* nei loro programmi è che essi consentano di modellare il processo produttivo approssimando meglio l'effettiva realtà di cantiere.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Accade, invece, che la significativa distanza tra il programma, ovvero il modello reticolare, e il processo produttivo che il primo si propone di delineare sia dovuta ad uno scarso livello di dettaglio adottato nella programmazione. In questo caso l'introduzione di *leads* è sintomatica di programmazioni non sufficientemente dettagliate per cui, al posto dell'utilizzo di *leads*, si dovrebbero discretizzare ulteriormente le attività definendo meglio gli ambiti di progetto. In sintesi, l'alternativa migliore all'uso non solo dei *leads* ma dei ritardi in genere, sia positivi che negativi, è quella di utilizzare attività di durata inferiore e maggiormente dettagliate, possibilmente legate tra loro da relazioni di tipo Fine – Inizio. Ciò aumenterà la chiarezza e la comprensibilità del programma, caratteristiche che ne determinano la qualità.

Oltre a queste considerazioni, il divieto della DCMA sui *leads* è dovuto principalmente a due rischi connessi al loro utilizzo: il rischio di introduzione di tempi di attesa e il rischio di violazione della logica del reticolo.

Relativamente al rischio di introduzione di tempi di attesa, la casistica che si presenta di frequente è quella di due attività, A predecessore di B e B successore di A, connesse da una relazione Fine – Inizio con ritardo negativo o anticipo pari a Δt . L'inizio del successore B viene anticipato rispetto al completamento del predecessore A di un intervallo di tempo Δt sulla base della durata prevista per l'esecuzione di A. Se la durata prevista per l'esecuzione del predecessore A non coincide con quella effettiva, ovvero il completamento di A scorre in avanti nel tempo, si verificherà un tempo di attesa lungo lo svolgimento del successore B. Pertanto, l'uso di ritardi negativi richiede la conoscenza esatta del futuro andamento dei lavori, pena l'introduzione di tempi di attesa.

Altri svantaggi sui ritardi, sia positivi che negativi, sono analizzati nel paragrafo successivo.

ASSESSMENT 3 – POSITIVE LAGS

La valutazione della DCMA, dopo aver preso in esame i *Negative Lags* o *Leads*, procede, nel suo terzo criterio di valutazione, all'esamina dei *Positive Lags*, i ritardi positivi, i quali sono ancora detti “modificatori di ritardo” in quanto introducono un ritardo in una relazione tra attività.

Consideriamo il caso, già preso ad esempio nel paragrafo sui *leads*, di due attività, A predecessore di B e B successore di A, connesse da una relazione Finish to Start. La presenza della relazione Finish to Start rende il completamento del predecessore A condizione necessaria e sufficiente all'inizio dell'attività B. Se, però, al legame FTS è associato un ritardo positivo Δt allora l'inizio dell'attività B è subordinato non più soltanto al completamento del predecessore ma occorrerà attendere il

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

trascorrere di un intervallo di tempo pari a Δt dal completamento di A per poter procedere con il successore B.

Il terzo criterio di valutazione della DCMA filtra il numero di relazioni tra attività cui sono associati ritardi positivi, lo mette a confronto con il numero totale di relazioni utilizzate dal reticolo e impone il rispetto della seguente limitazione:

$$\%Positive\ lags = \frac{\# \text{ of logic links with positive lags}}{\# \text{ of logic links}} \cdot 100 \leq 5\% \quad (18)$$

Pertanto, mentre l'uso di ritardi negativi è vietato dalla valutazione a 14 punti, l'utilizzo di ritardi positivi è ammesso. La DCMA richiede che il numero di relazioni cui è associato un ritardo positivo rientri nella soglia del 5% del numero di relazioni del reticolo.

Tra le tesi a sostegno dell'utilizzo dei ritardi positivi ritroviamo quella, già discussa per il caso dei ritardi negativi, che vede il ritardo positivo come uno strumento per rendere il programma descrittivo e aderente alla realtà di cantiere. Ancora una volta, la distanza tra programma e reale svolgimento delle lavorazioni che si vuole colmare tramite l'uso del ritardo è in realtà sintomatica di uno scarso livello di dettaglio della programmazione.

Tra gli svantaggi dell'uso dei ritardi positivi, la DCMA indica una riduzione delle caratteristiche quali chiarezza e comprensibilità in quanto il ritardo, a differenza delle attività esplicite, può non essere giustificato. Mentre un'attività esplicita è descritta da un ambito di lavoro noto, un ritardo nel programma riporta solamente un valore di tempo e non sempre riporta le motivazioni che sottendono l'inserimento di un tempo di attesa programmato. Inoltre, all'interno del diagramma di Gantt – output visivo – i ritardi sono meno visibili rispetto alle attività in quanto sono rappresentati da una linea, mentre le attività sono rappresentate da barre.

Infine, così come visto per i vincoli, una modifica apportata ad un'attività a seguito del rilevamento dello stato di avanzamento lavori non si propaga automaticamente ai ritardi; i ritardi non sono aggiornati in automatico e questo riduce la dinamicità della programmazione.

Un'alternativa all'uso dei ritardi, sia positivi che negativi, è suggerita nella seconda edizione dei *PMI's Practice Standard for Scheduling* e consiste nel sostituire i ritardi con attività esplicite. In questo modo si provvede a restituire alla programmazione chiarezza, dettaglio e dinamicità. Le prime due caratteristiche, chiarezza e dettaglio, sono dovute al fatto che un'attività è descritta da un ambito di lavoro noto e, in questo modo, aumenta la leggibilità da parte di tutti gli stakeholders. L'aumento

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

di dinamicità si ha in quanto si elimina il ritardo che abbiamo detto non essere automaticamente aggiornabile, a differenza delle attività esplicite. Aumenta anche il controllo esercitabile dal *Project Manager* in quanto il ritardo trasformato in attività è monitorabile nel suo stato di avanzamento.

Una problematica sorge in quei casi in cui le attività che sostituiscono i ritardi non prevedono consumo di risorse ma solo un consumo di tempo, entrando in contrasto con altri criteri di valutazione della DCMA. Anche in questo caso, tuttavia, è preferibile utilizzare attività esplicite al posto dei ritardi. Si pensi al tempo di indurimento del calcestruzzo che, anche se rappresentato come attività, non prevede un consumo di risorse associato.

ASSESSMENT 4 – RELATIONSHIPS

Attività e relazioni tra attività sono gli elementi che costituiscono un modello reticolare e che definiscono la logica del reticolo. Il *Precedence Diagramming Method* nella forma Generalizzata prevede quattro tipologie di relazioni tra attività ovvero le relazioni *FS o Fine – Inizio*, *SF o Inizio – Fine*, *SS o Inizio – Inizio*, *FF o Fine – Fine*. Nel capitolo sul PDM Generalizzato è stata fornita una descrizione dettagliata delle quattro tipologie di relazioni.

La DCMA consente l'utilizzo di tutte le tipologie di relazioni. Tuttavia, ciò non avviene in modo indiscriminato. Infatti, il quarto criterio di valutazione filtra il numero di relazioni di tipo *FS – Finish to Start o Fine – Inizio*, lo mette a confronto con il numero di relazioni totale utilizzato nel programma e impone la seguente limitazione:

$$\%FS Relationships = \frac{\# \text{ of logic links with FS Relationships}}{\# \text{ of logic links}} \cdot 100 \geq 90\% \quad (19)$$

In base a questo criterio occorre prediligere l'uso di relazioni di tipo *FS* e questo con l'obiettivo di favorire la comprensibilità e la chiarezza della programmazione.

La qualità di un programma è dovuta sia alla caratteristica di dinamicità sia a quelle di chiarezza e comprensibilità. Una programmazione di qualità non deve solo essere in grado di propagare gli effetti di un cambiamento su di un'attività a tutte le altre attività del processo, ma deve anche poter essere compresa da tutti gli stakeholders. Se la presenza di link logici tra attività rende un programma dinamico, la chiarezza di una programmazione è in gran parte determinata dalla tipologia di relazioni tra attività.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Per questa motivazione la DCMA impone che almeno il 90% delle relazioni tra attività siano di tipo *Fine – Inizio* in quanto queste sono di più facile comprensione. Viceversa, la relazione *Inizio – Fine* risulta difficile da comprendere ed è, quindi, meglio limitarne l'inserimento a situazioni estremamente rare. Infine, non più del 10% delle relazioni può essere di tipo *Inizio – Inizio o Fine – Fine*. Queste, spesso associate ad un modificatore di ritardo, devono essere utilizzate solo per quelle situazioni in cui descrivono la vera natura della dipendenza e non con il semplice fine di accelerare il programma. La soluzione da adottare, come per la limitazione sul numero dei ritardi, è sostituire le relazioni *Inizio – Inizio o Fine – Fine* con *lags* dividendo ulteriormente le attività in sotto-attività di minore durata connesse da relazioni di tipo *Fine – Inizio* senza l'uso di *lags*.

ASSESSMENT 5 – HARD CONSTRAINTS

Le attività pianificate descrivono la totalità delle operazioni da svolgere per ottenere un risultato finale avente precise caratteristiche non solo in termini di prestazioni ma anche in termini temporali. Ciò significa che generalmente vengono fissate date contrattuali per il raggiungimento di alcune *milestones* il cui mancato rispetto può comportare sanzioni finanziarie o penalità di altro tipo. Pertanto, i vincoli in una programmazione sono condizioni aggiuntive imposte sulle date di inizio e di fine attività o sul raggiungimento di un obiettivo di progetto o *milestone* come la data di consegna o le date degli Stati di Avanzamento Lavori (SAL).

Software di programmazione come Primavera P6 Professional e Microsoft Project consentono l'inserimento di vincoli temporali che vengono classificati in *hard constraints* (vincoli rigidi) e *soft constraints* (vincoli flessibili). Questa classificazione avviene in base al diverso ordine gerarchico tra il vincolo e la logica di rete. Il rispetto di un *soft constraint* è subordinato al rispetto della logica del reticolo, le relazioni tra le attività, mentre il rispetto della logica del reticolo è subordinata al rispetto di un *hard constraint*. Ne consegue che, mentre l'uso di un vincolo flessibile non può portare a violazioni della logica del reticolo ma, talvolta, a margini di scorrimento negativi, l'utilizzo di vincoli rigidi non garantisce il rispetto della logica di reticolo.

In Microsoft Project, nella tabella delle attività alle colonne *Constraints Type* e *Constraints Date*, è possibile definire la tipologia di vincoli – rigido o flessibile – e le relative date imposte alle attività del processo. I vincoli *As Soon As Possible (ASAP)* e *As Late As Possible (ALAP)* inseribili in Microsoft Project sono vincoli di tipo *soft* che spostano semplicemente un'attività all'interno del relativo margine di scorrimento e che, pertanto, non comportano né violazioni di logica né margini di scorrimento negativi. Il vincolo flessibile *Start No Earlier Than (SNET)*, viceversa, può portare a

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

margini di scorrimento negativi mentre le tipologie di *hard constraints* inseribili in Microsoft Project sono: *Must Start On (MSO)*, *Must Finish On (MFO)*, *Start No Later Than (SNLT)* e *Finish No Later Than (FNLT)*.

Una possibilità offerta da Microsoft Project è quella di disattivare l'opzione “*tasks will always honor their constraints dates*”. In questo modo le relazioni tra attività non verranno infrante e, per le *milestones* e le *tasks* che non riusciranno a rispettare le date di vincolo, verranno mostrate, nella colonna “*Total Slack*” della tabella delle attività, valori negativi di margine di scorrimento con un avviso che segnala il mancato rispetto dei termini contrattuali.

Primavera P6 Professional, invece, consente l'inserimento dei vincoli rigidi *Mandatory Start (MS)* e *Mandatory Finish (MF)*, con possibili violazioni della logica di rete, e dei vincoli flessibili *Start On (SO)*, *Finish On (FO)*, *Start On Or Before (SOOB)* e *Finish On Or Before (FOOB)*, con possibili valori negativi di margini di scorrimento nella colonna “*Total Slack*” della tabella delle attività.

Quindi, sia in Microsoft Project che in Primavera P6 Professional, occorre monitorare la colonna “*Total Slack*” sui margini di scorrimento e correggere le situazioni in cui siano presenti valori negativi.

Definito in cosa consiste un vincolo e quali tipologie di vincoli siano implementabili nei software più comunemente utilizzati per la redazione delle programmazioni, affrontiamo quanto prescritto dalla valutazione in quattordici punti della DCMA.

Il quinto criterio di valutazione della DCMA considera le attività che alla *status date* risultano incomplete; di queste ricava il numero di attività con vincoli rigidi e lo confronta con il numero complessivo di attività incomplete tramite l'imposizione del rispetto della seguente limitazione:

$$\% \text{ Hard Constraints} = \frac{\text{Total \# of incomplete tasks with hard constraints}}{\text{Total \# of incomplete tasks}} \cdot 100 \leq 5\% \quad (20)$$

Pertanto, la DCMA non vieta l'uso di *hard constraints* ma ne limita in numero a non più del 5% delle attività che alla *status date* risultano incomplete.

La DCMA pone delle limitazioni all'uso dei vincoli rigidi in quanto questi comportano oltre a possibili violazioni della logica del reticolo anche una riduzione della dinamicità della programmazione.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Abbiamo sottolineato più volte come una programmazione di qualità sia una programmazione dinamica, ovvero in cui l'aggiornamento delle date di inizio e fine attività e delle *milestones* avviene in modo automatico. Il problema principale dei vincoli è che essi minano la qualità del programma in quanto rendono la programmazione statica e incapace di propagare in modo automatico modifiche e aggiornamenti all'intera programmazione.

Subordinando la logica di reticolo ai vincoli contrattuali, il diagramma di Gantt mostrerà certamente il rispetto delle date imposte. Tuttavia, il successo del progetto in termini temporali, visualizzato sul diagramma, può essere fittizio, in quanto ottenuto solamente mediante la violazione della logica di rete. Ne consegue che, sebbene il diagramma di Gantt mostri date di completamento delle attività e raggiungimento delle *milestones* in linea con i vincoli contrattuali, di fatto la logica di reticolo è stata violata e le date contrattuali non verranno, pertanto, ugualmente rispettate.

In conclusione, sebbene l'introduzione di *hard constraints* possa comportare violazioni della logica di rete, il loro utilizzo non può essere sempre evitato in quanto i vincoli contrattuali sulle date sono condizioni esterne imposte al progetto che le parti coinvolte nel contratto sono obbligate a rispettare. La buona pratica di programmazione richiede che siano effettuate revisioni periodiche sui vincoli come parte di ogni operazione di aggiornamento del programma per garantire che siano stati inseriti solo il numero minimo necessario di vincoli definiti nell'*Integrated Master Schedule (IMS)*.

ASSESSMENT 6 – HIGH FLOAT

Il sesto criterio di valutazione esamina la presenza di attività con margini di scorrimento elevati. Di questi ultimi si è discusso in dettaglio al capitolo sul *Precedence Diagramming Method*, paragrafo sulla *Teoria dei margini di attività*. Ricordiamo brevemente che il *Total Float* o margine di scorrimento (positivo) di un'attività rappresenta l'intervallo di tempo di cui tale attività può essere ritardata o “scorrere nel tempo”, da cui margine di *scorrimento*, senza determinare ritardi sulle altre attività del processo e/o sulla data di completamento dei lavori. Il *Total Float* (positivo) è, dunque, un margine di sicurezza nei confronti di situazioni imprevedibili che causano ritardi o di prolungamenti di durata di un'attività, in quanto questa è stimata in base a considerazioni statistiche e potrebbe non corrispondere a quella effettivamente richiesta per l'esecuzione di quell'attività.

Secondo la DCMA un margine di scorrimento è da considerarsi elevato quando supera i 44 giorni lavorativi, corrispondenti a due mesi. Il criterio di valutazione ricava il numero di attività incomplete alla *status date* con margini di scorrimento pari o superiori a 44 giorni, lo mette a confronto con il numero complessivo di attività incomplete e impone il rispetto della seguente limitazione:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

$$\%High\ Float = \frac{\text{Total } \# \text{ of incomplete tasks with High Float}}{\text{Total } \# \text{ of incomplete tasks}} \cdot 100 \leq 5\% \quad (21)$$

Pertanto, il numero di attività incomplete alla *status date* con scorrimenti elevati non deve superare la soglia del 5% del totale delle attività incomplete.

Il valore di 44 giorni lavorativi corrisponde a due mesi, ovvero a due periodi di rendicontazione secondo la scala tipica dell'*Earned Value Management Integrated System* ed esso viene adottato dalla DCMA come valore soglia per identificare valori di margine di scorrimento elevati di un'attività indipendentemente dal tipo di progetto. Ci si può chiedere se non sia meglio adattare questo valore soglia alle dimensioni di progetto e quali siano le motivazioni che sottendono questa scelta. La scelta di 44 giorni come valore soglia deriva dall'esperienza nell'analisi di programmazioni di durata variabile, in quanto sembra fornire la scala di dettaglio che consente di analizzare il grado di connessione di un'attività a predecessori e/o successori logici, nonché a monitorarne il progresso.

Sebbene i margini di scorrimento forniscano un margine di sicurezza e, pertanto, siano apprezzabili, margini di scorrimento di un'attività eccessivamente elevati possono essere dovuti alla mancanza di definizione di successori e/o predecessori, ovvero indicano che probabilmente l'attività che presenta un margine di scorrimento elevato è una *dangling activity*, con tutti gli svantaggi connessi discussi al paragrafo “*Assessment 1 – Missing Logic*”.

Per questo motivo, la valutazione in 14 punti della DCMA suggerisce di esaminare periodicamente tutte le attività con *high total float* e verificare che siano stati identificati correttamente i relativi predecessori e successori logici.

ASSESSMENT 7 – NEGATIVE FLOAT

Il settimo criterio di valutazione ha ad oggetto, similmente al sesto criterio, il *Total Float*, nel caso in cui questo assuma però valori minori di zero (negativi). Il *Total Float*, spesso indicato nei software di programmazione con la dicitura *Total Slack*, è una proprietà che può essere calcolata per ciascuna attività del programma. Il reticolo viene percorso con gli algoritmi dell'analisi in avanti e dell'analisi all'indietro; quindi, il *Total Float* di un'attività viene calcolato come differenza tra la schedulazione dell'attività al più tardi, la data di inizio al più tardi dell'attività, e la schedulazione dell'attività al più presto, la data di inizio al più presto dell'attività. Esso può assumere non solo valori positivi – nel paragrafo precedente è stata presa in esame proprio questa casistica – ma anche valori nulli o negativi.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Se, per un'attività, siamo in presenza di valori di *Total Slack* positivi, questa è una situazione favorevole in quanto significa che l'attività può essere ritardata senza influire sulla data di ultimazione dell'attività o di completamento di progetto. Consideriamo ora i casi di margini di scorrimento nulli e negativi.

Un margine di scorrimento nullo per un'attività indica che tale attività è critica per i tempi senza possibilità di subire ritardi, pena l'impossibilità di rispettare le date fissate per il completamento dell'attività o per il completamento di progetto. Tutte le attività collocate sul percorso critico hanno valore nullo di *Total Float* per definizione di *Critical Path* ed esse determinano semplicemente la durata del processo come somma delle durate delle attività collocate sul percorso.

Valori negativi di margine di scorrimento indicano che le date contrattuali o date target fissate non potranno essere rispettate ed essi non sono ammessi dalla valutazione della DCMA.

Il settimo criterio di valutazione della DCMA, infatti, ricerca le attività con margine di scorrimento negativo, tra le attività incomplete alla data di rilevamento o *status date*, lo confronta con il numero complessivo di attività incomplete e pone la seguente limitazione:

$$\% \text{Negative Float} = \frac{\text{Total \# of Incomplete Tasks with Negative Float}}{\text{Total \# of Incomplete Tasks}} \cdot 100 = 0\% \quad (22)$$

La soglia di tolleranza per margini di scorrimento negativi è nulla. Pertanto, i programmi non dovrebbero prevedere alcun margine di scorrimento negativo.

Si noti che, pur essendo il *total float* una proprietà di un'attività, essa dovrebbe considerarsi quale *attributo di un percorso*, in quanto tutte le attività su di uno stesso percorso condividono anche lo stesso valore di *total float*.

Per le attività con *total float* negativo deve essere previsto un piano di mitigazione. È possibile individuare diverse strategie di mitigazione dei margini di scorrimento negativi.

Fast Tracking: creazione di percorsi paralleli da percorsi sequenziali

Una prima strategia per la mitigazione di *total float* negativi consiste nell'esaminare le concatenazioni di attività unite da legami di tipo Fine – Inizio e ricercare quelle attività che non necessariamente devono essere svolte in successione; quindi, disporre queste attività, prima poste in sequenza, in parallelo. Ciò può consentire un notevole risparmio di tempo senza ripercussioni né sulla qualità né sullo scopo del prodotto finale. Questa strategia è detta *Fast Tracking* e, nell'ottica

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

dell'ottimizzazione della programmazione, è la strategia più efficiente di mitigazione di *negative total float*. Tuttavia, essa comporta spesso la sostituzione di relazioni Fine – Inizio con relazioni di tipo Inizio – Inizio, associate a ritardi positivi, il cui utilizzo dovrebbe essere ridotto al minimo e, pertanto, dovrebbe essere giustificato e documentato nella *Quantitative Backup Documentation (QBD)*.

Crashing the Schedule: aggiunta di risorse

La strategia detta *crashing the schedule* consiste nell'incremento di risorse per lo svolgimento delle attività ipercritiche. In questo modo resta invariata la sequenza tra attività – o logica di reticolo – mentre la durata di processo viene ridotta tramite un incremento della produttività. Tuttavia, questa strategia presenta in realtà numerose criticità e, anche quando porta ad un effettivo aumento di produttività, con alta probabilità provocherà un aumento dei costi.

La prima criticità è data dalla curva di apprendimento. Le risorse supplementari, infatti, quando e se disponibili, potrebbero richiedere un periodo iniziale per prendere familiarità con l'ambiente di lavoro e la mansione da svolgere. Ne consegue che inizialmente l'aumento di produttività sarà, probabilmente, scarso, e non vi è garanzia che in seguito si verifichi un aumento di produttività tale da determinare il risparmio di tempo necessario a mitigare il margine di scorrimento negativo.

L'incremento di risorse può avvenire soltanto se lo spazio di lavoro è adeguato ad accoglierlo senza inficiare la sicurezza dei lavoratori e adatto a fornire spazi idonei a consentire un effettivo aumento di produttività delle squadre.

Infine, occorre tenere conto della *legge dei rendimenti decrescenti* secondo la quale l'aggiunta di risorse comporta un impatto sempre minore sulla produttività, quindi sui tempi di svolgimento di un'attività, fino al raggiungimento di un punto di inversione dove si verifica una diminuzione della produttività a fronte di ulteriori incrementi di risorse. Ciò è dovuto ad un incremento dei problemi di comunicazione e ad altri fattori come l'inadeguatezza degli spazi.

Per tutte queste ragioni, l'aggiunta di risorse spesso non è la strategia migliore da adottare al fine della mitigazione del *negative total float*.

Altre strade possibili sono:

- controllare i valori delle durate stimate delle attività collocate sul percorso critico, talvolta sovrastimate dal programmatore in situazioni di carenza di informazioni;

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- controllare il valore delle durate stimate per i ritardi (positivi) presenti sul percorso critico e della collocazione dei tempi di attesa. Ad esempio, l'esecuzione dei getti potrebbe essere calendarizzata in modo da far coincidere almeno parzialmente il tempo necessario all'indurimento del calcestruzzo con periodi di fermi lavorativi;
- ricercare le attività sul percorso critico con durate estremamente elevate e valutarne la suddivisione in attività più brevi eseguibili parallelamente;
- infine, nel caso in cui anche avendo applicato tutte le strategie viste non si sia riusciti a eliminare *total float* negativi, valutare se modificare l'ambito di progetto, ovvero valutare quali risultati sono necessari e quali invece possono venir meno. Ciò modifica lo scopo e riduce la qualità del prodotto ma potrebbe essere l'unica opzione per portare a termine il progetto.

ASSESSMENT 8 – HIGH DURATION TASKS

In un modello reticolare, fatta eccezione per le *milestones*, a ciascuna attività deve essere associata una durata stimata. In base alla valutazione in 14 punti della DCMA, un'attività è classificata come *high duration task* quando il valore di durata supera i 44 giorni lavorativi, corrispondenti a due mesi nel cronoprogramma, indipendentemente dalle dimensioni del progetto.

Il criterio di valutazione della DCMA sulle *high duration tasks* prende ad esame le attività incomplete, ovvero alla destra della *status date*, di queste ultime filtra tutte le attività con durata pari o maggiore a 44 giorni lavorativi, le confronta con il numero complessivo di attività incomplete e pone la seguente limitazione:

$$\% \text{High Duration Tasks} = \frac{\text{Total \# of incomplete tasks with high duration}}{\text{Total \# of incomplete tasks}} 100 \leq 5\% \quad (23)$$

Viene, quindi, posta una soglia limite del 5% sul totale delle attività incomplete all'utilizzo delle attività di durata elevata.

Si noti che dal conteggio delle *high duration activities* vanno escluse le attività di approvvigionamento e le *Level of Effort* o attività a livello di impegno. Si noti anche che il valore soglia di 44 giorni lavorativi è lo stesso utilizzato in precedenza per definire i margini di scorrimento (positivi) elevati o *high total float* e che dietro la scelta di questo valore sono sottese le medesime motivazioni.

Affrontiamo le motivazioni che hanno portato la DCMA a porre un limite all'utilizzo di attività di lunga durata, ovvero esaminiamo quali sono gli svantaggi ad esse associati.

Monitoraggio del progresso delle high duration activities

Le programmazioni generalmente vengono monitorate a cadenza mensile. Pertanto, l'utilizzo di attività di durata maggiore a due mesi, corrispondenti a 44 giorni lavorativi, rende difficile monitorare lo stato e/o l'avanzamento di una programmazione. Attività brevi, viceversa, discretizzano dettagliatamente il progetto e contribuiscono ad una maggiore chiarezza e dettaglio sulle operazioni da eseguire e sullo stato di avanzamento dei lavori.

Modifiche in corso di esecuzione alle high duration activities

La durata elevata delle attività aumenta la probabilità che si rendano necessarie modifiche alle lavorazioni da svolgere durante l'esecuzione delle *high duration activities*. Questi cambiamenti nella definizione delle lavorazioni possono comportare modifiche alla *baseline* e richiedere lo svolgimento su di essa delle procedure di controllo.

Durate inesatte associate alle high duration activities e distorsioni del Critical Path

Le attività hanno un margine di errore proporzionale alla durata dell'attività. Se le attività sono lunghe e poco dettagliate, anche la loro durata prevista potrebbe distanziarsi di molto dalla durata effettivamente necessaria a tale attività. Se queste attività sono collocate sul percorso critico e ne determinano la lunghezza allora la durata di progetto, coincidente con la somma delle durate delle attività sul percorso critico, risulta distorta, sia in positivo che in negativo. Pertanto, un ulteriore svantaggio dell'utilizzo delle *high duration activities* consiste nella probabile distorsione del percorso critico e in durate stimate di progetto errate, sia sovrastimate che sottostimate.

Implementazione di Leads in relazioni Fine – Inizio tra high duration activities

Aumentando la durata di un'attività, riducendone il livello di dettaglio, diminuisce probabilmente anche la rigidità delle relazioni Fine – Inizio ovvero l'implicazione per cui la *high duration activities* debba essere completata interamente prima di iniziare il successore. Di conseguenza si è tentati di inserire un *lead* tra una *high duration activity* e il suo successore, con le conseguenze viste al relativo paragrafo legate fondamentalmente alla natura predittiva dei *leads* per il quale un *lead* richiede la previsione esatta dell'andamento dei lavori pena l'introduzione di tempi di attesa.

Visti gli svantaggi dell'uso delle *high duration activities*, all'atto della programmazione è buona pratica discretizzare il progetto in attività dettagliate di breve durata. Ci si domanda come agire nel caso di progetti di durata estrema, anche di decenni, per cui in questa situazione può risultare difficile

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

rispettare la soglia dei 44 giorni lavorativi. A questo proposito, una pratica comune nell'*Earned Value Project Management* è la *Rolling Wave Planning* che consiste in una programmazione fatta *per fasi* nella quale le attività vicine nel tempo vengono suddivise in *Discrete Work Packages*, ovvero sono pianificate dettagliatamente, mentre le attività lontane nel tempo sono definite in modo generale e flessibile e sono etichettate come *Planning Packages*, la cui pianificazione più approfondita è demandata ad un momento successivo. Queste ultime *high duration activities* devono rientrare nella soglia del 5% fissata dalla DCMA.

ASSESSMENT 9 – INVALIDE DATES

Premettiamo il significato di *data date* o *status date*, il primo termine adottato in Primavera P6 Professional ed il secondo il Microsoft Project. Con *status date* o *data date* si intende l’ultima data di aggiornamento della programmazione nella quale sono stati registrati stati e avanzamenti di tutte le attività del programma. Lo stato di un’attività è denotato in relazione alla *status date* o *data date*, per cui tutte le attività completate devono collocarsi alla sua sinistra mentre tutte le attività incomplete devono collocarsi alla sua destra.

Con *Invalid Dates* si intendono errori nel programma o situazioni illogiche nella quale le attività previste, non ancora effettivamente eseguite, hanno date di inizio e/o di fine attività calendarizzate alla sinistra della *status date* o *data date*, quindi nel passato, e/o nella quale le attività completate hanno date di inizio e/o di fine attività calendarizzate alla destra della *status date*, quindi nel futuro.

La soglia di tolleranza della DCMA per queste casistiche è nulla. Nel programma non possono esservi *invalid dates*, per cui la loro presenza deve essere ricercata e, in caso positivo, corretta spesso manualmente.

La presenza di *invalid dates* in un programma è dovuta alla rigorosità delle procedure di aggiornamento della programmazione; queste situazioni possono verificarsi sia in Microsoft Project che in Primavera P6 Professional. Dunque, occorre accertarsi che nel programma non siano presenti *invalid dates* ed eventualmente apportare le dovute correzioni.

Invalid Dates in Microsoft Project

In Microsoft Project possono presentarsi entrambe le casistiche di attività previste poste alla sinistra della *status date* e di attività completate poste alla destra della *status date*. Nella tabella delle attività

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

sono riportate le colonne *Start*, ovvero inizio da *baseline*, *Finish*, ovvero fine da *baseline*, *Actual Start*, ovvero inizio effettivo, e *Actual Finish*, ovvero fine effettiva (registrata).

Occorre filtrare tutte le seguenti casistiche di attività con *Invalid Dates*:

$$1. \text{ } Start < Status Date \text{ and } Actual Start = NA \quad (24)$$

$$2. \text{ } Finish < Status Date \text{ and } Actual Finish = NA \quad (25)$$

In queste casistiche abbiamo attività con inizio e/o fine calendarizzate da *baseline* nel passato, alla sinistra della *status date*, il cui inizio e/o fine non è ancora stato registrato quindi devono ancora verificarsi.

$$3. \text{ } Start > Status Date \text{ and } Actual Start < Status Date \quad (26)$$

$$4. \text{ } Finish > Status Date \text{ and } Actual Finish < Status Date \quad (27)$$

In queste casistiche abbiamo attività con inizio e/o fine calendarizzate da *baseline* nel futuro, alla destra della *status date*, in cui inizio e/o fine è stato registrato quindi è già avvenuto.

In Microsoft Project le correzioni vengono apportate manualmente.

Invalid Dates in Primavera P6 Professional

In Primavera P6 Professional le procedure per l'aggiornamento dello stato delle attività sono più rigorose rispetto a quelle implementate in Microsoft Project. All'atto dell'aggiornamento della programmazione, la quota parte incompleta delle attività viene spostata automaticamente alla destra della *data date*, ovvero nel futuro.

Pertanto, in Primavera P6 Professional le *invalid dates* eventualmente presenti ricadono esclusivamente nelle seguenti casistiche:

$$1. \text{ } Start > Data Date \text{ and } Activity status = Completed \quad (28)$$

$$2. \text{ } Finish > Data Date \text{ and } Activity status = Completed \quad (29)$$

Ovvero i casi in cui l'inizio e/o la fine di attività completate, con stato di attività “*completed*”, hanno date previste di inizio e completamento calendarizzate dopo la *data date*, quindi nel futuro.

ASSESSMENT 10 – RESOURCES

Il decimo criterio di verifica della qualità di una programmazione prende in esame la completezza dell’assegnazione delle risorse alle attività di un programma, qualora questo sia previsto. Il caricamento delle risorse, o assegnazione di risorse, non è di base obbligatorio, ma talvolta può essere richiesto dal contratto o dalla tecnica di *project management* adottata, come accade per l’*Earned Value Management*. In questi casi la DCMA prescrive che il caricamento non possa omettere alcuna risorsa, ovvero tutti i costi associati a manodopera, materiali, attrezzature o altro devono essere interamente assegnati alle rispettive attività. Ciò si applica a tutte le attività, comprese le attività a livello di impegno – *Level Of Effort (LOE)* – ad eccezione delle *milestones*.

Il criterio di valutazione della DCMA filtra il numero di attività incomplete con risorse associate mancanti, lo mette a confronto con il numero complessivo di attività incomplete e impone il rispetto della seguente limitazione:

$$\% \text{ Missing Resources} = \frac{\text{Total # of Incomplete Tasks with Missing Resources}}{\text{Total # of Incomplete Tasks}} \cdot 100 = 0\% \quad (30)$$

La soglia di tolleranza per le attività con risorse associate mancanti è nulla.

Questo criterio potrebbe entrare in contrasto con la strategia di eliminazione dei ritardi vista al paragrafo sui *positive lags* o ritardi positivi. Una possibilità precedentemente individuata per ridurre il numero di ritardi positivi – i *leads* non sono ammessi – è quella di sostituirli con attività esplicite, le quali però possono non comportare un consumo di risorse. In ogni caso l’utilizzo di attività esplicite senza risorse associate è preferibile all’uso di ritardi, privilegiando le caratteristiche di chiarezza e dinamicità di una programmazione.

L’esempio più comune è il tempo necessario all’indurimento del calcestruzzo: per inserire l’indurimento del calcestruzzo in una programmazione è preferibile modellarla come attività esplicita con durata assegnata, pur non comportando un consumo di risorse che non vengono ad essa assegnate.

ASSESSMENT 11 – MISSED TASKS

Ricordiamo nuovamente il significato di *status date* o *data date*, che consiste nell’ultima data di aggiornamento della programmazione nella quale sono stati registrati stati e avanzamenti di tutte le attività del programma.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Con *baseline* intendiamo, invece, la definizione della programmazione nello stato iniziale di progetto relativamente all’ambito, ai costi e alle date fissate per l’esecuzione delle attività. La *baseline* è il punto di riferimento rispetto al quale misurare l’avanzamento dei lavori e le prestazioni del prodotto. Di seguito è abbreviata come “*BL*”.

Le *Missed Tasks* o attività “mancate” comprendono tutte le attività che, alla *status date* o *data date*, non hanno rispettato le rispettive *Finish Dates Baseline*, ovvero le date di completamento fissate nella *baseline* di progetto.

Il criterio della DCMA sulle *Missed Tasks* conteggia queste ultime e le mette a confronto con il numero di attività e *milestones*, che, alla *status date* o *data date*, dovrebbero essersi concluse in riferimento alla *baseline* di progetto. Il criterio consiste nella seguente verifica:

$$\% \text{ Missed Tasks} = \frac{\# \text{ of tasks with Actual or Forecast Finish Date Past BL Date}}{\# \text{ of tasks with BL Finish Date on or Before Status Date}} \cdot 100 \leq 5\% \quad (31)$$

Al numeratore vengono conteggiate le *attività le cui date di completamento registrate o previste sono successive alle date di completamento da baseline*: le *Missed Tasks*.

Al denominatore vengono conteggiate le *attività le cui date di completamento da baseline sono pari o antecedenti alla status date o data date*: detto *Baseline Count*.

Il criterio sulle *Missed Tasks* fornisce un indicatore di aderenza del reale andamento dei lavori alla *baseline* di progetto. Effettuare regolarmente questa verifica consente di rilevare in anticipo situazioni di scostamento ed effettuare le necessarie azioni correttive per riallineare l’avanzamento dei lavori alla programmazione, prevenendo ritardi.

Si possono individuare alcune limitazioni. Il criterio aumenta di sensibilità al diminuire del numero delle attività del programma, ovvero è più sensibile per progetti di breve durata e meno sensibile per progetti di lunga durata. Non vengono fatte distinzioni tra attività situate sul percorso critico, e tra attività che hanno margini di scorrimento elevati o nulli. È un criterio molto rigoroso che conteggia tutte le attività che hanno mancato le rispettive date di fine con tolleranza nulla, quindi anche attività completate pochi giorni dopo la *finish date baseline*.

La procedura in Primavera P6 Professional per la verifica delle *Missed Tasks* prevede i seguenti passaggi:

1. *Baseline Count*

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Si conteggia il numero di attività con completamento da *baseline* antecedente o pari alla *data date* tramite l'applicazione del filtro:

Filter Name: Baseline Count

- *Displays all rows:* where
- *Parameter:* (All the following) BL Project Finish
- *Is:* is less than or equals
- *Value:* DD

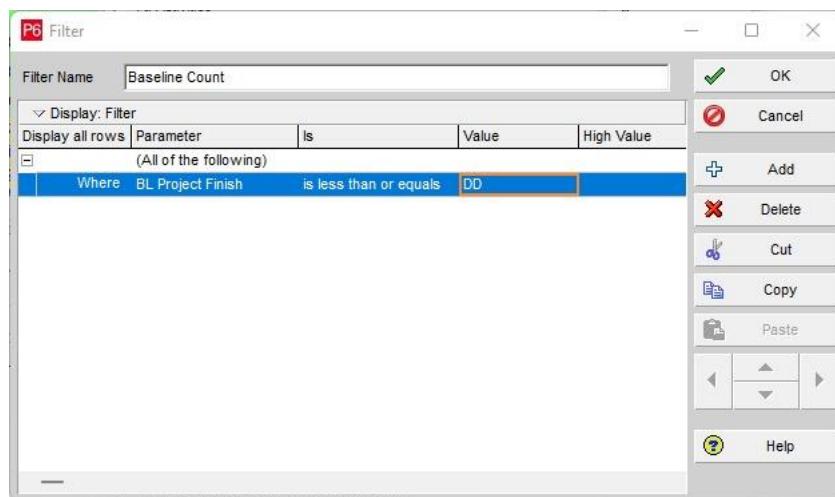


Fig. 12 Screenshot del filtro Baseline Count da Primavera P6

Che possiamo leggere nel seguente modo: “mostra tutte le barre in cui la fine da *baseline* di progetto è minore o pari alla *data date*”. Si procede alla conta delle attività evidenziate dal programma.

2. Missed Tasks Count

Si conteggia il numero di attività, tra le attività del *baseline count*, che alla *data date* sono state completate con uno scostamento minore di zero giorni rispetto alla data di completamento prevista dalla *baseline*, quindi, dopo le rispettive *Finish Dates Baseline*. Si applica il seguente filtro:

Filter Name: Missed Tasks

- *Displays all rows:* where
- *Parameter:* (All the following) BL Project Finish
- *Is:* is less than or equals
- *Value:* DD

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- *Displays all rows:* and
- *Parameter:* (All the following) Variance – BL Project Finish Date
- *Is:* is less than
- *Value:* 0d

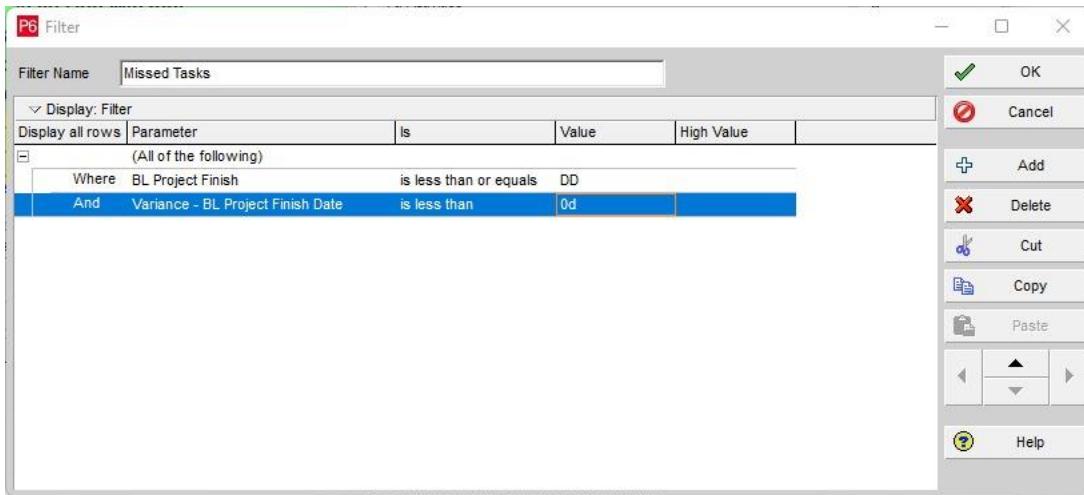


Fig. 13 Screenshot del filtro Missed Tasks da Primavera P6

Che possiamo leggere nel seguente modo: “mostra tutte le barre in cui la fine da *baseline* di progetto è minore o pari alla *data date* e per le quali la differenza tra la *baseline finish date* e la *actual finish date* sia minore di 0 giorni”.

3. Applicazione del criterio di verifica

Si applica il criterio di cui sopra dividendo il numero di attività del conteggio delle *missed tasks* (punto 2) per il numero di attività del conteggio della *baseline* (punto 1). Il rapporto dovrà risultare inferiore a 0.05, quindi al 5%.

ASSESSMENT 12 – CRITICAL PATH TEST

Ricordiamo che il reticolo di progetto è costituito da concatenazioni logiche di attività o percorsi che collegano la *milestone* di inizio progetto alla *milestone* di fine progetto. Tra le catene logiche di attività che attraversano una programmazione se ne individua una detta *Critical Path* – o cammino critico, o percorso critico – che ha la caratteristica di avere la durata maggiore tra tutti i cammini del reticolo, ricavata come somma delle durate associate alle attività del percorso. Tale durata o lunghezza del percorso critico fornisce la durata di progetto.

Il *Critical Path* di una programmazione dovrebbe essere costituito da una catena continua di attività legate da relazioni logiche tramite l’indicazione per ciascuna attività del percorso, ad eccezione delle

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

milestones di inizio e di fine progetto, di successori e predecessori logici. La continuità o integrità del *Critical Path* è l'oggetto di valutazione del dodicesimo criterio della DCMA detto *Critical Path Test*.

Il *Critical Path Test* o Test del cammino critico si effettua incrementando la durata dell'attività più prossima alla *milestone* di inizio progetto di un intervallo di tempo arbitrario. Se la logica del reticolo è ben definita e il cammino critico è continuo si avrà uno scorrimento in avanti nel tempo, quindi un margine di scorrimento negativo, della *milestone* di fine progetto proporzionale all'incremento di durata introdotto. Se non si verifica tale ritardo allora la programmazione supererà il test in quanto ciò indica interruzioni di logica sul percorso.

ASSESSMENT 13 – CRITICAL PATH LENGTH INDEX (CPLI)

Il *Critical Path Length Index* o *Indice di Lunghezza del Cammino Critico* della *Defence Contract Management Agency* è un indice che fornisce indicazioni su quella che è l'efficienza richiesta nell'esecuzione delle attività critiche incomplete ai fini di portare a compimento il progetto nei limiti temporali imposti.

Il *Critical Path Length Index* si ricava nel modo seguente:

$$CPLI = \frac{CPL+TF}{CPL} \quad (32)$$

Il *CPLI* è un indice predittivo che rileva in anticipo il rischio di non rispettare la *deadline* di progetto mettendo a confronto due parametri: il *Critical Path Length (CPL)* o *Lunghezza del Cammino Critico*, con il quale in questo paragrafo intendiamo la durata associata al percorso critico – o cammino critico – nella sua quota incompleta, e il *Total Float (TF)* o *Margine di scorrimento totale* associato alla *milestone* di fine progetto.

Si possono presentare tre situazioni in base al valore di *CPLI*:

$$1. \quad CPLI > 1 \quad \Rightarrow \text{La programmazione supera la valutazione}$$

Valori di *Critical Path Length Index* maggiori di uno indicano che il progetto sta avanzando con una produttività maggiore rispetto a quanto previsto dal programma e che, probabilmente, il completamento del progetto avverrà in anticipo.

$$2. \quad 1 \geq CPLI \geq 0.95 \quad \Rightarrow \text{La programmazione supera la valutazione}$$

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Valori di *Critical Path Length Index* compresi tra 1 e 0.95 indicano che il progetto sta procedendo in maniera inefficiente e che, pertanto, occorre incrementare la produttività di cantiere senza che siano necessarie modifiche sostanziali alla programmazione.

$$3. \text{ } CPLI < 0.95 \Rightarrow \text{La programmazione fallisce la valutazione}$$

Nel caso in cui il *Critical Path Length Index* assuma valori minori di 0.95 si ha il fallimento del criterio di valutazione. In questa situazione vi è un rischio elevato di non rispetto dei limiti temporali imposti tale da rendere necessarie modifiche sostanziali alla programmazione.

ASSESSMENT 14 – BASELINE EXECUTION INDEX (BEI)

Se uno dei compiti principali affidati al *project manager* consiste nel monitorare l'avanzamento del programma e, in caso di scostamenti eccessivi, compiere le azioni correttive necessarie a riallineare l'andamento dei lavori alla programmazione, allora si rendono necessari indicatori o indici che segnalino in anticipo situazioni di rischio rispetto allo sforamento delle date fissate per il completamento del progetto.

Il *Baseline Execution Index (BEI)* è un indice a servizio dei *project managers* che consente di rilevare anticipatamente il rischio di non rispetto delle *deadline* di progetto. Esso, infatti, misura l'efficienza dell'andamento dei lavori in relazione alla *baseline* e alla *status date*.

Il *BEI*, in base alle indicazioni della DCMA, si ricava applicando la seguente relazione:

$$BEI = \frac{\text{Sum # of all Tasks Completed as of the status date}}{\text{Sum # of all Tasks with Baseline Completion dates on or Before the status date}} \quad (33)$$

La DCMA impone la seguente limitazione:

$$BEI \geq 0.95 \quad (34)$$

Il valore soglia è pari a 0.95. Pertanto, le programmazioni con valori di *BEI* inferiori a tale valore non supereranno la valutazione. Il criterio esclude le *LOE* o *Level Of Effort Activities* e le *milestones*.

Al denominatore troviamo la *somma delle attività con date di completamento da baseline pari o antecedenti alla status date (o data date)* o attività che dovrebbero essere state completate alla *status date* in base a quanto stabilito in origine nel programma. Questa quantità coincide con il *baseline count* di cui si è discusso al paragrafo sulle *missed tasks*.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Al numeratore, invece, troviamo la *somma di tutte le attività completate alla status date (o data date)*. Sono comprese tutte le attività concluse, quindi sia le attività con *baseline finish date* sia antecedenti che successive alla *status date* – queste ultime dunque concluse in anticipo rispetto alle date di fine stabilità – sia le attività con *actual finish date* successiva alla rispettiva *baseline finish date* che sono concluse alla *status date*, quindi le attività che, pur avendo mancato la data di completamento da *baseline*, sono giunte a conclusione entro la data in cui si effettua l’aggiornamento.

Il rapporto *BEI* della DCMA può essere semplificato nel seguente modo:

$$BEI = \frac{\text{Total \# of tasks complete as of status date}}{\text{Baseline Count}} \quad (35)$$

Mettiamo a confronto il criterio *BEI* con il precedente criterio delle *missed tasks*.

Ricordiamo il criterio di calcolo delle *missed tasks*:

$$\% \text{ Missed Tasks} = \frac{\# \text{ of tasks with actual or forecast finish date past baseline date}}{\# \text{ of tasks with baseline finish date on or before status date}} \leq 5\% \quad (36)$$

Potrebbero sembrare complementari l’uno all’altro: il *BEI* conteggia il numero di tasks completate, mentre la percentuale di *missed tasks* conteggia il numero di tasks che non hanno rispettato le date di fine attività da *baseline*. Vi sono differenze tra i due indicatori.

Prima di tutto occorre ricordare che mentre le *missed tasks* includono *LOE* e *milestones*, queste vengono escluse dal conteggio *BEI*. Dunque, occorre tenerne conto nell’applicazione dei filtri utilizzati per i conteggi. Si sottolinea poi come il criterio sulle *missed tasks* sia retrospettivo, ovvero conteggia tutte le tasks, *LOE* e *milestones* incluse, che non hanno rispettato le date di *baseline* sul completamento. Viceversa, il *BEI* considera tutte le tasks, *LOE* e *milestones* escluse, che alla *status date* sono state completate. Ne consegue che la maggiore differenza con i parametri precedentemente analizzati è che in questo caso si includono al numeratore *tutte* le attività concluse alla *status date*, sia che siano state realizzate in anticipo sia in ritardo rispetto alla *baseline*, e ciò contribuisce a dare un’indicazione globale e meno restrittiva al *project manager* sull’effettivo avanzamento del progetto.

Il calcolo del *Baseline Execution Index* in Primavera P6 Professional viene svolto manualmente ricavando denominatore e numeratore del rapporto *BEI* tramite filtri alle attività.

Il numero di attività completate alla *data date*, quindi il numeratore del rapporto *BEI*, può essere ricavato in P6 tramite il seguente filtro:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Filter Name: Tasks with Actual Finish Dates

- *Displays all rows:* where
- *Parameter:* Actual Finish
- *Is:* is less than or equal
- *Value:* DD
- *Displays all rows:* and
- *Parameter:* Activity Type
- *Is:* is not equal
- *Value:* Level of Effort, Start Milestone, Finish Milestone

Che possiamo leggere come: filtra tutte le attività la cui data di fine è registrata prima o alla *data date* e la cui tipologia sia diversa da attività LOE e milestone.

Il numero di attività con completamento programmato prima della *data date*, il denominatore del rapporto *BEI*, può essere ricavato in P6 tramite il seguente filtro:

Filter Name: Tasks Scheduled to Finish Prior to DD

- *Displays all rows:* where
- *Parameter:* BL Project Finish
- *Is:* is less than
- *Value:* DD
- *Displays all rows:* and
- *Parameter:* Activity Type
- *Is:* is not equal
- *Value:* Level of Effort, Start Milestone, Finish Milestone

Che possiamo leggere come: filtra tutte le attività con fine programmata prima della *data date* e la cui tipologia sia diversa da attività LOE e milestone.

CAPITOLO 3 – IDENTIFICAZIONE E DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO

La presente trattazione ha come oggetto di studio la “Linea 3.2.1” del sistema tramviario fiorentino; pertanto, punto di partenza obbligato è la descrizione del caso di studio.

A tal fine, gli obiettivi principali di questo capitolo sono:

- La definizione di “*Sistema di trasporto tramviario*” ovvero cosa si intende con il termine “*tramvia*”, facendo riferimento anche alle normative nazionali o standard che la definiscono;
- L’individuazione delle motivazioni e delle esigenze che portano alla realizzazione dell’oggetto di studio, detta generalmente “*Identificazione degli obiettivi di progetto*”, che sono esplicitati nei documenti di progetto;
- La descrizione del sistema tramviario fiorentino esistente e futuro, di cui la Linea 3.2.1 entra a far parte – ovvero la descrizione dello *stato di fatto* e dello *stato di progetto*;
- La descrizione dell’intervento mediante la definizione dei parametri geometrici di progetto, dell’articolazione della linea in tratte, delle fermate, del contesto urbanistico e architettonico in cui la linea si inserisce, nonché la descrizione delle opere di linea, delle opere puntuali e delle opere d’arte necessarie al funzionamento della linea;
- La descrizione del materiale rotabile.

IL SISTEMA DI TRASPORTO TRAMVIARIO: DEFINIZIONI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il termine “*tramvia*” viene definito dalla Norma 8379 “Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tramvia) – Termini e definizioni” come quel “*sistema di trasporto per persone negli agglomerati urbani costituita da veicoli automotori o rimorchiati dai medesimi, a guida vincolata, in genere su strade ordinarie e quindi soggetto al Codice della Strada, con circolazione a vista*¹⁸”.

Partendo dalla definizione citata si evidenzia come, nel caso del sistema di trasporto tramviario, ci si riferisca a:

¹⁸ Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), *Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia)*, UNI 8379, versione Seconda, aprile 2000.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- Un servizio di trasporto collettivo e urbano, caratteristiche che determinano, da un lato, il carattere di pubblica utilità dell'opera, e dall'altro la peculiarità di interfacciarsi con altri sistemi di trasporto urbani individuali, semi-collettivi e collettivi, dette anche interferenze intermodali, con ricadute in termini di sicurezza di circolazione, di regolarità del servizio e di impatto delle operazioni di cantierizzazione;
- Un “*sistema di trasporto a guida vincolata*” o su sede fissa, ovvero è compreso nei sistemi di trasporto in cui il moto dei veicoli è vincolato ad avvenire all'interno dei binari, quindi seguendo la direzione longitudinale del tracciato. Il moto trasversale rispetto ad esso, ovvero un cambio di direzione del moto, può avvenire soltanto per tramite di specifici elementi dell'infrastruttura detti organi di scambio;
- Un sistema di trasporto ad alimentazione elettrica.

In appendice alla normativa citata sono riportate due tabelle nelle quali, per i sistemi di trasporto elencati, vengono definite le caratteristiche della sede e degli attraversamenti e le caratteristiche della circolazione.

Ai fini di una univoca interpretazione, si riportano le definizioni di:

- Sede: “*piattaforma destinata alla circolazione dei veicoli afferenti il sistema di trasporto a guida vincolata (...)*”, la quale può essere promiscua, “*sede realizzata su strada ordinaria mediante una piattaforma carrabile che permette il transito anche dei veicoli e dei pedoni*”, o propria, “*sede concepita per il transito esclusivo dei veicoli a guida vincolata*”;
- Attraversamento: “*intersezione a livello della sede con le vie di flusso di altri veicoli e dei pedoni*”, distinguendo tra attraversamento libero, segnalato e protetto.

Nel caso specifico della tranvia, la normativa non riporta limitazioni sulle tipologie di sede ed attraversamenti.

APPENDICE A CLASSIFICAZIONE DEI VARI SISTEMI DI TRASPORTO IN FUNZIONE DI ALCUNE CARATTERISTICHE FONDAMENTALI

prospetto A.1 Caratteristiche della sede e degli attraversamenti

	Sede (A.1)						Attraversamento (A.2)							
	Promiscua (A.1.1)			Propria (A.1.2)			Libero (A.2.1)	Segnalato (A.2.2)		Protetto (A.2.3)				
	Libera (A.1.1.1)	Riservata (A.1.1.2)	Protetta (A.1.1.3)	Riservata (A.1.2.1)	Protetta (A.1.2.2)	Isolata (A.1.2.3)	a	a	b	c	a	b	c	
Ferrovia	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI
Metropolitana	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Metro leggera	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Tramvia veloce	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Tramvia	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Fig. 14 Estratto dalla Norma UNI 8379

Per quanto concerne, invece, le caratteristiche della circolazione in termini di sicurezza, regolarità e supervisione della circolazione, quale “*insieme delle tecnologie operative, delle funzioni logiche e delle filosofie di impiego, che consentono la marcia dei veicoli a guida vincolata in condizioni di sicurezza e regolarità nonché la diffusione tempestiva di informazioni per l’utenza*”, la norma prescrive l’adozione della segnaletica del Codice della Strada e la marcia attuata dal conducente a vista.

Ulteriori indicazioni normative, attinenti specificatamente alla sede tramviaria e citate nei documenti progettuali, sono la Norma UNI 7836:2018 “Metropolitane e tranvie – Andamento piano – altimetrico dei binari¹⁹”, la Norma UNI 7156:2020 “Tramvie e tramvie veloci – Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile ed interbinario – Altezza della linea aerea di contatto²⁰”. Le normative citate contengono standard sulla geometria di tracciato e determinano la larghezza del materiale rotabile, dunque l’impostazione della linea aerea di contatto e della relativa palificazione di sostegno, necessarie all’elaborazione delle sezioni correnti di linea.

¹⁹ Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), *Metropolitane e tranvie – Andamento piano – altimetrico dei binari*, UNI 7836:2018, 25 ottobre 2018.

²⁰ Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI), *Tramvie e tramvie veloci - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile e interbinario - Altezza della linea aerea di contatto*, UNI 7156:2020, 15 ottobre 2020.

OBIETTIVI DI PROGETTO: PRINCIPALI DOCUMENTI STRATEGICI DI INDIRIZZO

La realizzazione della tramvia fiorentina risponde alla necessità di una trasformazione della mobilità urbana ed è individuato come asse fondamentale per il riordino ed il potenziamento della mobilità nell'area fiorentina.

Gli obiettivi di progetto della tramvia vengono contestualizzati all'interno di un quadro di riferimento ampio, costituito da documenti strategici internazionali, nazionali e locali. I riferimenti chiave includono il documento elaborato dalle Nazioni Unite “Trasformare il nostro mondo: l’Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile²¹”, a livello internazionale e citato nei canali di comunicazione istituzionali locali, il “Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR)”, a livello nazionale che finanzia in parte il progetto, infine al “Piano Urbano della Mobilità Sostenibile (PUMS)” della Città Metropolitana di Firenze.

L’AGENDA 2030 PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE

Il documento “Agenda 2030 per lo sviluppo Sostenibile”, elaborato con Assemblea Generale ONU nel 2015 quale “*programma d’azione per le persone, il pianeta e la prosperità*”, individua 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile detti SDG. Sebbene questi siano da intendersi “*interconnessi e indivisibili*”, sottolineando come, parlando di sviluppo sostenibile, occorra riferirsi alle tre sfere della sostenibilità, non solo ambientale, ma anche sociale ed economica, è possibile individuarne alcuni più esplicitamente affini alle motivazioni dell’intervento:

- “*Obiettivo 9 – Costruire un’infrastruttura resiliente e promuovere l’innovazione ed una industrializzazione equa, responsabile e sostenibile*”, intendendo lo sviluppo di “infrastrutture di qualità, affidabili, sostenibili e resilienti – comprese quelle regionali e transfrontaliere – per supportare lo sviluppo economico e il benessere degli individui, con particolare attenzione ad un accesso equo e conveniente per tutti”;
- “*Obiettivo 11 – Rendere le città e gli insediamenti umani inclusivi, sicuri, duraturi e sostenibili*”, nello specifico l’Obiettivo 11.2: “Entro il 2030, garantire a tutti l’accesso a un sistema di trasporti sicuro, conveniente, accessibile e sostenibile (...);”

²¹ Nazioni Unite, *Trasformare il nostro mondo: l’Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile* (Assemblea Generale delle Nazioni Unite, 2015).

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- “*Obiettivo 13 – Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico*” contribuendo ad una diminuzione delle emissioni di anidride carbonica conseguente alla riduzione del traffico privato a favore di quello pubblico.

Gli obiettivi evidenziati sono riportati a fine esemplificativo in quanto, come detto in precedenza, l’“Agenda” sottolinea come gli obiettivi da essa individuati siano fusi l’uno nell’altro nell’ottica di una sostenibilità che è insieme economica, sociale ed ambientale. Il potenziamento delle infrastrutture di trasporto pubblico è in linea con questo importante riferimento internazionale, contribuendo allo sviluppo di una città inclusiva, accessibile e sostenibile.

IL PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA

Al fine di aiutare l’Unione europea a riparare i danni economici e sociali causati dall’emergenza sanitaria da coronavirus, il Parlamento Europeo e del Consiglio ha istituito il “Dispositivo per la ripresa e la resilienza (RRF)” con il Regolamento (UE) 2021/241.

L’obiettivo generale del Dispositivo è quello di “*promuovere la coesione economica, sociale e territoriale dell’Unione (...), sostenendo la transizione verde (...), contribuendo al raggiungimento dell’obiettivo della neutralità climatica dell’UE entro il 2050*²²”, fornendo un sostegno finanziario agli Stati membri nel raggiungimento di traguardi e obiettivi di riforme e investimenti stabiliti nei loro Piani di ripresa e resilienza. Il Regolamento citato si è tradotto in uno strumento finanziario temporaneo da 750 miliardi di euro, NextGenerationEU, su iniziativa della Commissione europea.

È in questo contesto che si inserisce, sul territorio nazionale, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza. Quest’ultimo si articola in sei “*Missioni*”, rappresentanti le aree “tematiche” strutturali di intervento. Tra queste, di nostro specifico interesse, la terza missione riguarda le “*Infrastrutture per una mobilità sostenibile*” e mira a promuovere potenziamenti al trasporto pubblico locale e ferroviario.

La realizzazione della tramvia fiorentina e, nello specifico, della Linea 3.2.1 (Piazza Libertà – Bagno a Ripoli), si inserisce in questo quadro di interventi strategici, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi del PNRR relativi alla transizione ecologica e alla mobilità sostenibile. L’opera è, infatti, finanziata in parte con fondi provenienti dal PNRR (150 milioni a fronte di un costo complessivo approvato dal comune a dicembre 2022 pari a 447 milioni).

²² Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021, Gazzetta ufficiale dell’Unione Europea (2021).

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

**IL PIANO URBANO PER LA MOBILITÀ SOSTENIBILE (PUMS) DELLA CITTÀ
METROPOLITANA DI FIRENZE**

Lo sviluppo del trasporto su rotaie (ferrovia) e su corsia protetta (tramvia) e la loro integrazione con il Trasporto Pubblico Locale venivano individuati quali assi fondamentali della riqualificazione della mobilità in area vasta già con l’Intesa per l’Area Metropolitana del 27 ottobre 2000 fra Regione toscana e le Province e i Comuni di Firenze, Prato e Pistoia. Si evince, quindi, che l’adeguamento ed il potenziamento del sistema infrastrutturale legato alla mobilità pubblica fiorentina ha rappresentato uno degli obiettivi della pianificazione urbanistica non solo degli ultimi anni ma degli ultimi decenni, precedendo di molto i documenti presi in esame (Agenda 2030 del 2015 e PNRR nel periodo post – pandemico).

Riferendoci a tempi più recenti, il completamento della rete tramviaria fiorentina con estensione verso i comuni di cintura rientra tra i Lineamenti strategici del PUMS presentati con Conferenza dei Sindaci della Città Metropolitana. In questa occasione si ribadisce come il PUMS sia lo strumento per attuare i principi dello Sviluppo sostenibile nel campo della mobilità secondo modelli socialmente, economicamente e ambientalmente più sostenibili.

La Città Metropolitana di Firenze ha dedicato un intero capitolo della Relazione di piano del PUMS al sistema di trasporto tramviario, indicando quest’ultimo come l’unica alternativa valida per garantire i livelli di regolarità, capacità ed accessibilità richiesti al sistema di trasporto pubblico per la città di Firenze del futuro. Sottolinea come il sistema di trasporto tramviario, per poter funzionare in maniera efficace, debba essere affiancato da due fattori infrastrutturali complementari, quali la realizzazione di parcheggi scambiatori e il rafforzamento delle infrastrutture stradali al contorno e di adduzione alla tramvia. Individua gli assi di sviluppo del sistema da privilegiare, ovvero direttive radiali che vadano ad intercettare gli anelli viari tangenziali esterni. Si pone l’obiettivo di estendere la ZTL a quasi tutto il centro abitato, possibile solo garantendo un’accessibilità effettiva al centro storico mediante sistemi di trasporto pubblici. Delinea lo schema complessivo della rete e la sua articolazione nelle diverse linee esistenti e future, descritto in dettaglio al paragrafo successivo.

IL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO

Il PUMS della Città Metropolitana di Firenze, nel suo ultimo aggiornamento al 2019, descrive le Linee in esercizio e di progetto delineando un complesso programma di tramvie nel quale si colloca la realizzazione della Linea 3.2.1 “Piazza della Libertà – Bagno a Ripoli”. Si riporta di seguito (Figura 15) un estratto dalla Relazione di piano del PUMS che, sebbene sia aggiornata solamente al 2019, anno di approvazione del piano, evidenzia in modo chiaro il tracciato delle linee costituenti il sistema tramviario fiorentino, esistenti e di progetto, rimasto ad oggi inalterato. Nel Quadro sinottico riportato di seguito la Linea 3.2.1 è denominata “Minzoni – Bagno a Ripoli” mentre ad oggi il capolinea è stato spostato da Don Minzoni a Piazza della Libertà, nonostante la realizzazione del tronchino di Don Minzoni faccia parte, come vedremo più in dettaglio, dell’intervento relativo alla Linea 3.2.1.

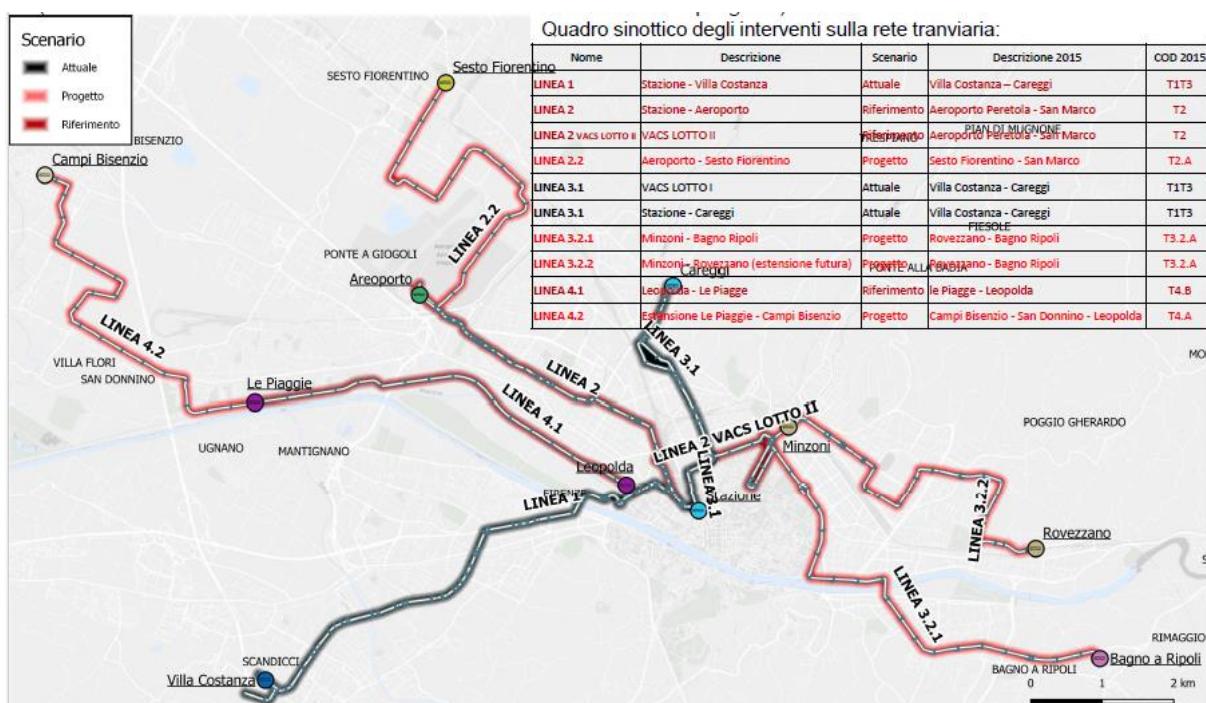


Fig. 15 Estratto dal PUMS - Linee in esercizio al 19 ottobre 2018, linee finanziarie e linee di progetto

CARATTERISTICHE GENERALI DEL SISTEMA TRAMVIARIO FIORENTINO

Le caratteristiche generali del sistema tranviario²³ vengono definite dalla Direzione Nuove Infrastrutture e Mobilità del Comune di Firenze e sono le seguenti:

- “Sede tranviaria sempre separata dalla carreggiata destinata alla viabilità ordinaria, tramite cordoli in c.a., e, quindi, riservata esclusivamente al tram (...);

²³ Il documento cui ci si riferisce è scaricabile tramite l’indirizzo chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://mobilita.comune.fi.it/export/sites/mobilita/materiali/tramvia/Car Gen_SisTram.pdf (ultimo accesso 24 novembre 2025).

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- Attraversamenti pedonali semaforizzati lungo tutte le linee, per garantire la massima sicurezza dell’attraversamento delle utenze deboli e la migliore integrazione possibile della tramvia con la mobilità dolce;
- Fermate dotate di banchine, coperte in parte da pensiline di design moderno e dotate di sedili ed illuminazione propria, per garantire la massima sicurezza e comfort per gli utenti (...);
- Rotaie ottimizzate
 - o Per smorzare il rumore e le vibrazioni generate dal contatto tra ruota e rotaia, a seconda dei casi viene utilizzata una delle seguenti tecniche:
 - Rivestimento continuo delle rotaie
 - ERS (Embedded Rail System)
- Piattaforma smorzante dotata di “materassino elastico” che impedisce la trasmissione delle vibrazioni al terreno circostante;
- Veicolo
 - o Il tram Sirio Firenze (...) dotata di ampie superfici vetrate, sei porte per lato ad azionamento automatico, pianale totalmente ribassato per facilitare l’accessibilità, impianto di climatizzazione, sistema di video sorveglianza a circuito chiuso e sistemi di comunicazione con il PCC.”

STATO DI FATTO: LA TRAMVIA DI OGGI

Al momento della progettazione della Linea 3.2.1, il sistema tramviario è costituito da due linee in esercizio:

- *Linea T1 “Leonardo”, Scandicci – Firenze Santa Maria Novella – Careggi*, che a sua volta è costituita:
 - o dalla Linea 1, in esercizio dal 14 febbraio 2010, che collega il comune di Scandicci con la stazione di Santa Maria Novella, comprendente 15 fermate e di lunghezza di tracciato pari a 7,7 km;
 - o dalla Linea 3.1, in esercizio dal 16 luglio 2018, che collega la stazione di Santa Maria Novella con il Polo Universitario Ospedaliero di Careggi, comprendente 11 fermate e di lunghezza di tracciato pari a 5,5 km. Quest’ultima si completa con la cosiddetta “Variante Valfonda”, anche detta primo lotto della Variante Alternativa al Centro Storico (VACS Lotto I).
- *Linea T2 “Vespucci”*, che a sua volta è costituita:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- dalla Linea 2 in esercizio dall’11 febbraio 2019, che collega l’aeroporto Vespucci di Peretola con la Stazione FS di Santa Maria Novella, ove si interscambia con la linea T1, comprendente 11 fermate, cui si aggiunge il capolinea provvisorio di piazza dell’Unità d’Italia, e di lunghezza di tracciato pari a 5,3 km;
- dalla Linea 2 VACS Lotto II, inaugurata il 25 gennaio 2025, detto anche “Tratto Fortezza – San Marco” della Linea tramvia T2, che consente di raggiungere piazza della Libertà e piazza San Marco. La lunghezza complessiva è di circa 2,5 km e comprende 6 fermate.

STATO DI PROGETTO: LA TRAMVIA DI DOMANI

Gli schemi relativi al sistema di tramvie contenuti nel PUMS ne delineano l’evoluzione e il completamento. Il “*Quadro sinottico degli interventi*” comprende, oltre alle tratte in esercizio, i seguenti interventi di progetto:

- la realizzazione della Linea 2.2, il cui Piano di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE), così come riportato nelle corografie del sistema tramviario fiorentino aggiornate a giugno 2023, è redatto e in fase di approvazione. Il tracciato della Linea 2.2 completa la “*Linea T2*” già in esercizio, collegando l’attuale capolinea Vespucci al centro di Sesto Fiorentino. Il progetto prevede uno sviluppo di circa 6 km, la realizzazione di 11 fermate e 3 parcheggi scambiatori;
- la realizzazione della “*Linea T3*” che collegherà il centro di Firenze alla zona sud-est dell’area metropolitana di Firenze. La Linea T3, nel suo progetto, è costituita da due linee, due *diretrici radiali*, facendo riferimento alle parole contenute nel PUMS, il cui svincolo e capolinea in Piazza della Libertà ne consente l’interscambio con le altre linee della rete. I due interventi, distinti, sono:
 - Linea 3.2.1 Libertà – Bagno a Ripoli, il cui Progetto Esecutivo di Fase 2 è stato approvato dalla Giunta Comunale in data 19 novembre 2024. La tratta si aggancia alla VACS Lotto II, della “*Linea T2*”, in Piazza della Libertà, e si estende fino al comune di Bagno a Ripoli. Essa comprende 17 fermate e ha una lunghezza complessiva di circa 7.2 km;
 - Linea 3.2.2 Libertà – Rovezzano, il cui Progetto Definitivo²⁴ è in fase di approvazione. Il 12 agosto 2024 si è conclusa con esito positivo la Conferenza dei Servizi relativa al riesame della progettazione definitiva. La tratta si interscambia alla Linea 3.2.1 ed alla VACS Lotto II in corrispondenza del tronchino in viale Don Minzoni e termina nei pressi

²⁴ Nel caso della Linea 3.2.2 ci si riferisce alla progettazione definitiva. Quest’ultima, infatti, è stata avviata, nelle sue attività di redazione, il 10 novembre 2021, data precedente all’entrata in vigore dell’attuale normativa per i lavori pubblici con Decreto Legislativo del 31 marzo 2023.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

della stazione ferroviaria di Rovezzano. Il tracciato di progetto comprende 15 fermate con estensione di circa 6,2 km.

- la realizzazione della “*Linea T4 – Leopolda – Piagge – Campi Bisenzio*” che collegherà il centro di Firenze al quadrante nord – ovest. La Linea T4, nel suo progetto, è a sua volta costituita da due tratte, poste in successione, costituenti un’unica *direttrice radiale* che, intercambiandosi con la Linea T1 in corrispondenza della stazione Leopolda, si estende fino al centro urbano di Campi Bisenzio. Gli interventi previsti sono:
 - Linea 4.1 Leopolda – Piagge, il cui Progetto Definitivo nella sua versione aggiornata, trasmessa il 30 dicembre 2022 al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, è in fase di approvazione. Il primo lotto della Linea T4 si interconnette con la Linea 1 in corrispondenza della fermata Porta al Prato – Leopolda per estendersi fino alla ex Stazione delle Cascine, recuperando parte dell’ex sede ferroviaria. La linea si sviluppa per circa 6,2 km, comprende 13 fermate e la realizzazione di un parcheggio scambiatore;
 - Linea 4.2 Piagge – Campi Bisenzio, il cui progetto definitivo consegnato dai RTI – RTP aggiudicatari è in fase di approvazione. Il secondo lotto della Linea T4 ne completa il tracciato collegando la stazione Le Piagge al centro di Campi Bisenzio. La Linea 4.2 avrà un’estensione di circa 5,4 km e comprenderà 11 fermate.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

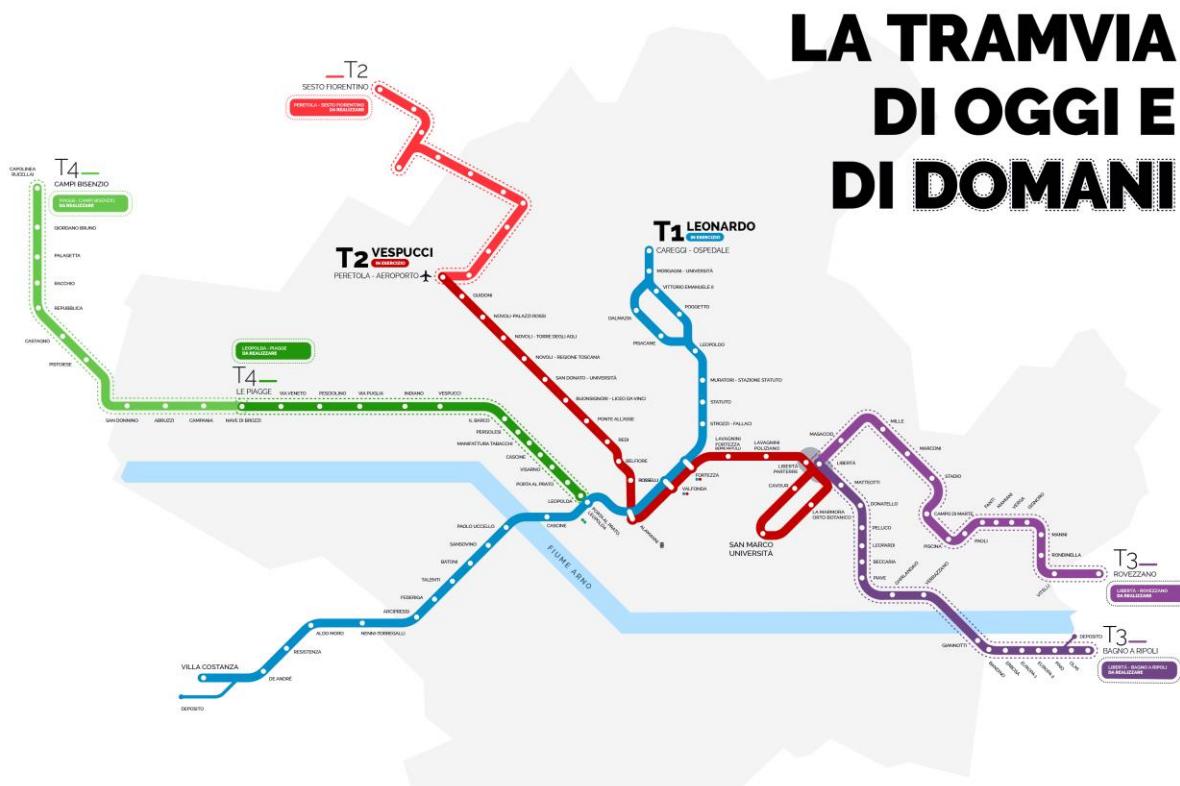


Fig. 16 La tramvia di oggi e di domani - Estratto da firenzetramvia.it

SCHEMA DI RIEPILOGO

Linea	Tratta	Collegamento	Stato	Lunghezza tracciato	Fermate
	Linea 1	Scandicci (Villa Costanza) – Firenze Santa Maria Novella	In esercizio dal 14 febbraio 2010	7.7 km	15
Linea T1 Leonardo	Linea 3.1 compresa la VACS Lotto I detta “Variante Valfonda”	Firenze Santa Maria Novella – Polo universitario ospedaliero Careggi	In esercizio dal 16 luglio 2018	5.5 km	11

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

	Linea 2	Firenze Santa Maria Novella – Aeroporto Vespucci di Peretola	In esercizio dall'11 febbraio 2019	5,3 km	11
Linea T2 Vespucci	VACS Lotto II detta “Fortezza – San Marco”	Firenze Santa Maria Novella – San Marco – Piazza della Libertà	In esercizio dal 25 gennaio 2025	2.5 km	6
	Linea 2.2	Aeroporto Vespucci di Peretola – Sesto Fiorentino	PFTE in fase di approvazione	6 km	11
Linea T3	Linea 3.2.1	Piazza della Libertà – Bagno a Ripoli	Progetto esecutivo approvato il 19 novembre 2024	7.2 km	17
	Linea 3.2.2	Piazza della Libertà (tronchino di viale Don Minzoni) - Rovezzano	Progetto definitivo in fase di approvazione	6.2 km	15
Linea T4	Linea 4.1	Porta al Prato Leopolda (Linea 1) – Piagge	Progetto definitivo in fase di approvazione	6.2 km	13
	Linea 4.2	Piagge – Campi Bisenzio	Progetto definitivo in fase di approvazione	5.4 km	11

Tab. 4 Schema del sistema tranviario fiorentino nella suddivisione in Linee esistenti e di progetto

LA LINEA 3.2.1 “PIAZZA DELLA LIBERTÀ – BAGNO A RIPOLI”

La Linea 3.2.1 “Libertà – Bagno a Ripoli” realizza il collegamento tramviario tra il comune di Firenze e il comune di Bagno a Ripoli insistendo sul sedime di entrambi i comuni per un'estensione complessiva di 7.148 km. Essa si interscambia con la Linea VACS Lotto II in Piazza della Libertà sfruttando parte dei suoi binari per 140 metri di tracciato nel tratto che connette viale Don Minzoni a viale Matteotti. Le lavorazioni relative alla realizzazione del tronchino di viale Don Minzoni, sul quale si innesterà successivamente la Linea 3.2.2, rientrano nell'intervento in esame; il limite di barriera del progetto è posto in viale Don Minzoni (km 0+000) mentre i capolinea sono collocati, il primo, “*Piazza della Libertà*”, al km 0+183 e, il secondo, “*Bagno a Ripoli*”, al km 7+148.

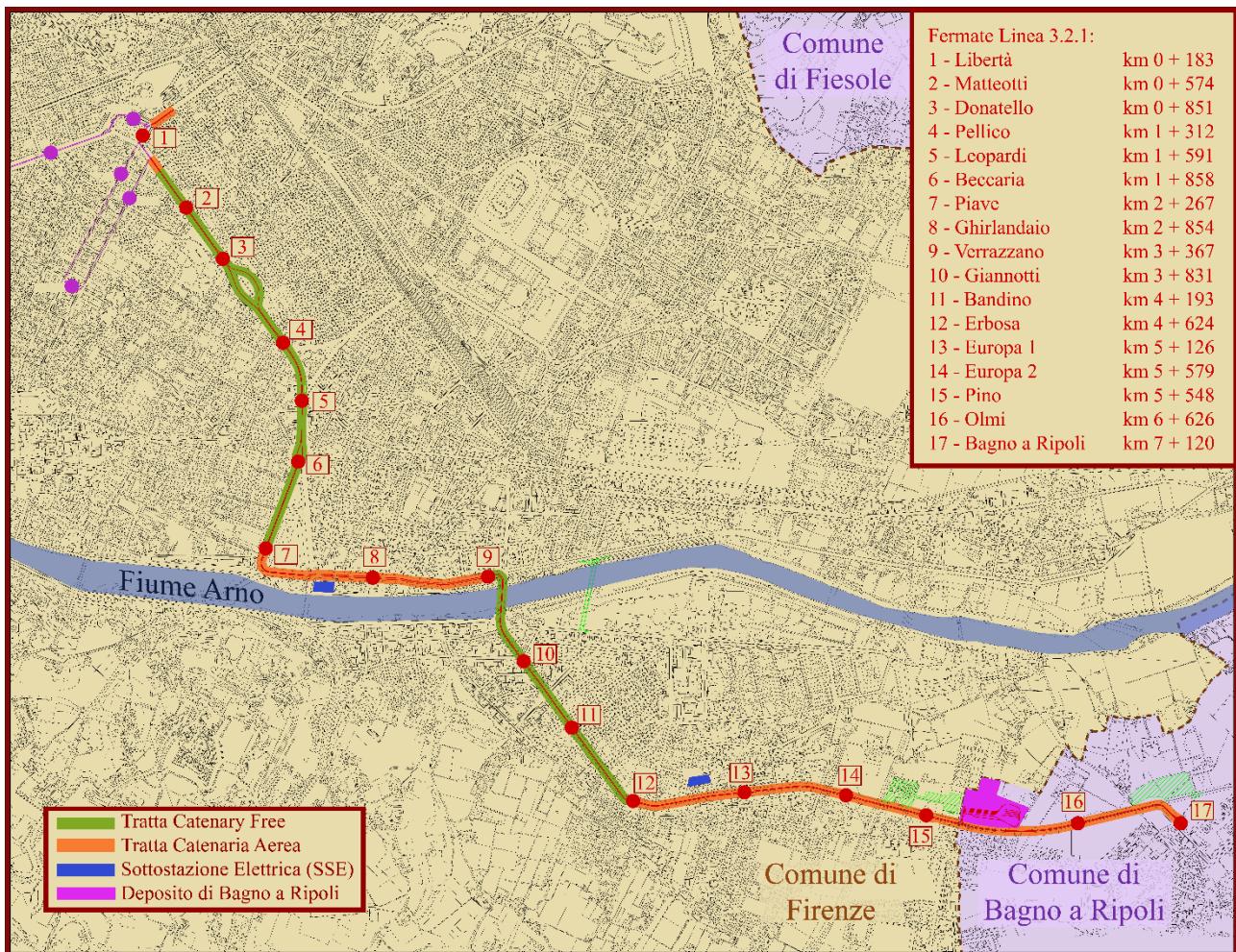


Fig.17 Corografia Linea 3.2.1 Libertà-Bagno a Ripoli

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

DESCRIZIONE DEL TRACCIATO E SUDDIVISIONE IN TRATTE

Il tracciato della Linea 3.2.1 può essere considerato come suddiviso in otto sub-tratte.

PRIMA TRATTA: VIALE DON MINZONI – PIAZZA DELLA LIBERTÀ – VIALE MATTEOTTI

Progressive chilometriche: da km 0+000 a km 0+880 circa

Percorso: parte da *viale Don Minzoni*, transita in *piazza della Libertà*, imbocca e percorre *viale Matteotti* fino a raggiungere *piazzale Donatello*

Tipologia del binario: doppio binario

Fermate: “*Libertà*” (km 0+183 (BD) / km 0+181 (BS)), “*Matteotti*” (km 0+574 (BD) / km 0+568 (BS)) e “*Donatello*” (km 0+851 (BD) / km 0+845 (BS))

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

La sede tramviaria in corrispondenza del tratto su *viale Don Minzoni*, collocata lateralmente alla carreggiata, è costituita da una *pavimentazione in binderi di porfido naturale* protetta da *cordonati in pietra rialzati*, affiancata da una *aiuola con alberature*, esistenti e nuove, la quale si interpone tra la sede e il *marginali in pietra*. Per lo scolo delle acque sono predisposte una zona di *pavimentazione drenante in lastre autobloccanti in calcestruzzo* con sottostante *manto di geotessile* e una *zanella* formata da *lastre in pietra forte Alberese* punzonata posizionata longitudinalmente nella mezzeria del marginali. Sono previsti *parapetti a protezione della sede* nei tratti in cui, interrompendosi l’aiuola, sede tramviaria e marginali risultano adiacenti. È presente una *comunicazione doppia* in corrispondenza dell’incrocio con Via Leonardo da Vinci.

Per il tratto in *piazza della Libertà* la sede tramviaria, collocata in posizione centrale sulla carreggiata, presenta, in corrispondenza degli scambi tra viale Don Minzoni e piazza della Libertà e tra piazza della Libertà e viale Matteotti, una pavimentazione in *cemento architettonico lavato* protetta da *cordonati in pietra sia rialzati sia a raso* mentre, nel rettifilo congiungente gli scambi, dove è collocata la banchina di fermata del capolinea “*Libertà*”, fermata priva di pensilina, la pavimentazione è in *lastre di pietra forte* affiancata su ambo i lati da *marginali in lastre di pietra extra dura di Firenzuola*. Tra sede tramviaria e marginali è interposto un *cordolo in granito punzonato* mentre, tra marginali e sede stradale in *conglomerato bituminoso decolorato* vi è un *parapetto* di protezione.

Segue il tratto di *viale Giacomo Matteotti* sul quale la sede tramviaria rimane in *posizione centrale* alla carreggiata per l’intera lunghezza del viale, da piazza della Libertà a piazzale Donatello. Essa

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

presenta ancora una pavimentazione in *binderi di porfido* in linea e, in corrispondenza degli *attraversamenti con la viabilità urbana*, in *conglomerato bituminoso*, nello specifico in corrispondenza dell'incrocio tra il viale e le traverse di via Alfonso La Marmora – via Frà Bartolomeo e tra il viale e le traverse di via Capponi – via Benivieni. Sul viale sono presenti le fermate “*Matteotti*” (km 0+574 (BD) / km 0+568 (BS)) e “*Donatello*” (km 0+851 (BD) / km 0+845 (BS)) per le quali è prevista una pavimentazione in *Pietra Forte Fiorentina*. La sezione trasversale sul viale vede disporsi, in maniera simmetrica rispetto alla sede tramviaria e allontanandosi da quest’ultima, le sedi stradali aventi due corsie per senso di marcia e i controviali. La sede stradale è pavimentata in *conglomerato bituminoso*, presenta sul lato esterno una zanella stradale in porfido ed è protetta, nei confronti della sede tramviaria, da cordonature in pietra rialzate e a raso, quest’ultime in corrispondenza degli attraversamenti pedonali, e, nei confronti dei controviali, da un’aiuola in terreno vegetale con alberature esistenti e nuove. I controviali presentano una pavimentazione in *lastre di pietra Alberese Calcarenite*. Sono dotati di parcheggi, corsia interna carrabile ad uso dei residenti, pista ciclabile a doppio senso di marcia e, infine, marciapiede pedonale. È presente una comunicazione prima della fermata “*Donatello*”.

SECONDA TRATTA: PIAZZALE DONATELLO

Progressive chilometriche: da km 0+880 a km 1+100 circa

Percorso: percorre piazzale Donatello

Tipologia del binario: binari singoli antistanti il Cimitero degli inglesi

Fermate: non previste

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

Il piazzale rientra all’interno del progetto di ingrandimento della città definito dal Poggi. L’intervento prevede di inserire il monumento dalla forma ellittica all’interno di un anello verde realizzandovi ai lati un’aiuola alberata e predisponendo in questa nuove piante a completamento del filare esistente. Il secondo anello è realizzato dalla sede tramviaria a *pavimentazione inerbita con sedum e protetta ai lati dalle cordonature in pietra rialzata* già utilizzate nella prima tratta. Ancora una volta la pavimentazione inerbita è *interrotta nei tratti di attraversamento con la sede stradale* dove si utilizza il *conglomerato bituminoso*. La sede stradale costituisce un terzo anello e prevede tre corsie per senso di marcia. Infine, quest’ultima è affiancata, *sul lato sinistro*, dal *proseguimento dei controviali*, nei quali sono disposti parcheggi, pista ciclabile e marciapiede pedonale, e, *sul lato destro*, dal *piazzale Donatello*, dove le aiuole e relative alberature esistenti

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

vengono preservate e nel quale trovano spazio i percorsi ciclabili e pedonali. Al fine di non creare interferenze visive con il cimitero monumentale, nella seconda tratta non sono previste fermate.

TERZA TRATTA: VIALE GRAMSCI

Progressive chilometriche: da km 1+000 a 1+778 circa

Percorso: percorre viale Gramsci congiungendo piazzale Donatello a piazza Beccaria

Tipologia del binario: doppio binario

Fermate: “*Pellico*” (km 1+312 (BD) / km 1+335 (BS)) e “*Leopardi*” (km 1+591 (BD) / km 1+615 (BS)).

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

La configurazione planimetrica adottata per *viale Gramsci* è analoga a quella di viale Matteotti. La sezione trasversale sul viale vede, infatti, la *sede tramviaria attestarsi in posizione centrale al viale*, e, in ordine, *sede stradale* con due corsie per senso di marcia, *aiuole* con alberature, *controviali* costituiti da parcheggi, sede carrabile ad uso dei residenti, pista ciclabile e marciapiede pedonale. *Le pavimentazioni utilizzate sono anch’esse le medesime adottate su viale Matteotti*, quindi, per la sede tramviaria, *binderi di porfido in linea e pietra forte fiorentina nelle banchine* di fermata protetta da *cordonature in pietra* rialzate in linea e a raso negli attraversamenti pedonali ed eventuali zone pavimentate in *conglomerato bituminoso* per gli attraversamenti carrabili negli incroci con via della Mattonaia e via Giacomo Leopardi – via Pietro Colletta, aiuole in *terreno vegetale* protette da cordoli in pietra, controviali con pavimentazione in *lastre di pietra Alberese Calcarenite*.

QUARTA TRATTA: PIAZZA BECCARIA

Progressive chilometriche: da km 1+778 a km 1+900 circa

Percorso: attraversa piazza Beccaria lasciando viale Gramsci e imboccando viale della Giovine Italia

Tipologia del binario: i binari della nuova linea abbracciano la porta storica passando dal doppio binario di viale Gramsci ai *singoli binari sdoppiati*, ritornando al doppio binario in viale Giovine Italia.

Fermate: “*Beccaria*” (km 1+858 (BD) / km 1+887 (BS)), con dotazioni minime e priva di pensilina.

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

Piazza Beccaria è oggi una delle piazze storiche di Firenze dalla forma leggermente ellittica con asse maggiore di 128 metri e asse minore di 106 metri ed è suddivisa in fasce concentriche. Essa viene edificata nella seconda metà dell'Ottocento nell'ambito del piano di rinnovamento della città di Firenze redatto da Giuseppe Poggi. Il piano prevedeva, tra interventi come la risistemazione di fogne e acquedotti, che vedremo essere anch'essi di nostro interesse, la creazione della cerchia dei viali e delle relative piazze, tra cui piazza Beccaria. Rientra nell'intervento del Poggi anche la realizzazione di piazzale Donatello. L'abbattimento dell'ultima cerchia muraria risultò una premessa indispensabile per la realizzazione dei viali di circonvallazione. Delle mura trecentesche sono state conservate le porte storiche, oltre alle fondazioni, tema che entra nel progetto della Linea in quanto interferenti con essa e in posizione non certa fino all'atto degli scavi. Al centro di piazza Beccaria è, infatti, collocata *Porta alla Croce*, la quale costituiva al tempo il principale accesso alla città da est. Le sistemazioni urbanistiche relative all'intervento infrastrutturale della Linea 3.2.1 prevedono di disporre nella piazza due file concentriche di alberature sul bordo delle due fasce, quinta architettonica alla *Porta alla Croce*, le quali figuravano anche nel progetto dell'architetto e ingegnere fiorentino. Nella tratta è collocata la fermata.

Per la pavimentazione della sede tramviaria si passa dai *binderi di porfido piano naturale* dell'ultimo tratto di viale Gramsci alla *Pietra Forte Fiorentina* utilizzata nella tratta sulla piazza e, infine, alla *pavimentazione inerbita* del primo tratto di viale Giovine Italia. Il passaggio da un materiale ad un altro è realizzato tramite *cordoli di pietra a raso*. La sede è protetta, come nei tratti precedenti, da *cordoli di pietra rialzati in linea e a raso negli attraversamenti pedonali*. Nelle unghie generate dai binari agli imbocchi dei viali si utilizza il *cemento architettonico lavato*. Adiacente alla sede tramviaria, sul lato esterno rispetto al centro della piazza, vi è la *sede stradale con pavimentazione in conglomerato bituminoso*.

La nuova pavimentazione della piazza è composta di *lastre in pietra forte* alternate da *ricorsi in pietra di trani* di larghezza di dieci centimetri. Le lastre hanno dimensione variabile e tramite la loro disposizione, forma e dimensione generano una trama, un tappeto di fondo, che segue ellissi concentriche e direttive convergenti sull'antica porta la Croce. Le lastre vengono trattate superficialmente in tre modi diversi: punzecchiate, fiammate o rigate. I percorsi pedonali, i percorsi ciclabili e le aiuole relative ai due filari alberati concentrici sono tracciati sulla piazza utilizzando finiture superficiali diverse in funzione del diverso tipo di percorso, seguono la forma ellittica e le direttive della piazza, così come gli arredi urbani quali *panchine in cemento armato rivestite in pietra di trani*.

Procedendo dalla porta storica verso l'esterno, sulla piazza trovano posto, interrotte dalle sedi tramvarie e stradali, una *zona pedonale in pietra forte* intorno a Porta la Croce, una zona con

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

zampilli di acqua, la seconda quinta di alberi con pavimentazione in erba su cui si erge, esternamente, una fila di *apparecchi luminosi a led* posti su sei torri faro alte nove metri e pali bassi per l'illuminazione pedonale lato centro, un *anello carrabile in pietra forte* nel quale vengono predisposti parcheggi con asse parallelo alle direttive radiali, corsie carrabili a servizio delle zone di sosta, aree di sosta per taxi e bus e servizi di bike-sharing e, infine, un secondo *anello pedonale* sempre pavimentato in pietra forte perimetrato internamente dalla prima quinta di alberature. L'esemplare di magnolia ed il faggio presenti sul lato di via Gioberti sono stati mantenuti in sede e protetti alla base con una griglia in ghisa.

QUINTA TRATTA: VIALE DELLA GIOVINE ITALIA – LUNGARNO PECORI GIRALDI

Progressive chilometriche: da km 1+900 a km 2+594 circa

Percorso: percorre viale Giovine Italia, piazza Piave e Lungarno Pecori Giraldi fino all'incrocio tra Ponte San Niccolò, viale Giovanni Amendola e i lungarni

Tipologia del binario: binari accoppiati

Fermate: “Piave” (km 2+267 (BD) / km 2+296 (BS)) con dotazioni minime, marciapiedi – banchina di fermata di tipo laterale e privi di pensilina

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

Procedendo dal centro verso l'Arno, la linea lascia piazza Beccaria per imboccare e percorrere viale Giovine Italia. L'organizzazione della viabilità nell'area tra piazza Beccaria e i lungarni vede il traffico automobilistico distribuirsi su viale Giovine Italia e viale Giovanni Amendola prevedendo per ciascun viale un unico senso di marcia: da piazza Beccaria ai lungarni su viale Giovine Italia e dai lungarni a piazza Beccaria su viale Giovanni Amendola. In questo modo la sede tramviaria all'imbocco del viale può spostarsi dal centro della carreggiata, posizione mantenuta sui viali Matteotti e Gramsci, al lato est, affiancando l'Archivio di Stato e la Caserma dei Carabinieri. La pavimentazione della *sede tramviaria* in questo tratto è *di tipo inerbito in sedum alternato al conglomerato bituminoso* in corrispondenza degli incroci con via dell'Agnolo e via Ghibellina – viale Duca degli Abruzzi. Come nei tratti precedenti, la sede tramviaria adiacente alle banchine di fermata e le banchine stesse sono pavimentate in *Pietra Forte Fiorentina*. La sede tramviaria è affiancata sul lato ovest dalla *sede stradale in conglomerato bituminoso* con due corsie di marcia e sul lato est, dall'incrocio con via dell'Agnolo ai lungarni, da *aiuole con alberature*. Sul lato ovest della carreggiata, oltre la sede stradale, proseguono i controviali riqualificati in maniera analoga ai tratti di viale Matteotti e Gramsci. Nei controviali sono previsti marciapiede, percorso ciclabile, area di transito e sosta per i residenti e alberature a filtro nei confronti della sede stradale.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

La pavimentazione prevista per i controviali è in pietra Alberese Calcarenite con spessori differenti per le zone carrabili e ciclopedenali. Infine, tra l’aiuola alberata e la Caserma dei Carabinieri, è interposta una corsia carrabile nella quale, da piazza Piave a viale Giovanni Amendola, viene collocato il proseguimento della pista ciclabile che prima trovava posto nei controviali essendosi questi interrotti in corrispondenza di piazza Piave.

Dopo aver attraversato piazza Piave, la Linea 3.2.1 imbocca Lungarno Pecori-Giraldi svoltando a sinistra e riportandosi in posizione centrale alla carreggiata. La sede tramviaria è prevalentemente *a pavimentazione inerbita*, fatta eccezione per la zona di imbocco al lungarno pavimentata in *conglomerato bituminoso* e un tratto di lunghezza pari a 35 metri in *binderi di porfido*, tratto opportunamente segnalato nelle planimetrie di progetto in quanto a protezione della sede vi è un cordolo con estradosso a filo sede tramviaria in linea e rialzato di soli tre centimetri rispetto alle sedi stradali antistanti. La sede tramviaria è delimitata rispetto alla sede stradale dalla sola segnaletica orizzontale per la zona pavimentata a bitume e da cordonati in pietra rialzati per la zona con pavimentazione inerbita e a binderi di porfido. Tra pavimentazioni diverse è interposto un cordonato in pietra a raso.

SESTA TRATTA: LUNGARNO DEL TEMPO – LUNGARNO CRISTOFORO COLOMBO

Progressive chilometriche: da km 2+594 a km 3+410 circa

Percorso: parte dall’incrocio con *ponte San Niccolò – viale Amendola*, nelle vicinanze del quale è collocata la *sottostazione elettrica di San Niccolò*, percorre *lungarno del Tempio* e *lungarno Cristoforo Colombo*, fino all’imbocco di *ponte da Verrazzano*

Tipologia del binario: binari singoli sdoppiati

Fermate: “*Ghirlandaio*” (km 2+854 (BD) / km 2+877 (BS)) sul lungarno del Tempio e “*Verrazzano*” (km 3+367 (BD) / km 3+389 (BS)) sul lungarno Colombo, entrambe dotate di marciapiede – banchina di fermata di tipo centrale e pensilina. Le pensiline hanno struttura portante in acciaio costituita da quattro montanti incrociati e da due travi orizzontali a sbalzo a sostegno della copertura in lastre di vetro leggermente curvato

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

La sezione trasversale che caratterizza la sesta tratta vede i binari della linea attestarsi ai lati di un’aiuola centrale in cui vengono mantenute le alberature esistenti, salvo alcune eccezioni, mentre gli attuali pini sul lungarno Cristoforo Colombo, già in parte rimossi a seguito di forti perturbazioni, vengono sostituiti. Ai lati della sede tramviaria è collocata la sede stradale. In

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

particolare, lato Arno sono disposte due corsie senza aree di sosta con marciapiede e percorso ciclo – pedonale, mentre sul lato nord sono disposte due corsie con aree di sosta e marciapiede.

Per la sede tramviaria si utilizza una pavimentazione inerbita in sedum per dare continuità alla adiacente aiuola alberata. Così come nei tratti precedenti, anche per la sesta tratta la pavimentazione della sede in corrispondenza delle banchine di fermata è in lastre di pietra forte, mentre negli incroci con la sede stradale si utilizza il conglomerato bituminoso.

SETTIMA TRATTA: DAL PONTE GIOVANNI DA VERRAZZANO A VIA CIMITERO DEL PINO

Progressive chilometriche: da km 3+410 a km 6+093 circa

Percorso: parte da *ponte Giovanni da Verrazzano*, transita in *piazza Ravenna*, percorre in ordine *via Poggio Bracciolini*, *piazza Gavinana* e *viale Donato Giannotti*, quindi, imbocca *piazza Gino Bartali* e, superato l'incrocio con *via Erbosa*, imbocca e percorre l'intero *viale Europa* fino al confine del comune di Firenze con il comune di Bagno a Ripoli posto in *via Cimitero del Pino*

Tipologia del binario: binari accoppiati

Fermate: “*Giannotti*” (km 3+831 (BD) / km 3+860 (BS)), “*Bandino*” (km 4+193 (BD) / km 4+222 (BS)), “*Erbosa*” (km 4+624 (BD) / km 4+650 (BS)), “*Europa I*” (km 5+126 (BD) / km 5+150 (BS)), “*Europa II*” (km 5+579 (BD) / km 5+604 (BS)) e “*Pino*” (km 5+948 (BD) / km 5+973 (BS)). Tutte le fermate della tratta sono dotate di *marciapiede – banchina centrale* con *pensiline in acciaio e vetro* del tutto analoghe, per struttura, forma e materiale, a quelle presenti sulla sesta tratta.

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

Dopo aver percorso la tratta sul lungarno, in corrispondenza dell'incrocio con *via F. De Sanctis*, la linea curva a destra imboccando *ponte Giovanni da Verrazzano*. Nell'incrocio la pavimentazione della sede tramviaria, prevedendo l'utilizzo anche da parte di mezzi a guida non vincolata, in analogia con altri incroci, è in *conglomerato bituminoso*, mentre la sua posizione è segnalata da apposita segnaletica orizzontale. Sul ponte i binari tornano adiacenti tra loro e in posizione centrale all'impalcato, con sede pavimentata in *binderi di porfido protetta da cordoli in pietra rialzati*, affiancata da ambo i lati dalle sedi stradali, una carreggiata per lato, in conglomerato bituminoso. La sezione trasversale sul ponte prevede che alle sedi stradali siano affiancate piste ciclabili con *tappeto di usura in conglomerato bituminoso con aggregati di colore rosso* ai fini di evidenziarne la posizione, in quanto collocata in sede promiscua alla sede stradale e, infine, da marciapiedi posti a lato delle piste ciclabili con pavimentazione in *conglomerato bituminoso*.

Oltrepassato il ponte la linea taglia *piazza Ravenna*, dove, essendo questa caratterizzata da un’aiuola circolare centrale, per continuità ha *pavimentazione inerbita con sedum*. Nel tratto di *via Poggio Bracciolini* la sede tramviaria si colloca sul lato sinistro in adiacenza ad un marciapiede con larghezza tale da poter essere percorso anche da mezzi di soccorso, mentre sul lato destro è affiancata dalla sede stradale provvista di una corsia veicolare ad unico senso di marcia a sua volta affiancata dal marciapiede. In questo tratto, all’altezza di *piazza Gavinana*, è collocata la fermata *Giannotti*. Le pavimentazioni prevedono i medesimi materiali: binderi di porfido per la sede tramviaria in linea e pietra forte fiorentina per le banchine di fermata e per la piazza, conglomerato bituminoso per la sede tramviaria negli incroci e per la sede stradale, mentre i marciapiedi hanno un tappeto di usura in conglomerato bituminoso. Tra sede stradale e marciapiede è collocata una zanella in porfido per lo scolo delle acque. La sede tramviaria è sempre protetta su ambo i lati da cordoli in pietra rialzati.

All’altezza dell’incrocio con *via Bartolomeo Scala*, la linea tramviaria imbocca *viale Donato Giannotti*. Quest’ultimo è caratterizzato da una sezione trasversale di maggiore larghezza rispetto al tratto immediatamente precedente, consentendo l’inserimento di una corsia veicolare anche sul lato nord-est della sede tramviaria, oltre a filari di alberature, in prevalenza esistenti ma anche nuove, a filtro tra sede stradale e marciapiedi e tra i quali sono inseriti parcheggi. Le pavimentazioni sono le medesime del tratto precedente, con marciapiedi a usura in conglomerato bituminoso. Sul viale sono inserite le fermate *Bandino* ed *Erbosa*, quest’ultima situata al termine del viale in *piazza Gino Bartali*. Nelle zone di incrocio con via Bartolomeo Scala, via Girolamo Caponsacchi e piazza Bartali, adiacenti alla fermata Erbosa, vi è lo slargo di *piazza del Bandino*, la cui riqualificazione rientra all’interno dell’intervento della linea e comprende la sostituzione di alcune alberature, l’inserimento di nuove alberature ed arbusti, la ridefinizione dei percorsi pedonali e delle aiuole, l’inserimento di panchine e il rifacimento della pavimentazione riprendendo i materiali utilizzati per l’antistante piazza Bartali, ovvero *graniglia e resina e ricorsi in laterizio*.

Passato l’incrocio con *via Erbosa*, la linea prosegue su *viale Europa* in direzione est fino ad arrivare al confine tra i comuni di Firenze e di Bagno a Ripoli. Le fermate previste sul viale sono a banchina centrale con pensilina in acciaio e vetro.

Nel tratto dall’incrocio con via Erbosa all’incrocio con Largo Guido Novello, la nuova organizzazione del viale prevede che la sede tramviaria rimanga in posizione centrale, e che a questa si affianchino una corsia carrabile su ciascun lato; la sezione trasversale si completa con la realizzazione dei marciapiedi e, sul lato nord, del percorso ciclopedonale a doppio senso. Le pavimentazioni utilizzate, sempre riferendosi al tratto del viale fino a Largo Novello, sono *binderi*

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

di porfido piano naturale per la sede tramviaria in sede propria e *conglomerato bituminoso* per la sede tramviaria in sede promiscua, protetta rispettivamente da cordonati in pietra rialzati e da segnaletica orizzontale, *conglomerato bituminoso* per la sede stradale e i marciapiedi, *conglomerato bituminoso colorato con aggregati di colore rosso e aggiunta di ossido di ferro* per la pista ciclabile. Non sono previste fermate.

Nel tratto dall’incrocio con Largo Guido Novello all’incrocio con via Olanda/via Danimarca, alla organizzazione del viale così come predisposta nel tratto di viale precedente, si aggiungono un filare di alberature, interposto tra la sede carrabile e la pista ciclabile, oltre ad un controviale lato nord, una corsia carrabile ed annessi parcheggi a spina di pesce. L’intervento prevede per quest’ultima corsia, già esistente, il solo rifacimento della segnaletica orizzontale. Dall’incrocio con via Svezia il filare alberato è presente su ambo i lati, antistante il lato esterno della sede carrabile. Le pavimentazioni utilizzate variano rispetto a quanto previsto nel tratto precedente del viale per quanto concerne la sede tranviaria. Per quest’ultima si utilizza, infatti, una pavimentazione in *autobloccanti di calcestruzzo dello spessore 60 mm tipo Veleia serie antichizzato o similare Arenella dello spessore di 40 mm*. È presente la fermata Europa 1.

Nel tratto di viale Europa da via Olanda/via Danimarca a via Cimitero del Pino la sezione trasversale è costituita dalla sede tramviaria che resta in posizione centrale; questa è affiancata dalle sedi carrabili, di cui una corsia lato sud in direzione Bagno a Ripoli e due corsie lato nord in direzione centro città, dunque viene aggiunta una corsia per quest’ultima direzione a servizio dello svincolo del raccordo autostradale di Marco Polo; la pista ciclopedonale monodirezionale, prima a doppio senso e solo sul lato nord, è qui presente su entrambi i lati della carreggiata stradale. Le pavimentazioni utilizzate sono del tutto analoghe a quelle utilizzate nel tratto Novello – Danimarca. Sono presenti le fermate Europa 2 e Pino.

OTTAVA TRATTA: VIA PIAN DI RIPOLI – VIA F. GRANACCI

Progressive chilometriche: da km 6+093 a km 7+140 circa

Percorso: entra nel comune di Bagno a Ripoli nella zona del parcheggio scambiatore Europa e del nuovo deposito a Bagno a Ripoli, percorre via Pian di Ripoli fino all’incrocio con via Granacci, quindi, imbocca via Granacci fino al capolinea posto subito prima dell’incrocio con via Perosi.

Tipologia del binario: doppio binario

Fermate: “*Olmī*” (km (BD) / km (BS)), “*Bagno a Ripoli*” (km (BD) / km (BS))

Descrizione delle pavimentazioni e della sezione trasversale:

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

L’*Ottava tratta* del tracciato tramviario segna l’ingresso della Linea 3.2.1 nel territorio del Comune di Bagno a Ripoli. La tratta si estende dalla zona del parcheggio scambiatore Europa e del nuovo deposito a Bagno al capolinea. Il tracciato è a doppio binario e si colloca in posizione centrale lungo via Pian di Ripoli. Successivamente, la linea curva su via F. Granacci, dove la sede tranviaria si attesta in posizione decentrata sul margine est. La tratta termina in corrispondenza del capolinea di Bagno a Ripoli, ubicato immediatamente prima di via Perosi.

Per quanto riguarda le sistemazioni urbanistiche, lungo via Pian di Ripoli, il progetto prevede la coesistenza della sede tramviaria con due corsie veicolari per senso di marcia. In questa tratta è prevista la fermata “Olmi”, posizione centralmente lungo via Pian di Ripoli.

IL NUOVO DEPOSITO A BAGNO A RIPOLI: RIMESSAGGIO – OFFICINA MANUTENZIONE ROTABILI – SOTTOSTAZIONE ELETTRICA – OFFICINA IMPIANTI FISSI

Il nuovo deposito a servizio della Linea 3.2.1 sarà realizzato nel Comune di Bagno a Ripoli, in un lotto pianeggiante ubicato sul lato nord di via Pian di Ripoli, al confine con Firenze e in prossimità del Cimitero del Pino e del parcheggio scambiatore Europa.

Il deposito è progettato per assolvere alle funzioni di ricovero, rimessaggio e manutenzione del materiale rotabile e degli impianti fissi. La sua dimensione è stata calcolata per poter contenere anche i tram previsti per il futuro ampliamento della linea verso Rovezzano, includendo lo spazio per un futuro inserimento di ulteriori binari nell’area di rimessaggio. L’ingresso e l’uscita dei convogli tranviari avvengono dal lato ovest del lotto, adiacente all’ingresso del Cimitero del Pino, tramite due binari che conducono ai vari edifici.

L’area del deposito comprende diversi edifici con un aspetto stereometrico, tra cui il rimessaggio, l’officina manutenzione rotabili, l’officina impianti fissi e la sottostazione elettrica (SSE). Tutti questi corpi di fabbrica sono caratterizzati da un basamento in cemento prefabbricato rigato alto 2.5 metri, sormontato da una fascia in policarbonato alveolare.

Le coperture di tutti gli edifici, inclusi i capannoni a *shed* dell’officina di manutenzione, sono piane e trattate a verde pensile estensivo, un accorgimento previsto anche per le cabine elettriche dei parcheggi scambiatori.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

I PARCHEGGI SCAMBIATORI

Il progetto della Linea 3.2.1 “Libertà – Bagno a Ripoli” prevede la realizzazione di due parcheggi scambiatori. La loro funzione è quella di facilitare la sosta e l’interscambio con il mezzo pubblico per accedere a Firenze, intercettando i flussi veicolari.

I parcheggi previsti sono Pino/Europa (P1 e P2), situati in corrispondenza dell’incrocio tra Viale Europa e Via Marco Polo e il Parcheggio Granacci (P3). I primi sono collocati nelle vicinanze del raccordo tra il casello Firenze Sud e la sponda nord dell’Arno, dunque in una posizione strategica per intercettare il traffico proveniente dall’autostrada e facilitare lo scambio intermodali gomma – rotaia con l’obiettivo di limitare l’ingresso dei veicoli privati in città. Il parcheggio Granacci è situato nel territorio di Bagno a Ripoli ed è specificatamente destinato a intercettare i flussi veicolari extraurbani provenienti da Valdarno, Casentino e Pontassieve. Per i parcheggi sono previsti sistemi di mitigazione paesaggistica quali nuove fasce alberate e filari di alberi posti lungo il perimetro.

LE OPERE D’ARTE

Oltre alla sede tramviaria, l’intervento di realizzazione della Linea 3.2.1 comprende la realizzazione di alcune importanti opere, dette *opere d’arte*, necessarie al funzionamento ed alla sicurezza della linea stessa. Queste sono, nello specifico, gli interventi di manutenzione sulle strutture del Ponte Giovanni da Verrazzano, la realizzazione di un nuovo sottopasso stradale nelle vicinanze dello svincolo autostradale di Marco Polo per consentire l’accesso al parcheggio scambiatore P1, il posizionamento di due antenne per le comunicazioni del sistema radio Tetra e la realizzazione preliminare di un nuovo ponte stradale, pedonale e ciclabile sull’Arno che collegherà Lungarno Colombo e Aldo Moro a via Villamagna, necessario al nuovo assetto della circolazione stradale.

SISTEMI TECNOLOGICI TRAMVIARI

L’efficienza e la sicurezza della Linea 3.2.1 “Libertà – bagno a Ripoli” sono garantite da una complessa architettura di sistemi tecnologici interconnessi, necessari per la gestione della trazione elettrica, della sicurezza di circolazione, delle comunicazioni e del supporto all’esercizio.

Nello specifico, i principali sistemi tecnologici sono la trazione elettrica, il sistema di supervisione e controllo dell’esercizio, i sistemi informativi e trasmissivi, l’alimentazione elettrica e le sottostazioni, oltre all’armamento – trattato in un focus a parte.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

TRAZIONE ELETTRICA

La trazione elettrica tranviaria è realizzata mediante un sistema ad alimentazione elettrica a 750 Vcc. La linea 3.2.1 è progettata per operare sia con linea di contatto aerea (LdC) che in modalità autonoma o Catenary Free, mentre in deposito è previsto l'uso della catenaria rigida.

Nei tratti con catenaria aerea – linea di contatto – questa è costituita da un singolo filo sagomato di 120 mm² per ogni senso di marcia. Questo filo è affiancato da un cavo interrato (*feeder*) di 1200 mm² collegato in parallelo per il trasporto di energia. L'altezza del filo – la quale deve essere mantenuta costante – è posta a 5.60 metri dal piano del ferro. Essa è sostenuta da pali o sostegni tubolari in ghisa analoghi a quelli già in uso nella rete tranviaria esistente di Firenze.

Nei tratti senza catenaria o *Catenary Free* il materiale rotabile si muove in maniera autonoma sfruttando un sistema per la conservazione dell'energia a bordo.

SISTEMA DI SUPERVISIONE E CONTROLLO DELL'ESERCIZIO

Il sistema tranviario progettato rientra nella categoria *tramvia Veloce* e opera principalmente in regime di “marcia a vista”. Sebbene, quindi, la responsabilità della conduzione del veicolo rimanga in capo al Conducente, resta necessaria la realizzazione di sistemi di ausilio di supervisione e controllo costituiti dal posto centrale di controllo, dall'impianto di segnalamento, dall'impianto di localizzazione e regolazione e dall'impianto di priorità semaforica.

Il posto centrale di controllo (PCC) – già esistente nel deposito di Scandicci e oggetto di espansione per la gestione delle linee previste – il quale assolve alla funzione di visualizzazione e controllo del servizio di tutte le linee del sistema tranviario. Esso è in grado di visualizzare in tempo reale la posizione – localizzazione – e lo stato – anticipo, ritardo, in orario – di ciascun veicolo in un quadro sinottico; inoltre registra i transiti e gestisce gli allarmi.

L'impianto di segnalamento ha lo scopo di assicurare la sicurezza del moto nei punti potenzialmente critici quali il capolinea, i bivi e le intersezioni. Esso blocca i veicoli qualora siano situati in rotte incompatibili e gestisce la manovra dei deviatoi.

L'impianto di localizzazione e regolazione dei veicoli consente al veicolo di auto-localizzarsi continuamente e di inviare l'informazione sulla sua localizzazione al posto centrale di controllo.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

SISTEMI INFORMATIVI E TRASMISSIVI

L'interconnessione e lo scambio di dati tra tutti i sottosistemi tecnologici (segnalamento, radio, informazione utenza, TVCC) sono garantiti dalla rete di comunicazione. Questo è costituito dal sistema trasmissivo – basato su di una rete in fibra ottica -, il sistema radio TETRA, l'impianto di diffusione sonora e dei pannelli informativi, l'impianto TVCC e telefonia.

ALIMENTAZIONE ELETTRICA E SSE

Il sistema di alimentazione elettrica preleva energia elettrica dall'esterno e la distribuisce ai sistemi tecnologici. Per la Linea 3.2.1 sono previste tre sottostazioni elettriche – SSE Novello, SSE S. Niccolò e SSE deposito – per la conversione dell'energia, le quali sono in grado di fornire 750 Vcc alla linea di contatto. All'interno di ogni SSE è collocato un trasformatore di energia MT/BT.

PARAMETRI GEOMETRICI DI PROGETTO

Facendo parte di una rete di tramvie in parte in esercizio, nonché interscambiandosi con la Linea T2, i parametri geometrici di progetto adottati sono, obbligatoriamente, gli stessi utilizzati per la redazione del progetto delle linee già realizzate e in corso di realizzazione. Resta il rispetto, nella redazione del progetto esecutivo, di quanto previsto dalla norma UNI 7156:2020 e UNI 7836:2018 già citate.

CARATTERISTICHE E LIMITAZIONI PLANO – ALTIMETRICHE GENERALI

Le *caratteristiche piano – altimetriche* del tracciato, di seguito riportate, sono specificate all'interno della “*Relazione tecnica sistemazioni urbanistiche*”, elaborato del Progetto Esecutivo della Linea 3.2.1.

Tra queste vi sono caratteristiche geometriche quali il valore di *scartamento*, definito come la *distanza tra i bordini interni delle rotaie costituenti il binario, l'interasse*, intendendo la *distanza tra gli assi longitudinali di due binari attigi*, il valore di *raggio minimo* in linea, in deposito e negli scambi, nonché dei raccordi verticali tra le livellette. La *sopraelevazione in curva*, non prevista nel caso in esame, fa riferimento alla possibile sopraelevazione della rotaia esterna alla curva tra le rotaie del binario rispetto alla rotaia interna, con l'obiettivo di *diminuire il valore dell'accelerazione centrifuga* che agisce sui convogli che percorrono la curva. Sono presenti indicazioni sulla tipologia di *raccordo di transizione*, il quale si inserisce nel tracciato ogni qualvolta si passi da un tratto di rettilineo ad una curva, con lo scopo di produrre una *variazione graduale della curvatura*.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Infine, vengono date limitazioni alle caratteristiche cinematiche del moto, quali la velocità massima dei convogli, il cui significato non richiede delucidazioni, il massimo valore di accelerazione ammesso, intendendo l'accelerazione centrifuga generata in curva, e, da ultimo, il *contraccolpo*, il quale è definito come *la variazione dell'accelerazione centrifuga non compensata che agisce sul convoglio in curva nell'unità di tempo*. Con *accelerazione centrifuga non compensata* si intende la quota parte di accelerazione in curva che non viene “annullata” – compensata, appunto – sopraelevando la rotaia esterna in curva e che, quindi, viene percepita dai passeggeri inficiando il comfort di moto.

Descrizione	Valore	U.M.
Velocità massima	50	km/h
Scartamento	1435	mm
Interasse minimo tra i binari (palificata TE di tipo laterale)	3200	mm
Pendenza massima in linea	5,13	%
Raggio minimo planimetrico in linea	20	m
Raggio minimo planimetrico in deposito	20	m
Raggio minimo negli scambi	25	m
Sopraelevazione in curva	-	-
Raccordi di transizione	clotoidi	
Massimo valore di accelerazione ammesso	1,0	m/sec^2
Massimo valore di contraccolpo	0,5	m/sec^3
Raggio minimo dei raccordi verticali concavi	500	m
Raggio minimo dei raccordi verticali convessi	500	m
Interasse minimo intervia non palificata	3200	m

Tab. 5 Caratteristiche piano - altimetriche della Linea 3.2.1 – Limiti geometrici e cinematici

LIMITAZIONI GEOMETRICHE ALLE BANCHINE DI FERMATA

Sono previste diciassette fermate di progetto, capolinea compresi, di cui tre dotate di marciapiede banchina di fermata di tipo *laterale* e quattordici di tipo *centrale*, ciascuna dotata di marciapiede – banchina di fermata. Per esse valgono le seguenti limitazioni:

Descrizione	Valore	U.M.
Lunghezza massima marciapiede banchina di fermata “tipo laterale”	42	m

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Larghezza minima marciapiede banchina di fermata “tipo laterale”	2,50	m
Lunghezza massima marciapiede banchina di fermata “tipo centrale”	42	m
Larghezza minima marciapiede banchina di fermata “tipo centrale”	3,00	m
Altezza marciapiede banchina di fermata dal piano ferro	300	mm
Distanza massima tra la soglia della porta e il bordo della banchina di fermata	70	mm
Dislivello tra soglia porta veicolo e piano della banchina fermata (intervallo)	+50; -20	mm
Pendenza massima nelle fermate	1,79	%

Tab. 6 Caratteristiche geometriche delle banchine di fermata

SEDE TRAMVIARIA PROPRIA RISERVATA E PROMISCUA RISERVATA

La sede tranviaria si articola in 3.505 km in “sede propria riservata” e 3.643 km in “sede promiscua riservata”, rispettivamente il 49% e il 51% della lunghezza totale del tracciato. La tipologia della pavimentazione è funzione della tipologia di sede, in quanto la sede *propria riservata*, essendo concepita per il transito esclusivo dei veicoli tranviari, è di tipo inerbito. Viceversa, la sede *promiscua riservata*, pur essendo concepita per il transito dei veicoli a guida vincolata, prevede l'utilizzo anche da parte di veicoli a guida libera e, pertanto, la pavimentazione di progetto prevede diverse tipologie: binderi di porfido, lastre di pietra, masselli autobloccanti in calcestruzzo e conglomerato bituminoso.

DESCRIZIONE DEL MATERIALE ROTABILE

L'infrastruttura tranviaria della Linea 3.2.1 “Libertà – Bagno a Ripoli” si avvale di veicoli tranviari di nuova fornitura destinati a operare sia sul prolungamento in oggetto, sia sulla futura linea L4: Leopolda – Piagge – Campo Bisenzio.

GENERALITÀ DEL VEICOLO

Il veicolo adottato è specificatamente progettato per soddisfare i requisiti operativi di una moderna metro tranvia urbana. È pienamente conforme alla norma quadro italiana per le tranvie UNI11174 e possiede la capacità di circolare su tutte le linee attuali del sistema tranviario di Firenze.

Il requisito più distintivo e la capacità del rotabile di percorrere tratti di linea non alimentati da catenaria – *Catenary Free* – sfruttando un sistema di conservazione dell'energia a bordo.

Il veicolo è di tipo bidirezionale e multiarticolato, composto da 5 casse (denominate MA, RA, P, RB, MB) e poggia su tre carrelli, di cui due motorizzati sotto le casse M e uno portante sotto la cassa P. Il design è caratterizzato da pianale ribassato su tutta la lunghezza per facilitare l'accessibilità. Il design

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

del veicolo e volto a massimizzare la probabilità è l'attività del sistema. Per il design esterno sono previste ampie finestre per assicurare grande visibilità e trasparenza, promuovendo una totale immersione nell'ambiente cittadino.

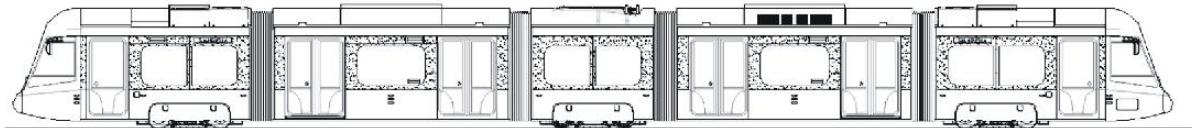


Fig. 18 Profilo longitudinale del veicolo

CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI E DIMENSIONALI

Le principali caratteristiche dimensionali e di capacità, assunte come parametri determinante per l'elaborazione delle sezioni correnti di linea, sono riassunte nella seguente tabella:

Lunghezza (mm)	32030
Larghezza (mm)	2400
Altezza (mm)	3414
Altezza pavimento dal piano del ferro (mm)	350
Diametro ruote (mm)	660
Scartamento (mm)	1435
Passo carrello (mm)	1700
Posti a sedere	42
Posti in piedi	231
Posti riservati HK/	4
Capacità totale	273
Velocità massima (km/h)	70
Potenza nominale (kW)	4x106
Alimentazione (Vcc)	750

Tab. 7 Caratteristiche prestazionali e dimensionali del veicolo

CAPITOLO 4 – PIANIFICAZIONE E PROGRAMMAZIONE DEL CANTIERE D2 - MACROCANTIERE LUNGARNI

Nell’ambito di questo capitolo si illustrerà il processo di pianificazione e programmazione di un sotto-cantiere della tramvia 3.2.1 di Firenze effettuate mediante applicazione della tecnica reticolare del *Precedence Diagramming Method* nella forma generalizzata con l’ausilio di software *Microsoft – Excel* per l’individuazione delle attività e la stima delle durate e *Oracle – Primavera P6 Professional* per l’individuazione delle relazioni tra attività.

Nello specifico si è presa in esame la tratta della linea tramviaria che si sviluppa su Lungarno del Tempio – tra Viale Amendola e via Piagentina – per una lunghezza complessiva di circa 380 metri, identificata, nella suddivisione in macrocantieri, come il cantiere “*D2 Lungarno del Tempio (Ponte S. Niccolò – Piagentina)*”.

L’obiettivo che si pone è quello di ottenere un cronoprogramma lavori, analogo per suddivisione in fasi di cantiere e relative durate rispetto a quello reperibile sui canali istituzionali del comune di Firenze, concepito a seguito dello studio dei criteri di valutazione della qualità delle programmazioni dei lavori, e sul quale poter effettuare successivamente la valutazione in 14 punti della *Defence Contract Management Agency* precedentemente analizzata.

Tale operazione è stata svolta avendo come supporto dati di input reperiti nell’ambito del tirocinio di tesi svolto tra luglio e settembre 2024 presso la sede di Carpi della “Società cooperativa muratori e braccianti C.M.B.” – impresa mandataria del Raggruppamento Temporaneo di Imprese per la realizzazione della Linea 3.2.1: Firenze – Bagno a Ripoli.

PIANIFICAZIONE DEI LAVORI: LA WORK BREAKDOWN STRUCTURE PER LA PARZIALIZZAZIONE DELL’OPERA IN ATTIVITÀ ELEMENTARI

Nel capitolo relativo alla programmazione, organizzazione e gestione del processo produttivo sono state individuate due azioni fondamentali per l’applicazione pratica delle tecniche reticolari alla pianificazione e programmazione dei lavori. Analizziamo il metodo adottato per lo svolgimento della prima fase, la quale consiste nella parzializzazione dell’opera in attività elementari e nell’attribuzione ad esse di una durata, ovvero un relativo consumo di tempo. La scomposizione del progetto si effettua identificando la cosiddetta Work Breakdown Structure di progetto.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

La cantierizzazione della linea prevede una suddivisione in Macrocantieri, relativi cantieri, e, infine, l'articolazione di questi in fasi di lavoro nelle quali far rientrare le cosiddette SuperCategorie e SubCategorie di lavorazioni. In questo modo è stata operata una scomposizione del progetto con struttura ad albero – detta Work Breakdown Structure – la quale scomponete il progetto sia spazialmente che temporalmente con il fine di individuare le singole attività elementari. Pertanto, la WBS di progetto si articola in sei livelli: Macrocantieri, Cantieri, Fasi di cantiere, SuperCategorie, SubCategorie ed Elementi Numerabili.

WBS DI PRIMO LIVELLO: LA SUDDIVISIONE IN MACROCANTIERI

La WBS di primo livello suddivide la Linea 3.2.1 in dodici macrocantieri, di cui otto macrocantieri di linea, tre macrocantieri puntuali e un macrocantiere per il riassetto della viabilità. Questa suddivisione deriva principalmente da vincoli a livello viabilistico, nonché dalla necessità di concatenare in progressione temporale o sequenziale specifiche tipologie di lavorazioni.

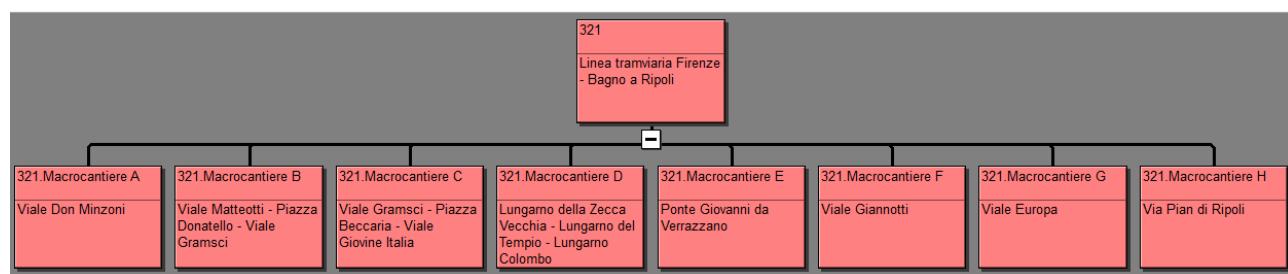


Fig. 19 Suddivisione in Macrocantieri di Linea – Estratto da Primavera P6 Professional

Nella Figura 19 è stata riportata la suddivisione prevista dal RTI negli elaborati progettuali relativi alla cantierizzazione della Linea 3.2.1 previsti per i cantieri di linea – escludendo il deposito, il nuovo ponte sull'Arno, i parcheggi scambiatori e il riassetto della viabilità.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

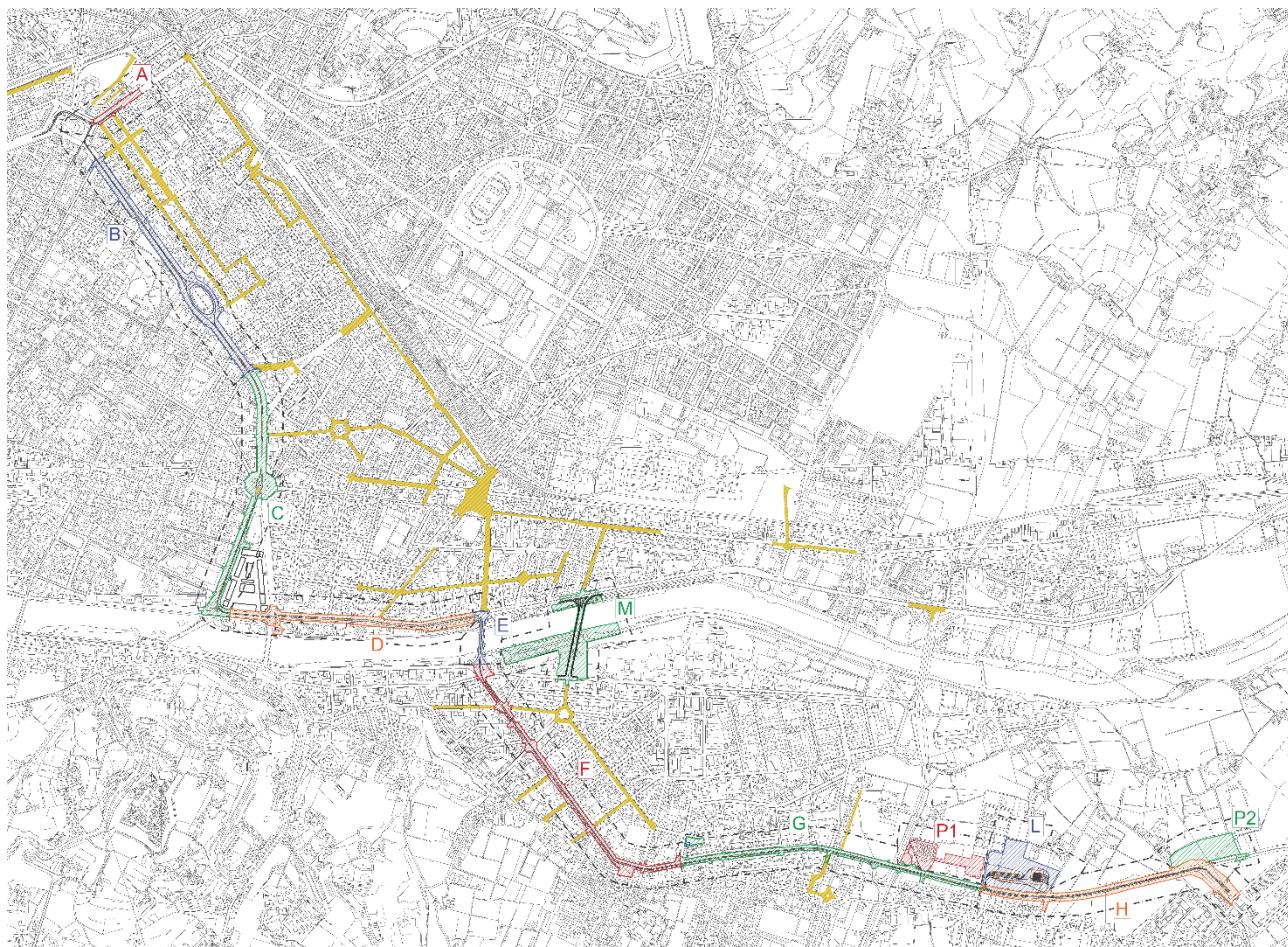


Fig. 20 Corografia dei macrocantieri - Estratto da elaborato FL32-PD-CAN-PL-001-0E

Tale suddivisione è illustrata negli elaborati del progetto definitivo relativi alla cantierizzazione e alle contemporaneità di cantiere e, nello specifico, nell'elaborato “*Corografia delle Aree di intervento*” di cui si riporta un estratto in Figura 20.

WBS DI SECONDO LIVELLO: LA SUDDIVISIONE IN CANTIERI

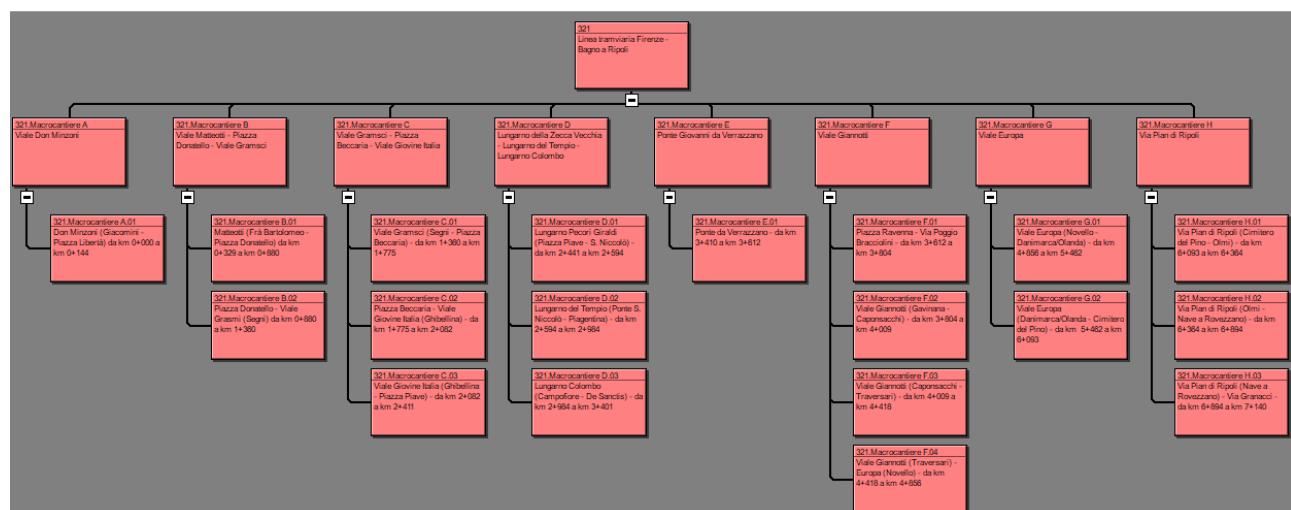


Fig. 21 Suddivisione in cantieri dei Macrocantieri di linea - Estratto da Primavera P6 Professional

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Ciascun macrocantiere può prevedere una ulteriore suddivisione in cantieri. Quest'ultima è identificata come WBS di Secondo Livello ed illustrata in Figura 21.

Nello specifico sono state previste dal RTI le seguenti contemporaneità generali per i cantieri riportate nella seguente tabella.

Cantiere	Denominazione cantiere	Progressiva chilometrica	Mese iniziale	Mese finale
A1	<i>Don Minzoni (Giacomini - Piazza Libertà)</i>	<i>da km 0+000 a km 0+144</i>	25	26
B1	<i>Matteotti (Frà Bartolomeo - Piazza Donatello)</i>	<i>da km 0+329 a km 0+880</i>	17	35
B2	<i>Piazza Donatello - Viale Gramsci (Segni)</i>	<i>da km 0+880 a km 1+360</i>	30	46
C1	<i>Viale Gramsci (Segni - Piazza Beccaria)</i>	<i>da km 1+360 a km 1+775</i>	44	58
C2	<i>Piazza Beccaria – Viale Giovine Italia (Ghibellina)</i>	<i>da km 1+775 a km 2+082</i>	0	8
C3	<i>Viale Giovine Italia (Ghibellina – Piazza Piave)</i>	<i>da km 2+082 a km 2+411</i>	9	18
D1	<i>Lungarno Pecori Giraldi (Piazza Piave – S. Niccolò)</i>	<i>da km 2+441 a km 2+594</i>	21	27
D2	<i>Lungarno del Tempio (Ponte S. Niccolò – Piagentina)</i>	<i>da km 2+594 a km 2+984</i>	39	50
D3	<i>Lungarno Colombo (Campofiore – De Sanctis)</i>	<i>da km 2+984 a km 3+401</i>	38	50
E1	<i>Ponte da Verrazzano</i>	<i>da km 3+410 a km 3+612</i>	17	24
F1	<i>Piazza Ravenna - Via Poggio Bracciolini</i>	<i>da km 3+612 a km 3+804</i>	51	58
F2	<i>Viale Giannotti (Gavinana - Caponsacchi)</i>	<i>da km 3+804 a km 4+009</i>	51	58
F3	<i>Viale Giannotti (Caponsacchi – Traversari)</i>	<i>da km 4+009 a km 4+418</i>	9	19

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

F4	Viale Giannotti (Traversari) - Europa (Novello)	da km 4+418 a km 4+856	9	19
G1	Viale Europa (Novello - Danimarca/Olanda)	da km 4+856 a km 5+462	27	42
G2	Viale Europa (Danimarca/Olanda - Cimitero del Pino)	da km 5+462 a km 6+093	40	56
H1	Via Pian di Ripoli (Cimitero del Pino – Olmi)	da km 6+093 a km 6+364	49	56
H2	Via Pian di Ripoli (Olmi - Nave a Rovezzano)	da km 6+364 a km 6+894	26	44
H3	Via Pian di Ripoli (Nave a Rovezzano) - Via Granacci	da km 6+894 a km 7+140	0	10

Tab. 8 Contemporaneità dei cantieri e progressive chilometriche

Nella Tabella 1 è stata evidenziata la riga relativa al cantiere D2. Si sottolinea che lo svolgimento delle lavorazioni inerenti il cantiere di studio è previsto dal mese 39 al mese 50 del cronoprogramma – pari a 11 mesi – e che la sua estensione spaziale va dal km 2+594 al km 2+984 – pari a 390 metri. Esso è svolto in quasi totale contemporaneità al cantiere D3 prospiciente.

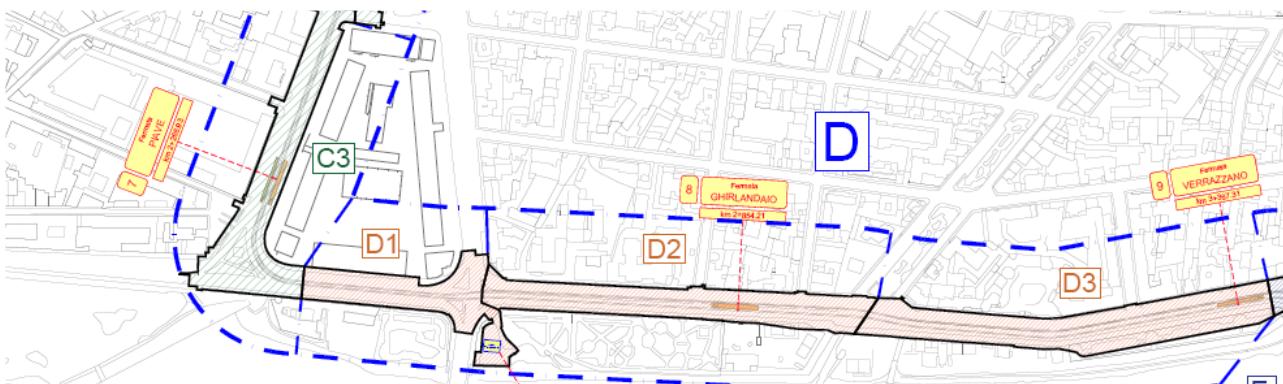


Fig. 22 Macrocantiere D e suddivisione in cantieri – Estratto da elaborato 321GEN00006PE – Relazione Generale

Si procede esaminando il solo cantiere D2, la relativa suddivisione temporale in fasi di lavoro e le Super e Sub categorie di lavorazioni rientranti in ciascuna delle fasi individuate dal RTI.

IL CANTIERE D2: LUNGARNO DEL TEMPIO

La tratta in esame si sviluppa tra gli incroci ponte San Niccolò – viale Amendola, nelle vicinanze del quale è collocata la sottostazione elettrica di San Niccolò rientrante nelle lavorazioni del cantiere D1, e Lungarno Colombo – via Piacentina. La tratta è a binari singoli sdoppiati.



Fig. 23 Planimetria fuori scala dello stato di progetto della tratta su Lungarno del Tempio ottenuta mediante allineamento delle planimetrie dello stato di progetto – Estratti da elaborati: 3217IX10078PE_0B_P19, 3217IX10079PE_0B_P20, 3217IX10080PE_0B_P21

In Figura 23 è stato effettuato un allineamento delle planimetrie relative allo stato di progetto della tratta della linea su Lungarno del Tempio corrispondente al cantiere D2.

Per la sede tramviaria si utilizza una pavimentazione inerbita in sedum per dare continuità alla adiacente aiuola alberata. La pavimentazione della sede in corrispondenza della banchina di fermata è in lastre di pietra forte fiorentino, mentre negli incroci con la sede stradale si utilizza il conglomerato bituminoso. I percorsi ciclopedonali sono caratterizzati da un tappeto di usura in conglomerato bituminoso con aggregati di colore rosso ai fini di evidenziarne la posizione rispetto alla sede stradale.



Fig. 24 Foto inserimento della fermata Ghirlandaio estratto da elaborati del Progetto Esecutivo

Nella tratta è collocata la fermata “Ghirlandaio” (km 2+854 (BD) / km 2+877 (BS)) dotata di marciapiede – banchina di fermata di tipo centrale e pensilina. La pensilina ha struttura portante in

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

acciaio costituita da quattro montanti incrociati e da due travi orizzontali a sbalzo a sostegno della copertura in lastre di vetro leggermente curvato.



Fig. 25 Sezione trasversale fuori scala dello stato di fatto e dello stato di progetto di Lungarno del Tempio - Estratto da elaborato 3217IX10115PE_0B_S5 del Progetto Esecutivo

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

La sezione trasversale vede i binari della linea attestarsi ai lati di un’aiuola centrale in cui vengono mantenute le alberature esistenti, salvo alcune eccezioni. Ai lati della sede tramviaria è collocata la sede stradale. In particolare, lato sud, sono disposte due corsie senza aree di sosta con marciapiede e percorso ciclo-pedonale, quest’ultimo contenuto in parte all’interno del “Giardino Lungarno del Tempio – Antonino Caponnetto”, mentre sul lato nord sono disposte due corsie con aree di sosta e marciapiede.

WBS DI TERZO LIVELLO: LA SUDDIVISIONE DEL CANTIERE D2 IN FASI SEQUENZIALI

L’esecuzione delle lavorazioni relative al cantiere D2 si articolano in quattro fasi attuative, le quali consentono di mantenere per la durata dei lavori due corsie per ogni senso di marcia e, dove possibile, le fermate degli autobus.

L’articolazione in fasi e le rispettive durate stimate sono riportate del documento “Cantierizzazione – Elaborati Generali – Cronoprogramma”: FL32-PD-CAN-SK001-0G.

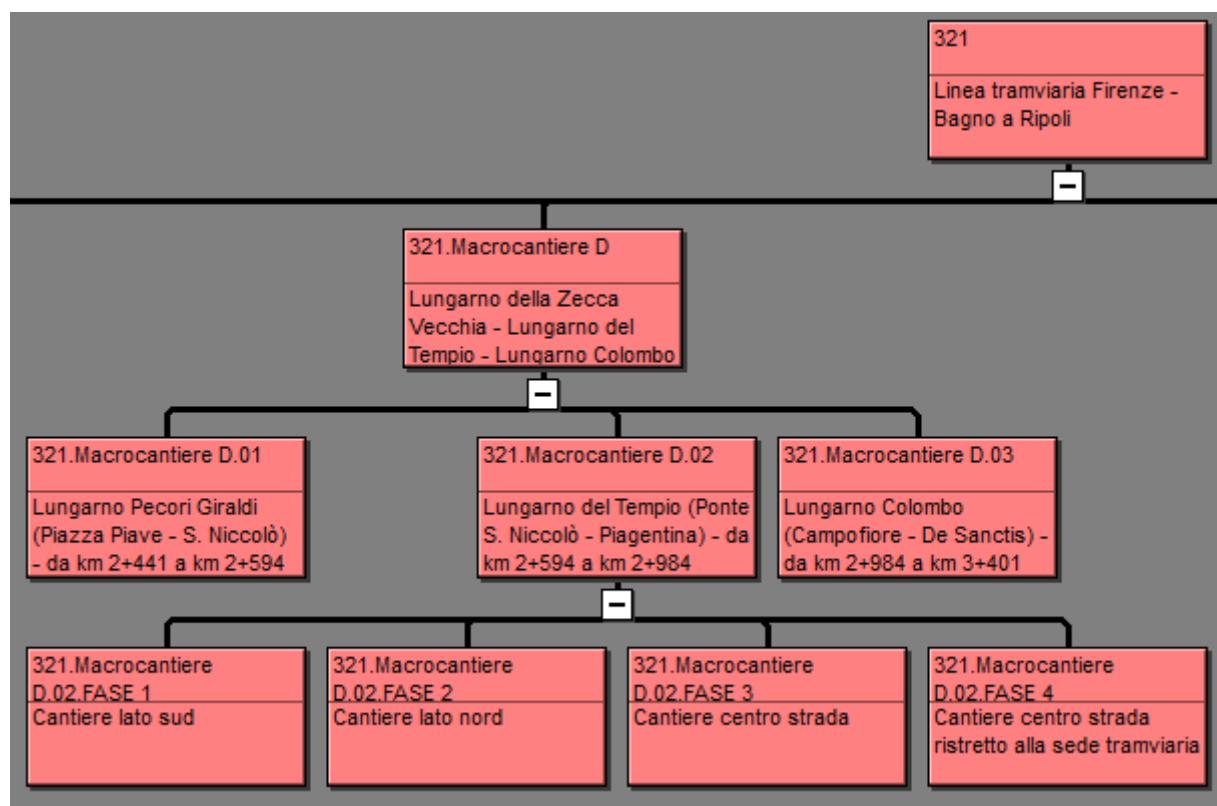


Fig. 26 WBS di Quarto Livello - Suddivisione in fasi di cantiere

FASE 1

Nella fase 1 è previsto un cantiere lato sud.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

I lavori previsti in questa fase sono, relativamente alla zona di cantiere individuata nelle planimetrie: lo spostamento dei sottoservizi, la realizzazione dei plinti della linea di contatto, la realizzazione del cavidotto per l'illuminazione pubblica e del relativo impianto, la realizzazione delle sistemazioni urbane, la realizzazione dei micropali – incrocio Lungarno del Tempio-via Piagentina e via del Campofiore – e, infine, la realizzazione di una porzione del nuovo acquedotto DN 1400 e camerette connesse.

La durata stimata nel cronoprogramma dei lavori per la fase 1 è di 78 giorni, corrispondenti ai primi quattro mesi. Si riporta l'individuazione dell'area di cantiere della fase 1 e relativo assetto della viabilità per ciascuna mensilità.

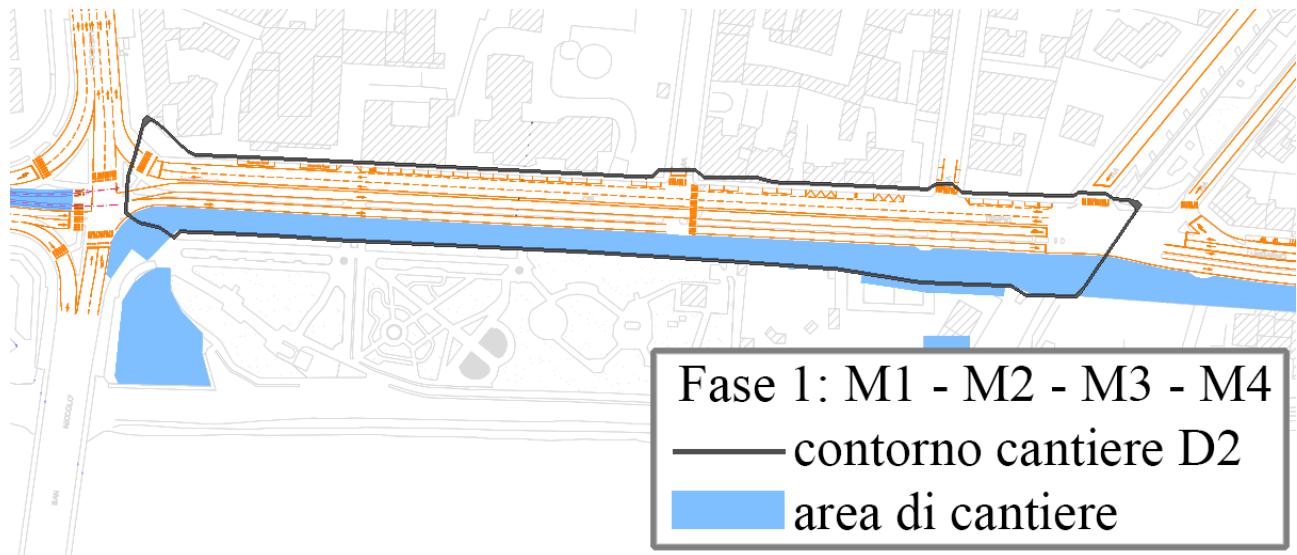


Fig. 27 Fase 1 del cantiere D2 - viabilità lato nord con due corsie per senso di marcia - cantiere lato sud in azzurro

FASE 2

Nella fase 2 è previsto un cantiere lato nord.

Relativamente alla zona di cantiere individuata nelle planimetrie, i lavori previsti in questa fase sono: lo spostamento dei sottoservizi, la realizzazione dei plinti della linea di contatto, la realizzazione del cavidotto per l'illuminazione pubblica e del relativo impianto, la realizzazione delle sistemazioni urbane.

La durata stimata nel cronoprogramma dei lavori per la fase 2 è di 45 giorni, corrispondenti ai mesi 5 e 6. Si riporta l'individuazione dell'area di cantiere della fase 2 e relativo assetto della viabilità.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

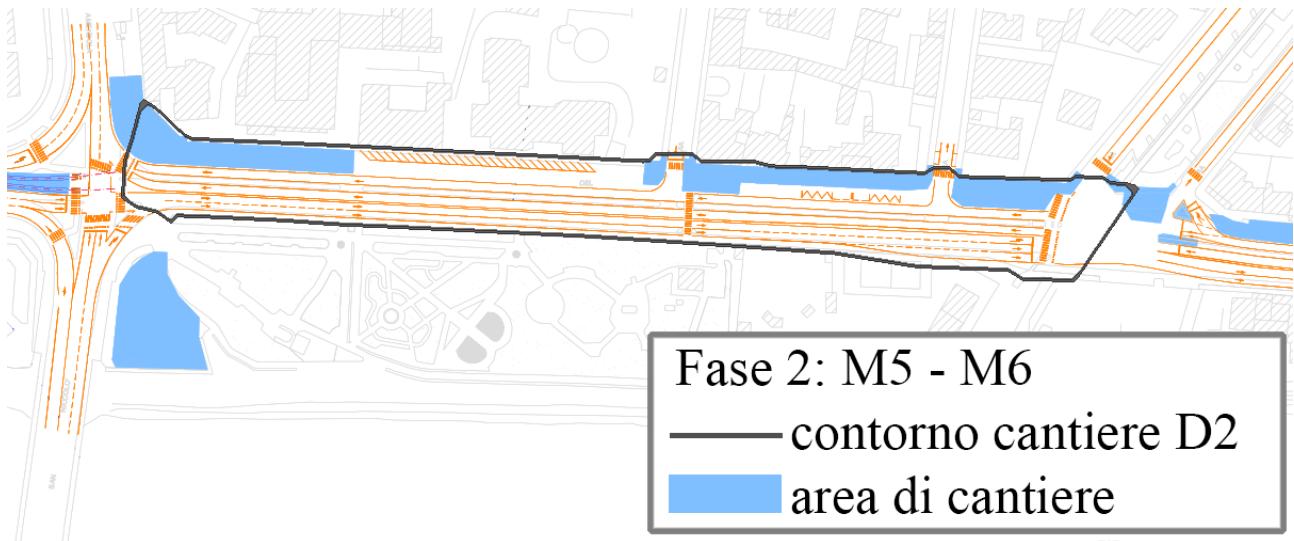


Fig. 28 Fase 2 del cantiere D2 - viabilità lato sud con due corsie per senso di marcia - cantiere lato nord in azzurro

FASE 3

Nella fase 3 è previsto un cantiere al centro strada. La fase 3 è suddivisa nelle sottofasi 3A e 3B, in modo tale da parzializzare gli incroci e mantenere invariate le direttrici di via Piagentina e via del Campofiore.

Relativamente alla zona di cantiere individuata nelle planimetrie, i lavori previsti in questa fase sono: la realizzazione della sede tramviaria, la realizzazione della fermata Ghirlandaio, la posa dell'armamento, la realizzazione dei plinti della linea di contatto e la realizzazione di sistemazioni urbane.

La durata stimata nel cronoprogramma dei lavori per la fase 3 è di 113 giorni: mese 7 per la fase 3A e mesi 8 e 9 per la fase 3B.

Si riporta l'individuazione dell'area di cantiere della fase 3 e relativo assetto della viabilità.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

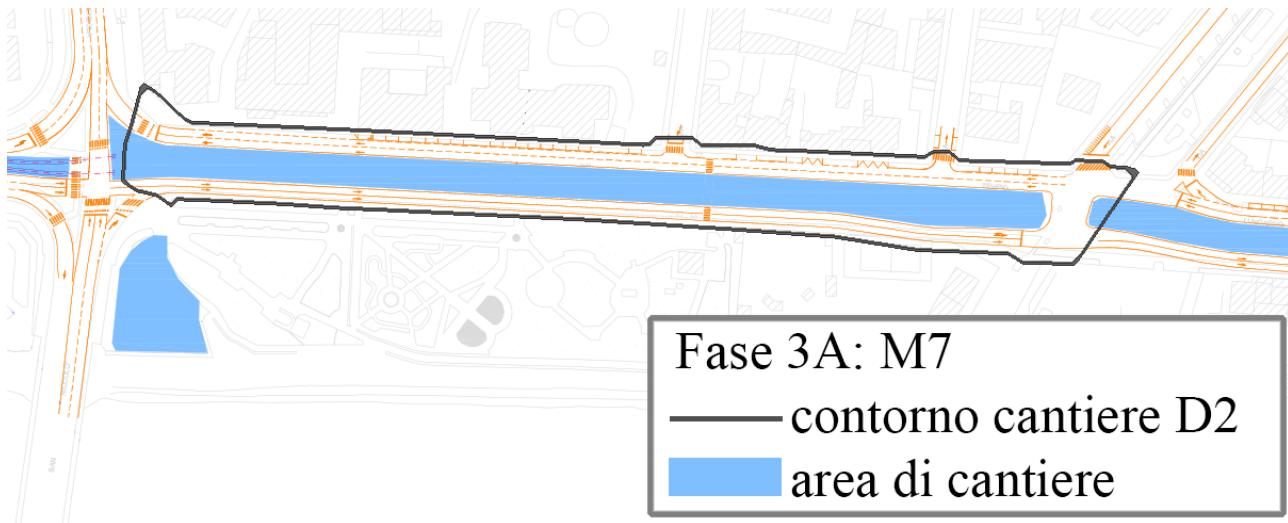


Fig. 29 Fase 3A del cantiere D2 - viabilità ai lati dell'area di cantiere con due corsie per senso di marcia - cantiere centrale

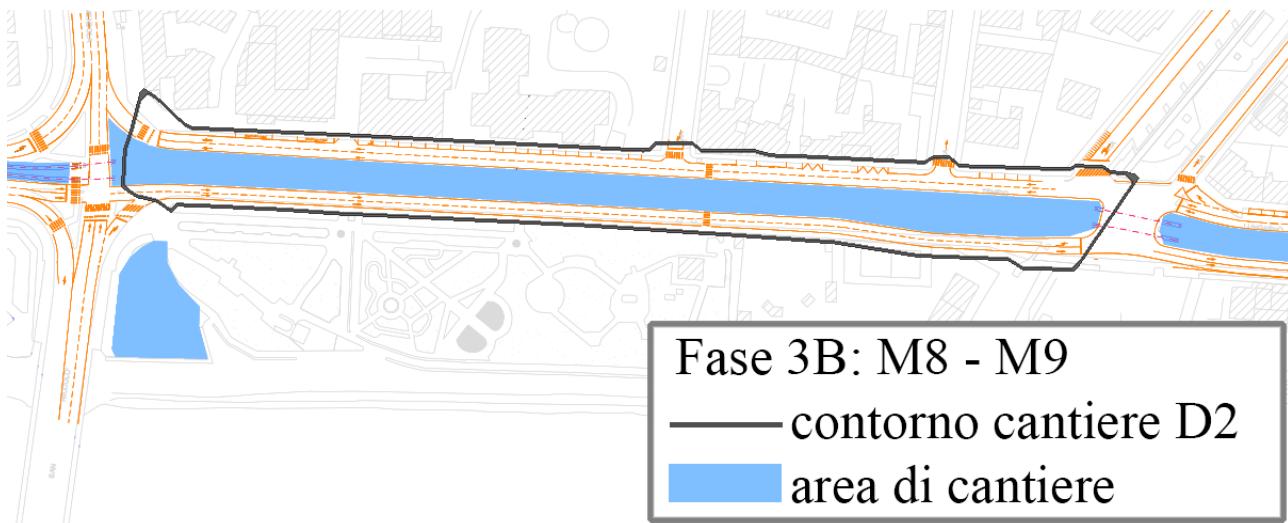


Fig. 30 Fase 3B del cantiere D2 - viabilità ai lati dell'area di cantiere con due corsie per senso di marcia - cantiere centrale

FASE 4

Nella fase 4 il cantiere si mantiene al centro strada con restringimenti dell'area di cantiere.

I lavori previsti in questa fase sono le lavorazioni relative agli impianti tecnologici tramviari, il tesaggio dei cavi, la posa delle finiture della sede tramviaria. Si escludono le prove sui sistemi tecnologici e del pre-esercizio, le quali sono rimandate ad una fase successiva. Pertanto, l'area resta cantierizzata.

La durata stimata nel cronoprogramma dei lavori per la fase 4 è di 16 giorni posti a cavallo tra gli ultimi due mesi di lavorazioni relativi al cantiere D2.

Si riporta l'individuazione dell'area di cantiere della fase 4 e relativo assetto della viabilità.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

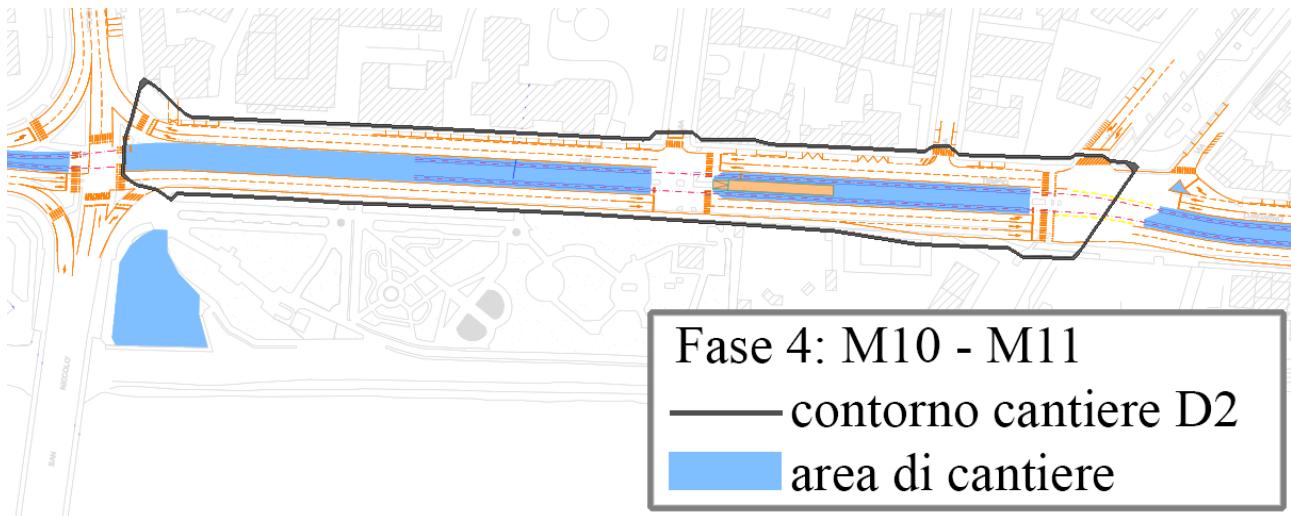


Fig. 31 Fase 4 del cantiere D2 - viabilità ai lati dell'area di cantiere con due corsie per senso di marcia - cantiere centrale ristretto al solo ingombro della sede tramviaria

WBS DI QUARTO LIVELLO: LA SUDDIVISIONE IN SUPERCATEGORIE DI LAVORI DEL CME

Con l'obiettivo di individuare le singole attività, è stato utilizzato come supporto il computo metrico estimativo del progetto definitivo – Elaborato FL32-PD-GEN-RL-004-0I. Quest'ultimo organizza le lavorazioni nelle cosiddette SuperCategorie di lavori e relative SubCategorie o elementi numerabili. La scomposizione è stata riportata nella seguente tabella:

Codice CME	SuperCategoria	WBS 4° Livello
SZ	ONERI DI SICUREZZA	001
SS	SPOSTAMENTO SOTTOSERVIZI	002
SU	SISTEMAZIONI URBANE	003
IP	ILLUMINAZIONE PUBBLICA	004
IN	INCROCI E SEGNALETICA	005
ST	SEDE TRAMVIARIA	006
FE	FERMATE	007
AR	ARMAMENTO	008
SE	IMPIANTI DI SEGNALAMENTO	009

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

SI	SISTEMI INFORMATIVI E TRASMISSIVI	010
LC	LINEA DI CONTATTO	011
MT	ALIMENTAZIONE ELETTRICA MT E SSE	012
LF	LUCE E FORZA MOTRICE	013

Tab. 9 Suddivisione delle voci del CME in SuperCategorie

Mentre l’organizzazione in SuperCategorie del CME è stata mantenuta nel presente lavoro – corrispondente al codice WBS di Quarto Livello – la distinzione in SubCategorie è stata modificata distinguendo tra SubCategorie ed Elementi Numerabili – corrispondenti rispettivamente ai codici WBS di Quinto e Sesto Livello. Pertanto, nel paragrafo successivo viene descritta l’articolazione della WBS di Quinto e Sesto Livello per ciascuna SuperCategoria di lavori.

WBS DI QUINTO LIVELLO: SICUREZZA DI CANTIERE

Le voci contenute all’interno della SuperCategoria sulla sicurezza di cantiere – Oneri Sicurezza – sono relative alla cantierizzazione delle quattro fasi di cantiere, ovvero alla messa in esercizio di tutti i dispositivi di sicurezza collettivi e individuali necessari all’avvio delle lavorazioni. Pertanto, tali operazioni precedono le altre nella misura e nei dettagli definiti dal Piano di Sicurezza e Coordinamento. Nel Computo Metrico Estimativo vengono individuate quattro SubCategorie nella SuperCategoria della Sicurezza di cantiere, le quali sono riportate nella seguente tabella.

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
001	SIC1 - Apprestamenti Sicurezza	001
001	SIC2 - Recinzioni di Cantiere	002
001	SIC3 - Impianti semaforici provvisori	003
001	SIC4 - Impianti illuminazione pubblica provvisori	004

Tab. 10 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria SZ in SubCategorie comprese nel cantiere D2

Non viene effettuata una ulteriore suddivisione in elementi numerabili delle SubCategorie. Qui si precisa tuttavia che gli *apprestamenti sicurezza* comprendono le voci sulla segnaletica di cantiere orizzontale e verticale – cartellonistica di cantiere –, la predisposizione di box prefabbricati e WC

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

chimici, le attrezzature di primo soccorso e antincendio, le protezioni degli scavi, le andatoie e le passerelle. La SubCategoria *Recinzioni di cantiere* contiene le voci sul montaggio, lo smontaggio e la movimentazione all'interno del cantiere delle barriere mobili, di tipo zincato prefabbricato o a New Jersey. Vi sono poi – SubCategoria *impianti semaforici provvisori* – la messa in esercizio di impianti semaforici quali il montaggio e lo smontaggio di pali, paline e lanterne semaforiche. Infine, l'ultima SubCategoria comprende il montaggio e lo smontaggio di impianti di illuminazione pubblica provvisori. Pertanto, è possibile attribuire un codice WBS che tenga conto della fase di cantiere:

Si riporta la tabella relativa all'identificazione del codice WBS.

WBS 3° Livello	WBS 5° Livello	SubCategoria	Codice WBS completo
010	001	SIC1 - Apprestamenti Sicurezza	D.2.010.001.001
010	002	SIC2 - Recinzioni di Cantiere	D.2.010.001.002
010	004	SIC4 - Impianti illuminazione pubblica provvisori	D.2.010.001.004
020	001	SIC1 - Apprestamenti Sicurezza	D.2.020.001.001
020	002	SIC2 - Recinzioni di Cantiere	D.2.020.001.002
020	003	SIC3 - Impianti semaforici provvisori	D.2.020.001.003
020	004	SIC4 - Impianti illuminazione pubblica provvisori	D.2.020.001.004
030	001	SIC1 - Apprestamenti Sicurezza	D.2.030.001.001
030	002	SIC2 - Recinzioni di Cantiere	D.2.030.001.002
030	003	SIC3 - Impianti semaforici provvisori	D.2.030.001.003
040	001	SIC1 - Apprestamenti Sicurezza	D.2.040.001.001
040	002	SIC2 - Recinzioni di Cantiere	D.2.040.001.002

Tab. 11 Attribuzione del codice WBS alle lavorazioni contenute nella SuperCategoria 001 – Sicurezza di cantiere

Al fine una più facile lettura del reticolo, in Primavera P6 si distinguono per ciascuna fase di cantiere due SuperCategorie di lavori: “Sicurezza: Installazione del cantiere” e “Sicurezza: Disinstallazione del cantiere”.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

ONERI CONFERIMENTO TERRE E ARCHEOLOGIA

Si sceglie di non inserire nel cronoprogramma lavori le voci relative alle SuperCategorie Oneri conferimento terre e Archeologia in quanto ad esse non è associato un consumo di tempo – durata delle attività – in cantiere ma solamente un consumo di risorse – denaro – e focalizzandoci nel presente lavoro sul Project Time Management.

Tuttavia, dall’analisi degli oneri sul conferimento terre risulta più evidente che nelle voci sulle attività di demolizione sia compreso anche il trasporto delle terre e che quindi in una seconda fase di affinamento del cronoprogramma le attività di demolizione debbano essere scomposte in attività di demolizione e attività di trasporto materie a discarica, con una riduzione di durata dell’attività di demolizione.

WBS DI QUINTO E SESTO LIVELLO: SPOSTAMENTO DEI SOTTOSERVIZI

Lo spostamento dei sottoservizi – risoluzione delle interferenze della linea con i sottoservizi esistenti – risulta essere una delle problematiche chiave inerenti il progetto di una linea tramviaria, essendo la loro presenza ed esatta collocazione una delle principali incognite al momento dell’inizio dei lavori.

Per queste motivazioni, la progettazione esecutiva della Linea 3.2.1 è stata preceduta dall’acquisizione delle cartografie delle reti esistenti presso gli Enti Gestori, le quali sono state integrate con operazioni di rilievo dei pozzi e nello specifico del sistema fognario ottocentesco.

Si è riscontrato che il tracciato della linea interfiisce direttamente o indirettamente con numerosi sottoservizi esistenti, quali le reti fognaria e acquedottistica – gestore Publiacqua S.p.A. – gasdotti BP, MP, AP – gestore Toscana Energia S.p.A. – cavi elettrici BT e MT – gestore Enel S.p.A. – infrastrutture telefoniche – gestori TIM, WIND, FASTWEB, Open Fiber – cavi elettrici Alta Tensione – gestore Terna S.p.A.

Per il cantiere D2, le SubCategorie di lavorazioni ricomprese nella SuperCategoria dello spostamento dei sottoservizi sono riportate nella tabella seguente:

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
002	TRASPORTO TERRE - SSV.	001

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

002	SOTTOSERVIZI PUBLIACQUA ACQUEDOTTO - OPERE CIVILI E OPERE SPECIALISTICHE	002
002	SOTTOSERVIZI PUBLIACQUA FOGNATURA - OPERE CIVILI E OPERE SPECIALISTICHE	003
002	SOTTOSERVIZI TIM - OPERE CIVILI E OPERE SPECIALISTICHE	004
002	SOTTOSERVIZI E - DISTRIBUZIONE - OPERE CIVILI E OPERE SPECIALISTICHE	005
002	SOTTOSERVIZI TOSCANA ENERGIA - OPERE CIVILI	006
002	RICUCITURE E ALTRO - OPERE CIVILI	007

Tab. 12 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria SS in SubCategorie comprese nel cantiere D2

All’interno di ciascuna SubCategoria si individuano i cosiddetti “*elementi numerabili*”, ovvero le singole risoluzioni per ciascuna interferenza. Gli elementi numerabili vengono collocati spazialmente e le lavorazioni ad essi afferenti vengono associate – in base alla collocazione spaziale – ad una fase di cantiere. Si è riscontrato che le lavorazioni sui sottoservizi si collocano temporalmente all’interno delle prime due fasi di cantiere. In questo modo è possibile attribuire un codice WBS a ciascun elemento e compilare la WBS in Primavera P6.

Si riporta la tabella relativa all’identificazione del codice WBS.

WBS 3° Livello	WBS 5° Livello	Elemento Numerabile	WBS 6° Livello	Codice WBS completo
010	001	Terre da scavi – SSV.	001	D.2.010.002.001.001
010	001	Bitumi da fresature di pavimentazioni stradali – SSV.	002	D.2.010.002.001.002
010	002	DA.00b - Acquedotto longitudinale - DN1400 ghisa sferoidale - lungarno del Tempio - OO.CC. e OO.SS.	001	D.2.010.002.002.001
010	002	DA.02 - Acquedotto longitudinale - DN1400 ghisa sferoidale - camerette - OO.CC.	002	D.2.010.002.002.002
010	003	DFG.01 - Condotta trasversale Ghisa Sferoidale Ø1000 - lungarno Colombo incrocio ponte S. Niccolò - OO.CC. e OO.SS.	001	D.2.010.002.003.001

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

010	005	DEM.04 - E-Distribuzione MT longitudinale - 4 tubi corrugati - da ponte S. Niccolò a incrocio con via del Campofiore - OO.CC. e OO.SS.	001	D.2.010.002.005.001
010	006	DGB.01 - Gas BP trasversale - tubazione PE DN225 con camicia acciaio DN300 - ponte San Niccolò - OO.CC.	001	D.2.010.002.006.001
010	007	DFO-07 Ricucitura FO Affrico 1 - OO.CC.	004	D.2.010.002.007.004
020	001	Terre da scavi – SSV.	001	D.2.020.002.001.001
020	001	Bitumi da fresature di pavimentazioni stradali – SSV.	002	D.2.020.002.001.002
020	004	DT.03 - TIM trasversale - polifora 4 tubi - Lungarno del Tempio incrocio via del Ghirlandaio - OO.CC. e OO.SS.	001	D.2.020.002.004.001
020	004	DT.04 - TIM trasversale - polifora 4 tubi - Lungarno del Tempio altezza civ. 66 - OO.CC. e OO.SS.	002	D.2.020.002.004.002
020	006	DGM.02- Gas MP longitudinale tubazione acciaio rivestito DN300 - da viale Amendola a lungarno del Tempio fino al civ. 42 - OO.CC.	002	D.2.020.002.006.002
020	007	DFO-04 Ricucitura FO viale Amendola 2 - OO.CC.	001	D.2.020.002.007.001
020	007	DFO-05 Ricucitura FO via Orcagna - OO.CC.	002	D.2.020.002.007.002
020	007	DFO-06 Ricucitura FO via del Ghirlandaio - OO.CC.	003	D.2.020.002.007.003

Tab. 13 Attribuzione del codice WBS agli elementi numerabili relativi alla SuperCategoria 002 - Spostamento Sottoservizi

WBS DI QUINTO E SESTO LIVELLO: SISTEMAZIONI URBANE

Nella SuperCategoria relativa alle Sistemazioni Urbanistiche si fanno rientrare tutti gli interventi complementari alla realizzazione della sede che sono necessari all'integrazione dell'opera con il contesto urbanistico e architettonico. Sono comprese la riqualificazione delle pavimentazioni dei diversi percorsi – carrabili, pedonali, ciclabili e ciclopedonali – dunque interventi sui marciapiedi, sulle aiuole, sulle isole spartitraffico, sulle sedi stradali, sulle piste ciclabili, sui cordoli e sulle zanelle per lo scolo delle acque, sugli stalli, sulla segnaletica stradale orizzontale, sul verde con la conservazione delle alberature esistenti e nuovi impianti. I marciapiedi saranno dotati di percorsi tattili per ipovedenti e ogni intervento sarà conforme alle norme vigenti in materia di abbattimento delle barriere architettoniche. Inoltre, sono comprese all'interno della SuperCategoria Sistemazioni Urbane le lavorazioni relative alla predisposizione delle opere civili, ovvero la realizzazione dei plinti

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

dei pali della trazione elettrica, la predisposizione delle opere per il drenaggio della sede stradale, quali pozzetti con caditoie trasversali connesse alle condotte di drenaggio dn 160, l'allaccio di questa con la rete esistente e la predisposizione del cavidotti e relativi pozzetti per gli impianti di illuminazione pubblica.

Le lavorazioni inerenti le Sistemazioni Urbane saranno eseguite in tutte le fasi di cantiere – ad eccezione della quarta fase – in base alla loro collocazione spaziale.

Per il cantiere D2, le SubCategorie di lavorazioni ricomprese nella SuperCategoria delle sistemazioni urbane sono riportate nella tabella seguente:

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
003	SU - OPERA DI LINEA	001
003	SU - OPERA A VERDE	002
003	SU - IMPIANTO DI IRRIGAZIONE	003
003	SU - TRASPORTO TERRE	004

Tab. 14 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria SU in SubCategorie comprese nel cantiere D2

All'interno di ciascuna SubCategoria si individuano i cosiddetti “*elementi numerabili*”, ovvero le aiuole, marciapiedi, sedi carrabili ecc. Gli elementi vengono collocati spazialmente e le lavorazioni ad essi afferenti vengono associate – in base alla collocazione spaziale – ad una fase di cantiere. In questo modo è possibile attribuire un codice WBS a ciascun elemento e compilare la WBS in Primavera P6.

Si riporta la tabella relativa all'identificazione del codice WBS.

WBS 3° Livello	WBS 5° Livello	Elemento Numerabile	WBS 6° Livello	Codice WBS completo
010	001	Isola Ponte San Niccolò - viale Giovanni Amendola	001	D.2.010.003.001.001
010	001	Marciapiede Ponte San Niccolò - Lungarno del Tempio	002	D.2.010.003.001.002

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

010	001	Marciapiede Lungarno del Tempio - Lungarno Cristoforo Colombo - ponte Giovanni da Verrazzano	003	D.2.010.003.001.003
010	001	Sede stradale tipo C	004	D.2.010.003.001.004
010	001	Sede Stradale tipo A	005	D.2.010.003.001.005
010	001	Sede Stradale (pista ciclabile)	006	D.2.010.003.001.006
010	001	Pista ciclabile Lungarno del Tempio (ponte San Niccolò - via Piagentina)	007	D.2.010.003.001.007
010	001	Segnaletica verticale	008	D.2.010.003.001.008
010	001	Segnaletica orizzontale	009	D.2.010.003.001.009
010	001	Drenaggio sede stradale	010	D.2.010.003.001.010
010	001	Illuminazione pubblica	011	D.2.010.003.001.011
010	001	Percorsi tattili per ipovedenti	012	D.2.010.003.001.012
010	004	Trasporto terre - OO.CC.	001	D.2.010.003.004.001
020	001	Marciapiede viale Giovanni Amendola - Lungarno del Tempio	001	D.2.020.003.001.001
020	001	Marciapiede Lungarno del Tempio - via Orcagna	002	D.2.020.003.001.002
020	001	Marciapiede via Orcagna - via del Ghirlandaio	003	D.2.020.003.001.003
020	001	Isola via Orcagna - via del Ghirlandaio	004	D.2.020.003.001.004
020	001	Marciapiede via del Ghirlandaio - via Piagentina	005	D.2.020.003.001.005
020	001	Isola via del Ghirlandaio - via Piagentina	006	D.2.020.003.001.006
020	001	Sede Stradale tipo C	007	D.2.020.003.001.007
020	001	Sede Stradale tipo A	008	D.2.020.003.001.008
020	001	Marciapiede via Piagentina - via del Campofiore	009	D.2.020.003.001.009
020	001	Isola via del Campofiore - Lungarno Cristoforo Colombo	010	D.2.020.003.001.010
020	001	Segnaletica verticale	011	D.2.020.003.001.011

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

020	001	Segnaletica orizzontale	012	D.2.020.003.001.012
020	001	Drenaggio sede stradale	013	D.2.020.003.001.013
020	001	Illuminazione pubblica	014	D.2.020.003.001.014
020	001	Percorsi tattili per ipovedenti	015	D.2.020.003.001.015
020	004	Trasporto terre - OO.CC.	001	D.2.020.003.004.001
030	001	Aiuola Ponte San Niccolò - viale Giovanni Amendola	001	D.2.030.003.001.001
030	001	Aiuola Ponte San Niccolò - Lungarno del Tempio	002	D.2.030.003.001.002
030	001	Isola Lungarno del Tempio (centrale) - Parte 1	003	D.2.030.003.001.003
030	001	Isola Lungarno del Tempio (centrale) - Parte 2	004	D.2.030.003.001.004
030	001	Aiuola Lungarno del Tempio (centrale) - Parte 1	005	D.2.030.003.001.005
030	001	Aiuola Lungarno del Tempio (centrale) - Parte 2	006	D.2.030.003.001.006
030	001	Aiuola Lungarno del Tempio (centrale) - Parte 3	007	D.2.030.003.001.007
030	001	Predisposizione opere civili: plinti e pozzetti per pali trazione elettrica	008	D.2.030.003.001.008
030	002	Messa a dimora di piante	001	D.2.030.003.002.001
030	002	Abbattimento di alberi	002	D.2.030.003.002.002
030	002	Formazione di prati	003	D.2.030.003.002.003
030	003	Impianto di subirrigazione	001	D.2.030.003.003.001
030	004	Trasporto terre - OO.CC.	001	D.2.030.003.004.001

Tab. 15 Attribuzione del codice WBS agli elementi numerabili relativi alla SuperCategoria 003 – Sistemazioni Urbane

WBS DI QUINTO LIVELLO: ILLUMINAZIONE PUBBLICA

Nella SuperCategoria relativa all’Illuminazione Pubblica si fanno rientrare tutti gli interventi di rimozione, sostituzione e nuova installazione di elementi per la pubblica illuminazione – plinti, pali, armature stradali, cavi e relativa messa a terra.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
004	PLINTI	001
004	PALI	002
004	ARMATURE STRADALI	003
004	CAVI ALIMENTAZIONE	004
004	TRASPORTO TERRE – ILL.	005

Tab. 16 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria IP in SubCategorie comprese nel cantiere D2

Questi interesseranno le prime tre fasi di cantiere. Si descrivono gli interventi per ciascuna SubCategoria – non è prevista la suddivisione in *elementi numerabili* o WBS di sesto livello.

- *Plinti* comprendente le operazioni di scavo, fornitura e posa in opera di 29 plinti per l’illuminazione lungo la linea, di cui 14 in fase 1 e 15 in fase 2, lavorazioni svolte in contemporanea a quelle sulle sistemazioni urbane di risistemazione di marciapiedi e isole;
- *Pali tipo* comprendente la fornitura e messa in opera di pali Ravenna tipo S – 13 in fase 2 – e di tipo T – 14 in fase 1 e 2 in fase 2 – nonché alla messa in opera di prolunghe per i pali della trazione elettrica in fase 3, in quanto, per ridurre l’impatto visivo e il numero di sostegni, in alcuni casi il sostegno della linea di contatto e dell’illuminazione pubblica possono coincidere;
- *Armature Stradali* comprendente l’installazione di corpi illuminanti a LED di tipo AEC;
- *Cavi alimentazione* comprendente la posa e messa a terra dei cavi di alimentazione e relativi pozzi di ispezione.

È possibile compilare la WBS per la SuperCategoria dell’Illuminazione Pubblica:

WBS 3° Livello	WBS 5° Livello	SubCategoria	Codice WBS completo
010	001	Plinti	D.2.010.004.001
010	002	Palo tipo	D.2.010.004.002
010	003	Armature stradali	D.2.010.004.003
010	004	Cavi alimentazione	D.2.010.004.004

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

020	001	Plinti	D.2.020.004.001
020	002	Palo tipo	D.2.020.004.002
020	003	Armature stradali	D.2.020.004.003
020	004	Cavi alimentazione	D.2.020.004.004
030	002	Palo tipo	D.2.030.004.002
030	003	Armature stradali	D.2.030.004.003
030	004	Cavi alimentazione	D.2.030.004.004

Tab. 17 Attribuzione del codice WBS alle lavorazioni contenute nella SuperCategoria 004 – Illuminazione Pubblica

WBS DI QUINTO: INCROCI E SEGNALETICA

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
005	INCROCI E ATTRaversamenti	001
005	TRASPORTO TERRE – INC.	002

Tab. 18 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria IN in SubCategorie comprese nel cantiere D2

WBS 3° Livello	WBS 5° Livello	SubCategoria	Codice WBS completo
010	001	Incrocio Lungarno del Tempio – Ponte S. Niccolò	D.2.010.005.001
010	002	Trasporto terre – INC.	D.2.010.005.002
020	001	Incrocio Lungarno del Tempio – via Orcagna	D.2.020.005.001
020	002	Trasporto terre – INC.	D.2.020.005.002

Tab. 19 Attribuzione del codice WBS alle lavorazioni contenute nella SuperCategoria 005 – Incroci e Segnaletica

WBS DI QUINTO E SESTO LIVELLO: SEDE TRAMVIARIA

Nella SuperCategoria relativa alla Sede Tramviaria rientrano tutte le lavorazioni sulla realizzazione della soletta della sede tramviaria, dei cavidotti TLC, del drenaggio o idraulica di piattaforma, dei

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

giunti della soletta, dei plinti della linea di contatto. Tutte le lavorazioni sono ricomprese nella fase 3. Il computo metrico distingue, per la SuperCategoria ST, le due sole SubCategorie “Opere di Linea” e “Trasporto Terre”. Tuttavia, la cantierizzazione prevede la realizzazione prima della sede tramviaria di destra, con l’utilizzo dell’ingombro della sede di sinistra come area di lavoro, e di seguito la realizzazione della sede tramviaria di sinistra.

Pertanto, per il cantiere D2, le SubCategorie di lavori utilizzate nella presente programmazione sono le seguenti:

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
006	OPERE DI LINEA – SEDE DESTRA	001
006	TRASPORTO TERRE SEDE DESTRA – OO.CC.	002
006	OPERE DI LINEA – SEDE SINISTRA	003
006	TRASPORTO TERRE SEDE SINISTRA – OO.CC.	004

Tab. 20 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria ST in SubCategorie comprese nel cantiere D2

Scorrendo le voci del CME si sceglie di suddividerle sia per collocazione spaziale – dividendo la tratta in tre sotto-tratte, di cui la prima di lunghezza pari a 233 m, la seconda di lunghezza pari a 48 m e coincidente con la Fermata Ghirlandaio, la terza di 109 m – sia per tipologia di elemento – realizzazione della soletta, dei cavidotti, del sistema di drenaggio. Si individuano i seguenti “*elementi numerabili*” e si associa a ciascuno di essi un codice WBS di Sesto Livello.

WBS 3° Livello	WBS 5° Livello	Elemento Numerabile	WBS 6° Livello	Codice WBS completo
030	001	Opere civili (demolizioni - nuova costruzione) sede tramviaria - Tratto 1 - L233m	001	D.2.030.006.001.001
030	001	Opere civili (demolizioni - nuova costruzione) sede tramviaria - Tratto 2 (fermata) - L48m	002	D.2.030.006.001.002
030	001	Opere civili (demolizioni - nuova costruzione) sede tramviaria - Tratto 3 - L109m	003	D.2.030.006.001.003
030	001	Pozzetti e chiusini MT, TLC, Feader Fibra – Tratto 1	004	D.2.030.006.001.004
030	001	Pozzetti e chiusini MT, TLC, Feader Fibra – Tratto 2	005	D.2.030.006.001.005

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

030	001	Pozzetti e chiusini MT, TLC, Feader Fibra – Tratto 3	006	D.2.030.006.001.006
030	001	Cavidotti secondari - Tratto 1 - L287m	007	D.2.030.006.001.007
030	001	Cavidotti secondari - Tratto 2 - L48m	008	D.2.030.006.001.008
030	001	Cavidotti secondari - Tratto 3 - L108m	009	D.2.030.006.001.009
030	001	Drenaggi Sede	010	D.2.030.006.001.010
030	001	Giunti solette	011	D.2.030.006.001.011
030	001	Plinti Linea di contatto - Fondazione tipo P4	012	D.2.030.006.001.012
030	002	Trasporto terre – OO.CC.	001	D.2.030.006.002.001
030	003	Opere civili (demolizioni - nuova costruzione) sede tramviaria - Tratto 1 - L233m	001	D.2.030.006.003.001
030	003	Opere civili (demolizioni - nuova costruzione) sede tramviaria - Tratto 2 (fermata) - L48m	002	D.2.030.006.003.002
030	003	Opere civili (demolizioni - nuova costruzione) sede tramviaria - Tratto 3 - L109m	003	D.2.030.006.003.003
030	003	Pozzetti e chiusini MT, TLC, Feader Fibra – Tratto 1	004	D.2.030.006.003.004
030	003	Pozzetti e chiusini MT, TLC, Feader Fibra – Tratto 2	005	D.2.030.006.003.005
030	003	Pozzetti e chiusini MT, TLC, Feader Fibra – Tratto 3	006	D.2.030.006.003.006
030	003	Cavidotti secondari - Tratto 1 - L287m	007	D.2.030.006.003.007
030	003	Cavidotti secondari - Tratto 2 - L48m	008	D.2.030.006.003.008
030	003	Cavidotti secondari - Tratto 3 - L108m	009	D.2.030.006.003.009
030	003	Drenaggi Sede	010	D.2.030.006.003.010
030	003	Giunti solette	011	D.2.030.006.003.011
030	003	Plinti Linea di contatto - Fondazione tipo P4	012	D.2.030.006.003.012
030	004	Trasporto terre – OO.CC.	001	D.2.030.006.004.001

Tab. 21 Attribuzione del codice WBS agli elementi numerabili relativi alla SuperCategoria 006 – Sede Tramviaria

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

WBS DI QUINTO E SESTO LIVELLO: FERMATE

Nel cantiere D2 è presente una fermata, nello specifico la “Fermata Ghirlandaio”. Essa è provvista di pensilina descritta in dettaglio precedentemente. Tutte le lavorazioni sono ricomprese nella fase 3. Le lavorazioni della SuperCategoria Fermate sono divise nel CME nelle due seguenti SubCategorie:

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
007	FERMATA GHIRLANDAIO	001
007	TRASPORTO TERRE – INC.	002

Tab. 22 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria FE in SubCategorie comprese nel cantiere D2

Si sceglie di operare la seguente suddivisione delle lavorazioni in *elementi numerabili* ovvero una WBS di sesto livello nel modo seguente:

WBS 3° Livello	WBS 5° Livello	Elemento Numerabile	WBS 6° Livello	Codice WBS completo
030	001	Demolizioni	001	D.2.030.007.001.001
030	001	Bonifica e preparazione del piano di posa	002	D.2.030.007.001.002
030	001	Strutture: muro “L”	003	D.2.030.007.001.003
030	001	Strutture: fondazione pensilina	004	D.2.030.007.001.004
030	001	Strutture: muro “Lmod”	005	D.2.030.007.001.005
030	001	Strutture: plinto	006	D.2.030.007.001.006
030	001	Strutture: soletta	007	D.2.030.007.001.007
030	001	Finiture e pavimentazioni	008	D.2.030.007.001.008
030	001	Cavidotti, caviddotti secondari e pozzetti	009	D.2.030.007.001.009
030	001	Pensilina	010	D.2.030.007.001.010
030	002	Trasporto terre	001	D.2.030.007.002.001

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Tab. 23 Attribuzione del codice WBS agli elementi numerabili relativi alla SuperCategoria 007 – Fermate

WBS DI QUINTO E SESTO LIVELLO: ARMAMENTO

Per la SuperCategoria Armamento il CME prevede la sola SubCategoria Opere di Linea. Le lavorazioni relative all’armamento per il cantiere D2 consistono nella fornitura e posa in opera di armamento tramviario TIPO L0 per il binario di destra, fornitura e posa in opera di armamento tramviario TIPO L2 per il binario di sinistra, la molatura delle rotaie per i due binari, la protezione del sistema ERS – Embedded Rail System – e la posa delle canalette di drenaggio. Si sceglie di distinguere le lavorazioni per il binario di destra da quelle del binario di sinistra, analogamente a quanto previsto per la realizzazione della sede tramviaria.

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
008	OPERE DI LINEA – ARMAMENTO SEDE DESTRA	001
008	OPERE DI LINEA – ARMAMENTO SEDE SINISTRA	002

Tab. 24 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria AR in SubCategorie comprese nel cantiere D2

LE SUPERCATEGORIE SUI SISTEMI TECNOLOGICI TRAMVIARI: SEGNALAMENTO, SISTEMI INFORMATIVI E TRASMISSIVI, LINEA DI CONTATTO, ALIMENTAZIONE ELETTRICA MT E SSE, LUCE E FORZA MOTRICE

Le lavorazioni relative alla realizzazione dei sistemi tecnologici hanno luogo in fase 4. Si sceglie per motivi di tempo di limitarsi alla programmazione delle sole prime tre fasi, nelle quali hanno luogo lavorazioni più attinenti al percorso di studio personale e alle competenze in possesso. Ci si limita pertanto a riportare la suddivisione in SubCategorie previste dal CME, inserita in P6 per completezza della WBS di progetto. Si fornisce una breve descrizione dei sistemi tecnologici in base a quanto riportato nella relazione generale del progetto esecutivo – documento “321GEN00006PE_Relazione Generale Linea 3.2.1 Tratta Libertà – Bagno a Ripoli”. I sistemi tecnologici tramviari sono stati descritti al capitolo 3, paragrafo sui sistemi tecnologici.

WBS DI QUINTO LIVELLO: IMPIANTI DI SEGNALAMENTO

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
009	OPERE DI LINEA	001

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

009	FERMATA GHIRLANDAIO	002
-----	---------------------	-----

Tab. 25 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria SE in SubCategorie comprese nel cantiere D2

WBS DI QUINTO LIVELLO: SISTEMI INFORMATIVI E TRASMISSIVI

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
010	FERMATA GHIRLANDAIO	001

Tab. 26 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria SI in SubCategorie comprese nel cantiere D2

WBS DI QUINTO LIVELLO: LINEA DI CONTATTO

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – SOSTEGNI FLANGIATI	001
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA - SOSPENSIONI	002
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – FILI DI CONTATTO	003
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – ALIMENTAZIONE	004
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – COLLEGAMENTI EQUIPOTENZIALI E COLLEGAMENTI NEGATIVO	005
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – SEZIONAMENTI	006
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – COLLEGAMENTI A SSE	007
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – CIRCUITO DI TERRA E PROTEZIONE	008
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – COLLEGAMENTO AL CIRCUITO DI RITORNO DI ELEMENTI DI FERMATA	009
011	ELETTRIFICAZIONE DI LINEA – PREDISPOSIZIONE TUBAZIONI	010
011	TRASPORTO TERRE – ITE.	011

Tab. 27 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria LC in SubCategorie comprese nel cantiere D2

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

WBS DI QUINTO LIVELLO: ALIMENTAZIONE ELETTRICA MT E SSE

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
012	OPERE DI LINEA	001
012	INTERCONNESSIONE MT	002

Tab. 28 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria MT in SubCategorie comprese nel cantiere D2

WBS DI QUINTO LIVELLO: LUCE E FORZA MOTRICE

WBS 4° Livello	SubCategoria	WBS 5° Livello
013	FERMATA GHIRLANDAO	001

Tab. 29 Suddivisione delle voci del CME della SuperCategoria LF in SubCategorie comprese nel cantiere D2

WBS DI PROGETTO

Compilata la Work Breakdown Structure di progetto in P6, si riporta di seguito un estratto dalla schermata del software, si effettua una stampa e si inserisce in Allegato.

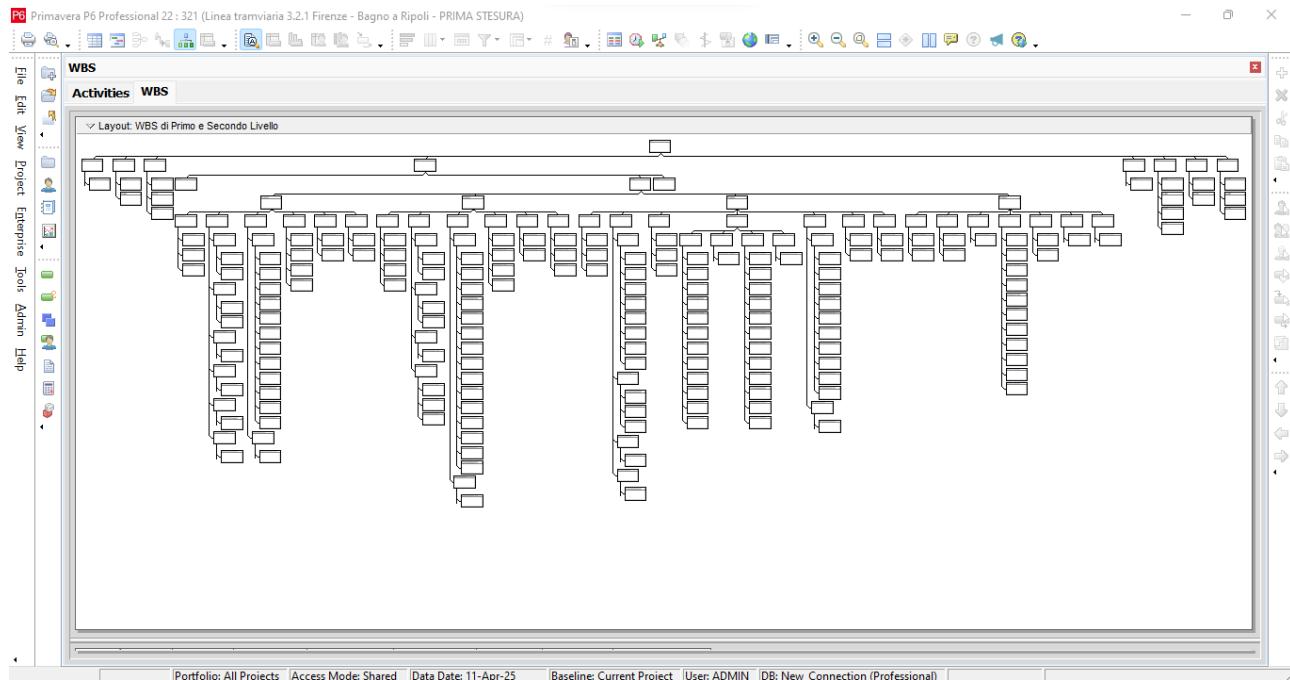


Fig. 32 Screenshot da P6 Professional della WBS di progetto completa – Allegato 1

STIMA DELLA DURATA DELLE ATTIVITÀ ELEMENTARI

Le attività elementari in cui è scomponibile il progetto della Linea Tramviaria 3.2.1 – specificatamente per il cantiere D2 – sono state fatte in gran parte coincidere con le voci del Computo Metrico Estimativo del Progetto Definitivo. Avendo fatto riferimento a tale elaborato di progetto, si è deciso di riorganizzare la sezione del CME relativa al cantiere D2 in un foglio Excel – come già anticipato per la rielaborazione della WBS – e per ciascuna voce si è andati a ricercare la descrizione all’interno dei prezzari utilizzati per l’elaborazione del computo. Il computo è stato sviluppato dall’Ufficio tramvia del Comune di Firenze per via analitica, utilizzando come prezzario di riferimento il *Regione Toscana 2021 – Provincia di Firenze* (approvato con Delibera n. 1491 del 30 novembre 2020). Mentre tutte le altre voci di inserimento che non trovavano un corrispettivo nel prezzario di riferimento sono state create da un’analisi prezzi – documento di cui non si disponeva nella scrittura della presente tesi – che utilizza voci assimilate da altri Prezzari non di riferimento (RFI, DEI, ANAS, ASSOVERDE, FIRENZE SMART/SILFI, LOMBARDIA, TOSCANA ENERGIA; PUBLIACQUA; UMBRIA), aggregate da Prezzari di riferimento e da altri Prezzari non di riferimento, nonché da offerte di mercato.

Nel caso del cantiere D2, le voci del computo per cui è stato utilizzato il prezzario TOS22 erano in numero di 974 su 1500 voci totali. Non avendo a disposizione l’analisi prezzi del progetto definitivo della tramvia, per la stima delle durate è stato utilizzato principalmente il Prezzario – Analisi 2022 e Articoli 2022 – della Regione Toscana. Nel documento di Analisi Prezzi, per ciascuna voce sono specificati, per l’unità di misura della lavorazione, le materie, le macchine e gli impianti, le risorse umane, mentre il prezzo viene fornito sia al netto che al lordo di spese generali e utile di impresa.

Dunque, a ciascuna voce del computo, per la cui stima economica è stato utilizzato il prezzario della Toscana del 2022, è stato associato un valore di durata in ore ricavato mediante un’analisi uomini/giorno.

Le operazioni svolte sono le seguenti:

$$\text{Costo mano d'opera} = \text{Costo Totale} \cdot \text{Incidenza della mano d'opera} \quad (37)$$

$$\text{Durata attività (h)} = \frac{\text{Costo mano d'opera}}{N.\text{di Operai della squadra} \cdot \text{Retribuzione oraria della squadra}} \quad (38)$$

Esempio: Stima della durata dell’attività di fresatura di pavimentazioni stradali

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- Prezzario: TOS22
- Voce tariffa: 1_05. A03.002.001
- Descrizione da prezzario: Fresatura di pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso, eseguita con macchina fresatrice operante a freddo (completa di apparecchiatura a nastri di carico), compreso preparazione e pulizia del piano di posa con spazzatrice stradale; misurata a cm di spessore - profondità compresa tra 0 e 5 cm.

$$\text{Prezzo Unitario} = 0.64 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{cm}} \Rightarrow \text{Costo Totale} = 0.64 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{cm}} \cdot 405.00 \text{ €} = 260.82 \text{ €} \quad (39)$$

$\text{Quantità} = 405.00 \text{ m}^2 \cdot \text{cm}$

$$\text{Costo mano d'opera} = 260.82 \text{ €} \cdot 38.24\% = 99.74 \text{ €} \quad (40)$$

$$\text{Durata attività} = \frac{99.74 \text{ €}}{1 \cdot 28.89 \frac{\text{€}}{\text{h}} + 1 \cdot 24.15 \frac{\text{€}}{\text{h}}} \cong 2 \text{ h} \quad (41)$$

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Codice	Descrizione estesa / analisi	Quantità	Importo unitario	Importo TOTALE
TOS22/1_05.A03.002.001	<p>TOS22/1_05 - MANUTENZIONI DI OPERE STRADALI: I prezzi sono relativi alle opere di manutenzione ordinaria e straordinaria e si riferiscono a lavori caratterizzati da situazioni di ordinaria accessibilità</p> <p>TOS22/1_05.A03 - DEMOLIZIONI: Interventi di demolizione parziale o integrale di pavimentazione stradale, di liste, cordonati o zanelle in pietra o cemento, del corpo e di sottofondo stradale, il tutto per dare il titolo compiuto e finito a regola d'arte. Sono compresi l'accastellamento nell'ambito del cantiere, mentre è escluso il carico, trasporto e scarico dei rifiuti agli impianti autorizzati ai fini del loro recupero o del loro smaltimento salvo se diversamente specificato. I costi di accesso per il loro conferimento e gli eventuali tributi sono esclusi.</p> <p>TOS22/1_002 - Fresatura di pavimentazione stradale in conglomerato bituminoso, eseguita con macchina fresatrice operante a freddo (completa di apparecchiatura a nastri di carico), compreso preparazione e pulizia del piano di posa con spazzatrice stradale; misurata a cm di spessore.</p> <p>TOS22/1_001 - profondità compresa tra 0 e 5 cm.</p> <p>TOS22/1_AT.N02.014.012</p> <ul style="list-style-type: none"> - Autocarri, motocarri e trattori (MTT=Massa totale terra, Pu Portata utile) - Autocarro ribaltabile con MTT 7500 Kg e pu 5000 Kg, 2 assi - 1 giorno (nolo a caldo) <p>TOS22/1_AT.N09.010.003</p> <ul style="list-style-type: none"> - Scarificatrice stradale con apparato fresante regolabile completa di apparecchiatura a nastri di carico - a cingoli, larghezza compresa fra 1500 a 2000 mm per profondità 200 mm (nolo a caldo con due operatori) - 1 mese <p>TOS22/1_AT.N09.040.002</p> <ul style="list-style-type: none"> - Macchina spazzatrice, aspiratrice - con larghezza di lavoro superiore a 1 m e serbatoio di accumulo di almeno 1,5 mc (nolo a freddo) - 1 mese <p>TOS22/1_AT.N09.100.900</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo carburanti, oli e altri materiali - oneri carburante per impianti e macchinari per opere stradali - gasolio fino a 126 CV <p style="text-align: right;">AT</p> <p>TOS22/1_RU.M10.001.002</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operario edile - Specializzato <p>TOS22/1_RU.M10.001.004</p> <ul style="list-style-type: none"> - Operario edile - Comune <p style="text-align: right;">RU</p> <p align="center">Somma euro (A) Scostamento % su anno 2022</p> <p align="center">Spese generali (B) = 16% * A (compresi oneri di sicurezza afferenti all'impresa per euro 0,00162 = 2% * B)</p> <p align="center">Utili di impresa (C) = 10% * (A + B)</p> <p align="center">TOTALE (A + B + C) euro / m²cm Scostamento % su anno 2022</p> <p align="center">Incidenza manodopera al 38,24%</p>	0,00200 ora	€ 54,52639 +4,2%	€ 0,10905
		0,00200 ora	€ 137,60738 +5,21%	€ 0,27521
		0,00100 ora	€ 27,27083 +10%	€ 0,02727
		0,00100 ora	€ 16,26553 +15,38%	€ 0,01627
				€ 0,42780
		0,00100 ora	€ 28,89000 0%	€ 0,02889
		0,00200 ora	€ 24,15000 0%	€ 0,04830
				€ 0,07719
				€ 0,50499 +4,7%
				€ 0,08080
				€ 0,05858
				€ 0,64437 +4,7%
				€ 0,24639

Fig. 33 Esempio di analisi prezzi da Prezzario della Regione Toscana 2022

Questa stima approssimativa è stata eseguita su un foglio Excel per tutte le lavorazioni elementari individuate nel CME valutate con il prezzario della Toscana del 2022.

Per le restanti 526 voci si avevano a disposizione le sole informazioni su quantità totale, costi totali e costi unitari, mentre non erano specificate l'incidenza della mano d'opera, i noli e la composizione della squadra.

Per la stima della durata sono state svolte *Stime sintetiche* nel caso di analogie con altre lavorazioni del computo o *Giudizi sintetici*.

Per gran parte delle stime sintetiche le operazioni svolte sono state quelle di reperire nel documento Articoli 2022 del prezzario Toscana o negli altri prezzari citati sopra i costi di materie e noli e si è seguita la procedura adottata nella stessa Analisi TOS22.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

L'Analisi, infatti, è strutturata nel seguente modo:

- 1) Prezzo delle materie per unità di lavorazione, che indichiamo con MAT;
- 2) Prezzo dei noli dei macchinari e degli impianti che indichiamo con IMP;
- 3) Prezzo delle risorse umane che indichiamo con RU.

$$\text{Si ricava } A = \text{MAT} + \text{IMP} + \text{RU} \quad (42)$$

$$\text{Si includono le spese generali } B = 0.16 \cdot A \quad (43)$$

$$\text{Si include l'utile di impresa } C = 0.10 \cdot (A + B) \quad (44)$$

$$\text{Si ricava il prezzo totale } TOT = A + B + C \quad (45)$$

Si nota che:

$$TOT = A + 0.16 \cdot A + 0.10 \cdot (A + 0.16 \cdot A) = (1 + 0.16 + 0.10 + 0.10 \cdot 0.16) \cdot A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow TOT = 1.276 \cdot A = 1.276 \cdot (\text{MAT} + \text{IMP} + \text{RU}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{TOT}{1.276} = \text{MAT} + \text{IMP} + \text{RU} \quad (46)$$

Dunque, per le lavorazioni per le quali si è ritenuto impattante il costo delle materie rispetto a quello degli impianti, quest'ultimo è stato trascurato a favore di sicurezza e, stimato il costo delle materie come specificato sopra, si è ricavata l'incidenza della mano d'opera nel seguente modo:

$$RU = \frac{TOT}{1.276} - \text{MAT} \Rightarrow \% \text{ Incidenza M.O.} = \frac{\frac{TOT}{1.276} - \text{MAT}}{TOT} \quad (47)$$

Si noti che la massima incidenza della mano d'opera, in caso di costo nullo di materie e noli, è pari al 78.37%.

Si riporta un estratto del foglio Excel utilizzato per la fase di pianificazione ovvero sia per la suddivisione delle voci nella WBS che per la stima della durata delle attività.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Fig. 34 Estratto dal Foglio di calcolo Excel redatto per la stima della durata delle attività elementari e per la correlazione delle voci del CME alla Work Breakdown Structure – Allegato 12

PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI: ATTRIBUZIONE DELLE RELAZIONI TRA ATTIVITÀ

La seconda azione fondamentale per l'applicazione pratica delle tecniche reticolari alla pianificazione e programmazione dei lavori consiste nella definizione delle relazioni logico-cronologiche tra attività, ovvero nell'attribuzione a ciascuna attività dei rispettivi predecessori e successori logici-cronologici e del tipo di relazione tra attività. Tale attività viene svolta utilizzando il software Oracle Primavera P6 Professional. Le relazioni dipenderanno da vincoli tecnologici, di risorsa e spaziali sulla viabilità e da condizioni al contorno di sicurezza, di spazio e di struttura, come già descritto ai paragrafi *“Definizione della Logica del Reticolo: condizioni al contorno”* e *“Definizione della Logica del Reticolo: vincoli e loro introduzione nella stesura del programma”*

Nel presente capitolo si effettuerà una prima stesura del reticolo, nella quale le attività inserite coincideranno quasi totalmente con le voci contenute nel Computo Metrico Estimativo. In questa prima stesura le attività di lunga durata e in parziale sovrapposizione tra loro saranno legate con relazioni di tipo Start to Start e Finish to Finish con valutazione positiva e i tempi di presa e indurimento dei conglomerati verranno inseriti tra l'attività di getto – predecessore – e i rispettivi successori logici come ritardi positivi in quanto, non essendo ad essi associato un consumo di risorse ma solo un consumo di tempo, non sono inseriti esplicitamente nel CME di progetto.

In tal caso ci si aspetterà un report del programma sul rispetto dei dettami della DCMA in cui le relazioni di tipo Finish to Start siano in misura inferiore al 100% – il caso ideale – se non inferiore al 75% e in cui la presenza di Positive Lags interesserà una quantità maggiore dello 0%, se non del 5% delle relazioni, con la conseguenza del fallimento della valutazione nei criteri Relationships – criterio 4 – e Positive Lags – criterio 3.

Si evita completamente l'uso di Negative Lags o Leads o Ritardi negativi o Anticipi – criterio 2 – e di Hard Constraints o vincoli rigidi – criterio 5. Pertanto, non si affronterà in un secondo momento la risoluzione del fallimento dei criteri di valutazione associati – criterio 2, criterio 5 e criterio 7 sugli scorimenti negativi come conseguenza della mancata introduzione di vincoli rigidi, ovvero sull'imposizione di date per l'inizio o la fine delle attività del reticolo.

Si procede alla realizzazione del reticolo di prima stesura per SuperCategorie di lavori.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

SICUREZZA DI CANTIERE

L'inserimento delle attività sulla sicurezza di cantiere sono fondamentali per una stima corretta del cammino critico, della logica del reticolo e degli scorrimenti totali posseduti dalle attività, in quanto le attività di cantierizzazione – l'installazione e disinstallazione delle recinzioni, della segnaletica di cantiere, dell'illuminazione pubblica provvisoria e degli impianti semaforici provvisori – precedono e seguono tutte le altre attività contenute nelle quattro fasi di cantiere, quindi aprono e chiudono il reticolo. Le regole di buona pratica per la stesura dei reticolari prevedono l'individuazione di un'unica attività iniziale – *source* – e di un'unica attività finale – *sink*. Si sceglie di identificare per ciascuna fase come attività sorgente la riunione di coordinamento della sicurezza, cui seguono tutte le altre operazioni di installazione dei dispositivi di protezione collettiva.

321.1.D.2 Lungamo del Tempio (Ponte S. Niccolò - Piagentina) - da km 2+594 a km 2+964	3869h	
321.1.D.2.018 FASE 1 - Cantiere Inizio sud	1469h	
321.1.D.2.018.001 SICUREZZA DI CANTIERE - INSTALLAZIONE DEL CANTIERE	34h	
321.1.D.2.019.001.001 SIC1 - Apprestamenti Sicurezza	34h	
F1.SZ.001.A010 Realizzazione di segnaletica orizzontale	5h F1.SZ.001.A040	F1.SZ.002.A010
F1.SZ.001.A020 Installazione di box prefabbricati	6h F1.SZ.002.A010	F1.SS.DA-ON1400.A010
F1.SZ.001.A030 Messa in opera e movimentazione di opere di armatura degli scavi	12h F1.SZ.002.A010	F1.SS.DA-ON1400.A010
F1.SZ.001.A040 Riunione di coordinamento della sicurezza	1h	F1.SZ.001.A010, F1.SZ.004.A010
321.1.D.2.019.001.002 SIC2 - Recinzioni di cantiere	2h	
F1.SZ.002.A010 Montaggio di recinzione di cantiere in rete zincata	2h F1.SZ.001.A010, F1.SZ.004.A010	F1.SZ.001.A020, F1.SZ.001.A030
321.1.D.2.019.001.004 SIC4 - Impianti di illuminazione pubblica provvisoria	19h	
F1.SZ.004.A010 Montaggio di illuminazione pubblica provvisoria	19h F1.SZ.001.A040	F1.SZ.002.A010

Fig. 35 Activity List, ISA e IPA List per le attività di installazione del cantiere di prima fase - Estratto dall'Allegato 13

LE RECINZIONI DI CANTIERE

Per la delimitazione delle aree di lavoro del cantiere D2 sono state utilizzate due tipologie di recinzioni di cantiere diverse:

- Recinzione di Tipo A: recinzione costituita da pannelli di griglia metallica tipo Orsogril montata su New Jersey in c.c.a. prefabbricati collegati fra di loro ed ancorati al suolo. Tale recinzione limita il cantiere nei tratti in cui lo stesso si sviluppi lungo ad una strada con traffico veicolare durante le fasi di cantiere in cui sono presenti scavi e dislivelli. L'altezza totale è di circa 310 cm.
- Recinzione di Tipo D: Recinzione costituita da pannelli di griglia metallica costituita da rete elettrosaldata riquadrata da tubolari in acciaio del diametro di 4 cm tutto zincato a caldo, montata su piantane appoggiate sul terreno. L'altezza totale della recinzione è di circa 200 cm. Tale recinzione delimita il cantiere nei tratti in cui il cantiere deve possedere un fronte mobile senza particolari necessità di protezione dell'area di cantiere. È previsto l'impiego della recinzione leggera tra cantiere e strada aperta al pubblico durante le fasi finali di realizzazione, generalmente durante l'attività di finitura e tiraggio cavi.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**



Fig. 36 Foto dei due tipi di recinzione utilizzati nel cantiere D2

SPOSTAMENTO DEI SOTTOSERVIZI

Le attività di risoluzione delle interferenze con i sottoservizi esistenti e la costruzione di una tratta della nuova condotta DN1400 dell’acquedotto interessano le prime due fasi di cantiere.

Le attività necessarie che accomunano lo spostamento dei sottoservizi sono, in successione, la fresatura della pavimentazione, la demolizione del corpo stradale, la bonifica ordigni bellici e la sorveglianza archeologica, le operazioni di scavo a diversa profondità a seconda della tipologia di sottoservizio, il getto del magrone laddove previsto, la posa delle tubazioni in diverso materiale, il rinterro, la posa del misto cementato per il sottofondo stradale, la posa del conglomerato di bitume per lo strato di base e, infine, del binder.

I tempi di indurimento dei conglomerati sono inseriti seguendo le disposizioni contenute all’interno del Capitolo Speciale d’Appalto – Norme tecniche ANAS che prescrivono di attendere un giorno o almeno 6-8 ore tra il getto dei conglomerati – misto cementato e conglomerato di bitume – e la posa degli strati successivi. Si inserisce un Lag di 24 ore tra la posa del misto cementato e del conglomerato di bitume e tra la posa del conglomerato di bitume e il binder.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

321.1.D.2.020.002.003.002 DT.04 - TIM trasversale - polfora 4 tubi	281h	
F2.SS.DT.04-TM.A010	Fresatura della pavimentazione stradale - 10 cm di spessore	4h F2.SS.DT.03-TIM.A010
F2.SS.DT.04-TM.A020	Demolizione del corpo stradale - 40 cm di spessore	11h F2.SS.DT.04-TIM.A010, F2.SS.DT.03-TIM.A020
F2.SS.DT.04-TM.A030	Sorveglianza archeologica degli scavi e bonifica ordigni bellici	1h F2.SS.DT.04-TIM.A020, F2.SS.DT.03-TIM.A030
F2.SS.DT.04-TM.A040	Scavo a larga sezione obbligata - 90 cm per la polfora e 200 cm per i due maxipozzetti	2h F2.SS.DT.03-TIM.A040, F2.SS.DT.04-TIM.A030
F2.SS.DT.04-TM.A050	Demolizione polfora esistente	3h F2.SS.DT.04-TIM.A040, F2.SS.DT.03-TIM.A050
F2.SS.DT.04-TM.A060	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	5h F2.SS.DT.04-TIM.A050, F2.SS.DT.03-TIM.A060
F2.SS.DT.04-TM.A065	Indurimento del calcestruzzo per magrone	8h F2.SS.DT.04-TIM.A060
F2.SS.DT.04-TM.A070	Fornitura e posa di tubazioni in P.V.C. - polfora 4 tubi	4h F2.SS.DT.03-TIM.A070, F2.SS.DT.04-TIM.A065
F2.SS.DT.04-TM.A080	Fornitura e posa in opera di cavo telefonico	4h F2.SS.DT.04-TIM.A070, F2.SS.DT.03-TIM.A080
F2.SS.DT.04-TM.A090	Esecuzione di giunzioni su cavo telefonico	3h F2.SS.DT.04-TIM.A080, F2.SS.DT.03-TIM.A090
F2.SS.DT.04-TM.A100	Fornitura e posa in opera di fibra ottica	5h F2.SS.DT.04-TIM.A070
F2.SS.DT.04-TM.A110	Fornitura e posa in opera di giunzione per cavo fibra ottica	1h F2.SS.DT.04-TIM.A100
F2.SS.DT.04-TM.A120	Fornitura e posa di maxi - pozzetti prefabbricati	21h F2.SS.DT.03-TIM.A100, F2.SS.DT.04-TIM.A065
F2.SS.DT.04-TM.A130	Fornitura e posa in opera di coperchio e telaio in ghisa steriliale - maxipozzetti prefabbricati	2h F2.SS.DT.04-TIM.A120, F2.SS.DT.03-TIM.A110
F2.SS.DT.04-TM.A140	Getto in opera di calcestruzzo ordinario C25/30 - polfora 4 fori	1h F2.SS.DT.04-TIM.A130, F2.SS.DT.03-TIM.A120, F
F2.SS.DT.04-TM.A145	Indurimento del calcestruzzo per polfora 4 fori	8h F2.SS.DT.04-TIM.A140
F2.SS.DT.04-TM.A150	Rinterro scavo con materiale da impianto di recupero	3h F2.SS.DT.03-TIM.A130, F2.SS.DT.04-TIM.A145
F2.SS.DT.04-TM.A170	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	1h F2.SS.DT.04-TIM.A150, F2.SS.DT.03-TIM.A140
F2.SS.DT.04-TM.A175	Indurimento del misto cementato per sottofondo stradale	16h F2.SS.DT.04-TIM.A170
F2.SS.DT.04-TM.A180	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	1h F2.SS.DT.03-TIM.A150, F2.SS.DT.04-TIM.A175
F2.SS.DT.04-TM.A185	Indurimento dello strato di base in conglomerato di bitume	16h F2.SS.DT.04-TIM.A180
F2.SS.DT.04-TM.A190	Stesura del binder - 10 cm	1h F2.SS.DT.03-TIM.A160, F2.SS.DT.04-TIM.A185
F2.SS.DT.04-TM.A195	Indurimento del binder	16h F2.SS.DT.04-TIM.A190
		F2.SU.1180

Fig. 37 Activity List, ISA e IPA List per le attività di spostamento dei sottoservizi per il cantiere di seconda fase - Estratto dall'Allegato 13

SISTEMAZIONI URBANE E ILLUMINAZIONE PUBBLICA

A seguito degli interventi sullo spostamento dei sottoservizi si procede – nelle fasi 1 e 2 – alla risistemazione urbana di marciapiedi, isole spartitraffico, piste ciclabili, e sedi stradali. Per gli interventi di risistemazione dei marciapiedi e piste ciclabili le lavorazioni in genere vedono in successione: la rimozione delle zanelle per lo scolo delle acque, la demolizione dei cordoli o cordonature, la rimozione – dove presenti – di pavimentazioni in binderi di porfido, la demolizione del sottofondo stradale, la bonifica bellica qualora sia prevista una successiva fase di scavo, l'esecuzione di scavi con eventuale sorveglianza archeologica, il getto di fondazione per nuove cordonature e zanelle, la posa in opera di nuove cordonature e zanelle, il rinterro con materiale di cava e successiva compattazione, la posa di acciaio per la soletta di fondazione dei marciapiedi, il getto della soletta di fondazione dei marciapiedi e, infine, la posa dello strato di usura – in conglomerato di bitume rosso per la pista ciclabile. Il rifacimento del manto stradale vede in successione: la fresatura della pavimentazione stradale, la demolizione del corpo stradale, lo scavo, il rinterro con materiale arido di cava per il sottofondo, la posa della fondazione stradale, la posa dello strato di base in misto cementato e la stesura del binder. In concomitanza al rifacimento delle sedi stradali verranno demoliti i pozzetti esistenti per lo scolo delle acque e realizzato il drenaggio della sede stradale tramite la posa di una condotta dn 160, dei relativi pozzetti e l'allaccio alla fognatura pubblica. Altri interventi nelle fasi 1 e 2 sono relativi alla sostituzione della segnaletica verticale e alla posa di un nuovo cavidotto per l'illuminazione pubblica.

Le lavorazioni della SuperCategoria sulle sistemazioni urbane in fase 3, oltre al rifacimento dell'aiuola centrale di Lungarno del Tempio, sono relative alla realizzazione di sei plinti per la trazione elettrica sui quali si innestano i pali di sostegno della linea di contatto. Per la realizzazione

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

dei plinti si procede con la demolizione del corpo stradale, lo scavo, la compattazione del piano di posa, la posa di casseforme, il getto del magrone di 10 centimetri, la disposizione delle armature, di tubazioni in P.V.C. per il passaggio dei cavi per l'illuminazione pubblica e relativi pozzi, e il getto di calcestruzzo ordinario per la realizzazione del plinto. Nell'aiuola centrale si prevede l'abbattimento di 12 alberi, la messa a dimora di 12 tigli e 122 cespugli e gli interventi per la costruzione di un nuovo impianto di subirrigazione.

Parallelamente agli interventi sulle sistemazioni urbane – le quali interesseranno le prime tre fasi di cantiere – avranno luogo gli interventi sulla rimozione, sostituzione e nuova installazione di elementi per l'illuminazione pubblica.

321.1.D.2.020.003 SISTEMAZIONI URBANE		603h	
321.1.D.2.020.003.001 OPERA DI LINEA		603h	
F2.SU.A0010	Demolizione di latte e cordinali (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	27h	
F2.SU.A0020	Demolizione di zanella (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	2h F2.SS.DFO-06.RC.A020 40h F2.SU.A0010, F2.SS.DFO-06.RC.A020	F2.SU.A0020, F2.SU.A0030, F2.SU.A0180 F2.SU.A0030, F2.SU.A0190
F2.SU.A0030	Rimozione di pavimentazione in cubetti di portofio (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	9h F2.SU.A0020	F2.SU.A0040, F2.SU.A0200
F2.SU.A0040	Demolizione di sottofondo stradale - fondazione (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	14h F2.SU.A0030, F2.SS.DFO-06.RC.A020	F2.SU.A0050, F2.SU.A0080, F2.SU.A0210
F2.SU.A0050	Scavo a larga sezione obbligata per fondazione contornato (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	1h F2.SU.A0040	F2.SU.A0060, F2.SU.A0080
F2.SU.A0060	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	1h F2.SU.A0050	F2.SU.A0090, F2.SU.A0065
F2.SU.A0065	Indurimento del calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	80h F2.SU.A0060	F2.SU.A0070
F2.SU.A0070	Posa in opera di contornato in pietra (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	5h F2.SU.A0065	F2.SU.A0100, F2.SU.A0110
F2.SU.A0080	Scavo a larga sezione obbligata per fondazione zanella (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	1h F2.SU.A0050, F2.SU.A0040	F2.SU.A0090, F2.SU.A0120
F2.SU.A0090	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	1h F2.SU.A0060, F2.SU.A0080	F2.SU.A0095, F2.SU.A0430
F2.SU.A0095	Indurimento del calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	80h F2.SU.A0090	F2.SU.A0100
F2.SU.A0100	Posa in opera di zanella (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	6h F2.SU.A0070, F2.SU.A0095	F2.SU.A0110, F2.SU.A0440
F2.SU.A0110	Surveglianza archeologica scavo (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	1h F2.SU.A0100, F2.SU.A0070	F2.SU.A0120, F2.SU.A0480
F2.SU.A0120	Scavo a larga sezione obbligata (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	6h F2.SU.A0110, F2.SU.A0080	F2.SU.A0130, F2.SU.A0490
F2.SU.A0130	Formazione di rilevati con materiale arido di cava per sottofondo marciapiede (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	1h F2.SU.A0120	F2.SU.A0140, F2.SU.A0500
F2.SU.A0140	Costipamento di rilevati con nulo del sottofondo marciapiede (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	2h F2.SU.A0130	F2.SU.A0150, F2.SU.A0510
F2.SU.A0150	Foritura e posa di rete eletrosaldata (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	6h F2.SU.A0140	F2.SU.A0160, F2.SU.A0520
F2.SU.A0160	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	8h F2.SU.A0150	F2.SU.A0530, F2.SU.A0165
F2.SU.A0165	Indurimento del calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	80h F2.SU.A0160	F2.SU.A0170
F2.SU.A0170	Posa del tagetto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	1h F2.SU.A0165	F2.SU.A0540, F2.SU.A0175
F2.SU.A0175	Indurimento del tappeto di usura in conglomerato di bitume (marciapiede G.Amendola - L-del Tempio)	16h F2.SU.A0170	F2.SU.1180
321.1.D.2.020.003.001.002 Marciapiede Lungarno del Tempio - Via Orcagna		27h	
F2.SU.A0180	Demolizione di latte e cordinali (marciapiede L-del Tempio - Orcagna)	1h F2.SU.A0010	F2.SU.A0190, F2.SU.A0200, F2.SU.A0220
F2.SU.A0190	Demolizione di zanella (marciapiede L-del Tempio - Orcagna)	1h F2.SU.A0180, F2.SU.A0020	F2.SU.A0200, F2.SU.A0230
F2.SU.A0200	Rimozione di pavimentazione in cubetti di portofio (marciapiede L-del Tempio - Orcagna)	1h F2.SU.A0190, F2.SU.A0180, F2.SU.A0030	F2.SU.A0210, F2.SU.A0240
F2.SU.A0210	Demolizione di sottofondo stradale - fondazione e soletta (marciapiede L-del Tempio - Orcagna)	2h F2.SU.A0200, F2.SU.A0040	F2.SU.A0250, F2.SU.A0420, F2.SU.A0450
F2.SU.A0420	Scavo a larga sezione obbligata per fondazione contornato (marciapiede L-del Tempio - Orcagna)	1h F2.SU.A0210	F2.SU.A0430, F2.SU.A0450

Fig. 38 Activity List, ISA e IPA List per le attività sulle sistemazioni urbane per il cantiere di seconda fase - Estratto dall'Allegato 13

SEDE TRAMVIARIA E ARMAMENTO

La realizzazione della sede tramviaria e dell'armamento – le cui rispettive lavorazioni sono contenute nelle SuperCategorie Sede Tramviaria e Armamento – per il cantiere D2 viene suddivisa in tre tratte di lunghezza 233 metri – prima tratta -, 48 metri – seconda tratta coincidente con i binari antistanti alla fermata Ghirlandaio – e 109 metri – terza tratta. Per ciascun tratto si eseguiranno prima le lavorazioni della sede di destra utilizzando la sede di sinistra come area di cantiere e successivamente della sede sinistra.

Le lavorazioni partono da operazioni di demolizione e scavo quali, in successione, la scarificazione superficiale di pavimentazione stradale – 5 cm -, la fresatura di pavimentazione stradale – 15 cm -, la demolizione del corpo stradale –30 cm -, lo scavo di sbancamento – 33 cm -, lo scavo di bonifica – 30 cm. Ci si porta in questo modo ad una profondità rispetto al piano di campagna di 1.13 cm circa.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Successivamente si procede con la posa sul fondo scavo di uno strato di geotessile in tessuto non tessuto, delle condotte per il passaggio dei cavi MT – per la trazione elettrica -, quindi si prosegue con il costipamento del fondo scavo e la bonifica del piano di posa mediante un getto di spessore 30 centimetri di materiale arido cementato. Segue il getto del magrone di spessore 5 centimetri per la sede destra e 10 centimetri per la sede sinistra, la realizzazione della soletta di fondazione in c.c.a. di spessore 20.5 cm per la sede di destra e 25 cm per la sede di sinistra, la realizzazione dei muri laterali in c.c.a. con sezione pari a 25 cm di larghezza per 68 cm di altezza per entrambe le sedi.

321.1.D.2.030.006.002 TRASPORTO TERRE SEDE DESTRA -OO.CC.	0h	
321.1.D.2.030.006.002.001 Trasporto terre	0h	
321.1.D.2.030.006.002.001 OPERE DI LINEA -SEDE SINISTRA	1685h	
321.1.D.2.030.006.003.001 Opera civili (demolizioni - nuova costruzione) sede tramvia - Tratto 1 -L233m	1552h	
F3.STA0100 Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale - demolizioni Ingombro sede sx	13h	F3.STA0110, F3.STA0140
F3.STA0110 Presatura della pavimentazione stradale - scarvi Ingombro sede sx	44h	F3.STA0120, F3.STA0150
F3.STA0120 Demolizione del corpo stradale bituminato con sottofondo in scampoli di pietra - demolizioni Ingombro sede sx	47h	F3.STA0130, F3.STA0160
F3.STA0130 Scavo di sganciamento e di bonifica della sede tramvia - scarvi Ingombro sede sx	61h	F3.STA0120, F3.STA1950
F3.STA0140 Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale - demolizioni Ingombro sede laterale sx	5h	F3.STA0100
F3.STA0150 Presatura della pavimentazione stradale - demolizioni Ingombro sede laterale sx	16h	F3.STA0110, F3.STA1420
F3.STA0160 Demolizione del corpo stradale bituminato con sottofondo in scampoli di pietra - demolizioni Ingombro sede laterale sx	18h	F3.STA0120, F3.STA1950
F3.STA0170 Scavo di sganciamento della sede tramvia - scarvi Ingombro sede laterale sx	11h	F3.STA0130, F3.STA0160
F3.STA0180 Scavo di bonifica della sede tramvia - scarvi Ingombro sede laterale sx	5h	F3.STA0170
F3.STA0200 Fornitura e posa di tubazioni in PVC per MT - sede sx	40h	F3.STA0240, F3.STA1960
F3.STA0230 Fornitura e posa in opera di geotessile - sede sx	28h	F3.STA0130, F3.STA1980, F3.STA1960
F3.STA0240 Fornitura e posa in opera di geotessile - sede laterale sx	2h	F3.STA0230, F3.STA1510
F3.STA0260 Costipamento del fondo scavo - sede sx	6h	F3.STA0280, F3.STA2000
F3.STA0280 Costipamento del fondo scavo - sede laterale sx	2h	F3.STA0260
F3.STA0300 Bonifica del piano di posa con materiale arido cementato - sede sx	40h	F3.STA0320, F3.STA0350
F3.STA0320 Bonifica del piano di posa con materiale arido cementato - sede laterale sx	4h	F3.STA0300, F3.STA0280
F3.STA0350 Posa di casseforme per magrone - sede sx	13h	F3.STA0300, F3.STA2030
F3.STA0360 Getto di calcestruzzo per magrone - sede sx	8h	F3.STA0350, F3.STA2040
F3.STA0365 Indurimento del calcestruzzo per magrone - sede sx	80h	F3.STA0360
F3.STA0400 Posa delle casseforme longitudinali e dei giunti per strutture di fondazione - sede sx	23h	F3.STA0250, F3.STA0365
F3.STA0410 Posa delle armature per strutture di fondazione - sede sx	22h	F3.STA0400, F3.STA2060
F3.STA0420 Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede sx	27h	F3.STA0410, F3.STA2070
F3.STA0425 Indurimento del calcestruzzo per strutture di fondazione - sede sx	80h	F3.STA0420
F3.STA0460 Posa delle casseforme longitudinali e dei giunti per muri laterali - sede sx	86h	F3.STA0210, F3.STA0425
F3.STA0470 Posa delle armature per muri laterali - sede sx	13h	F3.STA0460, F3.STA1210
F3.STA0480 Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede sx	11h	F3.STA0470, F3.STA2130
F3.STA0485 Indurimento del calcestruzzo per muri laterali - sede sx	80h	F3.STA0480
F3.STA0520 Posa delle casseforme longitudinali e dei giunti per muri laterali - sede laterale sx	28h	F3.STA0460, F3.STA0320, F3.STA2020
F3.STA0530 Posa delle armature per muri laterali - sede laterale sx	5h	F3.STA0520, F3.STA0470
F3.STA0540 Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede laterale sx	3h	F3.STA0530, F3.STA0480
F3.STA0541 Indurimento del getto di calcestruzzo di prima fase - sede tramvia sx - armamento tipo L2	80h	F3.STA0540
F3.STA0542 Posa del materassino in elastomerico antivibrante - sede tramvia sx - armamento tipo L2	30h	F3.STA0541
F3.STA0544 Getto del calcestruzzo di prima fase - sede tramvia sx - armamento tipo L2	19h	F3.STA0542
F3.STA0545 Indurimento del getto di calcestruzzo di prima fase - sede tramvia sx - armamento tipo L2	80h	F3.STA0544

Fig. 39 Activity List, ISA e IPA List per le attività sulla sede tramviaria per il cantiere di seconda fase - Estratto dall'Allegato 13

A questo punto si prosegue con la realizzazione del sistema di armamento. Nello specifico il progetto prevede la realizzazione di un armamento di tipo L0 per la sede destra e di tipo L2 per la sede di sinistra.

TIPOLOGIA DI ARMAMENTO LIVELLO 0

La sezione tipo dell'armamento della linea tranviaria definita L0 è composta da una rotaia incamiciata in profili avvolgenti in gomma che determinano un appoggio continuo elastico (definita con termine inglese “ERS/CRS Embedded Rail System / Continuous Rail System”).

Il bloccaggio del binario avviene senza fissaggio meccanico, incastrando semplicemente le rotaie in camiciaie in un getto di calcestruzzo gettato in opera (getto di bloccaggio) che a sua volta poggia su una piattaforma (soletta di fondazione). Il tutto viene posato su un piano di posa eventualmente bonificato qualora la resistenza del terreno di sedime non rispondesse alle prescrizioni capitolari (Md 80 Mpa).

Questa tipologia di armamento, denominata “Livello 0”, corrispondente al livello zero di smorzamento, non prevede l'inserimento di materassini antivibranti tra la soletta di fondazione ed il getto di bloccaggio delle rotaie.

- Interbinario (min)	3200 mm
- Larghezza minima soletta bloccaggio ERS	2550 mm
- Spessore soletta bloccaggio ERS	300 mm
- Spessore riempimento e pavimentazione	100 mm

Prima dell'installazione, le rotaie a gola sono incollate ai loro profili di rivestimento elastico fuori opera, con le estremità lasciate libere per consentire di effettuare successivamente le saldature.

Il bloccaggio del binario avviene senza fissaggio meccanico, incastrando semplicemente le rotaie incamiciate in un getto di calcestruzzo gettato in opera, che a sua volta poggia su una piattaforma (soletta di fondazione). Il tutto viene posato su un piano di posa eventualmente bonificato qualora la resistenza del terreno di sedime non rispondesse alle prescrizioni richieste dal capitolo.

Con il sistema a “rotaie rivestite” si provvede, mediante portalini metallici, al fissaggio ed alla calibrazione dei binari. L'allineamento del binario in orizzontale e verticale lungo gli assi x, y, z, viene realizzato prima di effettuare il getto di calcestruzzo. Lo strato finale di rivestimento può essere scelto in funzione delle esigenze architettoniche del contesto in cui viene inserito.

TIPOLOGIA DI ARMAMENTO LIVELLO 2

Quando il tracciato dei binari tranviari si viene a trovare a distanze ravvicinate da ricettori contraddistinti da una maggiore vulnerabilità o sensibilità nei confronti di rumore e/o vibrazioni, edifici caratterizzati dalla presenza di attività e attrezzature sensibili alle vibrazioni (diagnostica per immagini, laboratori di analisi, scuole, ospedali, case di cura, ecc.) verrà messo in opera un sistema di armamento a medio livello di attenuazione delle vibrazioni denominato di “Livello 2”.

A partire dalla sezione tipo corrispondente al livello 0 di smorzamento, semplicemente interponendo materiali resilienti tra la soletta di fondazione ed il getto di bloccaggio (materassini antivibranti), si determinano due sezioni ammortizzate (L2 e L3) con performance ordinate in base al grado di smorzamento richiesto.

Il livello cosiddetto L2 “Livello 2” corrisponde a uno smorzamento medio delle vibrazioni.

La sezione tipo L2 “Livello 2” si ottiene interponendo tra la piastra di fondazione del getto di bloccaggio un materassino elastomerico a medio smorzamento dello spessore di 30 mm usualmente ottenuto sovrapponendo due materassini dello spessore di 15 mm (lo stesso spessore viene utilizzato per le interposizioni verticali).

- Interbinario (min)	3200 mm
- Larghezza minima complessiva soletta flottante	2565 mm
- Larghezza minima soletta bloccaggio ERS	2535 mm
- Spessore CLS Bloccaggio ERS	300 mm
- Spessore CLS Prima fase	145 mm
- Spessore materassino	30 mm
- Spessore riempimento e pavimentazione	100 mm
- Pendenza trasversale estradosso CLS Bloccaggio ERS	0%

La sezione tipo “Livello 2” è utilizzata in aree in cui è richiesto un medio livello di attenuazione delle vibrazioni. Tale sistema si è rivelato ottimo in quelle sezioni tranviarie in cui la linea passa in centro città e la distanza tra gli edifici e la rotaia è contenuta tra 7 e 12 m o in aree sensibili con distanza superiore a 12 m.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Le lavorazioni previste per la realizzazione dell'armamento sono:

- Incollaggio di rivestimenti elastici e posa delle rotaie;
- Saldatura delle rotaie;
- Montaggio e preregolazione del binario;
- Tracciamento degli assi e regolazione del binario;
- Getto del calcestruzzo di bloccaggio;
- Rimozione degli elementi di regolazione;
- Controllo successivo il betonaggio e rifiniture;
- Lavorazioni aggiuntive in caso di armamento di tipo L2;
 - Posa del materassino tra getto della fondazione e getto del calcestruzzo di prima fase;
 - Getto di uno strato di calcestruzzo spesso 15 centimetri detto calcestruzzo di prima fase;
 - Allineamento del binario e getto del calcestruzzo di bloccaggio detto calcestruzzo di seconda fase.
- Posa degli apparecchi di dilatazione;
- Posa dei giunti isolanti;
- Posa del drenaggio del binario.

Il pacchetto viene concluso con la realizzazione delle finiture delle pavimentazioni stradali nei tratti 1 e 3 in grigliato inerbito e nel tratto 2 – prospiciente la fermata ghirlandaio – in lastre di pietra.

SEZIONE TRASVERSALE SEDE A DOPPIO BINARIO CON MATERASSINO - Scala 1:20

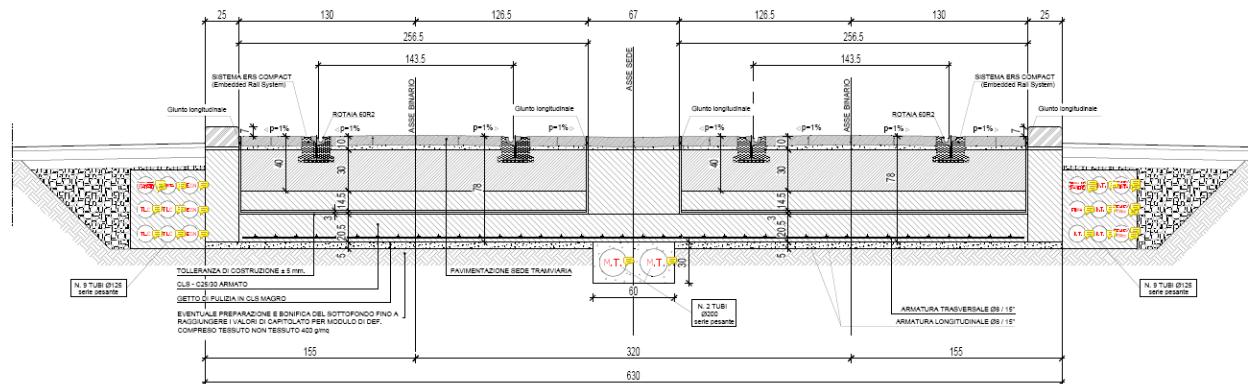


Fig. 40 Sezione trasversale dell'armamento estratta dalla Relazione Generale del Progetto Esecutivo

CAPITOLO 5: VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA LAVORI MEDIANTE APPLICAZIONE DELLA DCMA 14 POINT ASSESSMENT

Se il Precedence Diagramming Method generalizzato prevede l'uso di quattro tipologie di legami tra attività – Finish to Start, Start to Finish, Start to Start e Finish to Finish – le linee della DCMA impongono di prediligere l'inserimento di relazioni di tipo Finish to Start in quantità minima pari al 75% del totale delle attività incomplete. Inoltre, anche se è possibile in Primavera valutare il legame, ovvero inserire tra predecessore e successore un ritardo positivo – lag –, le linee guida della DCMA limitano l'uso del ritardo, in quanto inficiano la chiarezza e dinamicità del programma.

Nella seconda stesura del programma le attività di lunga durata – o meglio, che interessano un'area ampia per lunghezza e che quindi posso essere svolte in parziale contemporaneità – verranno suddivise in attività più brevi collegate con relazioni Finish to Start, mentre verranno esplicitati i tempi di presa e indurimento dei conglomerati come attività senza consumo di risorse. Le conseguenze di queste operazioni saranno una limitazione sia dell'uso delle relazioni Start to Start e Finish to Finish sia dell'uso dei ritardi positivi. Ciò porterà prevedibilmente al superamento della valutazione della DCMA, ma anche ad una maggiore chiarezza e dinamicità del reticolo, mentre non è prevedibile a priori una riduzione o un aumento della durata complessiva del progetto. Questo in quanto l'uso di relazioni diverse da quella di tipo Finish to Start può aver distorto il percorso critico sia in positivo – con una stima della durata di progetto maggiore rispetto a quella effettiva – sia in negativo – con una sottostima della durata di progetto. In ogni caso la seconda stesura diminuirà lo scarto, comunque inevitabile, tra reticolo e realtà di cantiere. Un aumento della durata del progetto nel reticolo di seconda stesura – se si verificherà – non sarà da intendersi come un insuccesso del metodo ma come la messa in luce di carenze descrittive del reticolo di prima stesura che comunque si sarebbero tradotte in un non rispetto delle date previste o di *baseline*, con relative penalità in caso di restituzione del suolo all'uso pubblico in ritardo rispetto a quanto pattuito nel cronoprogramma esecutivo.

RISULTATO DELLA VERIFICA SUL RETICOLO DI PRIMA STESURA

Il software utilizzato per la programmazione – *Primavera P6 Professional* – implementa un tool specifico per la verifica dei 14 punti di valutazione.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Il Check viene svolto seguendo i comandi: *Tools >> Check Schedule Reports* e compilando la finestra di dialogo in base a quanto prescritto dalla *14 point assessment*.

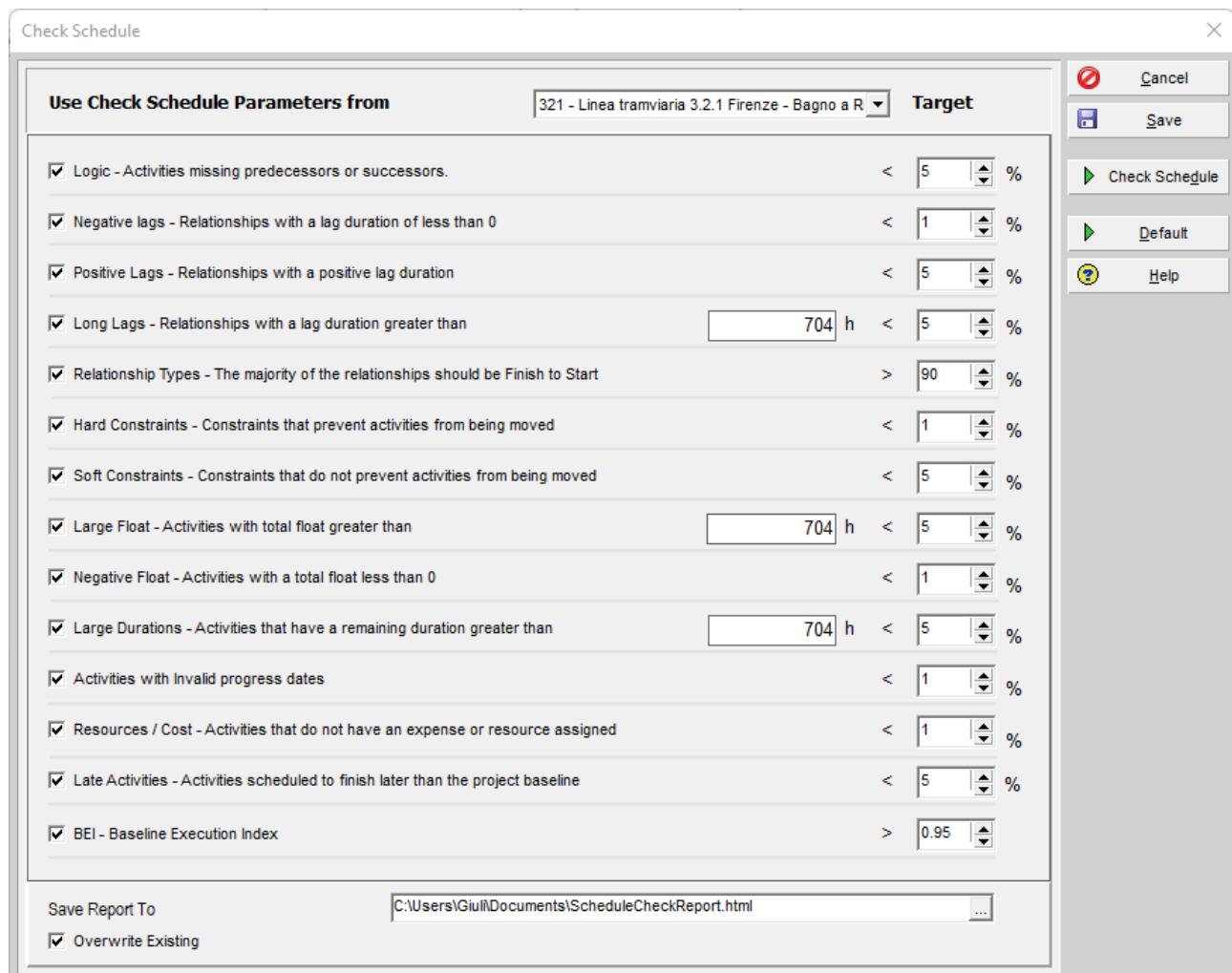


Fig. 41 Screenshot della finestra di dialogo relativa al Check della schedule – Estratto da Primavera P6 Professional

In questo modo è possibile calcolare in modo automatico e veloce il valore dei parametri analizzati dalla valutazione in 14 punti. Si riporta di seguito il risultato dell'operazione.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

▼ Projects Checked						
Project ID	Project Name	Date Date	Total Activities	Complete Activities	Internal Relationships	External Relationships
321	Linea tramviaria 3.2.1 Firenze - Bagno a Ripoli - PRIMA STESURA	11-Apr-25	716	0	1277	0
▼ Project checked to have links to the following closed projects						
Closed Project ID	Closed Project Name			Data Date	Links to/from the closed project	
▼ Check Summary						
Check	Description	Target	Percent	Found	Total	
Logic	Activities missing predecessors or successors	< 5.00 %	2.93 %	21	716	
Negative Lags	Relationships with a lag duration of less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	1277	
Positive Lags	Relationships with a positive lag duration	< 5.00 %	9.63 %	123	1277	
Long Lags	Relationships with a lag duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	1277	
Relationship Type	The majority of relationships should be Finish to Start	> 90.00 %	99.06 %	1265	1277	
Hard Constraints	Constraints that prevent activities being moved	< 1.00 %	0.00 %	0	716	
Soft Constraints	Constraints that do not prevent activities being moved	< 5.00 %	0.00 %	0	716	
Large Float	Activities with total float greater than 704 hours	< 5.00 %	17.18 %	123	716	
Negative Float	Activities with a total float less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	716	
Large Durations	Activities that have a remaining duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	716	
Invalid Progress Before Data Date	Incomplete activities before the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	716	
Invalid Progress After Data Date	Activities with actual dates after the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	716	
Late Activities	Activities scheduled to finish later than the project baseline	< 5.00 %	0.00 %	0	716	

Fig. 42 Estratto dal report sul reticolo di prima stesura effettuato con Primavera P6 Professional

Dal report sul programma lavori di prima stesura risultano non verificati i criteri sul numero di relazioni con ritardi positivi associati e sul limite al numero di attività con margine di scorrimento positivo maggiore di 44 giorni, ovvero 704 ore considerando due turni lavorativi giornalieri di 8 ore, pari a 16 ore lavorative al giorno.

Il criterio sui *Positive Lags* si risolve sostituendo i lags tra attività di getto o stesura di materiali cementizi o bituminosi con le attività esplicite di indurimento delle miscele. Viceversa, di più onerosa correzione è il criterio *Large Float*.

Si evidenzia come il parametro sulle *dangling activities* si discosti dallo 0.00% mentre è buona pratica la presenza di due sole attività senza predecessore o successore, quali il pozzo e la sorgente; risulta infatti un numero di dangling activities pari a 21. Proprio questo fattore potrebbe determinare il non superamento del criterio “*Large Float*” in quanto valori elevati di scorrimento totale potrebbero proprio essere dovuti alla mancata o errata individuazione di predecessori e successori logici.

Viceversa, pur risultando soddisfatto il criterio *Relationship Type*, esso mostra come siano presenti relazioni di tipo SS e FF.

Si procede alla modifica del programma analizzando il reticolo di ciascuna fase – la quarta fase non è stata inserita nel programma – con l’obiettivo di rendere soddisfatta la valutazione.

La durata complessiva del programma di prima stesura è pari a 3747 ore, corrispondenti a 234 giorni lavorativi di cui 1226 ore per la prima fase di cantiere, 640 ore per la seconda fase di cantiere, 1897 ore per la terza fase di cantiere.

ANALISI E MODIFICA DEL RETICOLO DI PRIMA FASE

RETICOLO DI PRIMA STESURA

Si riporta una vista del reticolo di prima stesura relativo alla prima fase di cantiere:

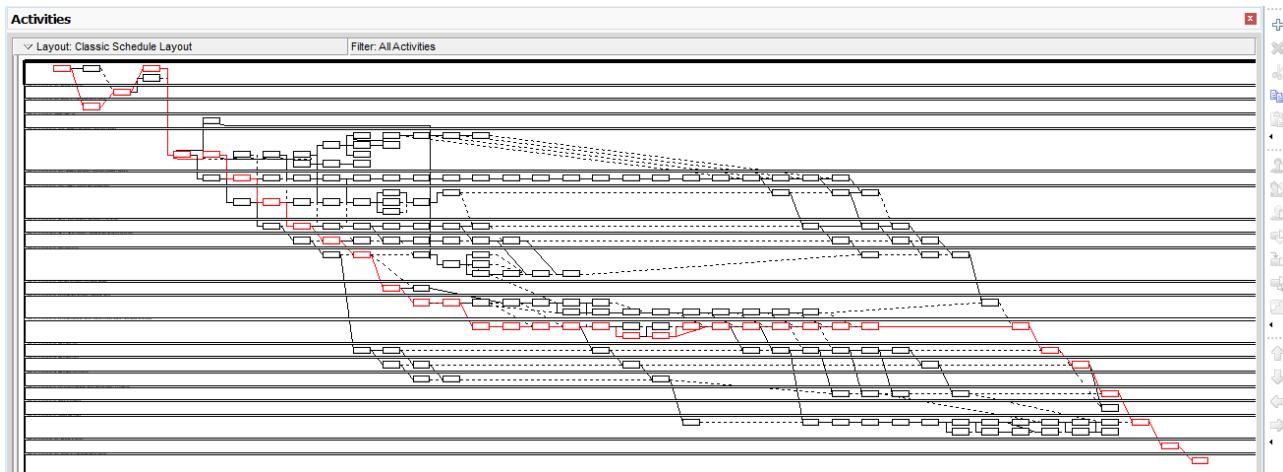


Fig. 43 Reticolo di prima stesura della prima fase di cantiere – Estratto da Primavera P6 Professional

Nel caso della Fase 1 il reticolo di prima fase risulta piuttosto leggibile. Il percorso critico segnato in rosso appare continuo e sempre visibile; apparentemente vi è un'unica attività sorgente – la riunione sulla sicurezza – e un unico pozzo – lo smontaggio della recinzione di cantiere in rete zincata.

Tuttavia, dal report risultano presenti dangling activities, numerosi lags associati alle relazioni tra attività, nonché relazioni di tipo diverso dal legame Finish to Start.

Si riporta il report relativamente alle attività della prima fase di cantiere:

DANGLING ACTIVITIES O ATTIVITÀ SENZA PREDECESSORI O SUCCESSORI

Project ID	Activity ID	Activity Name	Predecessor	Successor
321	F1.SS.DA-DN1400.A080	Getto in opera di calcestruzzo (trave di coronamento di paratia 1 e paratia 2)	Yes	No
321	F1.SS.DA-DN1400.A090	Fornitura e posa di tubazioni in acciaio (scavalco Affrico)	Yes	No
321	F1.SS.DA-DN1400.A120	Fornitura e posa di collari distanziatori per condotta in ghisa sferoidale (scavalco Affrico)	Yes	No
321	F1.SU.0590	Realizzazione di segnaletica orizzontale	Yes	No
321	F1.SU.0780	Strato di base per ripristino piano stradale dopo allaccio condotta dn 140	Yes	No
321	F1.SZ.001.A040	Riunione di coordinamento della sicurezza	No	Yes

Fig. 44 Presenza di dangling activities nella prima fase di cantiere - Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

RELAZIONI CON POSITIVE LAG

Predecessor Project ID	Predecessor Activity ID	Predecessor Activity Name	Relationship Type	Lag Duration (hours)	Successor Project ID	Successor Activity ID	Successor Activity Name
321	F1.SS.DA-DN1400.A010	Fresatura della pavimentazione stradale (scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore	SS	9.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A020	Demolizione del corpo stradale (scavalco Affrico e condotta) - 40 cm di spessore
321	F1.SS.DA-DN1400.A010	Fresatura della pavimentazione stradale (scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore	SS	4.00	321	F1.SS.TRASP.SSV.A000	Carico, trasporto e scarico (voce computo solo per sottoservizi di fase 1)
321	F1.SS.DA-DN1400.A020	Demolizione del corpo stradale (scavalco Affrico e condotta) - 40 cm di spessore	FF	29.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)
321	F1.SS.DA-DN1400.A020	Demolizione del corpo stradale (scavalco Affrico e condotta) - 40 cm di spessore	SS	29.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)
321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)	FF	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)
321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)	SS	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)
321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)	FF	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)
321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)	SS	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)
321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)	FF	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A050	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone (Scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore
321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)	SS	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A050	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone (Scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore
321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)	SS	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A060	Esecuzione di micropalo per paratia 1 e paratia 2 (scavalco Affrico)
321	F1.SS.DA-DN1400.A050	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone (Scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A130	Fornitura e posa di tubi in PEHD (condotta bypass provvisori)
321	F1.SS.DA-DN1400.A100	Fornitura e posa di tubazioni in ghisa sferoidale (condotta)	SS	55.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A140	Riempimento scavi con materiale da impianti di recupero (condotta)
321	F1.SS.DA-DN1400.A150	Fornitura e posa di misto cementato per sottofondo stradale (condotta)	FS	24.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A160	Fornitura e posa di conglomerato di bitume per strato di base pavimentazione stradale - spessore 10 cm (condotta)
321	F1.SS.DA-DN1400.A160	Fornitura e posa di conglomerato di bitume per strato di base pavimentazione stradale - spessore 10 cm (condotta)	FS	24.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A170	Fornitura e posa del binder - spessore 10 cm (condotta)
321	F1.SS.DA.A.CO10.A050	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone (cameretta A.CO10) - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F1.SS.DA.A.CO10.A060	Fornitura e posa delle casseforme per soletta di fondazione (cameretta A.CO10) - spessore 30 cm
321	F1.SS.DA.A.CO10.A110	Getto in opera di calcestruzzo per pareti (cameretta A.CO10) - altezza 2.5 metri	FS	168.00	321	F1.SS.DA.A.CO10.A120	Fornitura e posa delle casseforme per soletta di copertura (cameretta A.CO10) - spessore 30 cm
321	F1.SS.DA.A.CO10.A140	Getto in opera di calcestruzzo per soletta di copertura (cameretta A.CO10) - spessore 30 cm	FS	168.00	321	F1.SS.DA.A.CO10.A150	Fornitura e posa delle casseforme per torrino compresa la copertura (cameretta A.CO10) - spessore 30 cm
321	F1.SS.DA.A.CO10.A170	Getto in opera di calcestruzzo per torrino compresa la copertura (cameretta A.CO10)	FS	168.00	321	F1.SS.DA.A.CO10.A180	Fornitura e posa in opera di coperchi in ghisa (cameretta A.CO10)
321	F1.SS.DA.A.CO10.A200	Fornitura e posa di misto cementato per sottofondo stradale (cameretta A.CO10)	FS	24.00	321	F1.SS.DA.A.CO10.A210	Fornitura e posa di conglomerato di bitume per strato di base pavimentazione stradale - spessore 10 cm (cameretta A.CO1)
321	F1.SS.DA.A.CO10.A210	Fornitura e posa di conglomerato di bitume per strato di base pavimentazione stradale - spessore 10 cm (cameretta A.CO1)	FS	24.00	321	F1.SS.DA.A.CO10.A220	Fornitura e posa del binder - spessore 10 cm (cameretta A.CO10)
321	F1.SS.DFO-07.RC.A040	Confezionamento e e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	24.00	321	F1.SS.DFO-07.RC.A050	Fornitura in scavo di tubazione in PEHD - 2 tubi phi 125
321	F1.SS.DFO-07.RC.A040	Confezionamento e e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	24.00	321	F1.SS.DFO-07.RC.A060	Fornitura e posa di cavidotto del tipo a tritubo
321	F1.SS.DFO-07.RC.A040	Confezionamento e e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	24.00	321	F1.SS.DFO-07.RC.A070	Fornitura e posa di pozzetto di ispezione prefabbricato

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

321	F1.SS.DFO-07.RC.A110	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F1.SS.DFO-07.RC.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F1.SS.DFO-07.RC.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F1.SS.DFO-07.RC.A130	Stesura del binder - 10 cm
321	F1.SS.EM.04-MT.A090	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F1.SS.EM.04-MT.A100	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F1.SS.EM.04-MT.A100	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F1.SS.EM.04-MT.A110	Stesura del binder - 10 cm
321	F1.SS.FG.01-GS.A050	Confezionamento e e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F1.SS.FG.01-GS.A060	Fornitura e posa in opera di vasche monoblocco prefabbricate
321	F1.SS.FG.01-GS.A050	Confezionamento e e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F1.SS.FG.01-GS.A070	Fornitura e posa in opera di chiusini in ghisa sferoidale
321	F1.SS.FG.01-GS.A050	Confezionamento e e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F1.SS.FG.01-GS.A080	Fornitura e posa in opera di tubazioni in ghisa sferoidale - D1000mm
321	F1.SS.FG.01-GS.A110	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F1.SS.FG.01-GS.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F1.SS.FG.01-GS.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F1.SS.FG.01-GS.A130	Stesura del binder - 10 cm
321	F1.SS.GB.01-GAS.A090	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F1.SS.GB.01-GAS.A100	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F1.SS.GB.01-GAS.A100	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F1.SS.GB.01-GAS.A110	Stesura del binder - 10 cm
321	F1.SS.TRASP.SSV.A000	Carico, trasporto e scarico (voce computo solo per sottoservizi di fase 1)	FF	8.00	321	F1.SS.DFO-07.RC.A030	Scavo a sezione ristretta obbligata di 0,5 metri - fino a 1 m dal p.c.
321	F1.SU.0700	Strato di base per ripristino piano stradale dopo posa condotta dn 140	FS	24.00	321	F1.SU.0710	Strato di collegamento (binder) per ripristino piano stradale dopo posa della condotta dn 140
321	F1.SU.0710	Strato di collegamento (binder) per ripristino piano stradale dopo posa della condotta dn 140	FS	24.00	321	F1.SU.0720	Tappeto di usura per ripristino piano stradale dopo posa della condotta dn 140
321	F1.SU.A0080	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede S. Niccolò - L. del Tempio)	FS	168.00	321	F1.SU.A0090	Posa in opera di cordonato in pietra (marciapiede S. Niccolò - L. del Tempio)
321	F1.SU.A0110	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede S. Niccolò - L. del Tempio)	FS	168.00	321	F1.SU.A0120	Posa in opera di zanella (marciapiede S. Niccolò - L. del Tempio)
321	F1.SU.A0180	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede S. Niccolò - L. del Tempio)	FS	168.00	321	F1.SU.A0190	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede S. Niccolò - L. del Tempio)
321	F1.SU.A0380	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede L. del Tempio - L. Colombo - Verrazzano)	FS	168.00	321	F1.SU.A0390	Posa in opera di cordonato in pietra(marciapiede L. del Tempio - L. Colombo - Verrazzano)
321	F1.SU.A0410	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede L. del Tempio - L. Colombo - Verrazzano)	FS	168.00	321	F1.SU.A0420	Posa in opera di zanella (marciapiede L. del Tempio - L. Colombo - Verrazzano)
321	F1.SU.A0480	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede L. del Tempio - L. Colombo - Verrazzano)	FS	168.00	321	F1.SU.A0490	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso(marciapiede L. del Tempio - L. Colombo - Verrazzano)
321	F1.SU.A0500	Stesura del binder (sede stradale di tipo A)	FS	24.00	321	F1.SU.A0510	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (sede stradale di tipo A)
321	F1.SU.A0510	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (sede stradale di tipo A)	FS	24.00	321	F1.SU.0590	Realizzazione di segnaletica orizzontale
321	F1.SU.A0540	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale(pista ciclabile L. del Tempio)	FS	24.00	321	F1.SU.A0550	Stesura del binder(pista ciclabile L. del Tempio)
321	F1.SU.A0550	Stesura del binder(pista ciclabile L. del Tempio)	FS	24.00	321	F1.SU.A0560	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (pista ciclabile L. del Tempio)

Fig. 45 Relazioni con Positive Lag nella prima fase di cantiere – Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

RELAZIONI TRA ATTIVITÀ DIVERSE DAL TIPO FINISH TO START

Predecessor Project ID	Predecessor Activity ID	Predecessor Activity Name	Relationship Type	Lag Duration (hours)	Successor Project ID	Successor Activity ID	Successor Activity Name
321	F1.SS.DA-DN1400.A020	Demolizione del corpo stradale (scavalco Affrico e condotta) - 40 cm di spessore	FF	29.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)
321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)	FF	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)
321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)	FF	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A050	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone (Scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore
321	F1.SS.TRASP.SSV.A000	Carico, trasporto e scarico (voce computo solo per sottoservizi di fase 1)	FF	8.00	321	F1.SS.DFO-07.RC.A030	Scavo a sezione ristretta obbligata di 0.5 metri - fino a 1 m dal p.c.
321	F2.SS.DT.04-TIM.A050	Demolizione polifora esistente	FF	0.00	321	F2.SS.TRASP.SSV.A000	Carico, trasporto e scarico (voce computo solo per sottoservizi di fase 2)
321	F1.SS.DA-DN1400.A010	Fresatura della pavimentazione stradale (scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore	SS	9.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A020	Demolizione del corpo stradale (scavalco Affrico e condotta) - 40 cm di spessore
321	F1.SS.DA-DN1400.A010	Fresatura della pavimentazione stradale (scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore	SS	4.00	321	F1.SS.TRASP.SSV.A000	Carico, trasporto e scarico (voce computo solo per sottoservizi di fase 1)
321	F1.SS.DA-DN1400.A020	Demolizione del corpo stradale (scavalco Affrico e condotta) - 40 cm di spessore	SS	29.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)
321	F1.SS.DA-DN1400.A030	Prestazioni specialistiche - BOB e sorveglianza archeologica (condotta e scavalco Affrico)	SS	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)
321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)	SS	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A050	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone (Scavalco Affrico e condotta) - 10 cm di spessore
321	F1.SS.DA-DN1400.A040	Scavo a sezione larga obbligata (scavalco Affrico fino a 1.5 m da pc condotta fino a 3.0 m da p.c.)	SS	6.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A060	Esecuzione di micropalo per paratia 1 e paratia 2 (scavalco Affrico)
321	F1.SS.DA-DN1400.A100	Fornitura e posa di tubazioni in ghisa sferoidale (condotta)	SS	55.00	321	F1.SS.DA-DN1400.A140	Riempimento scavi con materiale da impianti di recupero (condotta)

Fig. 46 Presenza di relazioni tra attività diverse dal tipo FTS nella prima fase di cantiere - Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

ATTIVITÀ CON SCORRIMENTO TOTALE MAGGIORE DI 704 ORE

Project ID	Activity ID	Activity Name	Total Float (hour)
321	F1.SS.DA-DN1400.A060	Esecuzione di micropalo per paratia 1 e paratia 2 (scavalco Affrico)	3058.00
321	F1.SS.DA-DN1400.A070	Fornitura e posa in opera di acciaio per cemento armato (trave di coronamento di paratia 1 e paratia 2)	3058.00
321	F1.SS.DA-DN1400.A080	Getto in opera di calcestruzzo (trave di coronamento di paratia 1 e paratia 2)	3058.00
321	F1.SS.DA-DN1400.A090	Fornitura e posa di tubazioni in acciaio (scavalco Affrico)	3283.00
321	F1.SS.DA-DN1400.A110	Fornitura e posa di tubazioni in ghisa sferoidale (scavalco affrico)	3309.00
321	F1.SS.DA-DN1400.A120	Fornitura e posa di collari distanziatori per condotta in ghisa sferoidale (scavalco Affrico)	3309.00
321	F1.SS.FG.01-GS.A060	Fornitura e posa in opera di vasche monoblocco prefabbricate	708.00
321	F1.SS.FG.01-GS.A070	Fornitura e posa in opera di chiusini in ghisa sferoidale	719.00
321	F1.SU.0590	Realizzazione di segnaletica orizzontale	2521.00
321	F1.SU.0730	Demolizione di corpo stradale per allaccio condotta dn 140	2658.00
321	F1.SU.0740	Scavo a larga sezione obbligata per allaccio condotta dn 140	2650.00
321	F1.SU.0750	Surveglianza archeologica scavo a larga sezione obbligata per allaccio condotta dn 140	2650.00
321	F1.SU.0760	Fornitura e posa di tubazioni in P.V.C. rigido allaccio dn 160	2642.00
321	F1.SU.0770	Fondazione stradale compresa rullatura e compattazione per ripristino piano stradale dopo l'allaccio della condotta	2633.00
321	F1.SU.0780	Strato di base per ripristino piano stradale dopo allaccio condotta dn 140	2633.00
321	F1.SU.A0310	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale (sede stradale di tipo A)	787.00
321	F1.SU.A0340	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale (sede stradale pista ciclabile)	860.00

Fig. 47 Presenza di attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore nella prima fase di cantiere – Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

STRATEGIE CORRETTIVE

Si procede applicando le seguenti strategie di correzione:

- Sostituzione dei lag con attività esplicite di indurimento delle miscele;
- Suddivisione delle attività sulla condotta DN 1400 in sotto- attività eliminando i legami Start to Start e Finish to Finish e sostituendoli con legami di tipo Finish to Start tra attività di più breve durata;
- Analisi delle relazioni tra le attività del reticolo per la riduzione del Total Float;
- Riduzione del numero di dangling activities alla sola sorgente mediante l'analisi sull'attribuzione di predecessori e successori effettivi.

RETIKOLO DI SECONDA STESURA

Si riporta un estratto da Primavera P6 del reticolo di prima fase dopo aver apportato le modifiche di cui sopra:

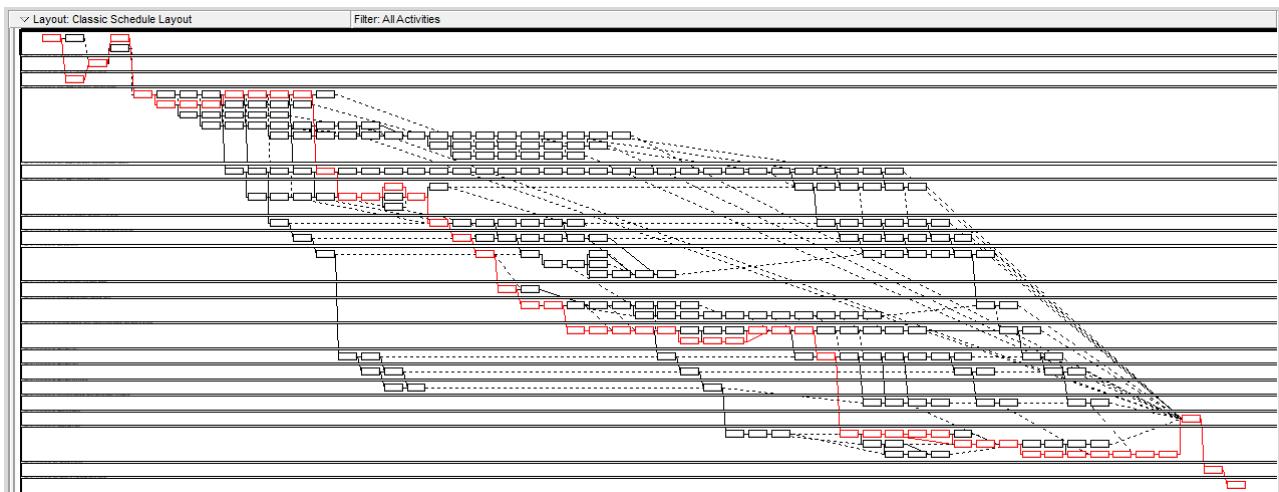


Fig. 48 Reticolo di seconda stesura della prima fase di cantiere – Estratto da Primavera P6 Professional

OSSERVAZIONI SUL RETICOLO DI SECONDA STESURA

A seguito delle modifiche – sostituzione dei lags nelle relazioni tra attività con attività esplicite sull’indurimento delle miscele, scomposizione delle attività sulla condotta DN1400 in tratte – si esegue nuovamente il check sul reticolo complessivo.

Si osserva come:

- il numero di attività complessive sia aumentato passando da 716 a 804;
- il numero delle dangling activities sia diminuito passando da 21 a 17;
- la percentuale di relazioni di tipo Finish to Start sia aumentata passando dal 99.06% al 99.93% sul totale delle relazioni;
- la percentuale di relazioni con positive lags sia diminuita passando dal 9.63% al 5.20% del totale delle relazioni;
- il numero di attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore – 44 giorni lavorativi – non sia cambiato.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

Project ID	Project Name	Data Date	Total Activities	Complete Activities	Internal Relationships	External Relationships
321.1	Linea tramviaria 3.2.1 Firenze - Bagno a Ripoli - SECONDA STESURA	11-Apr-25	804	0	1405	0
▼ Project checked to have links to the following closed projects						
Closed Project ID	Closed Project Name	Data Date		Links to/from the closed project		
▼ Check Summary						
Check	Description	Target	Percent	Found	Total	
Logic	Activities missing predecessors or successors	< 5.00 %	2.11 %	17	804	
Negative Lags	Relationships with a lag duration of less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	1405	
Positive Lags	Relationships with a positive lag duration	< 5.00 %	5.20 %	73	1405	
Long Lags	Relationships with a lag duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	1405	
Relationship Type	The majority of relationships should be Finish to Start	> 90.00 %	99.93 %	1404	1405	
Hard Constraints	Constraints that prevent activities being moved	< 1.00 %	0.00 %	0	804	
Soft Constraints	Constraints that do not prevent activities being moved	< 5.00 %	0.00 %	0	804	
Large Float	Activities with total float greater than 704 hours	< 5.00 %	15.17 %	122	804	
Negative Float	Activities with a total float less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	804	
Large Durations	Activities that have a remaining duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	804	
Invalid Progress Before Data Date	Incomplete activities before the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	804	
Invalid Progress After Data Date	Activities with actual dates after the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	804	
Late Activities	Activities scheduled to finish later than the project baseline	< 5.00 %	0.00 %	0	804	
Check	Description	Target	BEI Ratio	Project Activities	Baseline Activities	
BEI	Baseline Execution Index	> 0.95	1	-	-	

Fig. 49 Estratto dal report sul reticolo di seconda stesura di cantiere effettuato con Primavera P6 Professional dopo le correzioni sulla prima fase

Relativamente alla sola prima fase di cantiere – quella sulla quale sono state apportate correzioni al reticolo – si ha che il numero di dangling activities si è ridotto ad uno, ovvero la riunione di coordinamento della sicurezza. Non sono presenti relazioni con *positive lag* associati e che, sebbene il numero di attività con scorrimento totale maggiore di 44 giorni non sia calato, si riscontra un significativo ridimensionamento degli scorrimenti per le attività della prima fase.

Si riporta l'estratto del report relativo al total float:

▼ Large Float			Activities with total float greater than 704 hours	Total Float (hour)
Project ID	Activity ID	Activity Name		
321.1	F1.SS.DA-DN1400.A055	Indurimento del magrone (condotta tratto 1)		796.00
321.1	F1.SS.DA-DN1400.A056	Indurimento del magrone (condotta tratto 2)		817.00
321.1	F1.SS.DA-DN1400.A057	Indurimento del magrone (condotta tratto 3)		838.00
321.1	F1.SS.FG.01-GS.A100	Rinterro scavo con materiale da impianto di recupero		763.00
321.1	F1.SU.A0310	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale (sede stradale di tipo A)		872.00
321.1	F1.SU.A0320	Fresatura della pavimentazione stradale (sede stradale di tipo A)		738.00
321.1	F1.SU.A0340	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale (sede stradale pista ciclabile)		945.00
321.1	F1.SU.A0350	Fresatura della pavimentazione stradale (sede stradale pista ciclabile)		746.00

Fig. 50 Presenza di attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore nella prima fase di cantiere – Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

ANALISI E MODIFICA DEL RETICOLO DI SECONDA FASE

RETICOLO DI PRIMA STESURA

Si riporta una vista del reticolo di prima stesura relativo alla seconda fase di cantiere:

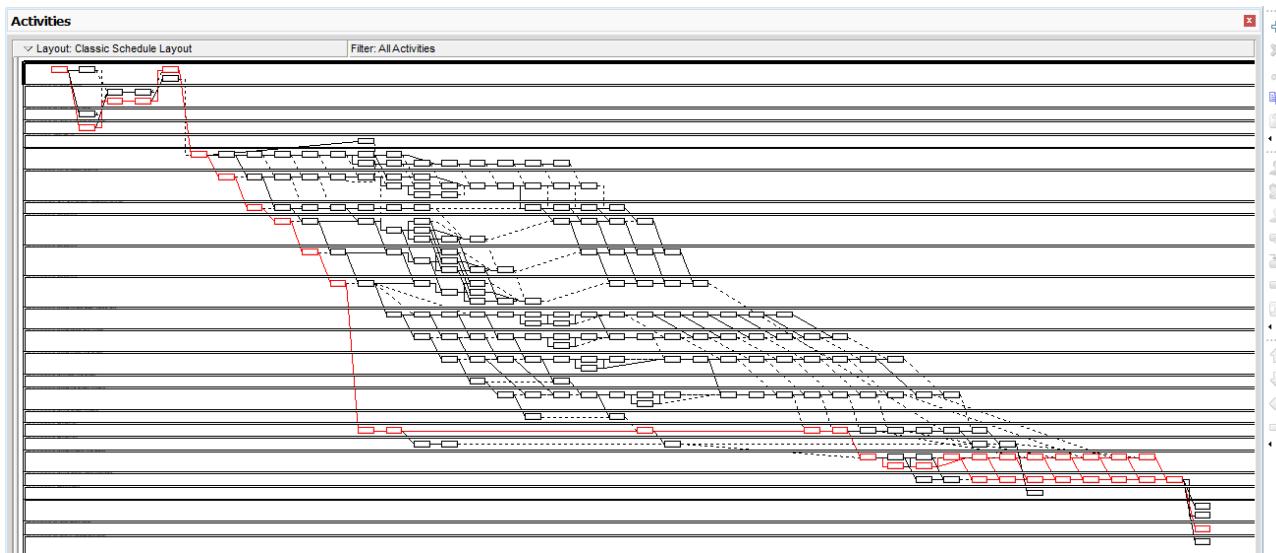


Fig. 51 Reticolo di prima stesura della seconda fase di cantiere – Estratto da Primavera P6 Professional

Nel caso della Fase 2 il reticolo di prima fase risulta leggibile – analogamente al reticolo di prima fase di prima stesura – sebbene si riscontri un probabile uso di relazioni sovrabbondanti, ovvero non strettamente necessarie per la definizione della logica del reticolo. Il percorso critico segnato in rosso appare continuo e sempre visibile.

Inoltre dal report risultano presenti due sole dangling activities e nessuna relazione tra attività diversa dalla relazione di tipo Finish to Start. Anche il numero di attività con scorrimento totale maggiore di 44 giorni è ridotto a sole due attività.

Si riporta il report relativamente alle attività della seconda fase di cantiere:

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

RELAZIONI CON POSITIVE LAG

▼ Positive Lags Relationships with a positive lag duration							
Predecessor Project ID	Predecessor Activity ID	Predecessor Activity Name	Relationship Type	Lag Duration (hours)	Successor Project ID	Successor Activity ID	Successor Activity Name
321	F2.SS.DFO-04.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-04.RC.A050	Fornitura in scavo di tubazione in PEHD - 2 tubi phi 125
321	F2.SS.DFO-04.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-04.RC.A060	Fornitura e posa di cavidotto del tipo a tritubo
321	F2.SS.DFO-04.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-04.RC.A070	Fornitura e posa di pozzetto di ispezione prefabbricato
321	F2.SS.DFO-04.RC.A110	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DFO-04.RC.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F2.SS.DFO-05.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-05.RC.A050	Fornitura in scavo di tubazione in PEHD - 2 tubi phi 125
321	F2.SS.DFO-05.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-05.RC.A060	Fornitura e posa di cavidotto del tipo a tritubo
321	F2.SS.DFO-05.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-05.RC.A070	Fornitura e posa di pozzetto di ispezione prefabbricato
321	F2.SS.DFO-05.RC.A110	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DFO-05.RC.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F2.SS.DFO-05.RC.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DFO-05.RC.A130	Stesura del binder - 10 cm
321	F2.SS.DFO-06.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-06.RC.A050	Fornitura in scavo di tubazione in PEHD - 2 tubi phi 125
321	F2.SS.DFO-06.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-06.RC.A060	Fornitura e posa di cavidotto del tipo a tritubo
321	F2.SS.DFO-06.RC.A040	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DFO-06.RC.A070	Fornitura e posa di pozzetto di ispezione prefabbricato
321	F2.SS.DFO-06.RC.A110	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DFO-06.RC.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F2.SS.DFO-06.RC.A120	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DFO-06.RC.A130	Stesura del binder - 10 cm
321	F2.SS.DT.03-TIM.A060	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DT.03-TIM.A070	Fornitura e posa di tubazioni in P.V.C. - polifora 4 tubi
321	F2.SS.DT.03-TIM.A060	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DT.03-TIM.A100	Fornitura e posa di maxi - pozzetti prefabbricati
321	F2.SS.DT.03-TIM.A120	Getto in opera di calcestruzzo ordinario C25/30 - polifora 4 fori	FS	168.00	321	F2.SS.DT.03-TIM.A130	Rinterro scavo con materiale da impianto di recupero
321	F2.SS.DT.03-TIM.A140	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DT.03-TIM.A150	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F2.SS.DT.03-TIM.A150	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DT.03-TIM.A160	Stesura del binder - 10 cm
321	F2.SS.DT.04-TIM.A060	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DT.04-TIM.A070	Fornitura e posa di tubazioni in P.V.C. - polifora 4 tubi
321	F2.SS.DT.04-TIM.A060	Confezionamento e getto del calcestruzzo per magrone - 10 cm di spessore	FS	168.00	321	F2.SS.DT.04-TIM.A120	Fornitura e posa di maxi - pozzetti prefabbricati
321	F2.SS.DT.04-TIM.A140	Getto in opera di calcestruzzo ordinario C25/30 - polifora 4 fori	FS	168.00	321	F2.SS.DT.04-TIM.A150	Rinterro scavo con materiale da impianto di recupero
321	F2.SS.DT.04-TIM.A170	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DT.04-TIM.A180	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

321	F2.SS.DT.04-TIM.A180	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale - 30 cm	FS	24.00	321	F2.SS.DT.04-TIM.A190	Stesura del binder - 10 cm
321	F2.SS.GB.02-GAS.A090	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm	FS	24.00	321	F2.SS.GB.02-GAS.A100	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm
321	F2.SS.GB.02-GAS.A100	Posa dello strato di base in conglomerato di bitume - 10 cm Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede G.Amendola - L.del Tempio)	FS	24.00	321	F2.SS.GB.02-GAS.A110	Stesura del binder - 10 cm Posa in opera di cordonato in pietra (marciapiede G.Amendola - L.del Tempio)
321	F2.SU.A0060	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede G.Amendola - L.del Tempio)	FS	168.00	321	F2.SU.A0070	Posa in opera di zanella (marciapiede G.Amendola - L.del Tempio)
321	F2.SU.A0090	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede G.Amendola - L.del Tempio)	FS	168.00	321	F2.SU.A0100	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede G.Amendola - L.del Tempio)
321	F2.SU.A0160	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede L.del Tempio - Orcagna)	FS	168.00	321	F2.SU.A0170	Posa in opera di cordonato in pietra (marciapiede L.del Tempio - Orcagna)
321	F2.SU.A0430	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede L.del Tempio - Orcagna)	FS	168.00	321	F2.SU.A0440	Posa in opera di zanella (marciapiede L.del Tempio - Orcagna)
321	F2.SU.A0460	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede L.del Tempio - Orcagna)	FS	168.00	321	F2.SU.A0470	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede L.del Tempio - Orcagna)
321	F2.SU.A0530	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)	FS	168.00	321	F2.SU.A0540	Posa in opera di zanella (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)
321	F2.SU.A0560	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)	FS	168.00	321	F2.SU.A0570	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)
321	F2.SU.A0590	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)	FS	168.00	321	F2.SU.A0600	Posa in opera di zanella (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)
321	F2.SU.A0660	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)	FS	168.00	321	F2.SU.A0670	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede Orcagna - Ghirlandaio)
321	F2.SU.A0690	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede Ghirlandaio - Piagentina)	FS	168.00	321	F2.SU.A0700	Posa in opera di cordonato in pietra (marciapiede Ghirlandaio - Piagentina)
321	F2.SU.A0720	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede Ghirlandaio - Piagentina)	FS	168.00	321	F2.SU.A0730	Posa in opera di zanella (marciapiede Ghirlandaio - Piagentina)
321	F2.SU.A0790	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede Ghirlandaio - Piagentina)	FS	168.00	321	F2.SU.A0800	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede Ghirlandaio - Piagentina)
321	F2.SU.A0820	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (marciapiede Piagentina - Campofiore)	FS	168.00	321	F2.SU.A0830	Posa in opera di cordonato in pietra (marciapiede Piagentina - Campofiore)
321	F2.SU.A0850	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione zanella (marciapiede Piagentina - Campofiore)	FS	168.00	321	F2.SU.A0860	Posa in opera di zanella (marciapiede Piagentina - Campofiore)
321	F2.SU.A0920	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (marciapiede Piagentina - Campofiore)	FS	168.00	321	F2.SU.A0930	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (marciapiede Piagentina - Campofiore)
321	F2.SU.A0950	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (isola Campofiore - L. Colombo)	FS	168.00	321	F2.SU.A0960	Posa in opera di cordonato in pietra (isola Campofiore - L. Colombo)
321	F2.SU.A1020	Getto di calcestruzzo per la soletta del marciapiede (isola Campofiore - L. Colombo)	FS	168.00	321	F2.SU.A1030	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (isola Campofiore - L. Colombo)
321	F2.SU.A1060	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale (sede stradale di tipo C)	FS	24.00	321	F2.SU.A1070	Stesura del binder (sede stradale di tipo C)
321	F2.SU.A1070	Stesura del binder (sede stradale di tipo C)	FS	24.00	321	F2.SU.A1080	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (sede stradale di tipo C)
321	F2.SU.A1110	Fornitura e posa in opera di misto cementato per sottofondo stradale (sede stradale di tipo C)	FS	24.00	321	F2.SU.A1120	Stesura del binder (sede stradale di tipo C)
321	F2.SU.A1120	Stesura del binder (sede stradale di tipo C)	FS	24.00	321	F2.SU.A1130	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (sede stradale di tipo C)
321	F2.SU.A1130	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (sede stradale di tipo C)	FS	24.00	321	F1.SU.0590	Realizzazione di segnaletica orizzontale
321	F2.SU.A1140	Stesura del binder (sede stradale di tipo A)	FS	24.00	321	F2.SU.A1150	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (sede stradale di tipo A)
321	F2.SU.A1150	Posa del tappeto di usura in conglomerato bituminoso (sede stradale di tipo A)	FS	24.00	321	F2.SU.1180	Realizzazione di segnaletica orizzontale

Fig. 52 Relazioni con Positive Lag nella seconda fase di cantiere – Estratto da report sul reticolo di prima stesura

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

ATTIVITÀ CON SCORRIMENTO TOTALE MAGGIORE DI 704 ORE

▼ Large Float Activities with total float greater than 704 hours			
Project ID	Activity ID	Activity Name	Total Float (hour)
321	F2.SU.1180	Realizzazione di segnaletica orizzontale	1961.00

Fig. 53 Screenshot del report relativo al total float della prima stesura della seconda fase di cantiere – Estratto da Primavera P6 Professional

STRATEGIE CORRETTIVE

Si procede applicando la seguente strategia di correzione:

- Sostituzione dei lag con attività esplicite di indurimento delle miscele.

RETIKOLO DI SECONDA STESURA

Si riporta un estratto da Primavera P6 del reticolo di seconda fase dopo aver apportato le modifiche di cui sopra:

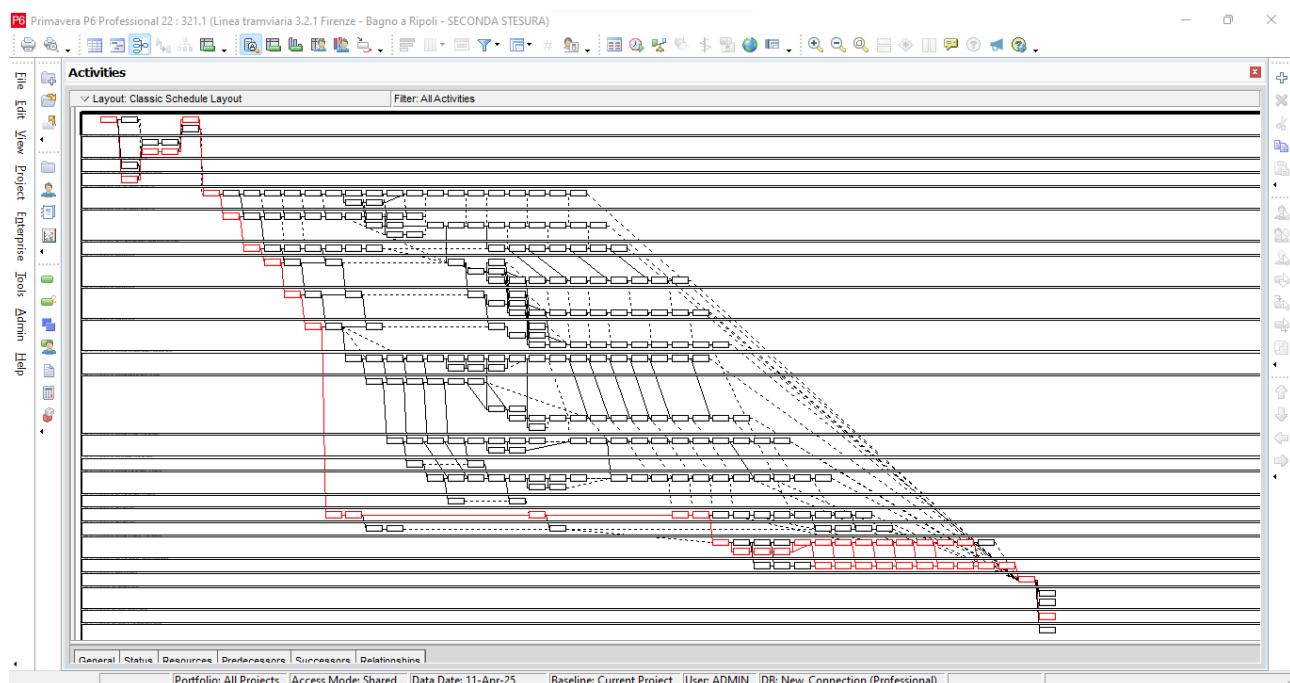


Fig. 54 Reticolo di seconda stesura della seconda fase di cantiere – Estratto da Primavera P6 Professional

OSSERVAZIONI SUL RETIKOLO DI SECONDA STESURA

A seguito delle modifiche – sostituzione dei lags nelle relazioni tra attività con attività esplicite sull’indurimento delle miscele – si esegue nuovamente il check sul reticolo complessivo.

Si osserva come:

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

- il numero di attività complessive sia aumentato passando da 804 a 856;
- il numero delle dangling activities sia diminuito passando da 17 a 14;
- la percentuale di relazioni di tipo Finish to Start sia aumentata passando dal 99.93% al 100.00% sul totale delle relazioni;
- la percentuale di relazioni con positive lags sia diminuita passando dal 5.20% al 1.77% del totale delle relazioni – con conseguente superamento del criterio di verifica;
- il numero di attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore – 44 giorni lavorativi – sia passato da 122 attività – il 15.17% del totale – a 119 attività – il 13.90% del totale – senza sostanziali cambiamenti.

Project ID	Project Name	Data Date	Total Activities	Complete Activities	Internal Relationships	External Relationships
321.1	Linea tramviaria 3.2.1 Firenze - Bagno a Ripoli - SECONDA STESURA	11-Apr-25	856	0	1472	0
▼ Project checked to have links to the following closed projects						
Closed Project ID			Data Date		Links to/from the closed project	
▼ Check Summary						
Check	Description	Target	Percent	Found	Total	
Logic	Activities missing predecessors or successors	< 5.00 %	1.64 %	14	856	
Negative Lags	Relationships with a lag duration of less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	1472	
Positive Lags	Relationships with a positive lag duration	< 5.00 %	1.77 %	26	1472	
Long Lags	Relationships with a lag duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	1472	
Relationship Type	The majority of relationships should be Finish to Start	> 90.00 %	100.00 %	1472	1472	
Hard Constraints	Constraints that prevent activities being moved	< 1.00 %	0.00 %	0	856	
Soft Constraints	Constraints that do not prevent activities being moved	< 5.00 %	0.00 %	0	856	
Large Float	Activities with total float greater than 704 hours	< 5.00 %	13.90 %	119	856	
Negative Float	Activities with a total float less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	856	
Large Durations	Activities that have a remaining duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	856	
Invalid Progress Before Data Date	Incomplete activities before the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	856	
Invalid Progress After Data Date	Activities with actual dates after the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	856	
Late Activities	Activities scheduled to finish later than the project baseline	< 5.00 %	0.00 %	0	856	
Check	Description	Target	BEI Ratio	Project Activities	Baseline Activities	
BEI	Baseline Execution Index	> 0.95	1	-	-	-

Fig. 55 Risultato del check schedule dopo le correzioni al reticolo sulle attività della seconda fase di cantiere – Estratto dal report generato con Primavera P6 Professional

ANALISI E MODIFICA DEL RETICOLO DI TERZA FASE

RETICOLO DI PRIMA STESURA

Si riporta una vista del reticolo di prima stesura relativo alla terza fase di cantiere:

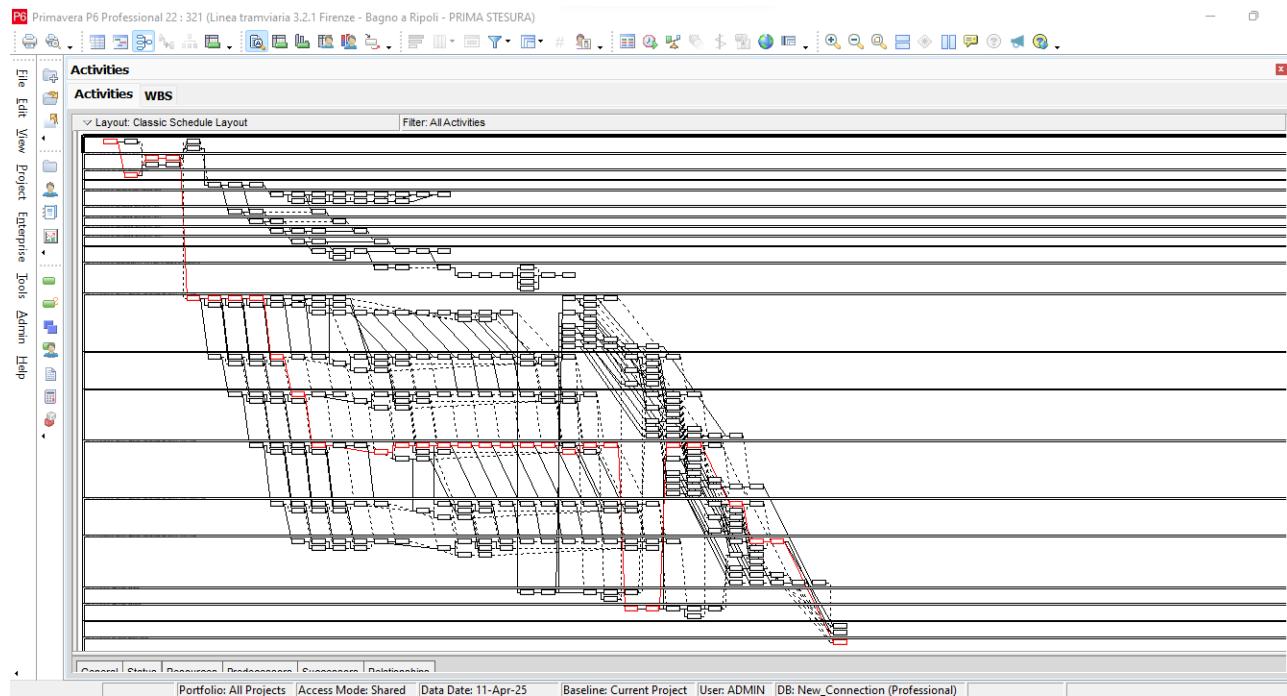


Fig. 56 Reticolo di prima stesura della terza fase di cantiere – Estratto da Primavera P6 Professional

Il reticolo della terza fase di cantiere nella sua prima stesura, diversamente dai reticolni di prima stesura delle fasi precedenti, risulta meno leggibile, con numerose attività senza l’indicazione di successori e la presenza di legami ridondanti per le attività della sede tramviaria e dell’armamento. Un elemento di disturbo è dovuto all’articolazione della WBS e nello specifico alla scelta di dividere le attività relative alla posa dell’armamento dalle attività relative alla realizzazione della sede tramviaria.

Si riportano degli estratti del documento “Report_PrimaStesura” – riportato negli allegati – relativamente alle attività e relazioni della terza fase di cantiere.

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

DANGLING ACTIVITIES O ATTIVITÀ SENZA PREDECESSORI O SUCCESSORI

▼ Logic				
Activities missing predecessors or successors				
Project ID	Activity ID	Activity Name	Predecessor	Successor
321	F3.ST.A1310	Posa in opera di pavimentazione sede tramviaria in porfido - sede dx	Yes	No
321	F3.ST.A1770	Posa in opera di pavimentazione sede tramviaria in porfido - sede sx	Yes	No
321	F3.ST.A2560	Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede sx	Yes	No
321	F3.ST.A2730	Sigillatura dei giunti longitudinali - sede sx	Yes	No
321	F3.ST.A2740	Sigillatura dei giunti trasversali - sede sx	Yes	No
321	F3.SU.A0220	Formazioni di prati (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	Yes	No
321	F3.SU.A0350	Sorveglianza archeologica (aiuola L. del Tempio centrale p3)	Yes	No
321	F3.SU.A0500	Fondazione stradale - massicciata - in materiale arido compattato (plinti)	Yes	No
321	F3.SZ.002.A40	Smontaggio di recinzione di cantiere	Yes	No
321	F3A.SZ.002.A70	Smontaggio di recinzione di cantiere tipo A (pannelli in griglia metallica su New Jersey in CCA prefabbricati)	Yes	No
321	F3A.SZ.003.A30	Smontaggio di impianti semaforici provvisori	Yes	No

Fig. 57 Presenza di dangling activities nella terza fase di cantiere – Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

RELAZIONI CON POSITIVE LAG

▼ Positive Lags				
Relationships with a positive lag duration				
Predecessor Project ID	Predecessor Activity ID	Predecessor Activity Name	Relationship Type	Lag Duration (hours)
321	F3.ST.A0340	Getto di calcestruzzo per magrone - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A0360	Getto di calcestruzzo per magrone - sede sx	FS	168.00
321	F3.ST.A0390	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A0420	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede sx	FS	168.00
321	F3.ST.A0510	Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede laterale dx	FS	168.00
321	F3.ST.A0540	Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede laterale sx	FS	168.00
321	F3.ST.A0690	Massetto di sottofondo per pavimentazione in porfido - sede sx	FS	168.00
321	F3.ST.A0740	Massetto di sottofondo per pavimentazione in porfido - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A0760	Binder in conglomerato di bitume per sede tramviaria negli incroci - sede sx	FS	24.00
321	F3.ST.A0820	Binder in conglomerato di bitume per sede tramviaria negli incroci - sede dx	FS	24.00
321	F3.ST.A1120	Getto di calcestruzzo per magrone - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A1150	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A1210	Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede laterale dx	FS	168.00
321	F3.ST.A1300	Massetto di sottofondo per pavimentazione in porfido - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A1580	Getto di calcestruzzo per magrone - sede sx	FS	168.00
321	F3.ST.A1610	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede sx	FS	168.00
321	F3.ST.A1670	Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede laterale sx	FS	168.00
321	F3.ST.A1760	Massetto di sottofondo per pavimentazione in porfido - sede sx	FS	168.00
321	F3.ST.A2040	Getto di calcestruzzo per magrone - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A2070	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede dx	FS	168.00
321	F3.ST.A2240	Binder in conglomerato di bitume per sede tramviaria negli incroci - sede dx	FS	24.00
321	F3.ST.A2500	Getto di calcestruzzo per magrone - sede sx	FS	168.00
321	F3.ST.A2530	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede sx	FS	168.00

**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

321	F3.STA2700	Binder in conglomerato di bitume per sede tramviaria negli incroci - sede sx	FS	24.00	321	F3.STA2710	Tappeto di usura in conglomerato bituminoso per sede tramviaria negli incroci - sede sx
321	F3.SU.A0090	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	FS	168.00	321	F3.SU.A0100	Posa in opera di cordonato in pietra (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)
321	F3.SU.A0160	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	FS	168.00	321	F3.SU.A0170	Posa in opera di cordonato in pietra (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)

Fig. 58 Relazioni con Positive Lag nella terza fase di cantiere – Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

ATTIVITÀ CON SCORRIMENTO TOTALE MAGGIORE DI 704 ORE

▼ Large Float		Activities with total float greater than 704 hours				
Project ID	Activity ID	Activity Name				Total Float (hour)
321	F3.STA0820	Binder in conglomerato di bitume per sede tramviaria negli incroci - sede dx				776.00
321	F3.STA0830	Tappeto di usura in conglomerato bituminoso per sede tramviaria negli incroci - sede dx				776.00
321	F3.STA1410	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale - demolizioni ingombro sede sx				1028.00
321	F3.STA1420	Fresatura della pavimentazione stradale - demolizione ingombro sede sx				934.00
321	F3.STA1430	Demolizione del corpo stradale bitumato con sottofondo in scampoli di pietra - demolizioni ingombro sede sx				902.00
321	F3.STA1440	Scavo di sbancamento e di bonifica della sede tramviaria - scavi ingombro sede sx				835.00
321	F3.STA1450	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale - demolizioni ingombro sede laterale sx				1267.00
321	F3.STA1460	Fresatura della pavimentazione stradale - demolizione ingombro sede laterale sx				1161.00
321	F3.STA1470	Demolizione del corpo stradale bitumato con sottofondo in scampoli di pietra - demolizioni ingombro sede laterale sx				1114.00
321	F3.STA1480	Scavo di sbancamento della sede tramviaria - scavi ingombro sede laterale sx				1041.00
321	F3.STA1490	Scavo di bonifica della sede tramviaria - scavi ingombro sede laterale sx				1039.00
321	F3.STA1500	Fornitura e posa di tubazioni in PVC per MT - sede sx				998.00
321	F3.STA1510	Fornitura e posa in opera di geotessile - sede sx				836.00
321	F3.STA1520	Fornitura e posa in opera di geotessile - sede laterale sx				1021.00
321	F3.STA1530	Costipamento del fondo scavo - sede sx				835.00
321	F3.STA1540	Costipamento del fondo scavo - sede laterale sx				1025.00
321	F3.STA1550	Bonifica del piano di posa con materiale arido cementato - sede sx				835.00
321	F3.STA1560	Bonifica del piano di posa con materiale arido cementato - sede laterale sx				1024.00
321	F3.STA1570	Posa di casseforme per magrone - sede sx				787.00
321	F3.STA1580	Getto di calcestruzzo per magrone - sede sx				780.00
321	F3.STA1590	Posa delle casseforme longitudinali e dei giunti per strutture di fondazione - sede sx				758.00
321	F3.STA1600	Posa delle armature per strutture di fondazione - sede sx				741.00
321	F3.STA1610	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede sx				719.00
321	F3.STA2240	Binder in conglomerato di bitume per sede tramviaria negli incroci - sede dx				776.00
321	F3.STA2250	Tappeto di usura in conglomerato bituminoso per sede tramviaria negli incroci - sede dx				776.00
321	F3.STA2330	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale - demolizioni ingombro sede sx				1031.00
321	F3.STA2340	Fresatura della pavimentazione stradale - demolizione ingombro sede sx				934.00
321	F3.STA2350	Demolizione del corpo stradale bitumato con sottofondo in scampoli di pietra - demolizioni ingombro sede sx				902.00
321	F3.STA2360	Scavo di sbancamento e di bonifica della sede tramviaria - scavi ingombro sede sx				835.00
321	F3.STA2370	Scarificazione superficiale di pavimentazione stradale - demolizioni ingombro sede laterale sx				1319.00
321	F3.STA2380	Fresatura della pavimentazione stradale - demolizione ingombro sede laterale sx				1205.00
321	F3.STA2390	Demolizione del corpo stradale bitumato con sottofondo in scampoli di pietra - demolizioni ingombro sede laterale sx				1159.00
321	F3.STA2400	Scavo di sbancamento della sede tramviaria - scavi ingombro sede laterale sx				1072.00
321	F3.STA2410	Scavo di bonifica della sede tramviaria - scavi ingombro sede laterale sx				1072.00
321	F3.STA2420	Fornitura e posa di tubazioni in PVC per MT - sede sx				1050.00
321	F3.STA2430	Fornitura e posa in opera di geotessile - sede sx				835.00
321	F3.STA2440	Fornitura e posa in opera di geotessile - sede laterale sx				1069.00
321	F3.STA2450	Costipamento del fondo scavo - sede sx				835.00
321	F3.STA2460	Costipamento del fondo scavo - sede laterale sx				1083.00
321	F3.STA2470	Bonifica del piano di posa con materiale arido cementato - sede sx				835.00
321	F3.STA2480	Bonifica del piano di posa con materiale arido cementato - sede laterale sx				1079.00
321	F3.STA2490	Posa di casseforme per magrone - sede sx				807.00
321	F3.STA2500	Getto di calcestruzzo per magrone - sede sx				803.00
321	F3.STA2510	Posa delle casseforme longitudinali e dei giunti per strutture di fondazione - sede sx				782.00
321	F3.STA2520	Posa delle armature per strutture di fondazione - sede sx				771.00
321	F3.STA2530	Getto di calcestruzzo per strutture di fondazione - sede sx				753.00
321	F3.STA2560	Getto di calcestruzzo per muri laterali - sede sx				1118.00
321	F3.SU.A0010	Demolizione di Liste o cordonati (Aiula S.Niccolò - G.Amendola)				1759.00
321	F3.SU.A0020	Demolizioni del sottofondo stradale in CLS (Aiula S.Niccolò - G.Amendola)				1759.00
321	F3.SU.A0030	Scavo a larga sezione obbligata fino a 50 cm da p.c. (Aiula S.Niccolò - G.Amendola)				1759.00
321	F3.SU.A0040	Demolizione di liste o coordinati (aiuola L. del Tempio centrale p1)				1784.00
321	F3.SU.A0050	Demolizioni del sottofondo stradale (aiuola L. del Tempio centrale p1)				1789.00
321	F3.SU.A0060	Sorveglianza archeologica e bonifica ordigni bellici				1789.00
321	F3.SU.A0070	Scavo a larga sezione obbligata (aiuola L. del Tempio centrale p1)				1789.00
321	F3.SU.A0080	Scavo a larga sezione obbligata per fondazione cordonato (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)				1759.00
321	F3.SU.A0090	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)				1759.00

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

321	F3.SU.A0100	Posa in opera di cordonato in pietra (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1759.00
321	F3.SU.A0110	Scavo per drenaggio (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1759.00
321	F3.SU.A0120	Rinterri per drenaggio con materiale arido di cava (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1759.00
321	F3.SU.A0130	Spandimento di terreno vegetale (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1759.00
321	F3.SU.A0140	Formazioni di prati (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1759.00
321	F3.SU.A0150	Scavo a larga sezione obbligata per fondazione cordonato (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1762.00
321	F3.SU.A0160	Getto in opera di calcestruzzo per fondazione del cordonato (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1762.00
321	F3.SU.A0170	Posa in opera di cordonato in pietra (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1760.00
321	F3.SU.A0180	Scavo per drenaggio (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1760.00
321	F3.SU.A0190	Surveglianza archeologica (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1760.00
321	F3.SU.A0200	Rinterri per drenaggio con materiale arido di cava (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1760.00
321	F3.SU.A0210	Spandimento di terreno vegetale (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1759.00
321	F3.SU.A0220	Formazioni di prati (aiuola S.Niccolò - L. del Tempio)	1759.00
321	F3.SU.A0230	Demolizione di liste o cordonati (aiuola L. del Tempio centrale p2)	1784.00
321	F3.SU.A0240	Demolizione del sottofondo stradale - fondazione (aiuola L. del Tempio centrale p2)	1786.00
321	F3.SU.A0250	Scavo a larga sezione obbligata (aiuola L. del Tempio centrale p2)	1786.00
321	F3.SU.A0260	Demolizione di liste o cordonati (isola L. del Tempio centrale p1)	1784.00
321	F3.SU.A0270	Demolizione del sottofondo stradale - fondazione (isola L. del Tempio centrale p1)	1798.00
321	F3.SU.A0280	Scavo a larga sezione obbligata (isola L. del Tempio centrale p1)	1800.00
321	F3.SU.A0290	Demolizione di liste o cordonati (aiuola L. del Tempio centrale p3)	1784.00
321	F3.SU.A0300	Demolizione del sottofondo stradale - fondazione (aiuola L. del Tempio centrale p3)	1784.00
321	F3.SU.A0310	Scavo a larga sezione obbligata (aiuola L. del Tempio centrale p3)	1784.00
321	F3.SU.A0320	Demolizione di liste o cordonati (aiuola L. del Tempio centrale p3)	1789.00
321	F3.SU.A0330	Demolizione del sottofondo stradale - fondazione (aiuola L. del Tempio centrale p3)	1789.00
321	F3.SU.A0340	Scavo a larga sezione obbligata (aiuola L. del Tempio centrale p3)	1784.00
321	F3.SU.A0350	Surveglianza archeologica (aiuola L. del Tempio centrale p3)	1803.00
321	F3.SU.A0360	Demolizione di liste o cordonati (isola L. del Tempio centrale p2)	1784.00
321	F3.SU.A0370	Demolizione del sottofondo stradale - fondazione (isola L. del Tempio centrale p2)	1798.00
321	F3.SU.A0380	Scavo a larga sezione obbligata (isola L. del Tempio centrale p2)	1800.00
321	F3.SU.A0390	Demolizione di corpo stradale bitumato con sottofondo in scampoli di pietra (plinti)	1789.00
321	F3.SU.A0400	Bonifica ordigni bellici per scavi (plinti)	1789.00
321	F3.SU.A0410	Scavo a larga sezione obbligata (plinti)	1784.00
321	F3.SU.A0420	Compattazione a rullo del piano di posa (plinti)	1784.00
321	F3.SU.A0430	Posa delle casseforme per getto di cls (plinti)	1784.00
321	F3.SU.A0440	Getto del magrone - 10 cm (plinti)	1784.00
321	F3.SU.A0450	Posa di acciaio per CCA (plinti)	1784.00
321	F3.SU.A0460	Fornitura e posa di tubazioni in PVC (pozzetti predisposizione opere civili)	1794.00
321	F3.SU.A0470	Fornitura e posa di pozzetto di ispezione (pozzetti predisposizione opere civili)	1793.00
321	F3.SU.A0480	Fornitura e posa di griglia in ghisa sfroidale (pozzetti predisposizione opere civili)	1792.00
321	F3.SU.A0490	Getto di CLS ordinario (plinti)	1784.00
321	F3.SU.A0500	Fondazione stradale - massicciata - in materiale arido compattato (plinti)	1784.00
321	F3.SZ.001.A020	Installazione di box prefabbricati	1759.00
321	F3.SZ.001.A040	Installazione di passerelle	1764.00

Fig. 59 Presenza di attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore nella terza fase di cantiere – Estratto dal report sul reticolo di prima stesura

STRATEGIE CORRETTIVE

Si procede applicando le seguenti strategie di correzione:

- Sostituzione dei lag con attività esplicite di indurimento delle miscele;
- Individuazione di successori per le attività sulle sistemazioni urbane, anche spostando le attività sull'aiuola centrale di Lungarno del Tempio – presenti nel CME sia nella Subcategoria sulle Sistemazioni Urbane che nella Subcategoria sulla Sede Tramviaria – unicamente nella SuperCategoria delle Sistemazioni Urbane – codici WBS 321.D.2.030.003.001.005 – Aiuola Lungarno del Tempio (centrale) – Parte 1 – 321.D.2.030.003.001.006 – Aiuola Lungarno del Tempio (centrale) – Parte 2 - 321.D.2.030.003.001.007 – Aiuola Lungarno del Tempio (centrale) – Parte 3;
- Riorganizzazione delle lavorazioni sulla Sede Tramviaria tramite suddivisioni ulteriori e di maggior dettaglio per le lavorazioni sull'armamento;
- Analisi delle relazioni tra le attività del reticolo per la riduzione del Total Float;

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

- Riduzione del numero di dangling activities al solo *sink* mediante l’analisi sull’attribuzione di predecessori e successori effettivi.

RETIKOLO DI SECONDA STESURA

Si riporta un estratto da Primavera P6 del reticolo di terza fase dopo aver apportato le modifiche di cui sopra:

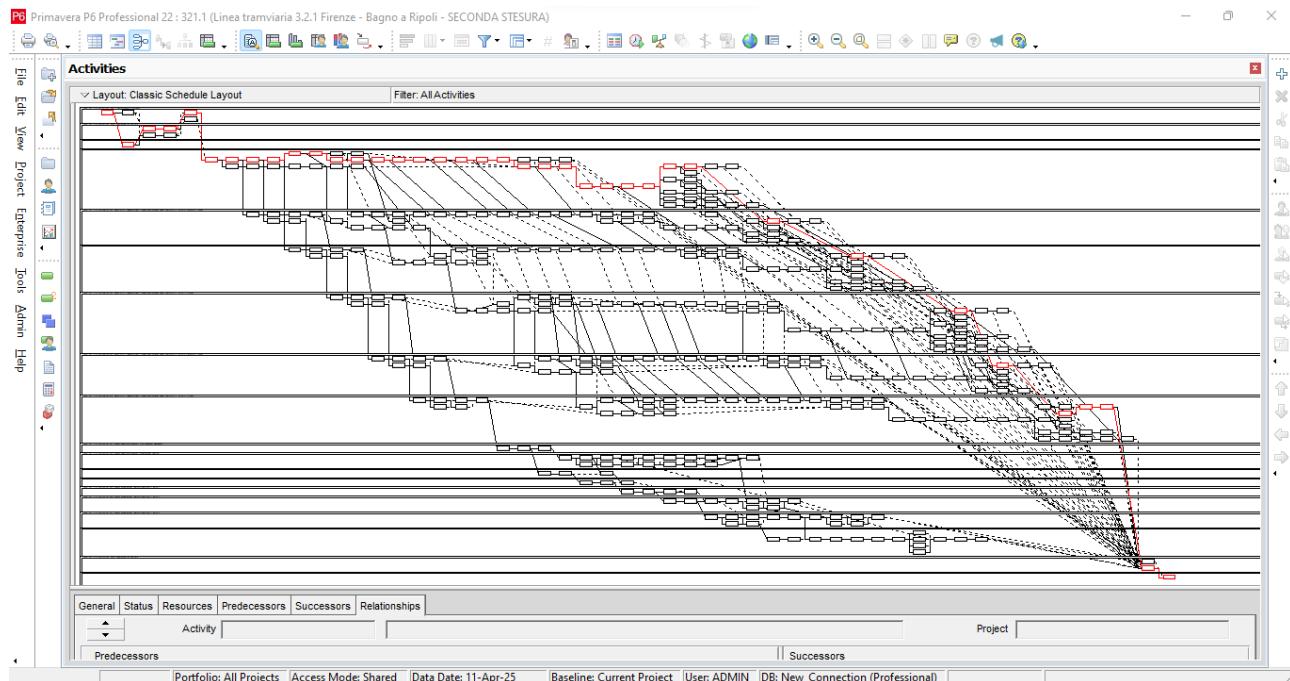


Fig. 60 Reticolo di seconda stesura della terza fase di cantiere – Estratto da Primavera P6 Professional

OSSERVAZIONI SUL RETIKOLO DI SECONDA STESURA

A seguito delle modifiche – sostituzione dei lags nelle relazioni tra attività con attività esplicite sull’indurimento delle miscele – si esegue nuovamente il check sul reticolo complessivo.

Si osserva come:

- il numero di attività complessive sia aumentato passando da 856 a 912;
- il numero delle dangling activities sia diminuito passando da 14 a 2;
- la percentuale di relazioni con positive lags sia diminuita passando dal 1.77% allo 0.00% del totale delle relazioni;
- il numero di attività con scorrimento totale maggiore di 704 ore – 44 giorni lavorativi – sia passato da 119 attività – il 13.90% del totale – a 101 attività – il 11.07% del totale – senza sostanziali cambiamenti.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Project ID	Project Name	Data Date	Total Activities	Complete Activities	Internal Relationships	External Relationships
321.1	Linea tramviaria 3.2.1 Firenze - Bagno a Ripoli - SECONDA STESURA	11-Apr-25	912	0	1513	0
▼ Project checked to have links to the following closed projects						
Closed Project ID	Closed Project Name		Data Date	Links to/from the closed project		
▼ Check Summary						
Check	Description	Target	Percent	Found	Total	
Logic	Activities missing predecessors or successors	< 5.00 %	0.22 %	2	912	
Negative Lags	Relationships with a lag duration of less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	1513	
Positive Lags	Relationships with a positive lag duration	< 5.00 %	0.00 %	0	1513	
Long Lags	Relationships with a lag duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	1513	
Relationship Type	The majority of relationships should be Finish to Start	> 90.00 %	100.00 %	1513	1513	
Hard Constraints	Constraints that prevent activities being moved	< 1.00 %	0.00 %	0	912	
Soft Constraints	Constraints that do not prevent activities being moved	< 5.00 %	0.00 %	0	912	
Large Float	Activities with total float greater than 704 hours	< 5.00 %	11.07 %	101	912	
Negative Float	Activities with a total float less than 0	< 1.00 %	0.00 %	0	912	
Large Durations	Activities that have a remaining duration greater than 704 hours	< 5.00 %	0.00 %	0	912	
Invalid Progress Before Data Date	Incomplete activities before the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	912	
Invalid Progress After Data Date	Activities with actual dates after the data date	< 1.00 %	0.00 %	0	912	
Late Activities	Activities scheduled to finish later than the project baseline	< 5.00 %	0.00 %	0	912	
Check	Description	Target	BEI Ratio	Project Activities	Baseline Activities	
BEI	Baseline Execution Index	> 0.95	1	-	-	

Fig. 61 Risultato del check schedule dopo le correzioni al reticolo sulle attività della terza fase di cantiere – Estratto dal report generato con Primavera P6 Professional

RETICOLI A CONFRONTO

Il processo correttivo sul reticolo di prima stesura relativo al processo costruttivo delle prime tre fasi di cantiere del cantiere D2 ha portato ai seguenti risultati:

- il numero di attività del reticolo è passato da 716 a 912;
- il numero di relazioni tra attività è aumentato passando da 1277 a 1513;
- il numero di *dangling activities* si è ridotto passando da 21 su 716 – 2.93% del totale delle attività – a 2 su 912 – *source e sink* – lo 0.22% del totale delle attività;
- il numero di relazioni on *positive lag* associati è passato da 123 su 1277 – il 9.63% del totale delle relazioni – a 0 su 1513 – pari allo 0.00% del totale delle relazioni;
- il numero di attività con scorrimento totale o *total float* maggiore di 704 ore è passato da 123 su 716 – il 17.18% del totale delle attività – a 101 su 912 – l’11.07% delle attività con conseguente fallimento della valutazione;
- la durata totale del progetto è aumentata di circa 9 giorni lavorativi passando da 3747 ore a 3889 ore;
- la durata della prima fase di cantiere è aumentata passando da 1226 ore a 1460 ore;
- la durata della seconda fase di cantiere è aumentata passando da 640 ore a 666 ore;
- la durata della terza fase di cantiere è diminuita passando da 1897 ore a 1763 ore.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro si fonda sullo studio dei metodi reticolari per la pianificazione, la programmazione e il controllo del processo costruttivo e sull'analisi critica dei 14 punti di valutazione della qualità dei cronoprogrammi lavori proposto dalla DCMA.

Tramite il caso applicativo della Linea Tramviaria 3.2.1 “Libertà – Bagno a Ripoli” è stato redatto un reticolo quale modello del processo costruttivo di un cantiere della linea e ad esso sono state applicate delle metodologie correttive col fine di allineare il report di controllo del reticolo a quanto prescritto dalla DCMA nei suoi 14 punti di valutazione. L'esito del processo di allineamento del programma di prima stesura ha portato all'ottenimento di un programma che – sulla base di quanto stabilito dalla DCMA – può definirsi di qualità – sebbene resti non soddisfatto il criterio sul *Large Float* per via della non completezza delle lavorazioni inserite sulle sistemazioni urbane della terza fase di cantiere.

Ci chiediamo, quindi, in cosa si sostanzi la qualità di un programma anche alla luce delle proprietà del reticolo ottenuto, se si assume come metodo valido per l'ottenimento di un programma di qualità quello proposto dalla DCMA.

Ebbene, per rispondere occorre tornare ad un concetto chiave da cui è partita questa trattazione e alla motivazione fondamentale che ha portato alla nascita dei metodi reticolari in risposta alle carenze del cronoprogramma di Gantt. Abbiamo visto come l'assenza dei legami tra attività nel cronoprogramma di Gantt comporti una non aggiornabilità del programma a seguito di scostamenti della realtà del processo produttivo rispetto a quanto previsto dal programma. Nasce l'esigenza di esplicitare le relazioni tra attività, le quali qualificano il reticolo quanto le attività stesse. Sono le relazioni a rendere il programma dinamico. Dunque, la qualità di un cronoprogramma si sostanzia nella sua dinamicità intesa come la capacità del reticolo di ricalcolare tempi di inizio e fine attività delle attività incomplete – future – sulla base dell'effettivo riscontro dal cantiere. Un programma che non possiede tali caratteristiche di dinamicità ed aggiornabilità è destinato a perdere la sua funzione di controllo del processo, dunque, la sua stessa ragione di esistenza appunto, con il rischio di perdere uno strumento per controllare, gestire e reindirizzare il processo produttivo in cantiere nel momento in cui tale azione di controllo si rende ancor più necessaria.

La dinamicità è assicurata dall'individuazione di un percorso critico di attività chiaro, leggibile, continuo, che collega senza interruzioni un'unica attività iniziale – *source* – con un'unica attività finale – *sink* – e per ottenere un percorso critico con queste caratteristiche occorre effettuare una

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI: IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

completa e corretta individuazione delle relazioni di dipendenza logica – cronologica, preferibilmente di tipo fine – inizio, tra tutte le attività costituenti il progetto.

Altra caratteristica di qualità è l'immediata individuazione delle attività subcritiche o non critiche, attività che possono scorrere nel tempo nella misura data dal *total float*, senza ripercussioni sulla data di ultimazione dei lavori e sul posizionamento nel tempo delle quali si potrà lavorare per ottimizzare l'uso delle risorse nel momento in cui queste verranno caricate nel software di programmazione.

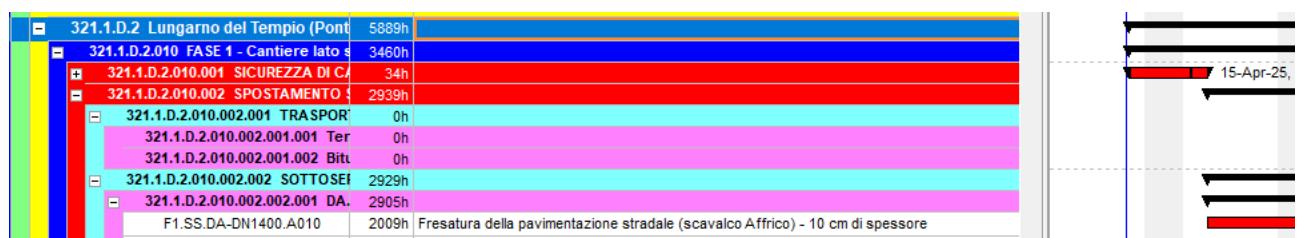
Prova di dinamicità – quindi, in base a quanto detto, della qualità del programma – è il superamento del Critical Path Test – dodicesimo criterio di valutazione della DCMA.

Ricordiamo che il *Critical Path* o cammino critico è la concatenazione di attività – tra le altre catene di lavorazioni presenti nel programma – cui è associato un valore di durata maggiore rispetto a tutti gli altri percorsi contenuti nel programma e che pertanto fornisce la durata del processo. Se il Critical Path è continuo – senza discontinuità – allora il reticolo supererà positivamente il CPT.

A seguito delle modifiche, la durata complessiva del progetto è pari a 3889 h – corrispondenti a 243 giorni lavorativi. Per effettuare il CPT si prende in esame l'attività critica più vicina alla sorgente – nello specifico l'attività F1.SS.DA-DN1400.A010 “Fresatura della pavimentazione stradale (scavalco Affrico) - 10 cm di spessore” di durata pari a 9 ore.



Quindi si incrementa di un intervallo di tempo a piacere la durata dell'attività. Si sceglie di incrementare la durata di 2000 h passando da una durata di 9 ore ad una durata di 2009 h. Si procede rieffettuando l'analisi dei tempi attraverso il comando *schedule*.



**STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE**

La durata del processo diventa pari a 5889 h. Dunque, si registra un aumento della durata del processo pari all'intervallo di tempo cui è stata incrementata la durata dell'attività F1.SS.DA-DN1400.A010. Ciò è indicativo del superamento del test.

Pertanto, in base a quanto detto, possiamo affermare che il reticolo possiede la proprietà della dinamicità e che, dunque, l'applicazione dei criteri di valutazione proposti dalla DCMA ha consentito di ottenere un programma lavori di qualità.

BIBLIOGRAFIA

- Bertossi, Alan e Montresor, Alberto. *Algoritmi e strutture di dati*. Terza. CittàStudi Edizioni, 2014.
- Bogle, Brandon, Agnello, Mike, e Testerman, Robert. «DCMA 14 – point Assessment for Project Schedule». Edwards Performance Solutions, s.d.
- Bragadin, Marco Alvise. *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari – Metodi e Strumenti di Project Time Management per la Costruzione*. Seconda. Maggioli Editore, 2011.
- Crandall, K.C. «Project planning with precedence lead/lag factors». *Project Management Quarterly* 5, fasc. 3 (1973): 18–27.
- Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, Testo Unico sulla salute e sicurezza sul lavoro (2008).
- Decreto legislativo 31 marzo 2023, n. 36, Codice dei contratti pubblici in attuazione dell'articolo 1 della legge 21 giugno 2022, Legislazione No. 36 (2023).
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI). *Metropolitane e tranvie – Andamento piano – altimetrico dei binari*. UNI 7836:2018. 25 ottobre 2018.
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI). *Sistemi di trasporto a guida vincolata (ferrovia, metropolitana, metropolitana leggera, tranvia veloce e tranvia)*. UNI 8379. Versione Seconda. aprile 2000.
- Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI). *Tranvie e tranvie veloci - Distanze minime degli ostacoli fissi dal materiale rotabile e interbinario - Altezza della linea aerea di contatto*. UNI 7156:2020. 15 ottobre 2020.
- Fondhal, John W. *A Non Computer Approach to the Critical Path Method for the Construction Industry*. Vol. 9. Technical Report. The Construction Institute, Department of Civil Engineering, Standford University, 1961.
- Harris, Robert B. *Planning and Arrow Networking Techniques for Construction*. John Wiley & Sons, 1978.
- Marchman, D.A. *Construction scheduling with Primavera Project Planner*. Delmar Publisher, 1998.
- Moder, J.J., Philips, C.R., e Davis, E.W. *Project management with CPM, PERT and Precedence Diagramming Method*. Terza. Van Nostrand Reinhold Company, 1983.
- Montgomery, Steven J. «An Introduction to the DCMA 14-Point Assessment Guidelines». Tensix Consulting, 2019.
- Nazioni Unite. *Trasformare il nostro mondo: l'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile*. Assemblea Generale delle Nazioni Unite, 2015.
- Regolamento (UE) 2021/241 del Parlamento europeo e del Consiglio del 12 febbraio 2021, Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea (2021).
- U.S. Government Accountability Office (GAO). *Schedule Assessment Guide: Best Practices for Project Schedules*. GAO-16-89G. Washington, D.C., 2015.

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

Von Bertalanffy, Ludwig. *Teoria generale dei sistemi: fondamenti, sviluppi, applicazioni*. Mondadori, 2004.

Weist, J.D. «Precedence Diagramming Methods: Some Unusual Characteristics and Their Implications for Project Managers». *Journal of Operations Management* 1, fasc. 3 (1981): 121–30.

SITOGRAFIA

<https://unric.org/it/agenda-2030/>

<https://unric.org/it/wp-content/uploads/sites/3/2019/11/Agenda-2030-Onu-italia.pdf>

<https://www.firenzetramvia.it/tramvia-domani>

<https://www.regione.toscana.it/-/linea-321-piazza-della-libert%C3%A0-bagno-a-ripoli>

https://www.agenziacoesione.gov.it/dossier_tematici/nextgenerationeu-e-pnrr/

<https://www.comune.fi.it/linea-3-tramvia>

<https://www.cittametropolitana.fi.it/pums/pums-approvato/>

<https://www.comune.fi.it/dalle-redazioni/linea-2-della-tramvia-tratto-fortezza-san-marco>

<https://www.firenzetramvia.it/linee/t2>

RINGRAZIAMENTI

Si fa credito della documentazione di progetto utilizzata a sostegno della presente tesi e resa nota dal comune di Firenze per principio di trasparenza amministrativa a tutti i soggetti coinvolti nella realizzazione della Linea Tramviaria 3.2.1 Firenze – Bagno a Ripoli, in special modo si ringrazia la Società Cooperativa Muratori e Braccianti C.M.B. di Carpi per l'accoglienza, la serietà e la professionalità.

		
HITACHI 	 FUTURIZE THE NETWORK	 AN ANGEL COMPANY
SDA progetti ASSOCIAZIONE PROFESSIONALE INGEGNERI Ing. Paolo Borghetti		
		 ingegneria consulenza laboratori per l'ambiente
 cooperativa archeologia		

STRUMENTI DI PROJECT CONTROL E VERIFICA DELLA QUALITÀ DEL CRONOPROGRAMMA DEI LAVORI:
IL CASO DI STUDIO DELLA LINEA TRAMVIARIA 3.2.1 DI FIRENZE

