

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

DIPARTIMENTO DI ARCHITETTURA - DA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

TESI DI LAUREA

in

Organizzazione del cantiere

**PROJECT CONTROL E SICUREZZA: LA GESTIONE DELLE INTERFERENZE
CON I TEMPI FLOTTANTI DELLE ATTIVITÀ - IL CASO STUDIO DEL MERCATO
COPERTO DI FORLÌ**

CANDIDATO
Benedetta Balzani

RELATORE:
Chiar.mo Prof.
Marco Alvise Bragadin

CORRELATORI
Arch. Chiara Atanasi Brilli
Arch. Antonio Spada

Anno Accademico 2023/2024

Sessione III

Alla mia famiglia

INDICE

<i>ABSTRACT</i>	7
<i>INTRODUZIONE</i>	9
<i>LA SICUREZZA NEI CANTIERI EDILI</i>	11
1.1 L'importanza della sicurezza sul lavoro	11
1.2 Infortuni nel settore delle costruzioni.....	13
<i>LA GESTIONE DELLA SICUREZZA NEI CANTIERI EDILI</i>	18
2.1 Evoluzione della legislazione in ambito di sicurezza sul lavoro.....	18
2.2 La normativa di riferimento	20
2.3 Gli operatori della sicurezza.....	22
2.3.1 Figure professionali della stazione appaltante	23
2.3.2 Figure professionali dell'appaltatore	30
2.4 Attività di vigilanza e attività di assistenza, informazione e consulenza	41
<i>IL PROGETTO DELLA SICUREZZA</i>	46
3.1 Il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC)	47
3.2 Il Piano Operativo di Sicurezza (POS).....	50
3.3 Il Fascicolo dell'Opera	52
3.4 Analisi del rischio.....	53
3.4.1 DVR e DUVRI.....	58
<i>LA GESTIONE DELLE INTERFERENZE</i>	61
4.1 Il rischio interferenziale	61
4.2 La programmazione dei lavori	64
4.3 Gestione delle attività nel tempo	67
4.3.1 Diagramma di Gantt.....	69
4.3.2 Metodi reticolari.....	72
4.3.2.1 Critical Path Method (CPM)	77
4.3.2.2 Precedence Diagramming Method (PDM).....	82

4.3.2.3 Program Evaluation and Review Technique (PERT)	87
4.4 Gestione delle attività nello spazio.....	90
4.4.1 Line Of Balance (LOB).....	93
4.4.1.1 Flowline.....	96
4.4.2 Location Based Management System (LBMS).....	99
4.4.3 Last Planner System (LPS)	103
METODO PROPOSTO.....	106
5.1 Fasi del metodo	107
CASO STUDIO.....	112
6.1 Evoluzione storica dell'edificio.....	112
6.1.1 Il primo stralcio attuativo.....	121
6.1.2 Il cantiere	122
6.2 Applicazione del metodo.....	123
6.3 Conclusioni.....	137
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	140
7.1 Bibliografia.....	140
7.2 Sitografia	142
ALLEGATI	143

ABSTRACT

L'edilizia, pilastro dell'economia nazionale, si contraddistingue per un elevato tasso di infortuni sul lavoro. La gestione della sicurezza diviene quindi un processo fondamentale, mirato a identificare, valutare e limitare i rischi attraverso misure preventive e protettive.

Questa tesi esplora l'evoluzione normativa, le figure professionali coinvolte e la progettazione della sicurezza, con un focus sul rischio interferenziale. La cattiva gestione di tale rischio, che è causa frequente di infortuni, può essere migliorata attraverso una pianificazione accurata dei lavori, distribuendo le attività sia nel tempo che nello spazio al fine di evitare interferenze. Quindi, vengono analizzate le tecniche più diffuse per raggiungere tale scopo.

Il lavoro si propone di illustrare un metodo di gestione delle attività progettuali, volto all'identificazione e alla risoluzione dei conflitti spazio-temporali, attraverso l'ottimizzazione della programmazione con l'impiego dei tempi di scorrimento. Il metodo proposto viene applicato in un contesto reale e complesso come quello del restauro del Mercato Coperto di Forlì.

L'obiettivo della tesi è dimostrare la possibilità di superare la concezione della sicurezza come mero vincolo normativo, evidenziando che efficienza e sicurezza, non sono solo compatibili ma anche sinergiche nel raggiungimento degli obiettivi progettuali.

INTRODUZIONE

Il settore dell'edilizia si conferma da sempre un pilastro trainante del sistema produttivo nazionale contribuendo in maniera significativa alla crescita del Pil e dell'economia del paese. Nel 2023 a seguito degli investimenti in termini di riqualificazione del patrimonio il valore aggiunto portato dal settore è stato pari a 100 miliardi di euro.

Nonostante le normative e gli sforzi per il miglioramento delle condizioni di salute e sicurezza degli operatori, l'edilizia si posiziona sul podio anche per quanto riguarda il numero di infortuni e mortalità sul luogo di lavoro. Nel 2023 sono stati denunciati 202 casi di infortunio mortale, solo nove in meno dell'anno precedente. Pertanto, il tema della sicurezza nei cantieri edili, nonostante l'evoluzione e il progresso, continua a ricoprire un ruolo fondamentale nel settore.

La sicurezza sul lavoro è quindi un processo continuo che ha come scopo l'identificazione, la valutazione e la riduzione dei rischi presenti nei luoghi di lavoro tramite misure di prevenzione e protezione, al fine di creare un ambiente lavorativo sano e sicuro per tutti i dipendenti.

Obiettivo del lavoro di tesi è quello di seguire questo processo, soffermandosi in modo particolare su una delle cause principali di infortunio ovvero il rischio interferenziale e confrontare metodi tecnologici innovativi che possono aiutare nella gestione del cantiere.

Nel **Capitolo I** è riportata una digressione sull'importanza della sicurezza e alcune analisi ricavate dai dati statistici per individuare l'attualità dell'argomento trattato.

Siccome per la corretta gestione della sicurezza nei cantieri edili è richiesto il rispetto di pratiche e procedure definite a livello normativo, nel **Capitolo II** si esegue un breve excursus sull'evoluzione legislativa che ha portato all'attuale riferimento normativo: il Testo Unico sulla Salute e Sicurezza sul Lavoro, ossia il d.lgs. 81/08. All'interno del T.U. non solo è trattato il tema della sicurezza per ogni ambiente lavorativo, ma è riportata anche una specifica sezione dedicata al mondo delle costruzioni.

A seguito di un piccolo approfondimento sulle prescrizioni previste dalla normativa vigente, sono identificate le figure professionali responsabili della sicurezza, sia per la stazione appaltante che per l'impresa, con le loro specifiche funzioni in materia di salute e sicurezza.

Il **Capitolo III**, invece, permette di capire come si costituisce il progetto della sicurezza ovvero quali siano i piani, i documenti da redigere e le analisi da svolgere per garantirne la gestione e il monitoraggio della sicurezza.

Dopo aver definito normativa, organigramma e progetto della sicurezza ci si è focalizzati sul tema dell'interferenza, che costituisce una delle cause principali di infortunio in cantiere, quando cioè due o più lavorazioni vengono eseguite nello stesso luogo e nello stesso momento, aumentando così il rischio di danno per i dipendenti.

Il **Capitolo IV** affronta pertanto il tema del rischio interferenziale e come questo possa essere gestito tramite una corretta programmazione dei lavori, distribuendo le attività da svolgere nel tempo e nello spazio.

Al giorno d'oggi la fase di pianificazione è facilitata grazie all'avanzamento tecnologico nel settore, perché è stata sviluppata sempre più una dimensione digitale che aiuti a visualizzare la fase di programmazione e ad evitare interferenze tra le operazioni.

Tutte le azioni di programmazione possono essere svolte e supportate da software e programmi appositi, rendendo più rapido e spesso automatico il processo in caso di variazioni.

Il capitolo è quindi suddiviso in gestione delle attività nel tempo e gestione delle attività nello spazio, con l'obiettivo di analizzare le tecniche oggi più diffuse quali i metodi reticolari, il diagramma di Gantt, il Location Based Management System (LBMS) e la visualizzazione con le Line Of Balance (LOB), per esempio.

Nei capitoli seguenti ci si concentra sulla parte progettuale e quindi al **Capitolo V** viene presentato il metodo di gestione delle attività che pone al centro la programmazione dei lavori e la sicurezza dei lavoratori. Infatti, si basa sulla distribuzione delle attività, non solo nel tempo ma anche nello spazio al fine di ridurre le possibili interferenze e sulla loro potenziale risoluzione con i tempi flottanti delle attività.

Di conseguenza, nel **Capitolo VI** viene descritto il caso studio vero e proprio ovvero il progetto di restauro e riqualificazione del Mercato Coperto, edificio storico situato nel centro di Forlì, l'applicazione dell'approccio introdotto e i risultati ottenuti.

LA SICUREZZA NEI CANTIERI EDILI

1.1 L'importanza della sicurezza sul lavoro

La sicurezza sul lavoro consiste nell'insieme delle misure di prevenzione e protezione al fine ridurre al minimo l'esposizione dei lavoratori ai rischi connessi all'attività lavorativa. L'obiettivo è quello di diminuire la possibilità che insorgano infortuni o malattie professionali, garantendo condizioni di sicurezza e benessere per i lavoratori.

In particolare, il cantiere edile risulta essere uno dei luoghi di lavoro più pericolosi ed è per questo necessario che vi sia una costante attenzione, da parte di ogni soggetto coinvolto, al tema della sicurezza. Infatti, le costruzioni sono storicamente tra le attività più rischiose per il ricorso all'elevata manualità, per lo sforzo fisico richiesto al lavoratore e per l'organizzazione del sito. Il cantiere è un luogo di lavoro con caratteristiche in continua evoluzione, perché è costituito principalmente da opere provvisorie e le attività che vi si svolgono sono spesso rischiose, è per questi motivi che l'industria delle costruzioni è considerata uno dei settori con il maggior rischio di infortuni sul lavoro.

La pericolosità è causata da attività caratteristiche della produzione edilizia relative a organizzazione, luogo, tecnologia della produzione e organizzazione del settore industriale.

Il cantiere è sede di realizzazione di un progetto complesso, per cui le fasi di pianificazione e programmazione sono fondamentali. Infatti, il rischio non dipende solo da come è organizzato il sito, dalla posizione geografica o dalla conformazione del territorio ma anche da come sono gestite e suddivise le attività nell'arco temporale, poiché la presenza di più imprese e lavoratori autonomi può portare a problemi di interferenza. Per cui sono necessarie operazioni di coordinamento e pianificazione sia nello spazio che nel tempo.

Convenzionalmente rischi per i lavoratori sono distinti in tre categorie: rischi per la sicurezza, per la salute e rischi trasversali.

I **rischi per la sicurezza** sono quelli di natura infortunistica, collegati a incidenti fisici ed eventi dannosi per il lavoratore con conseguenti lesioni visibili che possono causare invalidità temporanea o permanente, oppure nel peggiore dei casi la morte. In base all'entità dell'evento traumatico il lavoratore può riportare danni fisici più o meno gravi.

Questi rischi derivano da carenze o inidoneità in termini di sicurezza che riguardano l'ambiente di lavoro, le attrezzature, i dispositivi di protezione oppure le modalità operative.

Tra i rischi si distinguono:

- Rischio di caduta dall'alto;
- Rischio di seppellimento;
- Rischio di ribaltamento;
- Rischio di schiacciamento;
- Rischio di lesioni alla testa;
- Rischio di folgorazione;
- Rischio di proiezioni di materiali.

I **rischi per la salute**, invece, si manifestano a seguito dell'esposizione prolungata ad agenti fisici, biologici, chimici e possono causare malattie professionali. Si tratta prevalentemente dei rischi igienico-ambientali o legati all'esposizione a fattori dannosi per l'organismo.

I rischi derivano dall'esposizione a:

- Scarse condizioni igieniche;
- Rumore;
- Vibrazioni meccaniche;
- Movimentazione manuale di carichi;
- Agenti chimici;
- Agenti biologici;
- Radiazioni.

Infine, i **rischi trasversali** sono quelli che dipendono da aspetti organizzativi del lavoro, dinamiche aziendali e dal rapporto tra i lavoratori. Oltre ai pericoli fisici, i lavoratori nei cantieri sono soggetti a stress a causa del lavoro stesso, e questo può renderli più vulnerabili agli infortuni.

Garantire la sicurezza nei cantieri, quindi, è una sfida ancora attuale che deve coinvolgere competenza, professionalità ed esperienza di ogni figura. Il tema deve esser affrontato durante tutte le fasi lavorative, anche se spesso durante la progettazione dell'opera si verifica uno scarso interesse riguardo ai rischi che la realizzazione comporterebbe.

Per questo motivo con il d.lgs. 81/08 si afferma che il committente deve designare due figure fondamentali per la sicurezza che sono il coordinatore in materia di sicurezza durante la progettazione e quello durante la realizzazione dell'opera. Questi soggetti hanno il compito di gestire la sicurezza del cantiere rispettivamente durante la fase di progettazione ed esecuzione.

Al fine di ridurre i rischi di infortuni sul lavoro, risulta quindi opportuno che il progettista collabori per valutazioni sulla sicurezza sin dalla fase iniziale, o che si avvalga di strumenti di supporto per migliorare le sue scarse conoscenze in materia.

In conclusione, in un luogo dinamico come il cantiere si intersecano macchinari e attività complesse che possono nascondere rischi per il lavoratore. La sicurezza rappresenta quindi una sfida complessa ma fondamentale per garantire la salute degli operatori e deve essere vista come un percorso continuo che richiede l'impegno di tutti i soggetti coinvolti.

1.2 Infortuni nel settore delle costruzioni

Ogni anno migliaia di lavoratori subiscono infortuni sul lavoro. Per comprendere meglio le cause di questi eventi e mettere in atto strategie di prevenzione efficaci, sono stati analizzati i dati statistici, tramite cui è possibile individuare anche le circostanze che hanno causato gli incidenti, per eliminarle o limitarle.

Diverse società si occupano di monitorare e studiare gli infortuni con l'obiettivo di determinare i settori più a rischio, le tipologie di incidenti più frequenti e le situazioni che li provocano.

Tra queste il principale è sicuramente Inail i cui dati sono poi rielaborati da Vega Engineering, che si occupa di incidenti mortali in territorio italiano.

I dati raccolti rappresentano una fonte preziosa di informazioni per lo studio dell'incidentalità nei cantieri. Questi enti consentono di effettuare analisi approfondite che permettono di identificare i fattori di rischio più significativi, di valutare l'efficacia delle misure di prevenzione adottate e di individuare le aree di miglioramento.

- **INAIL**

L'Istituto Nazionale Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro è un ente pubblico che ha vari scopi tra cui assicurare i lavoratori per infortuni sul lavoro e malattie professionali. Rende, inoltre, disponibile la propria banca dati, attraverso cui si possono indagare gli infortuni e le malattie professionali. La Banca Dati è costituita da diversi documenti ottenuti dall'analisi e conseguente elaborazione delle informazioni catalogate negli archivi.

In particolare, nell'area infortuni/malattie professionali sono contenute informazioni sugli infortuni sul lavoro denunciati e indennizzati dall'Inail.

L'“*Andamento degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali*” divulgato da Data Inail nel 2024 presenta i risultati delle analisi riguardanti il settore delle costruzioni nel quinquennio 2019-2023. Il settore delle costruzioni rappresenta un pilastro fondamentale dell'economia italiana, contribuendo in modo significativo alla crescita del PIL nazionale. Dalla fine del 2020 ha avuto una ripresa nella produzione, favorita dalla fine della fase acuta della pandemia e dai consistenti investimenti per gli interventi di riqualificazione del patrimonio abitativo. La ripresa ha dato luogo ad un aumento dell'occupazione, ma anche ad un conseguente incremento degli eventi infortunistici.

Dall'analisi degli infortuni del settore si riscontra una situazione altalenante, dovuta in particolare alla situazione pandemica vissuta nel 2020-2022, in cui infatti il numero di incidenti era abbastanza sostenuto, minori invece erano gli infortuni avvenuti in occasione di lavoro (Tabella 1.1).

ANALISI DATI INAIL					
	2019	2020	2021	2022	2023
Infortuni denunciati	40.874	32.881	40.983	44.658	43.480
Variazione % su anno precedente	/	-19,5	+24,6	+8,9	-2,6
Incidenti mortali	198	208	232	211	202
Variazione % su anno precedente	/	+5,1	+11,5	-9,1	-4,2

Tabella 1.1 Banca Dati INAIL: infortuni denunciati e incidenti mortali tra il 2019 e il 2023 per il Settore delle Costruzioni

Dalle relazioni annuali rilasciate da Inail è possibile anche valutare la distribuzione di questi eventi sul territorio nel corso del 2023 (Fig.1.1). I dati mostrano che il 61% degli infortuni si concentra al Nord, senza particolari differenze tra orientale e occidentale, il 20% al Centro e il 19% nel Meridione. Con un calo generale rispetto all'anno precedente in tutte le regioni. Lombardia, Emilia-Romagna, Veneto e Toscana raccolgono oltre la metà delle denunce.

La diminuzione del 9,5% delle morti sul lavoro è sintesi dei cali registrati al:

- Centro (-18,7%)
- Nord-Ovest (-13,6%)
- Nord-Est (-11,3%)
- Isole (-9,3%)
- Aumento al Sud (+6,3%)

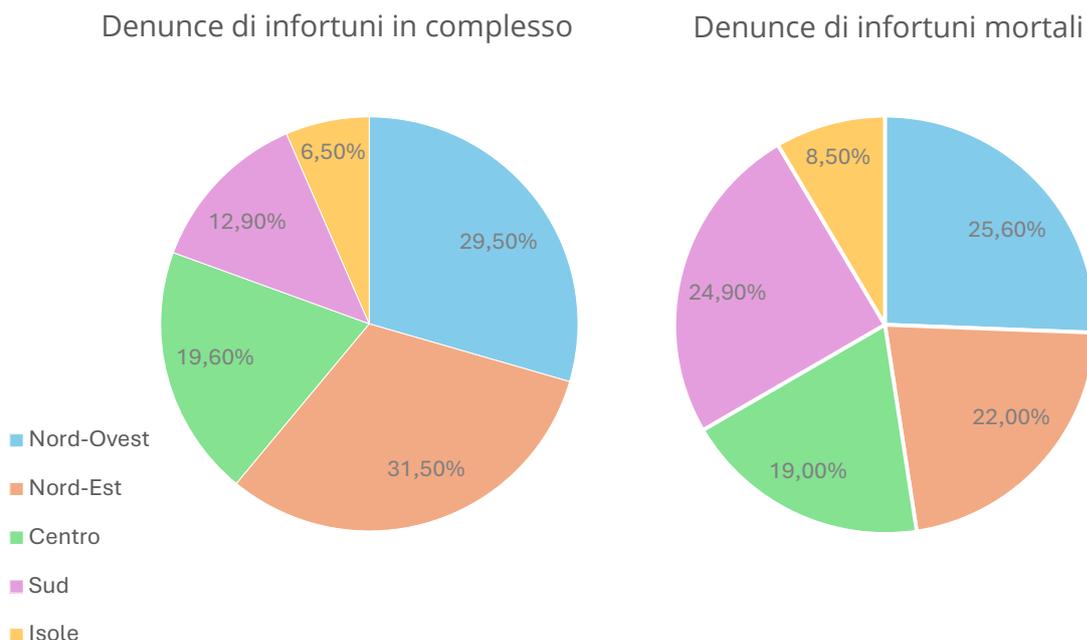


Figura 1.1. Distribuzione infortuni e infortuni mortali su territorio italiano

Il 30% circa dei lavoratori infortunati sono stranieri, essendo uno dei settori con una più alta percentuale di presenza di manodopera straniera e la quasi totalità dei lavoratori che si infortunano è di genere maschile.

Per quanto riguarda, invece, le cause dell'infortunio nel settore di riferimento, le più frequenti sono movimento del corpo (41%), schiacciamento (30%), perdita di controllo di un macchinario (23,8%), scivolamento con caduta (22%), contatto con agente tagliente, abrasivo o duro (21,7%), e sforzo fisico o psichico (20%).

In generale le costruzioni nel 2023 si sono posizionate al terzo posto per frequenza di infortuni gravi dopo il manifatturiero e la sanità, ma al primo posto per incidenti mortali, confermandosi quindi un settore di attività ad alto livello di rischio.

- **VEGA ENGINEERING**

L'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro della società Vega Engineering svolge un ruolo importante nel monitoraggio e analisi del fenomeno degli infortuni mortali sul lavoro in Italia.

Istituito nel 2009 raccoglie tutte le informazioni disponibili relative agli infortuni mortali sul lavoro provenienti da varie fonti. Raccolte le informazioni necessarie, l'ufficio tecnico si occupa di analizzarle al fine di effettuare propri studi, capire cosa è successo e individuare le misure di sicurezza più idonee per prevenire gli infortuni sul lavoro. I risultati delle loro ricerche vengono poi diffusi.

Dal 2023 l'Osservatorio Sicurezza e Ambiente Vega ha iniziato a raccogliere, elaborare e pubblicare anche dati relativi agli indicatori ambientali, in particolare agli aspetti connessi con il cambiamento climatico.

Nel report sulle Statistiche di Infortuni Mortali sul Lavoro del 31.10.2024 vengono messe a confronto le situazioni di infortuni avvenuti tra gennaio e ottobre del 2024 e dell'anno precedente (Tabella 1.2), nel complesso, non per il settore specifico delle costruzioni.

INFORTUNI DENUNCIATI IN ITALIA		
Modalità	Gennaio - Ottobre 2023	Gennaio - Ottobre 2024
In occasione di lavoro	672	657
In itinere	196	233
Totale infortuni	868	890
Variazione % su anno precedente	/	+2,5
Totale incidenti mortali	672	657
Variazione % su anno precedente	/	-2,2

Tabella 1.2. Infortuni denunciati in Italia nel complesso

Per le costruzioni si confermano 128 casi di morte sul luogo di lavoro, escludendo le morti in itinere, ovvero nel tragitto andata – ritorno tra la propria abitazione e il posto di lavoro. Inoltre, si riscontra che i lavoratori di sesso maschile sono quelli più colpiti da infortuni mortali per un totale di 610 casi in Italia.

I risultati vengono poi visualizzati tramite mappe grafiche (Fig.1.2) in cui con l'assegnazione di una scala di colori *si evidenzia l'incidenza degli infortuni mortali per regione rispetto l'incidenza media nazionale*. Con *incidenza media* si intende il numero di infortuni per ogni milione di lavoratori per anno. La scala di colori definita è bianco, nel caso l'incidenza sia bassa, giallo, arancione e infine rosso, se l'incidenza infortunistica è superiore del 125%.

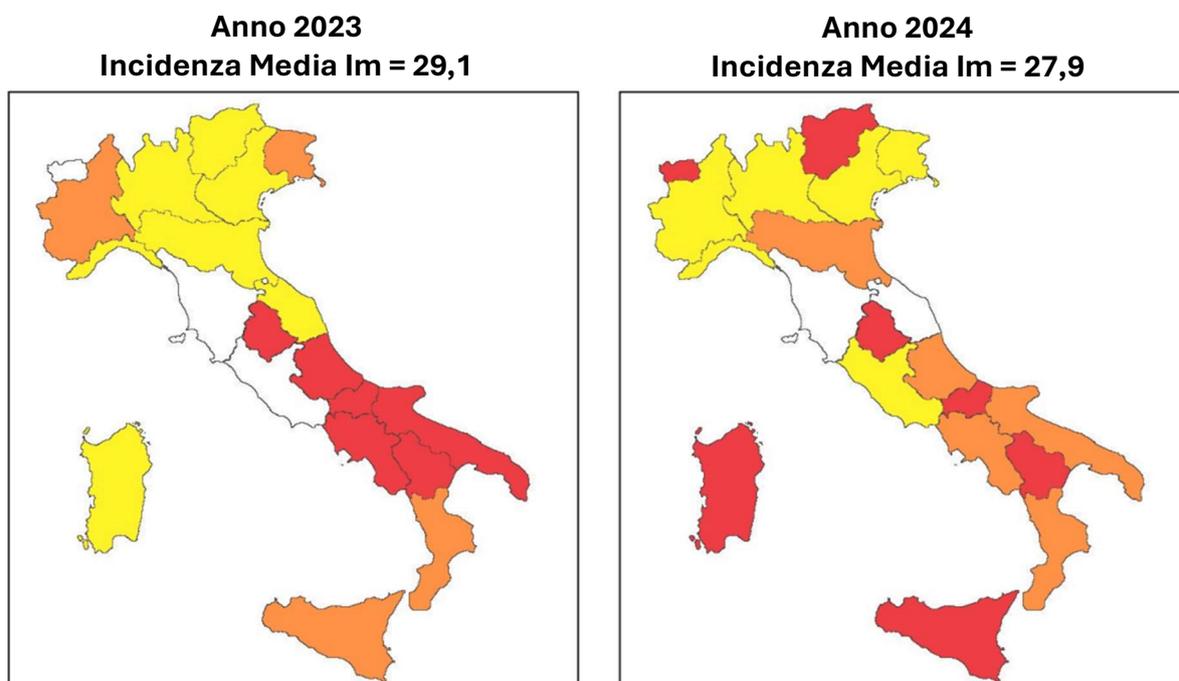
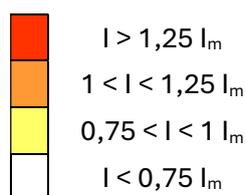


Figura 1.2. Classificazione dell'incidenza degli Infortuni mortali sul lavoro secondo l'Osservatorio Sicurezza sul Lavoro e Ambiente Vega Engineering



Nel 2024 tra le regioni che sono passate da un livello infortunistico minore ad uno elevato rientrano Valle d'Aosta, Trentino e le isole.

I dati raccolti confermano la persistenza degli incidenti mortali sul lavoro, rivelando una carenza di sicurezza sui luoghi di lavoro. Questo deficit si traduce in una sottovalutazione dei rischi da parte dei lavoratori, in scelte operative sbagliate e, più in generale, in una progettazione inadeguata delle attività lavorative. È quindi fondamentale investire in una formazione continua e approfondita dei lavoratori sui rischi specifici e sulle corrette procedure di lavoro.

LA GESTIONE DELLA SICUREZZA NEI CANTIERI EDILI

2.1 Evoluzione della legislazione in ambito di sicurezza sul lavoro

Essendo il settore delle costruzioni in continua evoluzione è sempre risultato necessario un costante aggiornamento anche della normativa in termini di salvaguardia della salute, igiene e sicurezza degli operatori sul luogo di lavoro. Gli obiettivi della normativa sono molteplici:

- stabilire regole e misure preventive e protettive per rendere sicuri i luoghi di lavoro;
- definire il procedimento di analisi e valutazione del rischio;
- definire i sistemi di sicurezza in azienda e le figure incaricate;
- decretare sanzioni civili e penali per le eventuali infrazioni.

I primi strumenti legislativi in ambito di sicurezza risalgono alla legge n. 80 del 1898 in cui si stabiliva l'obbligo di assicurazione dei lavoratori, ma è solo con il Codice civile del 1942 che si decreta la responsabilità dell'imprenditore e si introducono i temi di prevenzione e tutela del lavoratore. Questo argomento viene approfondito con la Costituzione Italiana, entrata in vigore il 1° gennaio 1948, in cui numerosi articoli sono incentrati sulla definizione dei principi fondamentali in termini di lavoro e tutela del lavoratore. Tra questi vi sono:

- Art. 32 che tutela la salute come diritto dell'individuo e interesse per la collettività;
- Art. 35 per cui la Repubblica tutela il lavoro in tutte le sue forme e promuove la formazione ed elevazione professionale dei lavoratori;
- Art. 37 che afferma la parità di diritto e retribuzione tra uomini e donne lavoratrici, con particolare riguardo alla conciliazione del lavoro con ambito familiare dei lavoratori e tutela della maternità. Passo importante verso l'uguaglianza di genere nel mondo del lavoro;
- Art. 38 si occupa della protezione verso soggetti più deboli come persone con disabilità o anziani riconoscendo il diritto all'assistenza sociale. Inoltre, affronta il tema della sicurezza sociale in caso di eventi come infortuni, malattie o disoccupazione;
- Art. 41, invece, definisce l'iniziativa economica privata come libera; tuttavia, non è ammesso il contrasto con l'utilità sociale in termini di sicurezza, libertà e dignità umana. Tutela indirettamente i lavoratori, limitando gli abusi da parte dei datori di lavoro.¹

¹ Costituzione della Repubblica Italiana, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 298, 27 dicembre 1947

Nella seconda metà del Novecento a seguito della necessità di ricostruire rapidamente una nazione distrutta dalla guerra il settore delle costruzioni si sviluppò in maniera caotica e disordinata.

Quindi si rese necessario un aggiornamento delle normative vigenti in termini di sicurezza ed igiene nei luoghi di lavoro che si concretizzò nel primo corpus normativo in termini di prevenzione della sicurezza su lavoro. Le disposizioni principali che hanno garantito la tutela fisica dei lavoratori per oltre mezzo secolo sono le seguenti:

- DPR 547/55 per la prevenzione degli infortuni sul lavoro;
- DPR 303/56 per l'igiene sul lavoro;
- DPR 164/56 per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni.

L'obiettivo principale era la prevenzione di infortuni nelle costruzioni edili e civili tramite la definizione di norme di sicurezza dettagliate e specifiche per il settore. L'intero sistema normativo è stato poi adeguato, ma è tuttora vigente e confluito nel D.lgs. 81/08.

Un ulteriore progresso in termini legislativi è avvenuto a livello europeo con l'attuazione del Trattato di Roma del 1957. Lo scopo era la redazione di un *Atto unico europeo* per la libera circolazione dei cittadini e delle merci nei confini europei. L'intervento era guidato dalla necessità di garantire un'attuazione omogenea della legislazione di tutela della salute e sicurezza nei luoghi di lavoro della Comunità, per ragioni di concorrenza leale tra i produttori di beni e servizi dei diversi Paesi membri. L'obiettivo, quindi, era quello di ridurre il costo degli infortuni e assicurare una parità di condizioni concorrenziali tra le imprese comunitarie in ordine ai costi della sicurezza sul lavoro. Lo strumento giuridico impiegato per attuare i principi del Trattato è la direttiva:

- Direttiva n. 89/391/CEE emanata il 12 giugno 1989 per l'igiene e la sicurezza riguarda la prevenzione degli infortuni, riduzione dei rischi e diritto all'informazione e formazione;
- Direttiva n. 92/57/CEE del 24 giugno 1992 aveva come obiettivo definire un modello di organizzazione del cantiere che soddisfacesse i requisiti di sicurezza e salute per cui vengono identificate alcune figure tecniche apposite.

Le direttive dell'Unione Europea sono state inglobate nell'ordinamento nazionale a fine '900 con la pubblicazione di ulteriori decreti:

- D.lgs. 626/94 concernente la sicurezza nei luoghi di lavoro, ad esclusione dei cantieri aventi organizzazione differente dalle comuni aziende e per questo necessari di una norma specifica;

- D.lgs. 758/94 riguardante la disciplina sanzionatoria;
- D.lgs. 494/96 specifico per la sicurezza all'interno cantieri temporanei o mobili.

La normativa va a confermare come le condizioni di sicurezza costituiscano un aspetto primario e imprescindibile in tutti i settori lavorativi, introducendo il principio dell'autotutela, ovvero ogni lavoratore deve assicurarsi la propria sicurezza. In pratica, è l'uomo, e non la macchina, ad essere posto al centro dell'organizzazione della sicurezza.

Inoltre, assume un ruolo focale il sistema sanzionatorio, vengono difatti definite le responsabilità civili e penali in caso di infrazioni al sistema da parte del datore di lavoro.

Vengono poi introdotte nell'organico aziendale alcune figure importanti quali il medico competente e il responsabile dei lavoratori per la sicurezza che insieme al datore di lavoro si occupano di sicurezza sui luoghi di lavoro.

Per fare chiarezza e unificare le molteplici normative vigenti, il 15 maggio 2008 è entrato in vigore il Testo Unico sulla Sicurezza sul Lavoro approvato con D.lgs. 81/08. Oltre alle disposizioni per la gestione dei luoghi di lavoro si definiscono anche prescrizioni dettagliate per i cantieri edili e civili, riprendendo e aggiornando tutta la normativa preesistente.

Il decreto ha quindi razionalizzato e unificato tutte le disposizioni legislative emanate nel secolo precedente, che spesso causavano incertezze e incomprensioni su quali fossero le misure di sicurezza da attuare.

2.2 La normativa di riferimento

La legge 626 è rimasta in vigore per un decennio ed è stata poi sostituita con il D.lgs. n.81 del 2008. L'introduzione del "Testo Unico sulla sicurezza e salute sul lavoro" ha rappresentato un vero e proprio progresso nel panorama della sicurezza sul lavoro rispondendo all'esigenza di unificazione normativa, ha riunito tutte le disposizioni in materia di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro eliminando le possibili contraddizioni e rendendo la normativa chiara e accessibile a tutti. Questo passaggio ha segnato un punto di svolta nella tutela, creando un sistema normativo più coerente, efficace e in linea con gli standard internazionali.

Tra le innovazioni principali vi sono sicuramente l'inserimento di sanzioni più severe in caso di omissioni in materia di sicurezza e la nomina di figure competenti che devono garantire il rispetto delle norme, quali il Responsabile del Servizio Prevenzione e Protezione e il

Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza che hanno il compito di controllare le condizioni di lavoro e promuovere la prevenzione dei rischi. Con il T.U. sono stati ampliati gli obblighi del datore di lavoro, che affiancato dagli altri soggetti responsabili, deve muoversi attivamente per individuazione e valutazione dei rischi con conseguente definizione di misure di protezione e prevenzione per i lavoratori. In pratica, informazione e formazione dei lavoratori diventano attività obbligatorie, che il datore di lavoro deve garantire, in vista della prevenzione.

Il decreto è divenuto così riferimento legislativo imprescindibile in tutti i settori di attività, pubblici o privati, soggetti alle prescrizioni in materia di tutela della salute e sicurezza dei lavoratori.

Nella pratica il T.U. si costituisce di 13 capitoli, 306 articoli e 51 allegati (Tabella 2.1). Ciascun titolo deriva dalla trasposizione in legge di una specifica direttiva o normativa, con i rispettivi dettagli operativi riportati negli allegati.

N° TITOLO	ARGOMENTO	ALLEGATI
Titolo I	Principi comuni	I - III
Titolo II	Luoghi di lavoro	IV
Titolo III	Uso delle attrezzature e dei DPI	V- IX
Titolo IV	Cantieri temporanei e mobili	X - XXIII
Titolo V	Segnaletica di salute e sicurezza	XXIV - XXXII
Titolo VI	Movimentazione manuale dei carichi	XXXIII
Titolo VII	Attrezzature munite di video terminali	XXXIV
Titolo VIII	Agenti fisici	XXXV - XXXVII
Titolo IX	Sostanze pericolose	XXXVIII - XLIII
Titolo X	Esposizione ad agenti biologici	XLIV - XLVIII
Titolo XI	Protezione da atmosfere esplosive	XLIX - LI
Titolo XII	Disposizioni in materia penale e di procedura penale	/
Titolo XIII	Norme transitorie e finali	/

Tabella 2.1. Suddivisione dei titoli del D.lgs.81/08

All'interno del Decreto Legislativo, il Titolo IV è concepito per regolamentare le attività lavorative nel settore edile, ed è stato integrato nel Testo Unico assorbendo le disposizioni del D. lgs. 494/96 che attua a sua volta la direttiva europea 92/57/CEE. In questo modo è stato possibile garantire una tutela mirata per il processo produttivo all'interno dei cantieri.

2.3 Gli operatori della sicurezza

Il D.lgs. 81/08 prevede la definizione di una struttura organizzativa finalizzata alla gestione della sicurezza e a prevenire gli infortuni, sono difatti indicate una serie di figure di cui sono definiti obblighi, compiti e responsabilità precise. La norma definisce una serie figure che si occupano di sicurezza: committente, responsabile dei lavori, direttore dei lavori, coordinatori di sicurezza, datore di lavoro, preposto, dirigente, RSPP, medico competente, responsabile dei lavoratori per la sicurezza e lavoratori stessi.

In modo particolare è possibile suddividere i ruoli sopra indicati in due macrocategorie (Fig.2.1) a seconda che appartengano a stazione appaltante o appaltatore:

- **Stazione appaltante** è quella che dà l'appalto, cioè, incarica un soggetto di svolgere un determinato lavoro;
- **Appaltatore** si assume l'incarico di portare a termine il progetto e può essere un'impresa oppure un lavoratore autonomo.

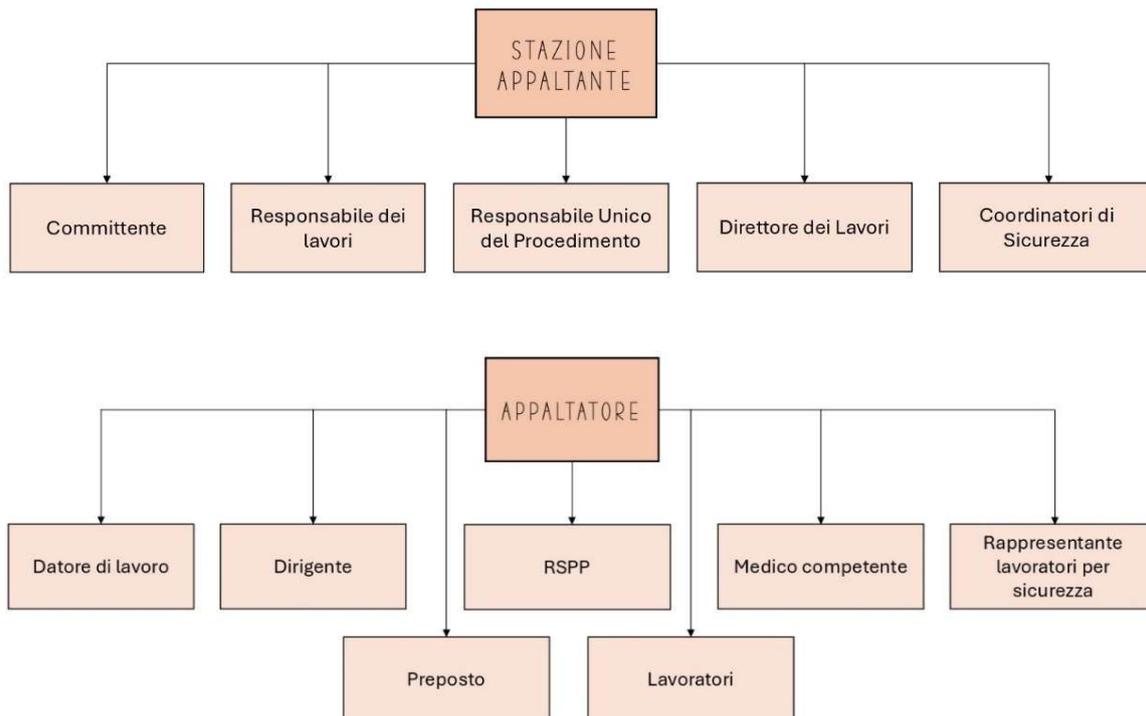


Figura 2.1a (sopra), 2.1b (sotto). 2.1a Figure professionali della stazione appaltante, 2.1b Figure professionali dell'appaltatore

2.3.1 Figure professionali della stazione appaltante

COMMITTENTE

È una figura cardine nel processo produttivo poiché è colui grazie al quale si realizza il progetto. All'art.89 del T.U. viene definito il suo ruolo.

D.lgs. 81/2008 - **Art. 89** - Definizione

Committente: il soggetto per conto del quale l'intera opera viene realizzata, indipendentemente da eventuali frazionamenti della sua realizzazione. Nel caso di appalto di opera pubblica, il committente è il soggetto titolare del potere decisionale e di spesa relativo alla gestione dell'appalto.

Nel caso di appalti privati il committente, dunque, è colui che paga perché l'opera venga costruita, mentre negli appalti pubblici è il dirigente titolare del potere decisionale e di spesa per l'attuazione del progetto. Di conseguenza, il committente è:

- nelle pubbliche amministrazioni il dirigente;
- nelle società giuridiche l'amministratore delegato o il legale rappresentante;
- nelle società individuali il titolare;
- nei condomini l'amministratore;
- il privato cittadino.

I suoi compiti riguardano principalmente la programmazione dei lavori e la supervisione delle attività di progettazione e realizzazione affinché durante tutto il processo vengano considerate le norme di salute e sicurezza.

Si occupa di individuare e selezionare le imprese appaltatrici a cui affidare i lavori. Per farlo non può basarsi esclusivamente su un'offerta economica ma deve accertare l'idoneità tecnico-professionale dell'impresa che ha presentato l'offerta, richiedendo alle stesse una dichiarazione sull'organico medio annuo, il contratto collettivo di lavoro applicato ai dipendenti, gli estremi delle denunce dei lavoratori fatte a INPS, INAIL e Casse Edili.

Deve nominare il coordinatore per la sicurezza sia in fase di progettazione (CSP) che esecuzione (CSE), accertandone i requisiti e riferire alle imprese e lavoratori coinvolti i loro nominativi. Inoltre, è incaricato di valutare il Piano di Sicurezza e Coordinamento, controllare l'operato del responsabile dei lavori e, su richiesta del CSE, può sospendere i lavori in caso di gravi

inosservanze delle norme di sicurezza dettate dal d. lgs. Infine, deve valutare se l'opera rispetta i principi generali stabiliti dal T.U. attraverso l'esame del progetto e dei piani.

In conclusione, si evince che il committente ricopre importanti funzioni di responsabilità nella realizzazione delle opere, per questo motivo da normativa è stato affiancato da un secondo operatore che è il responsabile dei lavori (RdL).

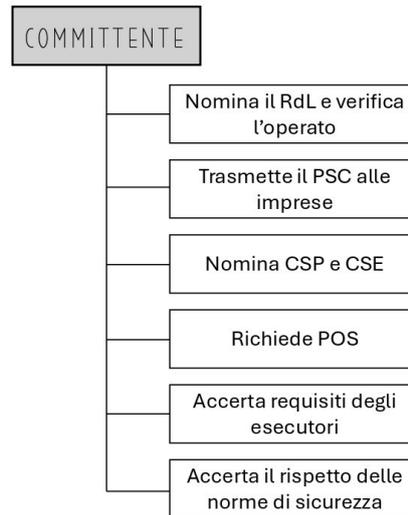


Figura 2.2. Schema riassuntivo incarichi del committente

RESPONSABILE DEI LAVORI (RdL)

È una persona fisica, nominata dal committente, a cui quest'ultimo delega parte dei suoi incarichi per quanto riguarda la gestione del procedimento, qualora non avesse le conoscenze tecniche o non volesse assumersi tutte le responsabilità derivanti dalla sua posizione.

D.Lgs. 81/08 - **Art. 89** - Definizione

Responsabile dei lavori: *soggetto che può essere incaricato dal committente per svolgere i compiti ad esso attribuiti dal presente decreto. Nel campo di applicazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, e successive modificazioni, il responsabile dei lavori è il Responsabile del Procedimento.*

Questa figura coincide con il progettista in fase di progettazione, con il direttore dei lavori in fase di esecuzione, mentre nel caso di lavori pubblici con il responsabile unico del procedimento (RUP) i cui obblighi sono elencati all'art. 90 del d. lgs. 81/08 e corrispondono con quelli del committente.

L'incarico formale del RdL, conferito tramite comunicazione scritta, comporta l'assunzione di tutte le responsabilità legate alla gestione dell'intervento. Tuttavia, è fondamentale sottolineare che la decisione di avvalersi di questa figura, e quindi la responsabilità della sua scelta, rimane del committente. Infatti, l'RdL non è una figura obbligatoria in ogni intervento, ma viene designato solo se il committente sceglie di delegare, in parte o totalmente, i propri incarichi.

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO (RUP)

Negli appalti pubblici il committente coincide con il responsabile unico del procedimento, una persona fisica che si occupa di coordinare e gestire il processo edilizio. Il suo incarico principale è quello di seguire il percorso dalla fase progettuale fino a quella realizzativa in cantiere, per garantire il rispetto dei tempi e costi previsti.

È impiegato nel coordinamento delle mansioni del direttore dei lavori e dei coordinatori per quanto riguarda la sicurezza e la salute dei lavoratori in fase di progettazione e durante l'esecuzione dei lavori. Coordina le attività necessarie alla redazione del progetto definitivo ed esecutivo, verificando che sia rispettato quanto stabilito dai documenti preliminari.

Inoltre, assume il ruolo di responsabile dei lavori per quanto riguarda il rispetto delle norme sulla sicurezza e salute dei lavoratori sui luoghi di lavoro, qualora il committente non adempia direttamente a questo obbligo.

Il RUP deve essere quindi un professionista con competenze tecniche, economico-finanziarie, amministrative, legali e organizzative.

DIRETTORE DEI LAVORI (DL)

È un ente o soggetto, nominato dal committente, che si occupa di verificare la conformità delle opere in esecuzione con le prescrizioni contenute negli elaborati contrattuali, dirigere e controllare l'aspetto contabile e amministrativo dei lavori. Inoltre, è incaricato del controllo e supervisione del processo produttivo per accertarne la correttezza tecnica e conformità al progetto. Ad esempio, è colui che accetta i materiali in cantiere e verifica la puntuale esecuzione dei lavori. Ricopre quindi un ruolo molto importante all'interno del processo svolgendo funzioni tecniche, amministrative ed economiche.

La direzione dei lavori è obbligatoria per gli appalti pubblici, mentre per il privato soltanto nel caso di strutture in cemento armato, metalliche o in zone sismiche. Il direttore dei lavori non si interfaccia solo con il committente, ma anche con il progettista, il responsabile della

sicurezza, il direttore di cantiere e le maestranze ed è colui che rappresenta la stazione appaltante.

In termini di sicurezza i suoi incarichi riguardano principalmente la cooperazione e il dialogo con i coordinatori di sicurezza. L'obiettivo è quello di verificare l'attuazione delle misure di sicurezza, valutare eventuali soluzioni alternative o sospendere i lavori su ordine del committente, del responsabile dei lavori e dietro segnalazione del CSE.

La sua responsabilità non si limita, però, agli aspetti tecnici: poiché è incaricato dell'organizzazione, della progettazione e della gestione del cantiere in sicurezza, è indispensabile, quindi, che sia un professionista con competenze specifiche in materia.

In relazione al cantiere di progetto, è prevista la realizzazione di un ufficio direzione lavori, composto dal direttore dei lavori e dai suoi assistenti: il direttore operativo e l'ispettore di cantiere. Il loro ruolo è limitato al controllo della corretta esecuzione dell'opera e alle attività di collaudo di ogni singolo appalto.

Vi è differenza tra i ruoli ricoperti dal direttore dei lavori per conto della committenza e direttore dei lavori per conto dell'appaltatore, ovvero il direttore tecnico di cantiere. Quest'ultimo va ricollegato alla figura del dirigente o del preposto, a seconda che abbia o meno l'obbligo di approntare misure di protezione e prevenzione. Il direttore dei lavori, invece, deve accertare l'esecuzione delle opere secondo il progetto, pertanto, non è di solito incaricato della predisposizione e attuazione delle misure di sicurezza.



Figura 2.3. Schema riassuntivo incarichi del direttore lavori

COORDINATORI DI SICUREZZA

Persone fisiche designate dal committente o dal responsabile dei lavori con lo scopo di garantire sia in fase di progettazione che esecuzione il rispetto delle norme di igiene, salute e sicurezza.

Si distinguono due soggetti:

- Coordinatore per la Sicurezza in fase di Progettazione (CSP) la cui nomina avviene contestualmente all’incarico di progettazione;
- Coordinatore per la Sicurezza in fase di Esecuzione (CSE) la cui nomina avviene prima dell’affidamento dei lavori.

Il d.lgs. stabilisce chiaramente che il CSE deve essere una figura imparziale per cui non può avere alcun legame di dipendenza con l’impresa affidataria dei lavori e non può coincidere né con il datore dei lavori né con il responsabile del servizio prevenzione e protezione.

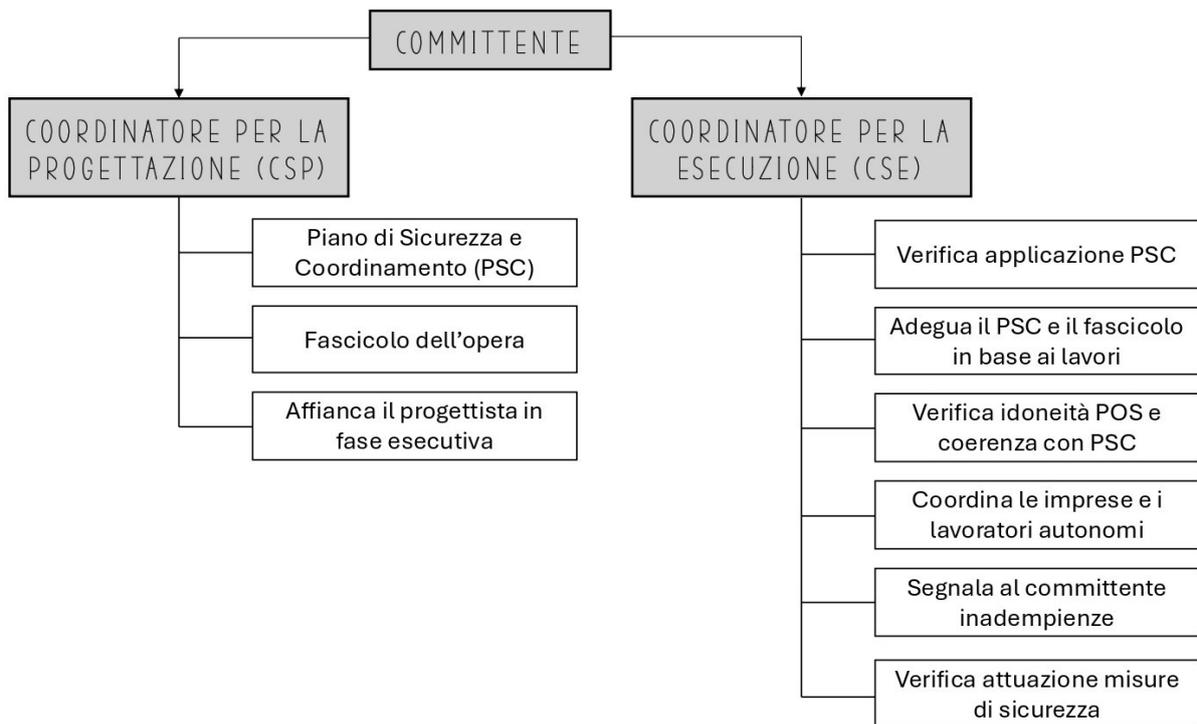


Figura 2.4. Schema riassuntivo incarichi del coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione

- COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE (CSP)

D.Lgs. 81/08 - **Art. 89** - Definizione

Coordinatore in materia di sicurezza e di salute durante la progettazione dell'opera, di seguito denominato coordinatore per la progettazione: *soggetto incaricato, dal committente o dal responsabile dei lavori, dell'esecuzione dei compiti di cui all'articolo 91.*

Deve possedere tre requisiti:

- laurea magistrale o laurea in ingegneria, architettura, geologia, scienze agrarie o scienze forestali, in alternativa diploma di geometra o perito industriale o agrario o agrotecnico;
- avere almeno un anno di esperienza nel settore delle costruzioni;
- avere attestato di frequenza a specifico corso in materia di sicurezza gestito da enti abilitati.

Il CSP come prima operazione durante la fase di progettazione dell'opera deve raccogliere tutte le informazioni disponibili sulla conformazione e agibilità del sito dei lavori, anche tramite apposite ispezioni e sopralluoghi per individuare potenziali pericoli futuri per i lavoratori.

A seguito di quanto analizzato deve redigere il Piano di Sicurezza e Coordinamento, con cui vengono comunicate all'impresa esecutrice tutte le indicazioni e i rischi specifici presenti nell'area oggetto dell'intervento, valutando già i costi per la sicurezza.

È tenuto, inoltre, a compilare il Fascicolo dell'Opera che contiene tutte le informazioni necessarie per eseguire in sicurezza i lavori di manutenzione successivi alla realizzazione dell'opera.

Infine, si occupa di affiancare attivamente il progettista in fase esecutiva per ridurre ove possibile i pericoli, valutando soluzioni efficaci a livello tecnico e più sicure per le maestranze.

- **COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI ESECUZIONE (CSE)**

D.Lgs. 81/08 - **Art. 89** - Definizione

Coordinatore in materia di sicurezza e di salute durante la realizzazione dell'opera, di seguito denominato coordinatore per l'esecuzione dei lavori: *soggetto incaricato, dal committente o dal responsabile dei lavori, dell'esecuzione dei compiti di cui all'articolo 92, che non può essere il datore di lavoro delle imprese affidatarie ed esecutrici o un suo dipendente o il responsabile del servizio di prevenzione e protezione (RSPP) da lui designato. Le incompatibilità di cui al precedente periodo non operano in caso di coincidenza fra committente e impresa esecutrice.*

Deve disporre degli stessi requisiti preliminari del CSP, nel caso di appalti pubblici questa funzione può essere ricoperta dal direttore dei lavori.

Viene nominato prima dell'affidamento dei lavori poiché ha il compito di assicurare, tramite azioni di coordinamento e supervisione, che le imprese esecutrici rispettino quanto definito dal Piano di Sicurezza e Coordinamento.

Infatti, prima dell'inizio dei lavori al CSE vengono trasmessi i Piani Operativi di Sicurezza delle imprese coinvolte, per valutarne la compatibilità con il PSC ed eventualmente richiedere variazioni o integrazioni.

Il suo ruolo include anche l'organizzazione della cooperazione e del coordinamento tra datori di lavoro e lavoratori autonomi, facilitando la gestione delle attività e lo scambio di informazioni. Inoltre, si assicura che le imprese informino tempestivamente i lavoratori sugli aggiornamenti concordati.

Nel verificare l'attuazione delle misure di sicurezza in cantiere, al termine di ogni sopralluogo redige dei verbali di coordinamento con cui valuta il grado effettivo di sicurezza delle operazioni in atto. In caso di difetti in termini di sicurezza può proporre corsi di formazione per le maestranze oppure sospendere direttamente i lavori fino all'accertamento dell'avvenuto adeguamento delle misure di sicurezza.

Nel caso in cui le inadempienze siano molto significative allora deve segnalarlo al committente o al responsabile dei lavori e prevedere la sospensione delle attività, l'allontanamento delle imprese o dei lavoratori autonomi dal cantiere oppure la risoluzione del contratto stesso. Qualora il committente non adotti le misure risolutive necessarie, senza fornire motivazioni adeguate, il coordinatore ha l'obbligo di comunicare quanto accaduto all'ASL e alla Direzione provinciale.

2.3.2 Figure professionali dell'appaltatore

DATORE DI LAVORO

È la persona fisica o giuridica titolare del rapporto di lavoro con il dipendente e che, in base alla struttura aziendale, ha la responsabilità dell'impresa poiché ne detiene i poteri decisionali e di spesa. In termini di sicurezza il T.U. distingue imprese affidatarie ed esecutrici.

- **Imprese affidatarie:** titolari dell'appalto con il committente, possono avvalersi di imprese subappaltatrici o lavoratori autonomi. Di solito è l'impresa principale a cui viene affidata l'esecuzione complessiva dei lavori.
- **Imprese esecutrici:** imprese che effettuano manualmente le lavorazioni impiegando proprie risorse umane e di materiali. Può essere un'impresa subappaltatrice o un'impresa autonoma che ha vinto una gara d'appalto.

CARATTERISTICA	IMPRESA AFFIDATARIA	IMPRESA ESECUTRICE
<i>Contratto</i>	Con il committente	Con l'impresa affidataria (subappalto) o con il committente (appalto diretto)
<i>Responsabilità</i>	Su tutto il progetto	Specificata delle lavorazioni di competenza
<i>Coordinamento</i>	Di tutte le imprese coinvolte	Con l'impresa affidataria e le altre esecutrici

Tabella 2.2. Differenze tra impresa affidataria ed esecutrice

Il datore di lavoro delle imprese, sia affidatarie che esecutrici, ha determinati obblighi da rispettare. Primo di tutto si occupa di redigere il documento di valutazione del rischio contenente una relazione su quanto osservato in termini di sicurezza e salute del lavoratore e in cui sono specificate le misure preventive e protettive stabilite. Una copia del documento va inviata almeno dieci giorni prima dell'inizio del cantiere al rappresentante dei lavoratori, in modo che possa leggerlo e dividerlo con gli altri dipendenti.

Il datore di lavoro deve, inoltre, gestire il cantiere definendo le postazioni di lavoro, gli accessi, le uscite e soprattutto le vie di emergenza. È suo compito anche curare la manutenzione, verificare impianti e dispositivi presenti nel sito per eliminare possibili difetti che portino a rischi per la sicurezza. Deve occuparsi di fornire ai lavoratori gli idonei dispositivi di protezione individuale.

Fondamentale è la relazione con il CSE a cui deve consegnare il Piano Operativo di Sicurezza, affinché ne verifichi la correttezza e adeguatezza prima dell'inizio lavori. Deve richiedere il consenso circa modifiche o variazioni da apportare alle misure di eliminazione dei rischi e può proporre adeguamenti ai contenuti dei piani di sicurezza senza modificare l'importo concordato per i lavori. Inoltre, deve comunicare al CSE eventuali ritardi nelle lavorazioni affinché si possa aggiornare il PSC.

Dal T.U. il datore di lavoro è tenuto a istituire un servizio di informazione e formazione dei lavoratori ed è suo compito nominare il medico competente, il responsabile dei servizi di prevenzione e protezione e la squadra di emergenza composta da un addetto al primo soccorso e uno all'antincendio. È infatti essenziale che in caso di situazioni di pericolo grave e immediato tutti sappiano come comportarsi.

Il datore di lavoro può delegare alcune mansioni seguendo determinati limiti e condizioni individuati all'**Art.16**.

- a) che essa risulti da atto scritto recante data certa;*
- b) che il delegato posseda tutti i requisiti di professionalità ed esperienza richiesti dalla specifica natura delle funzioni delegate;*
- c) che essa attribuisca al delegato tutti i poteri di organizzazione, gestione e controllo richiesti dalla specifica natura delle funzioni delegate;*
- d) che essa attribuisca al delegato l'autonomia di spesa necessaria allo svolgimento delle funzioni delegate;*
- e) che la delega sia accettata dal delegato per iscritto.*

[...] La delega di funzioni non esclude l'obbligo di vigilanza in capo al datore di lavoro in ordine al corretto espletamento da parte del delegato delle funzioni trasferite.

Vi sono però alcuni obblighi che il datore di lavoro non può in alcun modo delegare ad altri membri dell'organico aziendale. Essi sono elencati nel d.lgs. 81/08 – **Art.17**:

- a) la valutazione di tutti i rischi con la conseguente elaborazione del documento previsto dall'articolo 28;*
- b) la designazione del responsabile del servizio di prevenzione e protezione dai rischi.*

Si possono poi individuare obblighi specifici per il datore di lavoro in base al tipo di impresa.

Nel caso di impresa affidataria deve:

- verificare condizioni di sicurezza e rispetto delle misure di protezione e prevenzione;
- valutare idoneità delle imprese subappaltatrici;
- trasmettere il PSC a lavoratori autonomi e imprese esecutrici;
- stabilire conformità dei POS delle imprese esecutrici con il proprio;
- coordinare gli interventi delle imprese esecutrici;
- elaborare il DUVRI.

Nel caso di impresa esecutrice deve:

- curare il mantenimento del cantiere per quanto riguarda la definizione delle postazioni di lavoro, la manutenzione, la delimitazione delle aree di lavoro, il coordinamento tra le lavorazioni;
- consultare il responsabile dei lavoratori prima dell'accettazione del PSC;
- trasmettere il proprio POS.

Prima dell'inizio dei lavori ciascuna impresa esecutrice è obbligata a trasmettere il proprio piano operativo di sicurezza all'impresa affidataria, la quale; previa verifica della congruenza rispetto al proprio, lo consegna al coordinatore per l'esecuzione. I lavori possono iniziare solo dopo che le verifiche hanno dato esito positivo. Questa procedura permette di identificare tutti i rischi possibili, stabilire misure di protezione e prevenzione comuni alle varie imprese e garantire sicurezza durante tutte le attività.

Per svolgere tutti questi incarichi si evince che il datore di lavoro deve essere dotato di un adeguato percorso di formazione.

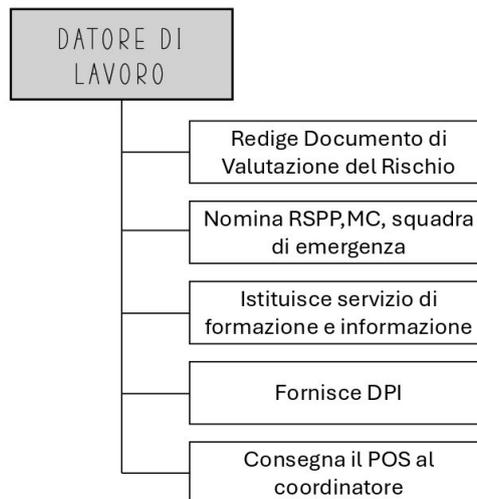


Figura 2.5. Schema riassuntivo incarichi del datore di lavoro

DIRIGENTE

D.Lgs. 81/08 – **Art.2** - Definizione

Dirigente: persona che in ragione delle competenze professionali e di poteri gerarchici adeguati alla natura dell'incarico conferitogli attua le direttive del datore di lavoro organizzando l'attività lavorativa e vigilando su di essa.

È un lavoratore che ricopre un ruolo di responsabilità all'interno dell'azienda, poiché deve occuparsi di promuovere, coordinare e gestire il raggiungimento degli obiettivi dell'impresa. Si deve impegnare a garantire l'osservanza dei piani di sicurezza e delle norme in materia di igiene e sicurezza tramite il rispetto delle misure preventive e di protezione individuate.

Il dirigente è una figura chiave nell'ambito della sicurezza sul lavoro in quanto ha il compito di attuare le direttive del datore di lavoro, organizzare l'attività lavorativa e vigilare su di essa.

Questa qualifica nell'ambito del settore delle costruzioni è rivestita dal direttore tecnico di cantiere.

- **DIRETTORE TECNICO DI CANTIERE (DTC)**

È la persona che gestisce il cantiere per conto dell'appaltatore. In collaborazione con il preposto deve assicurare l'attuazione di tutte le misure tecniche e organizzative necessarie a soddisfare le misure di sicurezza previste per ridurre i rischi collegati alle attività lavorative. È fondamentale distinguere il DTC dal direttore dei lavori. Il DL, nominato dal committente, ha la responsabilità di verificare che i lavori siano eseguiti in conformità con il progetto esecutivo. Il DTC, invece, è designato dall'impresa esecutrice e si occupa di controllare che l'esecuzione dei lavori avvenga nel rispetto delle disposizioni contrattuali.

È una figura professionale che può essere delegata dal datore di lavoro delle seguenti mansioni:

- vigilare sull'attuazione dei PSC seguendo prescrizioni previste dai coordinatori di sicurezza;
- sorvegliare il rispetto delle norme di sicurezza;
- attuare le misure di formazione e informazione previste per i lavoratori;
- organizzare il cantiere, pianificare le attività, assegnare i compiti alle squadre e gestire le risorse;
- dotare il cantiere di tutte le caratteristiche per prevenire incidenti;
- garantire la qualità del lavoro nel rispetto delle norme tecniche e specifiche del progetto.

In cantiere questa figura è punto di riferimento, può essere un dipendente oppure libero professionista. Il suo ruolo richiede una interazione costante con tutti i soggetti coinvolti, dalle maestranze al committente, dai progettisti alle imprese e ai fornitori.

Dotato di buone competenze di problem solving è responsabile della risoluzione rapida ed efficace degli ostacoli che possono emergere, garantendo il rispetto dei tempi previsti e la sicurezza dei lavoratori.

In sintesi, è un ruolo chiave nella realizzazione del progetto, che permette di trasformare l'opera in realtà garantendo sicurezza, qualità e conformità alle disposizioni contrattuali.

PREPOSTO

È il soggetto che spesso affianca il direttore tecnico per quanto riguarda la cura e gestione del cantiere.

D.Lgs. 81/08 – **Art.2** - Definizione

Preposto: persona che, in ragione delle competenze professionali e nei limiti di poteri gerarchici e funzionali adeguati alla natura dell'incarico conferitogli, sovrintende alla attività lavorativa e garantisce l'attuazione delle direttive ricevute, controllandone la corretta esecuzione da parte dei lavoratori ed esercitando un funzionale potere di iniziativa.

Il preposto è una figura chiave per quanto concerne la sicurezza in cantiere, poiché verifica la conformità e il rispetto delle misure di sicurezza prescritte dai piani. Di solito questo ruolo è affidato al capo cantiere o al capo squadra, un operaio specializzato con più anni di esperienza, che ha frequentato corsi di formazione appositi. Egli è incaricato di supervisionare l'attività lavorativa e garantire l'attuazione delle direttive previste, controllando l'esecuzione da parte dei lavoratori.

Opera a diretto contatto con le maestranze, informandole sui potenziali rischi a cui sono esposti, su quali dispositivi utilizzare per la sicurezza e si accerta che solo lavoratori formati accedano alle aree più pericolose del cantiere. Cooperava non solo con i lavoratori ma anche con il CSE per analizzare incongruenze tra i piani e il cantiere.

Inoltre, è incaricato del controllo dei materiali e delle attrezzature prima dell'uso, di sorvegliare la manutenzione dei macchinari, delle opere provvisorie e supervisionare il disarmo delle strutture affinché avvenga tutto nel rispetto delle norme.

Se si rende conto di non conformità delle attrezzature di lavoro deve immediatamente comunicarlo al dirigente e se necessario interrompere l'attività lavorativa.

Il ruolo del preposto, quindi, è fondamentale per garantire un ambiente di lavoro sicuro. È una figura di riferimento per i lavoratori e un elemento chiave nella prevenzione degli infortuni.

Infine, si può evidenziare un'importante distinzione tra il DTC e preposto risiede nelle loro qualifiche e, conseguentemente, nelle loro responsabilità in materia di sicurezza:

- il direttore tecnico è responsabile dell'adozione delle misure di prevenzione e protezione;
- il preposto ha l'obbligo di vigilare affinché queste misure vengano applicate e rispettate.

RESPONSABILE DEL SERVIZIO PREVENZIONE E PROTEZIONE (RSPP)

Tra gli obblighi inderogabili del datore di lavoro rientra la nomina di questo operatore. Tale designazione deve essere comunicata formalmente alla Direzione Provinciale del Lavoro e all'ASL competente, accompagnata da una documentazione completa contenente: dichiarazione dettagliata dei compiti svolti dall'RSPP per la protezione e prevenzione, indicazione del periodo assegnato per eseguirli e curriculum del soggetto incaricato.

Per quanto definito dall'**Art. 2** del D.lgs. 81/08 il responsabile è una *persona in possesso delle capacità e dei requisiti professionali di cui all'articolo 32 designata dal datore di lavoro, a cui risponde, per coordinare il servizio di prevenzione e protezione dai rischi.*

Gli addetti nominati devono soddisfare alcuni requisiti:

- titolo di studi non inferiore al diploma di istruzione secondaria superiore;
- attestato di frequenza a corsi di formazione specifici per i rischi presenti nell'ambiente lavorativo oppure in alternativa laurea triennale o magistrale in ingegneria o materie tecniche;
- attestato di frequenza a corsi di formazione in materia di prevenzione e protezione dai rischi, organizzazione e gestione delle attività tecnico – amministrative e tecniche di comunicazione.

Se i requisiti professionali dei dipendenti risultano insufficienti il datore può far ricorso a persone o servizi esterni all'azienda, previa consultazione con il coordinatore di sicurezza e mantenendo comunque le sue responsabilità in materia.

A seguito delle dimensioni modeste dell'azienda può essere il datore di lavoro stesso a rivestire questo ruolo, ma per farlo deve possedere i requisiti sopra elencati, in modo particolare deve frequentare corsi di formazione e di aggiornamento adeguati ai rischi presenti sul luogo di lavoro e informare preventivamente il rappresentante dei lavoratori per la sicurezza.

Il servizio di protezione e prevenzione dai rischi professionali è costituito da un numero adeguato di persone, a seconda della dimensione dell'azienda, con a capo il Responsabile. Il servizio si occupa di individuare e valutare le fonti di rischio e redigere, insieme al datore di lavoro e al medico competente, il documento di valutazione del rischio e mantenerlo aggiornato nel tempo. Per ciascun problema deve individuare misure di sicurezza adeguate nel rispetto della normativa e stabilire le opportune misure preventive e protettive. Si occupa di proporre programmi di formazione per i lavoratori e fornire loro tutte le informazioni necessarie in materia di sicurezza nel luogo di lavoro. Una volta individuato, il servizio di protezione e prevenzione, ha funzione aziendale e non esclusiva del singolo cantiere.

Per consentire all' RSPP di operare in modo ottimale e garantire la massima sicurezza sul lavoro, il datore di lavoro ha l'obbligo di fornire informazioni dettagliate e aggiornate. Queste comprendono una descrizione accurata dei rischi presenti nell'ambiente lavorativo, l'organizzazione dei processi produttivi, le caratteristiche degli impianti, una documentazione completa degli incidenti passati e un quadro chiaro degli organi di vigilanza a cui l'azienda è sottoposta.

Nelle aziende con più di 15 lavoratori deve, inoltre, fissare almeno una riunione all'anno cui partecipano il datore di lavoro, il medico competente e il rappresentante dei lavoratori per presentare il documento di valutazione dei rischi, valutare l'efficacia delle misure di sicurezza in relazione anche all'andamento degli infortuni e stabilire i corsi di formazione per i dipendenti. Durante questo incontro si possono quindi apportare migliorie alla sicurezza e al termine è obbligatoria la redazione di un verbale che rimanga a disposizione dei partecipanti.

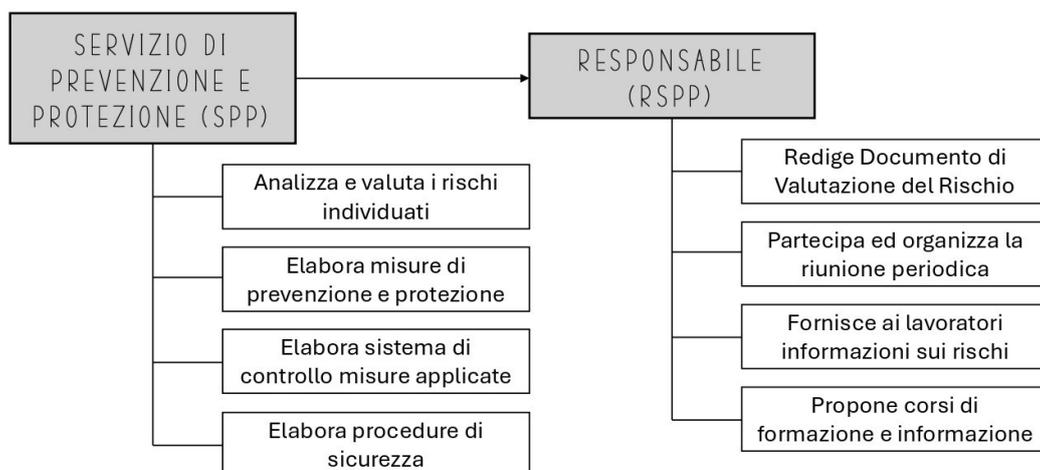


Figura 2.6. Schema riassuntivo incarichi del Servizio di Prevenzione e Protezione e della figura del Responsabile

MEDICO COMPETENTE (MC)

È soggetto consulente del datore di lavoro per quanto riguarda la tutela dei lavoratori. Per essere nominato tale deve possedere una specializzazione oppure libera docenza in medicina del lavoro o in medicina preventiva dei lavoratori. Il medico competente può essere dipendente di una struttura esterna, privata o pubblica, convenzionata con l'azienda, libero professionista oppure dipendente del datore di lavoro.

È tenuto a cooperare con datore di lavoro e RSPP per la redazione del documento di valutazione del rischio e la predisposizione delle misure per la tutela della salute dei lavoratori. Deve visitare gli ambienti di lavoro almeno una volta all'anno, esprimere giudizi di idoneità sulle mansioni specifiche in relazione ai rischi di tipo ambientale e collaborare alla predisposizione del servizio di pronto soccorso in base ai rischi presenti e al tipo di lavorazioni coinvolte. Inoltre, partecipa alla formazione dei lavoratori per la salute e sicurezza sul luogo di lavoro.

È suo compito programmare ed effettuare la sorveglianza sanitaria, ovvero valutare l'idoneità dei dipendenti alla loro mansione con l'obiettivo di prevenire malattie professionali e tutelare la salute del lavoratore. In particolare, si occupa di:

- istituire e mantenere aggiornata una cartella sanitaria per ogni lavoratore;
- consegnare al datore di lavoro e al lavoratore stesso la documentazione in suo possesso, mantenendo il segreto professionale;
- fornire informazioni ai lavoratori sugli accertamenti a cui vengono sottoposti, sull'importanza della sorveglianza sanitaria, le misure di prevenzione e la necessità di controllarsi nel caso di prolungata esposizione a situazioni di rischio.

All'art.41 del d.lgs. 81/08 sono definite le modalità e le finalità degli accertamenti medici che il datore di lavoro è tenuto a garantire ai propri dipendenti. Questi accertamenti, che rappresentano uno strumento fondamentale per prevenire le malattie professionali e tutelare il benessere dei dipendenti, possono includere: visita medica, esami clinici e di laboratorio oppure indagini diagnostiche. Al termine della visita il medico deve esprimere un giudizio di idoneità alla mansione specifica. In caso di inidoneità lo deve comunicare al datore di lavoro che ha l'obbligo di provvedere a garantire al lavoratore una soluzione lavorativa equivalente.

Nei piccoli cantieri di durata inferiore a 200 giorni lavorativi, la visita all'ambiente di lavoro da parte del medico è sostituita o integrata con l'esame dei piani di sicurezza, nel caso in cui abbiano caratteristiche simili a quelli già visitati.

RAPPRESENTANTE DEI LAVORATORI PER LA SICUREZZA (RLS)

Persona eletta in rappresentanza dei lavoratori a livello territoriale o di comparto per verificare le condizioni di salubrità e sicurezza dei luoghi di lavoro. La sua elezione è obbligatoria in tutte le aziende o unità produttive.

- Per aziende fino a 15 dipendenti viene eletto direttamente dai lavoratori oppure è nominato per più aziende un Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza in ambito Territoriale (RLST), che ha libertà di accesso a tutti i cantieri di sua competenza;
- Per aziende con oltre 15 dipendenti viene eletto dalle rappresentanze sindacali e, in assenza di queste, dai lavoratori.

Ha il compito di tutelare i lavoratori e sensibilizzare al tema della sicurezza, viene infatti consultato sui contenuti di DVR e POS. Inoltre, ha il diritto di ricevere il PSC almeno dieci giorni prima dell'inizio dei lavori e può proporre variazioni al riguardo che vengono riferite ai coordinatori di sicurezza per eventuali integrazioni.

Qualora si rendano necessarie modifiche ai piani di sicurezza durante le lavorazioni, i datori di lavoro sono tenuti a consultare il Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza.

Nel caso di lavori di durata superiore a 200 giornate lavorative sono tenuti a partecipare alle riunioni insieme a datore di lavoro, RSPP, medico competente e CSE. Invece, per i lavori di durata inferiore a 200 giornate lavorative, la riunione viene sostituita con la consultazione dei rappresentanti.

In generale il rappresentante può accedere a tutti i luoghi di lavoro, ai documenti relativi alla sicurezza e salute sul lavoro e alle riunioni in cui si discutono tali tematiche. Ha diritto a seguire corsi di formazione sulla sicurezza e salute sul lavoro. Viene consultato su questioni fondamentali come la scelta delle persone incaricate di gestire la prevenzione incendi, il primo soccorso e l'evacuazione, oltre che sulla figura del medico competente. Inoltre, ha il potere di rivolgersi alle autorità competenti se ritiene che le misure adottate dall'azienda non siano sufficienti a garantire la sicurezza dei lavoratori.

Il suo lavoro deve essere agevolato dal datore, che deve rispettare i tempi e fornire i mezzi necessari per l'esercizio delle sue funzioni.

LAVORATORI

D.lgs. 81/08 - **Art. 2** – Definizione

Lavoratore: *persona che, indipendentemente dalla tipologia contrattuale, svolge un'attività lavorativa nell'ambito dell'organizzazione di un datore di lavoro pubblico o privato, con o senza retribuzione, anche al solo fine di apprendere un mestiere, un'arte o una professione, esclusi gli addetti ai servizi domestici e familiari.*

I lavoratori sono quindi coloro che beneficiano delle norme di sicurezza e igiene del lavoro.

Il T.U. comunque ha ampliato i loro obblighi per renderli soggetti attivi in materia di sicurezza; infatti, vengono formati e informati a riguardo. Ciascun operatore deve prendersi cura della propria sicurezza e deve essere consapevole che le proprie azioni potrebbero danneggiare i colleghi. In particolare, sono tenuti a osservare le istruzioni ricevute e indossare i dispositivi di protezione messi a disposizione, adoperare macchinari e strumenti in maniera corretta, segnalare immediatamente eventuali situazioni di rischio e sottoporsi a controlli sanitari indicati in normativa. Devono inoltre partecipare ai programmi di formazione e addestramento predisposti dal datore di lavoro.

Oltre agli obblighi precedenti, le maestranze sono soggette anche ad alcuni divieti quali non rimuovere o modificare segnaletica all'interno dell'area di lavoro e non compiere azioni non di loro competenza che potrebbero compromettere la sicurezza per sé stessi e per gli altri lavoratori.

In base a quanto scritto, è evidente che l'operatore in questione rientra nella categoria dei lavoratori dipendenti. La normativa distingue chiaramente l'operatore dipendente dal lavoratore autonomo, definendo per ogni figura specifici diritti e doveri.

D.lgs.81/08 - **Art.89** - Definizione

Lavoratore autonomo: *persona fisica la cui attività professionale contribuisce alla realizzazione dell'opera senza vincolo di subordinazione.*

I lavoratori autonomi sebbene non siano vincolati da un rapporto di subordinazione come i dipendenti, ma intervengano nella realizzazione fornendo una specifica opera professionale, sono comunque tenuti a rispettare una serie di norme e obblighi in materia di sicurezza sul lavoro.

Sono responsabili dell'organizzazione del proprio lavoro e degli strumenti utilizzati. Infatti, devono impiegare attrezzature idonee e dispositivi di protezione individuale seguendo quanto stabilito anche per i lavoratori dipendenti, al fine di garantire la propria sicurezza e quella dei colleghi. Collaborano col committente e si adeguano alle indicazioni di sicurezza fornite dal coordinatore di sicurezza in fase di esecuzione, rispettando quanto scritto nel PSC e nel POS. Nel caso operino in ambienti di lavoro esposti a rischio possono essere obbligati a seguire corsi di formazione sulla sicurezza.

CARATTERISTICA	LAVORATORE DIPENDENTE	LAVORATORE AUTONOMO
<i>Subordinazione</i>	Sì	No
<i>Formazione</i>	Obbligatoria	Facoltativa
<i>Attrezzature</i>	Mancato possesso	In suo possesso
<i>Sicurezza</i>	In capo al datore di lavoro	In capo al lavoratore stesso
<i>Retribuzione</i>	A tempo	In base al risultato

Tabella 2.3. Differenze tra lavoratore dipendente e autonomo

Riassumendo schematicamente:

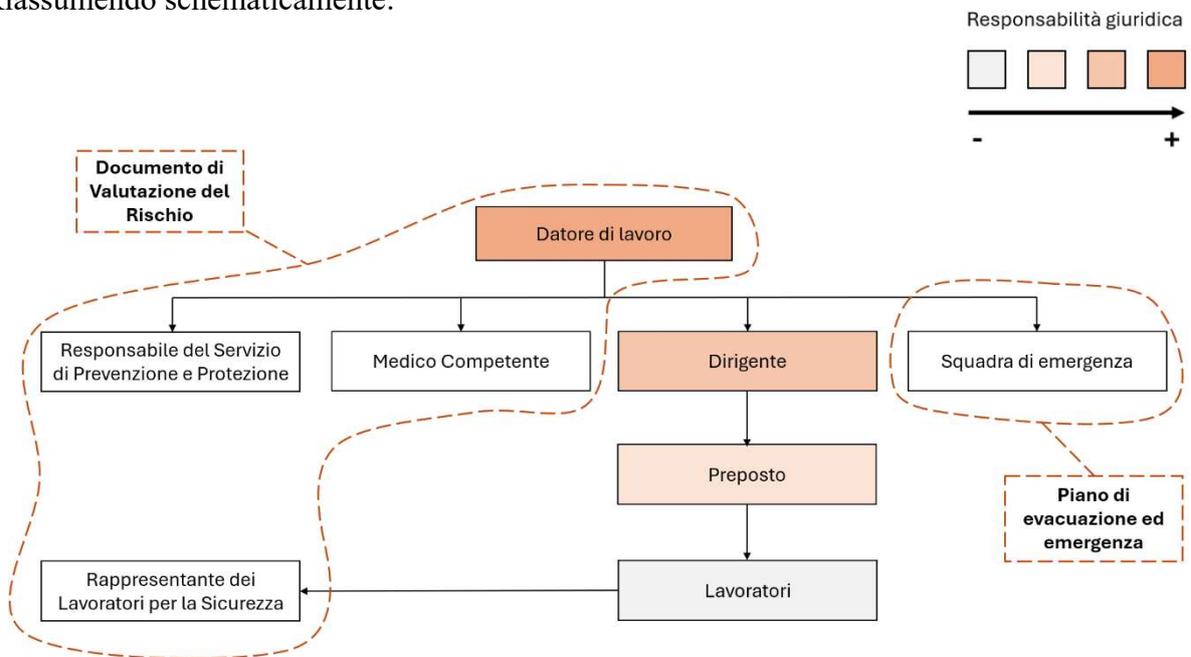


Figura 2.7. Schema riassuntivo delle relazioni e gerarchia tra i soggetti dell'appaltatore

2.4 Attività di vigilanza e attività di assistenza, informazione e consulenza

Per garantire un ambiente di lavoro sano e sicuro queste attività sono essenziali poiché prevedono un insieme di azioni orientate al miglioramento nella gestione delle condizioni di sicurezza. Sebbene l'obiettivo di fondo sia analogo si possono evidenziare differenze tra le tipologie.

- **Attività di vigilanza:** verificano periodicamente l'adeguatezza dell'ambiente lavorativo alle norme vigenti;
- **Attività di assistenza:** supportano la redazione dei documenti obbligatori e cooperano per la definizione delle misure di sicurezza idonee per le imprese;
- **Attività di consulenza:** analizzano i rischi connessi alle lavorazioni, collaborano nella gestione delle emergenze;
- **Attività di informazione:** informano i lavoratori sulle normative vigenti, i rischi lavorativi e sensibilizzano alla sicurezza.

La differenza principale è che le attività di vigilanza sono le uniche che ricorrono alla repressione ogni qual volta non siano rispettate le prescrizioni, le altre invece non hanno obbligo di riferire le inadempienze al ministero, possono però suggerire rimedi.

A livello normativo si fa riferimento agli art. 23 e 24 del d.lgs. 626/1994 che sono stati poi riportati nel d.lgs. 81/08 agli articoli 13 e 10, rispettivamente. Il primo articolo riguarda le attività di vigilanza, mentre il secondo le altre.

- **ATTIVITÀ DI VIGILANZA**

D.lgs.81/08 - Art.13

La vigilanza sull'applicazione della legislazione in materia di salute e sicurezza nei luoghi di lavoro è svolta dalla azienda sanitaria locale competente per territorio, dall'Ispettorato nazionale del lavoro e, per quanto di specifica competenza, dal Corpo nazionale dei vigili del fuoco, nonché per il settore minerario, [...] dal Ministero dello sviluppo economico, e per le industrie estrattive di seconda categoria e le acque minerali e termali dalle regioni e province autonome di Trento e di Bolzano.

Si individuano quattro principali organi che si occupano di vigilanza: Aziende Sanitarie Locali, Vigili del Fuoco, Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro, Ispettorato Nazionale del Lavoro. Questi controllano che vengano rispettati gli obblighi di sicurezza sul lavoro previsti dal decreto.

1) Aziende Sanitarie Locali (ASL)

Hanno il compito di redigere mappe di rischio, controllare agenti nocivi presenti nel luogo di lavoro e individuare opportune soluzioni per eliminare, o almeno, ridurre i rischi. Devono vigilare su macchine, impianti, DPI e DPC e sulla conformità degli ambienti di lavoro. Inoltre, devono verificare la compatibilità degli strumenti urbanistici con le esigenze di salvaguardia ambientale per accertarsi che le attività produttive siano svolte in un contesto che non metta a rischio la salute e la sicurezza dei lavoratori.

Per svolgere tutte queste operazioni sono anche addetti a presentare le denunce, richiedere autorizzazioni necessarie e gestire eventuali esoneri previsti dalla legge.

2) Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco

L'incarico principale è la prevenzione di incendi per cui i Vigili del Fuoco devono controllare i registri antincendio, gli estintori e la formazione del personale. Le attività principali incluse nel servizio di prevenzione incendi sono: predisposizione di norme, prove al fine del rilascio delle omologazioni, esami preventivi, visite di controllo della realizzazione delle prescrizioni, visite di collaudo, formazione e addestramento delle squadre antincendio degli stabilimenti. I tempi e i programmi dei corsi di formazione sono in funzione del rischio di incendio che può essere basso, medio o alto.

3) Ispettorato Nazionale del lavoro (INL)

Sono stati introdotti a inizio Novecento, per cui hanno ormai una storia lunga alle spalle che ha portato a un'evoluzione nelle loro responsabilità negli anni. In passato avevano il compito di verificare il rispetto di tutte le leggi sul lavoro, reprimere illeciti, conoscere le condizioni e lo svolgimento della produzione nazionale e delle singole attività produttive, compiere indagini per volere del Ministero del Lavoro e Previdenza Sociale.

Al giorno d'oggi l'ufficio adibito a ispettorato del lavoro si occupa di collaudi e verifiche di impianti, ricevimento di denunce di malattia professionale, azione di vigilanza limitatamente a attività che portano rischi elevati, secondo programmi predefiniti con l'ASL per evitare sovrapposizioni di interventi.

Dagli anni Settanta gli ispettorati hanno funzione di polizia giudiziaria e in caso di reato sono obbligati a fare rapporto all'Autorità giudiziaria, mentre le ASL esercitano attività di vigilanza ordinaria.

A seguito di una recente norma di legge, nelle regioni e province d'Italia gli Ispettorati del lavoro sono stati unificati con gli Uffici del lavoro creando così le Direzioni Regionali e Provinciali del lavoro.

4) Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro (INAIL)

L'Inail è l'ente nazionale per la sicurezza nei luoghi di lavoro che ha messo a disposizione una banca dati contenente informazioni statistiche per analizzare il fenomeno degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali. Tra i suoi compiti principali è incaricata di vigilare sulla conformità degli apparecchi industriali, di sollevamento e degli impianti, sulle denunce di infortunio e malattie professionali e sulla conformità dei requisiti delle attrezzature a disposizione dei lavoratori.

Inoltre, ha una funzione assicurativa e divulgativa. Si occupa di iniziative per la promozione e la diffusione della cultura della sicurezza che riguarda: raccolta e diffusione di informazioni in materia di rischio e danno, promozione della tutela della salute e della prevenzione degli infortuni, attività formative per la diffusione di buone pratiche di sicurezza e gestione degli infortuni.

Siccome lo Stato ha stabilito l'obbligo di assicurare i lavoratori addetti ad attività rischiose contro i danni fisici ed economici che possono portare a infortuni o malattie professionali causati dalle attività stesse, l'Inail garantisce un'assicurazione obbligatoria. Al lavoratore che subisce un infortunio sul lavoro o contrae una malattia professionale si assicura:

- l'indennizzo per la mancata retribuzione;
- il risarcimento per il danno;
- il massimo recupero possibile della capacità lavorativa perduta;
- il sostegno economico ai familiari in caso di morte.

• ATTIVITÀ DI ASSISTENZA, INFORMAZIONE E CONSULENZA

D.lgs. 81/08 - Art.10

Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, tramite le AA.SS.LL. del SSN, il Ministero dell'interno tramite le strutture del Corpo nazionale dei vigili del fuoco, l'Istituto superiore per la prevenzione e la sicurezza sul lavoro (ISPESL), il Ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali, il Ministero dello sviluppo economico per il settore estrattivo, l'Istituto nazionale per l'assicurazione contro gli infortuni sul lavoro (INAIL), l'Istituto di previdenza per il settore marittimo (IPSEMA), gli organismi paritetici e gli enti di patronato svolgono, anche mediante convenzioni, attività di informazione, assistenza, consulenza,

formazione, promozione in materia di sicurezza e salute nei luoghi di lavoro, in particolare nei confronti delle imprese artigiane, delle imprese agricole e delle piccole e medie imprese e delle rispettive associazioni dei datori di lavoro.

Questi soggetti sono incaricati di svolgere una serie di operazioni mirate a migliorare la sicurezza e la salute nei luoghi di lavoro, tra cui attività di informazione, assistenza, consulenza, formazione e promozione. Le attività sono indirizzate soprattutto alle piccole e medie imprese, artigiane e agricole, con l'obiettivo di migliorare la sicurezza nei luoghi di lavoro.

I principali soggetti coinvolti sono le Aziende Sanitarie Locali, i Vigili del Fuoco, gli Ispettorati del Lavoro e l'Inail le cui funzioni sono state approfondite precedentemente. Oltre a questi vi sono l'ISPESL, Organismi Paritetici ed Enti di Patronato.

- **Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (ISPESL)**

L'istituzione dell'ISPESL è stata prevista negli anni Settanta al fine di stabilire e garantire, attraverso un organo tecnico-scientifico dipendente dal Ministero della Sanità, standard di igiene e sicurezza sui luoghi di lavoro. È stato coinvolto fino alla sua soppressione con il d.lgs. 78/2010, da quel momento le sue competenze sono state assorbite dall'Inail, difatti l'obiettivo del decreto era quello di unificare le conoscenze e competenze in materia di sicurezza sul lavoro all'interno di un unico ente.

Quindi, l'ISPESL è stato un centro nazionale di informazione, ricerca e documentazione per il servizio sanitario nazionale ed opera per organismi pubblici, privati e per imprese, solo su richiesta. I principali compiti riguardavano: elaborazione dei criteri e delle metodologie per la prevenzione degli infortuni e delle malattie professionali con particolare riguardo all'evoluzione tecnologica degli impianti, dei materiali, delle attrezzature e dei processi produttivi. Inoltre, si occupava di omologazione relativa a nuovi impianti di messa a terra e alla protezione da scariche atmosferiche, a differenza dell'ASL il cui ruolo era la verifica periodica di questi impianti.

- **Organismi Paritetici**

Gli organismi paritetici sono composti da professionisti competenti in materia di sicurezza sul lavoro e hanno il compito di supportare le aziende nell'organizzazione delle misure di sicurezza nel luogo di lavoro e nella formazione. Si possono anche definire enti bilaterali poiché costituiti da datori di lavoro e sindacati dei lavoratori in pari misura.

L'art. 37 del d.lgs.81/08 afferma il dovere dei datori di lavoro di collaborare con gli organismi paritetici nell'attività di formazione dei lavoratori e dei loro rappresentanti.

Nonostante questo, il datore di lavoro non è obbligato a effettuare la formazione attraverso questi enti, ma ad informarli della propria volontà in modo che possano formulare delle proposte a riguardo.

D. lgs 81/08 – **Art. 2** – Definizione

Organismi paritetici: organismi costituiti a iniziativa di una o più associazioni dei datori e dei prestatori di lavoro comparativamente più rappresentative sul piano nazionale, quali sedi privilegiate per la programmazione di attività formative e l'elaborazione e la raccolta di buone prassi a fini prevenzionistici; lo sviluppo di azioni inerenti alla salute e alla sicurezza sul lavoro; l'assistenza alle imprese finalizzata all'attuazione degli adempimenti in materia; ogni altra attività o funzione assegnata loro dalla legge o dai contratti collettivi di riferimento.

Un esempio di organismo paritetico è il Comitato Paritetico Territoriale (CPT) , ente senza scopo di lucro che opera in un ambito territoriale definito e si occupa di prevenzione infortuni, igiene e ambiente di lavoro. È composto sia da rappresentanti delle imprese che da rappresentanti dei lavoratori. La composizione paritetica è fondamentale per garantire che le decisioni prese siano equilibrate e tengano conto degli interessi di entrambe le parti.

Tra le attività affidate al CPT nell'ambito del settore delle costruzioni vi sono: individuare i criteri generali e modalità di adempimento alle nuove normative in materia di sicurezza, salute e igiene, diffondere la cultura della sicurezza, elaborare i contenuti dei corsi di formazione per i datori di lavoro, promuovere iniziative di formazione per RLS e RSPP.

Inoltre, il CPT effettua ispezioni presso i cantieri per individuare e segnalare irregolarità relative alla sicurezza, collabora con le imprese e RLS per individuare misure di prevenzione e protezione, organizza iniziative di informazione, promuove la diffusione della cultura e organizza corsi di formazione.

IL PROGETTO DELLA SICUREZZA

Il progetto della sicurezza è un processo sistematico, che mira a identificare, valutare e controllare i rischi presenti in un cantiere edile. Il processo ciclico è identificato con l'acronimo PDCA (Fig.3.1) e si articola nelle fasi di pianificazione, attuazione, monitoraggio e riesame del sistema. Infatti, per garantire un ambiente di lavoro sicuro e salubre, è fondamentale che la sicurezza venga integrata fin dalle prime fasi del progetto e continuamente monitorata per apportare misure correttive quando necessario.

La parte di pianificazione (**Plan**) prevede di individuare e analizzare i rischi per i lavoratori, definire i soggetti esposti e identificare le prescrizioni delle leggi. Con l'attuazione (**Do**) si stabiliscono obiettivi specifici e programmi per il raggiungimento di questi. Il monitoraggio (**Check**) attua attività appropriate per verificare e assicurarsi il rispetto di quanto prefissato ed eventualmente definire azioni correttive. Infine, se necessario si riesamina il sistema (**Act**) per valutare adeguatezza, modificando in caso misure e obiettivi.

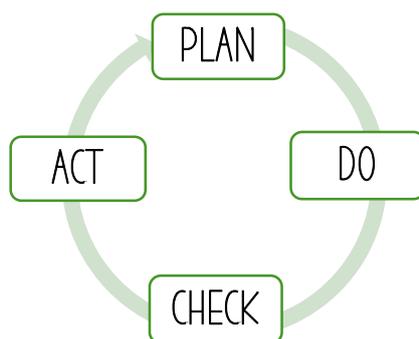


Figura 3.1. Processo ciclico di pianificazione

La pianificazione della sicurezza è una fase progettuale finalizzata alla valutazione delle risorse materiali, umane e finanziarie necessarie per eseguire un'opera.

Il committente ha il compito di commissionare ai suoi tecnici un progetto, tramite il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC) che espliciti tutto il necessario per mettere l'esecutore in grado di raggiungere i risultati attesi in quanto progetto e qualità della vita in cantiere. Il committente è colui intorno al quale ruota il modello di prevenzione dagli infortuni. Deve, infatti, nominare il coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione che redige il PSC e valutare l'affidabilità dell'esecutore.

L'impresa, invece, ha il compito di attuare le misure di prevenzione e protezione conseguenti alla valutazione del proprio Piano Operativo di Sicurezza (POS) per gestire e utilizzare un luogo di lavoro sicuro.

Sarà poi il coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione, nominato sempre dal committente, a verificare l'attuazione da parte delle imprese e dei lavoratori delle misure previste nei piani e aggiornare PSC e fascicolo quando necessario.

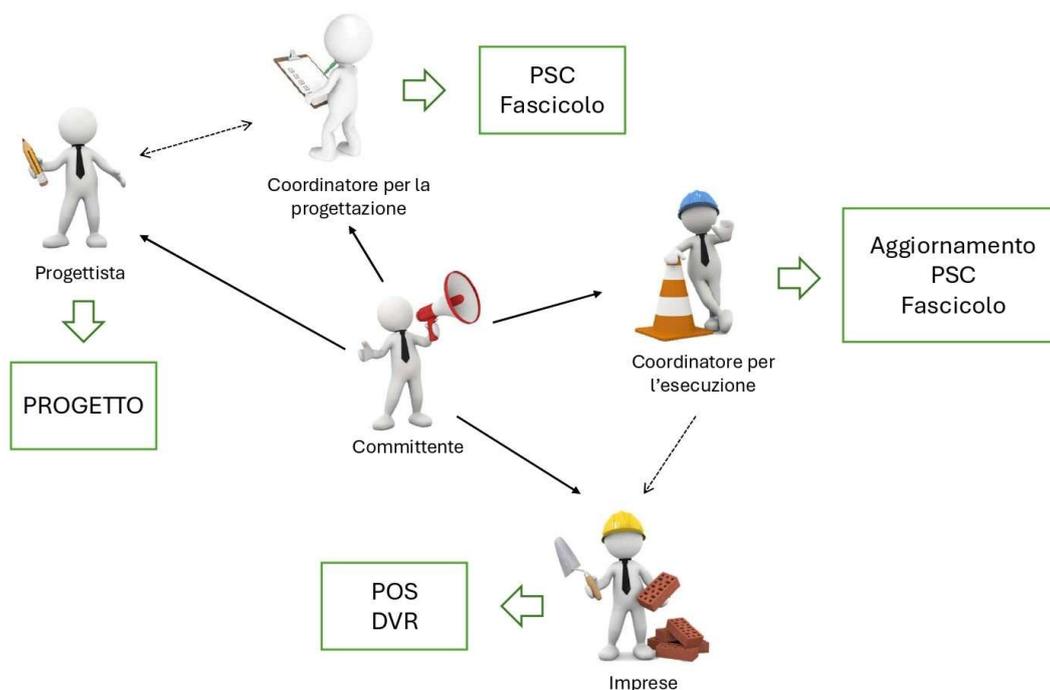


Figura 3.2. Relazioni tra i soggetti coinvolti nel progetto e i documenti redatti

3.1 Il Piano di Sicurezza e Coordinamento (PSC)

Il Piano di Sicurezza e Coordinamento è un insieme di elaborati tecnici e progettuali redatti dal coordinatore per la progettazione allo scopo di *prevenire o ridurre al minimo i rischi per la sicurezza e salute dei lavoratori* ² nei luoghi di lavoro. Rappresenta la dimostrazione che l'intervento può essere realizzato in condizioni di sicurezza accettabili e garantisce che la pianificazione della sicurezza prosegua parallelamente alla progettazione dell'opera.

Il PSC è *parte integrante del contratto di appalto* ³, è punto di riferimento vincolante per i soggetti coinvolti che devono necessariamente attuare le prescrizioni riportate; tuttavia, non è un documento rigido. L'impresa, infatti, ha la facoltà di proporre integrazioni al coordinatore nel caso in cui tali soluzioni migliorino il livello di sicurezza dei lavoratori.

² D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, art.100, comma 1

³ D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, art.100, comma 2

Si nota, quindi, come la redazione e l'attuazione di un PSC sia un processo continuo e dinamico. Il piano viene definito dall'art. 100 del d.lgs. 81/08, mentre i contenuti minimi, esplicitati dall'allegato XV, sono i seguenti:

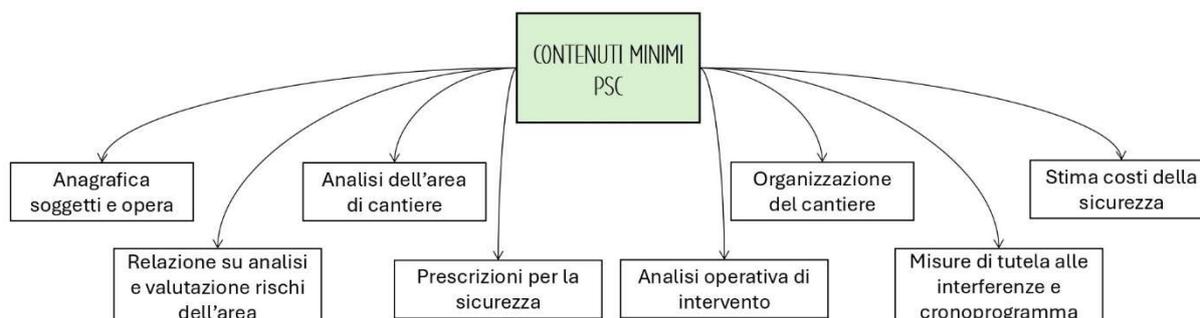


Figura 3.3. Contenuti principali del Piano di Sicurezza e Coordinamento

- a. **Anagrafica soggetti e opera:** indirizzo del cantiere, descrizione del contesto in cui è collocata l'area del cantiere, individuazione dei soggetti aventi compiti di sicurezza con nominativi, descrizione sintetica dell'opera con riferimento alle scelte progettuali-architettoniche-tipologiche.
- b. **Analisi e valutazione dei rischi:** relazione sui rischi residui, ovvero che non sono stati eliminati in fase di progettazione, relativi all'area, all'organizzazione del cantiere, alle lavorazioni e alle interferenze tra le lavorazioni. I rischi vengono analizzati, valutati ed eliminati tramite opportune soluzioni. Il PSC è ammissibile se tutti i rischi residui sono valutano come accettabili.
- c. **Analisi dell'area di cantiere:** analisi del contesto ambientale in cui si svolgeranno i lavori, valutazione di possibili interferenze con le preesistenze e di possibili rischi per il cantiere. Di questa analisi vengono allegati elaborati come foto, schizzi, rilievi.
- d. **Organizzazione del cantiere:** caratteristiche del cantiere tramite la rappresentazione grafica con il layout di cantiere, planimetria in cui sono rappresentati viabilità, disposizione degli spazi, area di cantiere, attrezzature, postazioni di lavoro, ecc...
La tavola è eseguita per ogni fase lavorativa e rappresenta graficamente gli studi svolti dal coordinatore.
- e. **Analisi operativa dell'intervento:** indicazioni di carattere temporale, organizzativo e tecnico dell'intervento specifico.
- f. **Prescrizioni per la sicurezza:** misure preventive e protettive da adottare e definizione di dispositivi di protezione individuali e collettivi che, proteggendo i lavoratori, evitano

il manifestarsi di situazioni pericolose. Modalità di gestione delle emergenze, dettagliando le procedure di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione.

- g. **Misure di tutela alle interferenze e cronoprogramma:** cronoprogramma dettagliato dei lavori per individuare attività interferenti. Le attività, in base alla complessità, sono scomposte in fasi e sottofasi di cui è definita la durata. Per le lavorazioni interferenti vengono previste misure di sfasamento spazio – temporale e nel caso in cui l'interferenza permanga si stabiliscono misure di prevenzione e protezione.
- h. **Stima dei costi della sicurezza:** stima dei costi relativi a scelte progettuali, misure preventive e protettive previste dal piano per ridurre i rischi. Deve essere formulata con criteri analitici che riportino in dettaglio la composizione del prezzo, le modalità di misurazione, le quantità e il prezzo unitario.

Il PSC non deve contenere una restituzione fedele di quanto definito dalla normativa, ma deve riportare l'applicazione operativa al luogo, all'oggetto e al cantiere di riferimento.

Per esser di immediata comprensione a tutti i soggetti coinvolti è composto di una relazione tecnica e di una serie di elaborati grafici, in modo particolare di planimetria dell'organizzazione del cantiere nelle varie fasi e, se la complessità del progetto lo richiede, anche da planimetria degli scavi.

È uno strumento specifico per ogni singolo cantiere, il contenuto infatti è il risultato di scelte progettuali ed organizzative effettuate, in fase di progettazione, da parte del progettista in collaborazione con il coordinatore alla sicurezza. Le scelte progettuali riguardano tecniche costruttive, materiali e tecnologie da impiegare, mentre quelle organizzative la pianificazione temporale e spaziale dei lavori.

L'obiettivo del coordinatore è sempre quello di minimizzare l'impatto del cantiere verso l'ambiente esterno, specialmente all'interno di un contesto urbano.

Queste prime fasi di progettazione risultano indispensabili ai fini della sicurezza perché permettono di determinare in modo corretto le misure preventive e protettive riferite alle varie lavorazioni ed evitare di incorrere in interferenze aggiuntive, che causerebbero non solo un aumento della durata delle attività e dei costi, ma anche una maggior esposizione ai rischi per gli operatori.

Vi sono però dei casi eccezionali in cui non è obbligatorio redigere il piano. La presenza o meno del PSC dipende, infatti, da alcuni fattori, tra cui il numero di imprese coinvolte, la tipologia di

lavori e la complessità dell'intervento. È obbligatorio se in cantiere sono presenti più imprese, sia nel caso di lavori pubblici che privati, invece non è necessario:

- se in cantiere è presente un'unica impresa;
- per interventi di manutenzione ordinaria, anche se è necessario valutare caso per caso le misure di sicurezza;
- per interventi di emergenza destinati a risolvere eventi pericolosi imminenti.

Indipendentemente dalla presenza del PSC, è fondamentale garantire la sicurezza dei lavoratori e adottare misure protettive adeguate ai rischi che si affrontano.

Nonostante le semplificazioni normative, l'applicazione pratica del PSC in cantiere rimane una sfida significativa, a causa della mole di informazioni che spesso ne ostacola la concreta attuazione. Pertanto, il coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione svolge un ruolo fondamentale nel verificarne l'efficace implementazione attraverso sopralluoghi e riunioni di coordinamento periodiche.

3.2 Il Piano Operativo di Sicurezza (POS)

Il Piano Operativo di Sicurezza è *il documento che viene redatto dall'impresa esecutrice in riferimento al cantiere di interesse ai sensi del art. 17 e dell'allegato XV del d.lgs. 81/08.*⁴

È l'aggiornamento del documento di valutazione dei rischi che dimostra l'applicazione del sistema di sicurezza aziendale, previsto dalla normativa, ed è redatto da ogni impresa, ad eccezione dei lavoratori autonomi.

Si può considerare come la dimostrazione che l'impresa è capace di eseguire i lavori nel rispetto delle regole di sicurezza stabilite dal PSC e comunque tutelando la sicurezza e la salute dei lavoratori. Non si tratta, però, di un nuovo piano di sicurezza sostitutivo del PSC, ma un elaborato differente e complementare, i cui contenuti devono sommarsi a quelli del precedente. Infatti, il PSC rimane il documento fondamentale per la definizione della sicurezza in cantiere, ed è quello a cui il coordinatore deve far riferimento.

Il POS è redatto dal datore di lavoro dell'impresa esecutrice e fa riferimento al cantiere di interesse, per cui deve essere elaborato ogni volta che si opera in un sito differente.

⁴ D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, art. 89, comma 1, lettera h

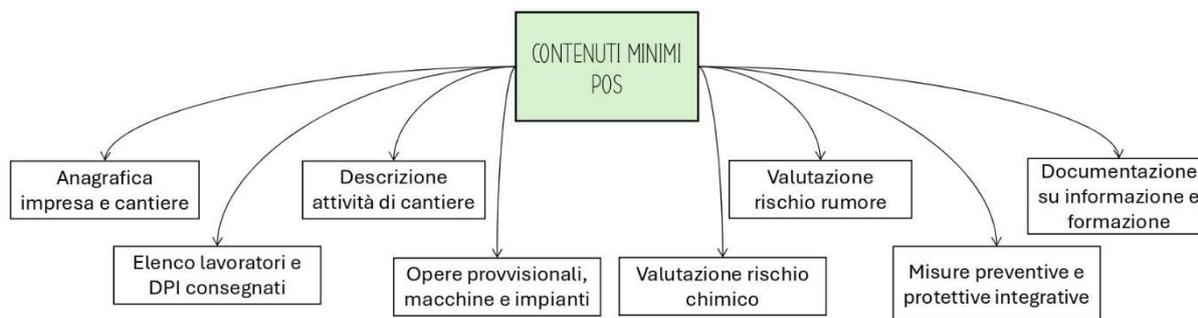


Figura 3.4. Contenuti principali del Piano Operativo di Sicurezza

I contenuti minimi previsti dalla normativa sono i seguenti:

- a. **Anagrafica impresa e cantiere:** nominativo e recapiti di datore di lavoro, addetti alle emergenze in cantiere, medico competente, RSPP, direttore tecnico di cantiere e capocantiere.
- b. **Elenco lavoratori e DPI consegnati:** nominativi, qualifiche, livello di informazione, formazione e addestramento dei lavoratori dipendenti dell'impresa. Organigramma di cantiere con indicazione di compiti e responsabilità dei soggetti e per ciascuno sono indicati anche i dispositivi di protezione individuale forniti.
- c. **Descrizione dell'attività di cantiere:** descrizione delle attività lavorative affidate all'impresa, modalità organizzative ed esecutive e turni lavorativi.
- d. **Opere provvisorie, macchine e impianti:** elenco delle attrezzature da utilizzare, loro adeguatezza e conformità al lavoro da svolgere e alla sicurezza.
- e. **Valutazione rischio chimico:** sostanze pericolose presenti in cantiere o che devono essere utilizzate, con le relative schede di sicurezza che specificano quali comportamenti adottare prima e dopo l'uso.
- f. **Valutazione rischio rumore:** esito del rapporto di valutazione del rischio rumore e delle vibrazioni.
- g. **Misure preventive e protettive integrative:** misure integrative adottate in relazione ai rischi connessi alle lavorazioni in cantiere ed eventuali procedure di dettaglio o complementari richieste nel PSC.
- h. **Documentazione su formazione e informazione:** documentazione fornita ai lavoratori di cantiere.

Prima dell'inizio dei lavori ciascuna impresa esecutrice trasmette il proprio Piano Operativo di Sicurezza all'impresa affidataria, la quale, previa verifica della congruenza rispetto al proprio, lo trasmette al coordinatore della sicurezza per l'esecuzione. I lavori hanno inizio solamente dopo l'esito positivo delle suddette verifiche. I datori di lavoro delle imprese mettono poi a disposizione dei rappresentanti per la sicurezza copia dei precedenti documenti almeno dieci giorni prima dell'inizio dei lavori.

Infine, laddove la redazione del PSC non sia prevista, il POS viene integrato con gli elementi del Piano Sostitutivo di Sicurezza (PSS). Quest'ultimo è un documento che l'appaltatore deve redigere e depositare almeno 30 giorni prima dell'inizio dei lavori, in sostituzione del PSC.

3.3 Il Fascicolo dell'Opera

È un documento che contiene le informazioni utili per la prevenzione e protezione dai rischi a cui sono esposti i lavoratori durante la vita utile della costruzione. Il fine è quello di preservare la sicurezza degli operatori anche nelle fasi di manutenzione, successive al completamento del cantiere. Quindi, è un documento che accompagna l'opera dall'inizio alla fine, fornendo tutte le informazioni in grado di facilitare la tutela del personale incaricato dell'esecuzione dei lavori necessari alla gestione dell'opera.

In generale, il documento ha lo scopo di valutare i rischi che si possono presentare nelle manutenzioni dell'opera e definire misure di sicurezza da adottare durante le fasi successive alla costruzione, per minimizzare le situazioni di rischio e pericolo.

In questo modo, si assicura che l'opera sia gestita in modo sicuro per tutta la sua vita utile, e si costituisce un archivio completo della documentazione tecnica riguardante il fabbricato.

Il fascicolo è curato dal coordinatore alla sicurezza in fase di progettazione ed eventualmente aggiornato dal coordinatore in fase esecutiva quando il progetto è ancora in evoluzione, invece, dopo il termine dei lavori è il committente ad apportare modifiche. È redatto nei casi di manutenzione straordinaria ed è composto da tre capitoli:

- Capitolo I: descrizione sintetica delle caratteristiche dell'opera e dei soggetti coinvolti;
- Capitolo II: individuazione dei rischi. Definizione delle tipologie di opere di manutenzione con le rispettive misure preventive e protettive. Informazioni riguardanti

le modalità operative da adottare per utilizzare le dotazioni in sicurezza e mantenerle in piena funzionalità nel tempo;

- Capitolo III: riferimenti alla documentazione di supporto esistente.

Le misure preventive e protettive previste dal documento sono, ad esempio, ascensori, passerelle, ponti sospesi, punti di ancoraggio per protezioni individuali e collettive, ancoraggi per i ponteggi fissi, ponteggi mobili, approvvigionamento energia.

In base alla misura considerata possono essere previste soluzioni per il futuro oppure realizzati subito in cantiere. Per permettere l'esecuzione dei lavori in sicurezza il fascicolo deve contenere tutte le informazioni inerenti alle attrezzature da utilizzare come tipologia, posizione, carichi ammissibili e periodicità di manutenzione.

Il terzo capitolo comprende la documentazione di supporto con cui si fa riferimento a tutti i dati riguardanti gli interventi sull'opera, sia effettuati che previsti. Questo permette di avere una visione completa dello stato dell'edificio, di conoscere la struttura architettonica, gli impianti installati e le problematiche già affrontate per pianificare gli interventi di manutenzione in modo più efficiente e sicuro.

Infine, il fascicolo fornisce le linee guida per evitare i rischi derivanti da interferenze, garantendo la sicurezza di tutti gli operatori, nel caso in cui sull'immobile lavorino più squadre contemporaneamente. In questo modo, si evita che i lavori di una squadra mettano a rischio quelli di un'altra o causino danni a terzi.

Ad ogni fabbricato è associato un solo fascicolo, per cui se nel tempo vengono eseguiti vari interventi sullo stesso edificio basta semplicemente aggiornare il documento già esistente.

3.4 Analisi del rischio

In tutti i documenti citati, l'analisi dei rischi emerge come elemento centrale, con l'obiettivo di identificare i pericoli presenti nell'ambiente di lavoro, definire le strategie per mitigarli e implementare misure di sicurezza efficaci a tutela dei lavoratori.

Durante la fase di progettazione è il coordinatore che individua e analizza i rischi legati alle diverse lavorazioni previste e cerca di capire come questi possano interagire tra loro. Quando più attività vengono svolte contemporaneamente nello stesso luogo, infatti, si instaura una correlazione tra i rischi relativi alle singole operazioni che porta a una situazione interferenziale

pericolosa per la quale sono richieste misure di prevenzione specifiche. Quindi il compito del coordinatore è la riduzione dei fattori che possono innescare situazioni critiche dal punto di vista organizzativo e interferenziale.

Innanzitutto, occorre distinguere il concetto di rischio e pericolo. Dal d.lgs. 81/08 – **Art. 2** vengono date le seguenti definizioni:

- *Pericolo = proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore avente il potenziale di causare danni.*
- *Rischio = probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione a un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione.*

In sintesi, il pericolo è la fonte potenziale del danno, mentre il rischio è la probabilità che il danno si verifichi realmente.

La definizione di danno non viene esplicitata dal decreto ma si può intendere come la dimensione di un infortunio, o di una malattia professionale, causata da un determinato pericolo. Per il lavoratore l'intensità del danno può variare, può essere più o meno significativa a causa della frequenza e della durata dell'esposizione al rischio. Nel caso in cui si riscontri la presenza di agenti che possono causare danni gravi al dipendente, è necessario effettuare una programmazione degli interventi allo scopo di ridurre o eliminare la situazione rischiosa.

Il d.lgs. 81/08 distingue i rischi presenti in ambiente lavorativo in:

- Rischi fisici (meccanici, termici, elettrici e radiazioni);
- Rischi chimici (aerosol e liquidi);
- Rischi biologici (batteri, funghi, virus).

L'entità del rischio viene espressa analiticamente come il prodotto tra la probabilità P che si verifichi l'evento rischioso per l'operatore e il danno di una certa gravità o magnitudo M che potrebbe derivarne:

$$R = P \cdot M$$

Il progettista ricavando questo valore studia la riduzione di uno dei due fattori o di entrambi al fine di ottenere un valore di rischio adeguato.

I metodi di riduzione di rischio si fondano su due principi fondamentali: prevenzione e protezione.

- la **prevenzione** consiste nell'evitare o ridurre il verificarsi di eventi dannosi per la salute e sicurezza dei lavoratori, diminuendo la frequenza dell'evento, ma non la gravità;
- la **protezione**, invece, permette di proteggere i lavoratori dai rischi residui limitando il danno causato dall'evento.

In pratica, la prevenzione riduce il valore complessivo del rischio R attraverso una diminuzione della probabilità P ; mentre, la protezione riduce in modo equivalente operando sul valore del danno D .

Benché il risultato sia lo stesso, in ambito di sicurezza sul lavoro si prediligono le misure di prevenzione poiché l'obiettivo principale è quello di evitare l'accadimento di situazioni pericolose e infortunistiche per i lavoratori, non solo ridurre l'entità.

La riduzione del rischio può essere visualizzata a livello grafico con le curve di isorischio (Fig.3.5) tramite lo spostamento della curva a un valore di rischio inferiore.

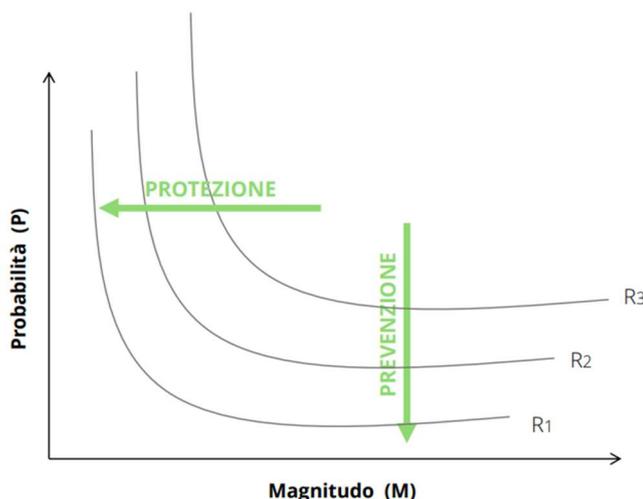


Figura 3.5. Curve di isorischio

La sicurezza in cantiere, però, spesso viene garantita utilizzando misure di protezione dei lavoratori ovvero i dispositivi di protezione individuale (DPI) e i dispositivi di protezione collettiva (DPC), senza eseguire degli studi approfonditi che vadano a ridurre in modo efficace i fattori di rischio. Si riconosce quindi come la formazione dei professionisti sia fondamentale in ambito di sicurezza per ottenere dei risultati adeguati e duraturi nel tempo.

Individuati i rischi presenti nell'ambiente di lavoro si procede con lo step successivo ovvero la **valutazione dei rischi**. Con questo termine si intende la *valutazione globale e documentata di*

*tutti i rischi per la salute e sicurezza dei lavoratori presenti nell'ambito dell'organizzazione in cui essi prestano la propria attività, finalizzata ad individuare le adeguate misure di prevenzione e di protezione e ad elaborare il programma delle misure atte a garantire il miglioramento nel tempo dei livelli di salute e sicurezza.*⁵

La valutazione è una procedura analitica che permette al datore di lavoro di stimare il livello di rischio e adottare idonee misure per garantire la sicurezza dei propri dipendenti. Queste misure includono:

- eliminare e prevenire i rischi professionali;
- informare e addestrare i lavoratori;
- mettere a disposizione l'organizzazione e i mezzi per attuare le misure necessarie.

Il processo di valutazione dei rischi culmina nella redazione del Documento di Valutazione dei Rischi (DVR), un documento che descrive le modalità con cui l'azienda garantisce la sicurezza sul lavoro. La valutazione dei rischi e la successiva redazione del DVR rappresentano un obbligo primario per ogni datore di lavoro. La procedura standard di valutazione dei rischi (Fig. 3.6), prevista all'interno dell'UE, stabilisce una serie di passaggi da seguire.



Figura 3.6. Passaggi fondamentali per la valutazione dei rischi

Si procede quindi raccogliendo e analizzando tutte le informazioni relative all'evento dannoso quali l'ambiente, le modalità operative e l'esposizione.

Uno strumento utile, al datore di lavoro e ai suoi collaboratori, per individuare i fattori di rischio consiste nell'utilizzo delle check list o liste di controllo. Possono essere vantaggiose nella predisposizione del documento di valutazione dei rischi, in quanto permettono di non trascurare situazioni pericolose sconosciute e di verificare la conformità di ambienti, attrezzature di lavoro e macchine.

Se i rischi individuati sono già sufficientemente controllati allora non occorrono ulteriori approfondimenti, se invece vi sono elementi di incertezza bisogna passare a un'analisi quantitativa del rischio.

⁵ D.Lgs. 9 aprile 2008, n. 81, art. 2, comma 1, lettera q

Si procede, quindi, calcolando il rischio in base a quanto definito dalla formula sopra citata, come il prodotto tra probabilità e magnitudo. Quest'ultima spesso viene indicata anche come D (danno) oppure G (gravità).

Per entrambi i fattori si definiscono delle scale di valutazione (Tab. 3.1) basate su un punteggio adimensionale: una scala per la probabilità di accadimento dell'evento e una per la gravità del danno per il lavoratore.

PROBABILITÀ (P)	DEFINIZIONE	GRAVITÀ (G)	DEFINIZIONE
4	Altamente probabile	4	Gravissimo
3	Probabile	3	Grave
2	Poco probabile	2	Medio
1	Improbabile	1	Lieve

Tabella 3.1. Scale di valutazione probabilità e gravità

Il metodo viene riproposto per tutti gli eventi dannosi e l'incrocio dei risultati viene poi visualizzato all'interno di una matrice (Tab. 3.2). La suddetta griglia è composta dalla gravità dell'accadimento sull'asse X in ordine crescente e probabilità dell'evento sull'asse Y.

Dal diagramma si ottengono una serie di combinazioni che permettono di determinare le aree di rischio residuo e stabilire le misure correttive conseguenti.

CALCOLO LIVELLO RISCHIO		GRAVITÀ ACCADIMENTO (G)			
		1	2	3	4
PROBABILITÀ ACCADIMENTO (P)	1	1	2	3	4
	2	2	4	6	8
	3	3	6	9	12
	4	4	8	12	16

RISCHIO	LIVELLO	AZIONI CONSEGUENTI
1-2	Basso	Nessuna azione formale, costante monitoraggio nel tempo
3-6	Accettabile	Nessuna azione formale, monitoraggio puntuale
8-9	Medio	Misure correttive, aggiornamento procedure, attività di formazione e addestramento, nuove tecnologie...
12-16	Elevato	Misure correttive, investimento economico, aggiornamento procedure, attività di formazione e addestramento, nuove tecnologie...

Tabella 3.2. Calcolo del livello di rischio

Dalle tabelle si nota che all'aumentare del livello di rischio, aumentano anche le azioni che l'azienda deve attuare per gestire quel determinato evento dannoso.

Il rischio residuo va gestito con procedure, formazione, addestramento e dispositivi di protezione. Ulteriori soluzioni che si possono adottare per ridurre l'entità del rischio sono: modifiche al processo produttivo (per esempio evitare l'attività) oppure rimozione della fonte di rischio.

Una volta applicate le strategie più opportune si deve continuare a osservare il rischio, programmando il monitoraggio e la revisione delle misure stesse per apportare eventuali migliorie.

3.4.1 DVR e DUVRI

Entrambi documenti che vengono stilati per evidenziare rischi presenti nell'ambito lavorativo e adottare soluzioni migliorative.

Il **Documento di Valutazione dei Rischi (DVR)** è il documento obbligatorio che, a seguito della valutazione dei rischi, elenca tutti i potenziali pericoli per la salute e la sicurezza dei lavoratori e le misure adottate dall'azienda per prevenirli e proteggerli.

L'obbligo è applicato a tutte le aziende con almeno un dipendente, escludendo quelle senza dipendenti come le imprese familiari e i liberi professionisti.

È elaborato dal datore di lavoro in collaborazione con altre figure che si occupano di sicurezza, in particolare:

- il responsabile del servizio di prevenzione e protezione (RSPP) che partecipa alla definizione delle misure di protezione e prevenzione;
- il rappresentante dei lavoratori (RLS) che viene consultato preventivamente sui contenuti della valutazione;
- il medico competente (MC) che contribuisce a valutare i rischi specifici in relazione alla salute dei lavoratori e si occupa di predisporre il protocollo di sorveglianza sanitaria.

Il datore di lavoro ha a disposizione 90 giorni dall'apertura dell'attività per redigere il documento, che deve poi essere conservato in azienda, datato e firmato, per essere sempre consultabile. È inoltre obbligatorio predisporre una copia, firmata da tutte le figure coinvolte nel processo di valutazione, da esibire a richiesta degli organi di vigilanza (ASL, INPS, INAIL

o Vigili del Fuoco) in caso di ispezioni. La mancata o incompleta compilazione del documento comporta l'applicazione di sanzioni amministrative per il datore di lavoro.

La valutazione dei rischi deve riguardare tutti i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, scelta delle attrezzature di lavoro, delle sostanze impiegate e dei luoghi di lavoro. Quindi deve contenere:

- anagrafica aziendale;
- descrizione ambiente lavorativo;
- descrizione fasi lavorative;
- individuazione delle mansioni che espongono i lavoratori a rischi specifici;
- relazione esplicativa di tutti i rischi specifici e i criteri per la valutazione;
- misure di prevenzione e protezione e DPI previsti a seguito della valutazione;
- programma delle misure di miglioramento della sicurezza;
- organigramma aziendale, ruoli, competenze (RSPP, RLS, MC);
- procedure per l'attuazione delle misure.

Il documento deve esser aggiornato ogni qualvolta vi siano cambiamenti in occasione di modifiche al processo produttivo, all'organizzazione del lavoro, all'evoluzione della tecnica di prevenzione e protezione oppure a seguito di infortuni gravi sul lavoro. In conseguenza delle variazioni apportate vanno aggiornate anche le misure di prevenzione.

Invece, nel caso di affidamento dei lavori, servizi o forniture in appalto, all'interno della propria azienda si redige il DUVRI.

Il Documento Unico di Valutazione dei Rischi Interferenziali racchiude le misure per evitare o ridurre i rischi dovuti alle interferenze tra le lavorazioni. La sua elaborazione è necessaria quando le attività sono oggetto di appalto. Tale documento deve essere necessariamente allegato al contratto di appalto o di opera e adeguato in funzione dell'evoluzione dei lavori e servizi e forniture. Dal 2013 con il d.lgs. 69 è stato introdotto l'esonero dall'obbligo di redazione del DUVRI per i seguenti casi: servizi di natura intellettuale, forniture di materiali o attrezzature, lavori o servizi di durata non superiore a due giorni.

Il documento non comprende i rischi specifici propri dell'attività delle imprese appaltatrici o dei singoli lavoratori autonomi, ma indica quali misure vanno adottate per minimizzare i rischi interferenziali.

I rischi in contesti di appalto possono derivare dalla sovrapposizione di attività di diversi appaltatori, dai pericoli preesistenti nel luogo di lavoro, da specifiche modalità operative e dalle interazioni dell'appaltatore con terzi occasionalmente presenti.

Il datore di lavoro committente ha il compito di:

- accertarsi dei requisiti tecnici e professionali dell'impresa appaltatrice necessari per eseguire i lavori;
- promuovere la cooperazione ed il coordinamento con l'impresa ai fini della sicurezza;
- fornire ai lavoratori dell'impresa appaltatrice informazioni dettagliate circa i rischi specifici presenti nell'area di lavoro e le misure di prevenzione ed emergenza da adottare.

Come tutti i documenti sulla sicurezza sul lavoro, è un documento dinamico e, pertanto, va aggiornato ogni qualvolta si verificano nuovi rischi da interferenza.

Il DUVRI si concentra esclusivamente sui rischi che nascono dalle interferenze tra diverse attività nello stesso luogo di lavoro. Per tutti gli altri pericoli legati all'attività specifica di ogni impresa valgono l'obbligo di valutazione e gestione del rischio, stesura del DVR e attuazione delle misure di sicurezza necessarie per eliminare o ridurre al minimo tali rischi.

In conclusione, sono entrambi documenti contenenti la valutazione dei rischi presenti sul luogo di lavoro, ma il DUVRI valuta i rischi legati ad una specifica attività all'interno della quale cooperano imprese diverse, il DVR, invece, fornisce la valutazione di tutti i rischi presenti in un'azienda nel suo complesso.

CARATTERISTICA	DVR	DUVRI
<i>Responsabilità della redazione</i>	Datore di lavoro	Datore di lavoro committente
<i>Aggiornamento</i>	Ogni volta vi sono modifiche al processo produttivo o all'organizzazione aziendale	Ad ogni variazione delle condizioni iniziali o modifiche contrattuali
<i>Tipologia di rischi</i>	Rischi specifici all'interno dell'azienda	Rischi interferenziali

Tabella 3.3. Differenze principali tra Documento di Valutazione del Rischio e Documento Unico di Valutazione del Rischio Interferenziale

LA GESTIONE DELLE INTERFERENZE

Il T.U. affronta tutte le tipologie di rischio che si possono presentare all'interno del lavoro in azienda e definisce l'analisi di valutazione che permette di individuare i rischi.

Tuttavia, vi sono dei casi in cui più aziende, ciascuna contraddistinta da rischi specifici, si trovino a svolgere la propria mansione nello stesso luogo e al medesimo momento. In questi casi si parla di rischio interferenziale, un argomento molto delicato ed estremamente attuale che costituisce una delle cause principali di infortunio in cantiere.

L'obiettivo del seguente capitolo è quello di definire l'interferenza e come questa possa essere gestita tramite una precisa programmazione delle lavorazioni nel tempo e nello spazio, grazie anche al supporto di strumenti digitali per la pianificazione.

4.1 Il rischio interferenziale

Innanzitutto, l'interferenza è definita come *la circostanza in cui si verifica un contatto rischioso tra il personale del committente e quello dell'appaltatore o tra il personale di Imprese diverse che operano nella stessa sede aziendale con contratti differenti.*⁶

In altre parole, l'interferenza si riscontra quando c'è mancanza di coordinazione e comunicazione tra più attività che si incrociano nel luogo di lavoro generando una potenziale situazione pericolosa.

Di conseguenza, i rischi da interferenza, detti anche rischi interferenti o interferenziali, si verificano quando due imprese si trovano a svolgere le loro mansioni contemporaneamente nella stessa area lavorativa oppure in successione e la situazione si considera rischiosa solo nel caso in cui la prima attività possa influenzare le condizioni di sicurezza della lavorazione seguente. Si possono quindi distinguere due tipologie di rischio:

- rischi **propri** dell'attività produttiva;
- rischi **prodotti** dal processo produttivo.

In generale, vi sono quindi i rischi fisici derivanti dall'ambiente di lavoro, quelli specifici dell'operazione da eseguire e quelli conseguenti all'attività.

⁶ INAIL, Elaborazione del DUVRI, Valutazione dei rischi da interferenze, 2013

A livello normativo si fa riferimento all'**art.26 del d.lgs. 81/08** in cui sono descritti gli obblighi connessi a contratti d'appalto, d'opera o di somministrazione e alla gestione del rischio che può derivare dall'interazione tra le imprese coinvolte.

In ogni lavoro, regolato da uno qualsiasi dei tipi di contratto precedentemente elencati, esistono sempre un capo e un dipendente. Il primo, il committente, deve assicurarsi che il dipendente o contraente rispetti specifici obblighi e responsabilità.

La committenza deve verificare l'idoneità tecnico – professionale dei subordinati e capire quali pericoli possono insorgere quando più persone o imprese lavorano nello stesso posto. In pratica, il capo deve operare affinché i lavoratori svolgano le loro attività in sicurezza.

All'articolo 26, inoltre, sono individuate le figure rivestite di responsabilità per la sicurezza ovvero datore di lavoro committente e datore di lavoro della ditta appaltante. Il primo deve fornire tutte le informazioni necessarie sui rischi specifici esistenti nell'ambiente di lavoro, le misure di prevenzione e protezione da usare per eliminare o ridurre al minimo il rischio e redigere il DUVRI. Entrambi devono poi cooperare nella fase di attuazione delle misure previste e coordinare gli interventi di prevenzione e protezioni dai rischi a cui sono esposti i lavoratori, per ridurre le interferenze.

L'argomento, in realtà, era già stato introdotto con l'**art.7 del d.lgs. 626/94** in cui si esprimeva l'obbligo di valutare i rischi da interferenza nel caso in cui alcune operazioni fossero affidate a imprese appaltatrici, lavoratori autonomi o enti esterni. L'obiettivo principale era quello di garantire comunicazione e cooperazione tra impresa appaltante e appaltatore.

Per aiutare i datori di lavoro nella valutazione dei rischi da interferenze l'Inail ha elaborato un elenco delle principali tipologie:

- rischi **specifici** sono quelli preesistenti nell'ambiente di lavoro, che si ricavano dal DVR aziendale
- rischi **indotti presunti** sono ipotizzati dal committente in base alla lavorazione che l'appaltatore dovrà eseguire
- rischi **standard** = rischi specifici + rischi indotti presunti
- rischi **indotti effettivi** che l'appaltatore introduce realmente nel luogo di lavoro
- rischi **reali** = rischi standard + rischi indotti effettivi

Nell'ambito della gestione delle interferenze ed eventuali problemi ad esso collegati interviene il coordinatore in fase di progettazione, il quale dovrebbe lavorare a stretto contatto con il

progettista già dalla fase ideativa dell'opera per individuare fin dal principio potenziali pericoli e proporre soluzioni progettuali alternative per eliminarli. Il problema che spesso si riscontra è che il CSP viene nominato alla fine della fase progettuale e quindi l'unica cosa che può fare è prevedere misure successive senza intervenire a pieno sull'agente causante.

Una volta individuata una situazione pericolosa per il lavoratore il coordinatore nel prevedere delle soluzioni deve domandarsi la causa del problema che può essere il luogo di lavoro, un'interferenza o l'attività svolta dall'impresa.

Nei primi due casi è il PSC che deve indicare come ridurre, eliminare il rischio o coordinare le attività, se invece la causa è legata all'impresa è il POS che deve gestirne la sicurezza.

In sostanza, il PSC che deve essere redatto dal coordinatore si occupa dei rischi legati a luogo e interferenze tra lavorazioni, mentre il POS affronta i rischi specifici della singola impresa.

Si può affermare che ogni impresa contribuisca a introdurre dei rischi sul luogo di lavoro, correlati all'attività che deve svolgere, e che uniti ai rischi apportati dalle altre imprese coinvolte si generi una situazione ad alto livello di rischio.

Il rischio da interferenze, quindi, deriva da una situazione di presenza simultanea o successiva di imprese o lavoratori autonomi nello stesso luogo di lavoro. Il rischio è definito dalle ricadute esterne delle attività oppure dalla specifica interazione tra le lavorazioni presenti.

Ogni volta che si identifica un possibile pericolo derivante dall'interazione tra diverse attività in un cantiere (o in un ambiente di lavoro più in generale), bisogna valutare con attenzione la situazione. Sia il coordinatore per la progettazione che l'appaltatore dovranno cercare delle soluzioni pratiche per eliminare o ridurre il rischio. Queste alternative possono riguardare l'organizzazione del lavoro, l'utilizzo di attrezzature particolari per la sicurezza oppure modifiche al progetto iniziale.

Sulla traccia della valutazione dei rischi, anche nel caso di interferenze il processo si articola in alcuni passaggi fondamentali:

- individuazione dell'interferenza;
- valutazione del rischio;
- definizione di soluzioni per eliminare o ridurre il rischio;
- attuazione delle misure previste;
- monitoraggio periodico;
- eventuali modifiche.

In conclusione, la gestione dei rischi da interferenza è un processo continuo che richiede la collaborazione di tutte le figure coinvolte, dal coordinatore, che deve organizzare le attività e garantire la sicurezza, al progettista, che deve modificare e suggerire alternative efficaci per il progetto, ai lavoratori che devono operare in maniera responsabile e razionale.

L'obiettivo finale di tutti è quello di creare un ambiente di lavoro sicuro.

4.2 La programmazione dei lavori

La programmazione dei lavori è normalmente legata alla pianificazione, ovvero al tentativo di ridurre al minimo lo scarto tra l'obiettivo che è stato fissato e ciò che effettivamente si raggiunge. *Se per pianificazione intendiamo la scelta delle attività e la loro sequenza logica, con programmazione indichiamo l'allocazione temporale di dette attività e l'individuazione della loro sequenza logica.*⁷

Di conseguenza con il termine programmazione si fa riferimento all'organizzazione temporale delle attività allo scopo di prevedere gli eventi che si svolgeranno durante le tre fasi di realizzazione dell'opera: progettazione, esecuzione, controllo.

In fase progettuale si analizzano i dati temporali, le risorse e i costi per stabilire un programma dei lavori, mentre in fase esecutiva esaminando i dati di cantiere si gestiscono le informazioni attuando azioni correttive per adattare il cantiere al programma oppure adattare il programma alle necessità del cantiere. L'aggiornamento continuo è fondamentale al fine di utilizzare realmente la programmazione come strumento di controllo operativo ed evitare di abbandonarlo o renderlo un semplice strumento burocratico.

La programmazione mira principalmente a ottimizzare i tempi di intervento e stabilire delle scadenze, ma consente anche di pianificare costi e risorse, elementi interdipendenti che influenzano direttamente la qualità del lavoro.

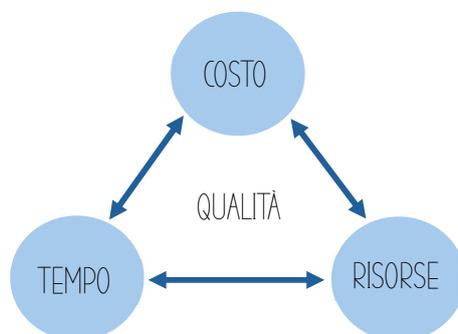


Figura 4.1. Interrelazione tra gli obiettivi progettuali

⁷ M.A. Bragadin, La programmazione dei lavori con i metodi reticolari metodi e strumenti di project time management per la costruzione, Maggioli, 2011.

Distribuire le attività da svolgere nel corso del tempo permette anche di identificare in anticipo eventuali interferenze operative e gestire possibili rischi per i lavoratori. Allegato al PSC, infatti, bisogna inserire il programma delle attività che consente di definire la durata delle stesse, l'eventuale sovrapposizione e ridurre quindi i possibili rischi tra le operazioni da svolgere.

In ambito aziendale si distinguono tre livelli di programmazione:

- livello strategico: permette di definire l'intervento e gli obiettivi a lungo termine in relazione alla direzione strategica aziendale;
- livello tattico: gestione a medio termine in cui si individuano delle azioni concrete da attuare per raggiungere gli obiettivi;
- livello operativo: per la gestione nel breve termine delle attività quotidiane sul luogo di lavoro e monitoraggio dei progressi.

Nel complesso, la visione strategica fornisce il contesto generale, la tattica i passi da seguire e quella operativa assicura l'esecuzione delle azioni.

La programmazione di cantiere rientra in quella operativa, che è un processo fondamentale per organizzare le attività in modo efficiente e raggiungere gli obiettivi prefissati.

Le aziende che affidano i lavori alle imprese hanno bisogno di strumenti per monitorare che i lavori vengano svolti coerentemente al progetto stabilito e nel rispetto dei tempi fissati. Gli strumenti a supporto della programmazione sono molteplici e differenti tra loro, per cui è possibile scegliere tecniche diverse in base alle caratteristiche dell'intervento e agli obiettivi definiti. I progetti che sono più adatti alla schematizzazione con queste tecniche sono quelli che hanno un momento di inizio e uno di termine stabiliti.

Il progetto a cui si fa riferimento è *quindi un sistema di attività di durata e natura diverse, collegate da vincoli interdipendenti di logica esecutiva che condividono spesso un insieme finito di risorse, economiche, umane o materiali* (Lacava M., Solustri C. 1995).

Siccome il fine della programmazione è quello di realizzare un documento in cui siano indicati la durata totale dei lavori, quali attività vengono svolte e in che ordine, le materie prime, attrezzature e manodopera necessarie, i costi e ricavi, la redazione di un programma comporta la scomposizione del processo in cinque elementi:

- 1) attività
- 2) relazioni tra le attività
- 3) durata

- 4) costo
- 5) risorse per l'esecuzione

L'attività, che implica consumo di risorse e tempo, è un obiettivo specifico, o un insieme di obiettivi connessi, da raggiungere tramite delle azioni. Le relazioni tra le attività, invece, conducono a consumo di tempo e possono essere di precedenza, susseguenza, contemporaneità parziale oppure contemporaneità totale.

In pratica, nella fase di pianificazione viene stilata la lista delle attività da eseguire e delle relazioni di vincolo, mentre con la programmazione vengono posizionate nel tempo.

Dal momento che l'impresa dovrebbe realizzare, per ognuno dei cinque elementi sopra indicati, un programma dei lavori è consigliato redigere per primo quello del tempo, detto cronoprogramma, in modo che gli altri siano facilmente ricavabili come conseguenza. L'importante è che il primo sia abbastanza dettagliato e preciso per rendere più immediata la redazione di quelli seguenti. Difatti, requisiti fondamentali nella stesura del programma sono affidabilità e comunicabilità, ovvero il risultato deve esporre dati veri in modo chiaro e intuitivo, senza permettere libera interpretazione.

Tutti gli operatori del processo edilizio hanno interesse nell'eseguire il programma dei lavori, ognuno per raggiungere specifici obiettivi. Ad esempio, il committente deve conoscere la durata complessiva dei lavori, i tempi di avanzamento e il costo da versare, il coordinatore di sicurezza deve stabilire misure protettive e preventive all'interno del PSC e l'impresa incaricata della realizzazione ha il compito di programmare le scadenze, ottimizzare risorse, posizionare e commisurare le strutture all'intervento.

I modelli di programmazione sono tecniche di rappresentazione di tutte le operazioni che compongono il progetto coordinate tra loro nel rispetto di esigenze e obiettivi. I modelli principali sono di due tipi:

- **modelli grafici** che rappresentano pianificazione e programmazione nello stesso momento (es. diagramma di Gantt);
- **modelli matematici** distinguono due momenti, una analisi delle attività per la pianificazione e una stima delle durate per la programmazione (es. metodi reticolari).

Esistono poi dei modelli più raffinati in cui la programmazione consiste nello stimare la durata delle attività in relazione al costo minimo.

In conclusione, la programmazione dei lavori è uno strumento che permette di gestire le attività e i possibili rischi all'interno del cantiere. Per individuare eventuali interferenze e rischi prima che si verifichino ed evitarli è importante non solo la distribuzione delle operazioni nel tempo, ma anche nell'area di lavoro. Le tecniche di programmazione usate, infatti, si possono distinguere in due macrocategorie a seconda che aiutino l'operatore a gestire le attività nel tempo o nello spazio.

4.3 Gestione delle attività nel tempo

La gestione dei tempi nell'ambito degli appalti edili rappresenta un fattore determinante per il successo complessivo di un'opera. Una pianificazione accurata e una rigorosa esecuzione delle attività programmate, infatti, non solo consentono di rispettare le scadenze contrattuali, ma incidono positivamente su numerosi altri aspetti del progetto.

L'adozione di strumenti e metodologie di programmazione avanzati permette di analizzare le interdipendenze tra le diverse attività, identificando le fasi critiche del progetto e definendo un calendario realistico. La fase di pianificazione si propone di fornire una visione chiara degli obiettivi da raggiungere, dei tempi e delle risorse necessarie per il loro conseguimento. Inoltre, consente di monitorare l'avanzamento dei lavori, individuare tempestivamente eventuali implicazioni negative o scostamenti rispetto al programma previsto e adottare misure correttive.

Un'efficace gestione dei tempi contribuisce a ottimizzare l'utilizzo delle risorse, a ridurre i costi indiretti e a migliorare la qualità del prodotto finale. Per di più, è possibile evitare tempi di attesa superflui, minimizzare i rischi di interferenze tra le diverse maestranze e dimensionare adeguatamente le risorse umane e materiali necessarie per l'esecuzione dei lavori, evitando sprechi e carenze.

La gestione dei tempi è un processo dinamico che richiede un continuo aggiornamento e adeguamento alle variazioni che possono verificarsi durante l'esecuzione del progetto. Eventi imprevisti, quali condizioni meteorologiche avverse, ritardi nella consegna dei materiali o modifiche progettuali, possono infatti influenzare significativamente il calendario dei lavori. Per far fronte a tali eventualità, è necessario disporre di un sistema di controllo efficace che consenta di monitorare costantemente l'avanzamento del progetto e di apportare le opportune correzioni.

In conclusione, la gestione dei tempi rappresenta una componente essenziale della gestione di progetto nel settore edile. Una pianificazione accurata e un monitoraggio costante consentono di ridurre i rischi, di ottimizzare le risorse e di garantire il successo dell'opera, soddisfacendo le aspettative di tutti i soggetti coinvolti, dal committente alle imprese.

La normativa per i lavori pubblici prevede l'utilizzo del cronoprogramma, poiché permette in modo sintetico e schematico di individuare le tempistiche, le relazioni, i soggetti coinvolti e valutare lo stato di avanzamento del progetto.

Il cronoprogramma è un elaborato che rappresenta graficamente la pianificazione delle lavorazioni individuandone i tempi. È un documento fondamentale redatto in fase di progettazione e posto a base di gara, allegato al contratto di appalto.

Per di più nel PSC deve essere inserito un cronoprogramma inerente al tema della sicurezza, in cui sono specificate le fasi lavorative, con le rispettive sottofasi e la sequenza temporale, ad integrazione del cronoprogramma delle lavorazioni di progetto.

Si distinguono tre tipologie di cronoprogramma:

- **cronoprogramma di progetto** per pianificare le attività delle imprese, fornendone sequenza e tempistiche. È posto a base di gara e ha il ruolo di regolatore della produzione;
- **cronoprogramma di coordinamento** in cui si affronta il tema della sicurezza in relazione alle attività svolte dalle diverse imprese;
- **cronoprogramma esecutivo** in cui l'impresa organizza la propria produzione nel dettaglio.

CARATTERISTICA	CRONOPROGRAMMA DI PROGETTO	CRONOPROGRAMMA ESECUTIVO	CRONOPROGRAMMA DI COORDINAMENTO
<i>Scopo</i>	Pianificazione generale	Pianificazione dettagliata delle attività	Coordinamento delle attività delle diverse imprese e sicurezza
<i>Responsabile</i>	Stazione appaltante	Appaltatore	CSP
<i>Utilizzo</i>	Per gestione progetto	All'interno dell'impresa	Relazione tra le imprese

Tabella 4.1. Differenze tra le tipologie di cronoprogramma

Il cronoprogramma di progetto e di coordinamento rappresentano i due documenti predominanti sia per la stazione appaltante che per l'appaltatore, mentre quello esecutivo è vincolante solo per l'impresa.

Questo metodo grafico può essere visualizzato in varie forme, tra cui tabelle, elenchi o grafici a barre. Talvolta, nel caso di lavorazioni complesse, si possono scomporre le attività e per ognuna realizzare un sotto-cronoprogramma.

Per definire le tempistiche delle attività bisogna studiare tutti i fattori connessi tra cui organizzazione del cantiere, sequenza delle lavorazioni, disponibilità di materiali, manodopera e tecniche esecutive. Inoltre, la durata può essere vincolata anche dalle condizioni ambientali e da eventuali interferenze tra le lavorazioni.

Alcuni delle tecniche più diffuse e ancora oggi utilizzate nel campo della programmazione temporale sono i metodi reticolari (CPM, PDM, PERT) e i diagrammi a barre (Gantt) che verranno approfonditi nei prossimi paragrafi.

4.3.1 Diagramma di Gantt

Il diagramma di Gantt è un cronoprogramma a barre ovvero uno strumento di rappresentazione grafico che permette di visualizzare la disposizione delle attività nel tempo, tramite l'utilizzo di barre orizzontali. Si può considerare come un'evoluzione del cronoprogramma semplice.

Prende il suo nome dall'ingegnere statunitense Henry Laurence Gantt che lo introdusse nel 1917 per pianificare la produzione legata a eventi bellici nel corso della Prima Guerra Mondiale.

Il diagramma è costruito sugli assi cartesiani: su quella delle ordinate sono posizionate le attività da svolgere, mentre su quella delle ascisse è rappresentata la dimensione temporale. L'ascissa corrispondente all'inizio o alla fine della barra indica il momento in cui l'attività comincia o termina. Inoltre, per rendere lo schema più chiaro, le lavorazioni sono situate in ordine cronologico dall'alto verso il basso, con una struttura detta "a cascata". (Fig. 4.2)

In sintesi, ogni barra rappresenta un'attività e la sua lunghezza definisce il tempo necessario perché quella detta attività venga eseguita.

Può succedere che alcune barre si sovrappongano, questo significa che le attività in questione devono essere svolte contemporaneamente. In questo caso sono due le strade possibili: se le attività non sono interferenti si possono mantenere simultanee, se invece interferiscono allora bisogna trovare soluzioni alternative per garantire ai lavoratori di operare in sicurezza.

Le informazioni che vengono trasmesse con questa tecnica sono: momento di inizio, durata, momento di fine, attività svolte e stato di avanzamento. Per rendere la visualizzazione più immediata possibile vicino alla parte grafica, solitamente, è riportata una tabella con descrizione

delle attività, data di inizio e fine, a cui si possono aggiungere, eventualmente, costo e lavoratori coinvolti. Per di più, sempre ai fini della facilità di comprensione si possono usare colori, simboli grafici e testi. Di solito, man mano che il progetto avanza vengono usati colori differenti per indicare le attività concluse o in parte completate e distinguerle da quelle che devono ancora iniziare.

Il calcolo delle tempistiche delle attività si esegue seguendo un procedimento:

- 1) identificazione dei dati di partenza tramite l'analisi del progetto e computo metrico
- 2) definizione delle attività e delle risorse necessarie
- 3) definizione dei tempi iniziali e finali delle singole mansioni, procedendo per tentativi
- 4) analisi della sovrapposizione, cercare soluzioni alternative mantenendo però le risorse bilanciate, cioè, evitando momenti di inattività o sovraffollamento del cantiere
- 5) analisi delle risorse per verificare l'effettivo rispetto dei tempi
- 6) analisi tecniche costruttive per verificare possibilità di sovrapposizione

Da queste analisi si ricavano i tempi delle singole attività e si definisce, quindi, l'unità di tempo che può essere ora, giorno, settimana, mese, a seconda delle lavorazioni a cui ci si riferisce.

L'utilizzo del diagramma è valido sia nella fase progettuale che in quella operativa. Infatti, nella parte di pianificazione iniziale aiuta per la definizione della timeline e della dipendenza tra le attività, invece in fase esecutiva permette di controllare l'avanzamento del progetto e garantire il rispetto del piano originario. Generalmente viene tracciata una linea verticale per indicare il momento esatto in cui viene svolto il controllo.

Il diagramma di Gantt è lo strumento più utilizzato al giorno d'oggi per la gestione temporale delle attività, ma ciononostante presenta sia punti di forza che di debolezza.

Sicuramente tra i vantaggi della tecnica vi sono la facilità di lettura della situazione e la facilità di aggiornamento dello stato di avanzamento dei lavori; infatti, risulta sufficiente indicare la data in cui viene effettuato il controllo e aggiornare la barra dell'attività analizzata evidenziando la nuova fine prevista.

D'altra parte, sono vari anche i punti critici dello strumento. Innanzitutto, il grafico a barre non permette di rappresentare le relazioni logiche e di vincolo tra le attività e nemmeno di individuare le attività strategiche del piano, ovvero quello che hanno priorità nell'esecuzione. Con questo strumento non è nemmeno possibile stimare le conseguenze di eventuali anticipi, dilatazioni o ritardi nel programma, l'unico modo per valutarli è ridefinire e ridisegnare le

tempistiche di ogni attività. Si presenta, quindi, come uno strumento sfavorevole per quanto concerne il controllo dello stato di avanzamento.

Inoltre, appare più adatto per lavorazioni ripetitive o comunque costituite da un numero limitato di attività perché, se il programma diventa molto complesso e lungo, il diagramma perde la sua peculiarità risultando di difficile comprensione.

Nonostante queste limitazioni, la tecnica è ampiamente diffusa grazie alla sua semplicità e intuitività. Tuttavia, è importante considerare che la natura grafica dello strumento può portare a stime imprecise della durata delle attività, con conseguenti errori nella pianificazione complessiva del progetto.

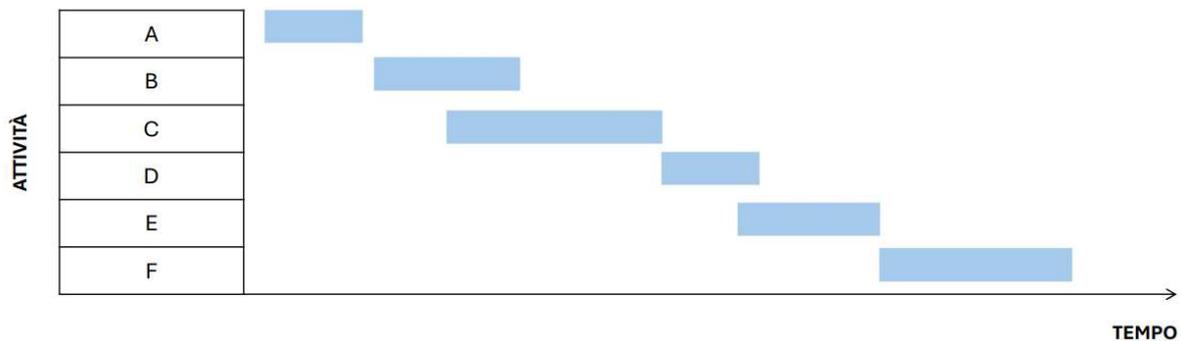


Figura 4.2. Esempio di diagramma di Gantt

Il cronoprogramma essendo uno strumento immediato da comprendere e da impiegare viene spesso utilizzato anche per visualizzare i risultati di tecniche sofisticate più complesse come quelle reticolari.

4.3.2 Metodi reticolari

I metodi reticolari nascono durante la Seconda Guerra Mondiale, con obiettivi sempre legati a eventi bellici. Hanno poi avuto grande diffusione in tutti i settori e nella seconda metà degli anni Cinquanta si sono avvicinati alla programmazione del cantiere. I metodi reticolari, basati su modelli matematici e supportati da strumenti elettronici, introducono un approccio innovativo alla pianificazione rispetto alle tecniche tradizionali fino ad allora conosciute. Essi richiedono una formazione specialistica per essere compresi e utilizzati efficacemente, poiché la loro interpretazione, derivando da un'analisi dati e non solo da rappresentazioni grafiche, risulta più impegnativa. L'utilizzo di questi metodi è quindi strettamente legato all'impiego della tecnologia.

I metodi reticolari rappresentano visivamente le interconnessioni tra le attività di un progetto, assegnando loro durate specifiche e definendo i vincoli temporali necessari, che possono essere stabiliti in base alla sequenza logica delle lavorazioni o in funzione degli obiettivi da raggiungere.

La formulazione della durata delle attività può avvenire o con approccio deterministico o probabilistico. Il primo assegna ad ogni attività una durata in funzione delle risorse e delle capacità tecniche degli operatori ed è utilizzabile solo se si conosce molto bene il processo e i parametri coinvolti. L'approccio probabilistico, invece, si basa su previsioni di scenari e le durate sono determinate in condizioni che possono essere ottimistiche, pessimistiche o normali. Tra i fattori che possono disturbare le lavorazioni si considerano ad esempio gli agenti atmosferici, la natura fisica del sito, le tempistiche di rifornimento materiali, eventuali difficoltà logistiche o guasti alle attrezzature.

I metodi reticolari hanno dei punti di forza rispetto ai diagrammi a barre, precedentemente affrontati:

- permettono di gestire cantieri più complessi;
- usano una rappresentazione grafica che aiuta la comprensione;
- mettono in relazione le attività, valutando eventuali ritardi o colli di bottiglia;
- velocizzano le operazioni perché usano elaboratori elettronici;
- stabiliscono durata minima del processo;
- definiscono le attività critiche che non possono essere ritardate e quelle con maggior flessibilità;

- analizzano gli scostamenti temporali rispetto a quanto previsto;
- indicano i lavori svolti in un determinato momento;
- studiano quali azioni eseguire per evitare o ridurre un ritardo.

Presentano però anche dei punti critici poiché non sono adatti alla pianificazione lineare di progetti come le strade e per progetti ripetitivi come, ad esempio, i grattacieli a causa della diversa velocità di produzione.

Le modalità per costruire il reticolo si riassumono nei seguenti passaggi (Fig.4.3):

- 1) definizione dell'elenco di attività da svolgere e suddivisione della WBS in una serie di attività a cui attribuire un nome, codice, durata e data di fine
- 2) stabilire le dipendenze tra le attività. Definire quale attività può precedere quella presa in considerazione, quale può seguirla o quale va svolta nello stesso momento
- 3) definire i vincoli
- 4) determinare le risorse disponibili e gli uomini – giorno
- 5) creazione del reticolo
- 6) stimare la durata di ciascuna attività in base alle risorse e di conseguenza dei tempi di inizio e fine
- 7) individuazione del percorso critico
- 8) calcolo degli scorrimenti
- 9) ottimizzazione

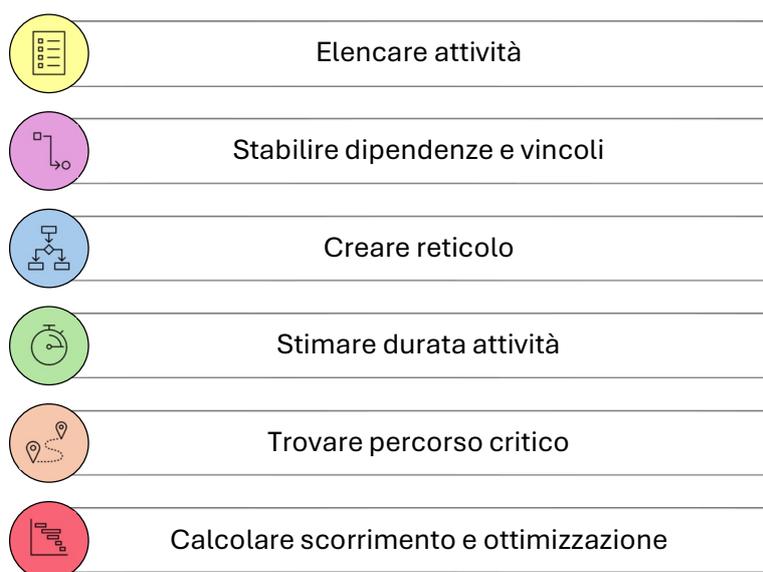


Figura 4.3. Passaggi fondamentali per metodi reticolari

Nel definire il reticolo si devono considerare anche quali sono i vincoli presenti che permettono di stabilire poi le relazioni logico – cronologiche tra le attività. I vincoli possono essere di tipo naturale, di risorsa e di progetto. Quelli di tipo naturale dipendono dalle tecniche e tecnologie adottate nel processo costruttivo che influenzano i tempi di esecuzione. I vincoli di risorsa sono legati alla disponibilità delle stesse per fasi produttive differenti. Il termine risorsa si riferisce ad attrezzature, manodopera, produttività impianti e materie prime. Se una risorsa è utilizzata in più fasi del progetto, può creare colli di bottiglia e rallentare i lavori. Infatti, è consigliato in un primo tempo eseguire la stesura del reticolo nell'ipotesi di risorse illimitate e solo successivamente ottimizzarlo poiché questo vincolo in realtà va a limitare particolarmente la programmazione.

Infine, i vincoli di progetto sono dovuti a scelte costruttive, contesto ambientale, sicurezza o limiti contrattuali che possono circoscrivere l'attività.

La definizione di numero e tipo di vincoli permette di individuare le relazioni tra le attività nel reticolo. Occorre, però, sottolineare che eccedere nel posizionamento di vincoli rischia di portare un effetto negativo sul progetto, estendendone i tempi.

Dopo la costruzione del reticolo è necessario eseguire un livellamento delle risorse ai fini dell'ottimizzazione. Le tecniche utilizzate a questo scopo possono essere: cambiare le dipendenze, aggiungere task, assegnare alle attività risorse differenti da quelle iniziali, spostare l'inizio o la fine dell'attività.

Infine, se i tempi totali risultano troppo lunghi è necessario comprimere il reticolo. Questo passaggio si può eseguire in due modi. La tecnica del *crashing* che consiste nell'assegnazione di più risorse a un'attività oppure il *fast tracking* che fissa più attività critiche in contemporaneo; da un lato si ottimizzano le tempistiche, ma dall'altro si aumentano anche i rischi per i lavoratori presenti. Ogni azione deve essere sempre attentamente analizzata ai fini della salute e sicurezza degli operatori, non solo dei tempi e in caso si devono prevedere le giuste misure di prevenzione e protezione.

Il network è definito tale poiché le attività vengono messe in comunicazione tramite delle interrelazioni che possono essere di tre tipi:

- **dipendenze obbligatorie:** vincoli che non possono essere modificati ad esempio dovuti a limitazioni fisiche o tecnologiche;
- **dipendenze facoltative:** variano da progetto a progetto;

- **dipendenza esterne:** derivano dalla relazione tra progetto e le attività esterne.

Le variabili che possono influire sulle attività sono tempi, costi e risorse, ma grazie a questi modelli è possibile metterle in relazione e impostare modelli di simulazione del progetto che aiutino anche le imprese durante il processo decisionale. Bisogna sottolineare che non tutti i modelli approfondiscono gli stessi parametri; alcuni si concentrano sull'ottimizzazione dei tempi dell'attività (CPM, PDM), altri sul controllo degli eventi (PERT) e altri ancora sull'analisi costi.

LOGICA DEL RETICOLO

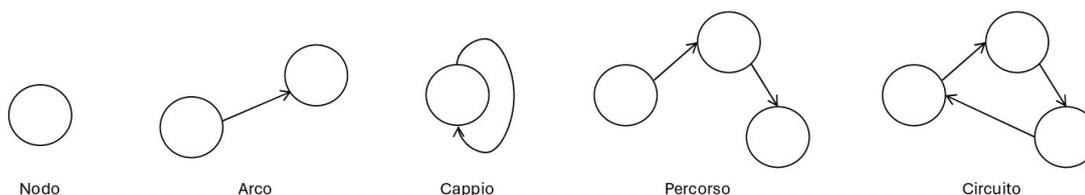
Le tecniche di programmazione reticolare si fanno derivare dalla Teoria dei Grafi, la cui nascita è attribuita ad Eulero che fu il primo a cercare la risoluzione a problemi di vita quotidiana tramite metodi grafici. *Dato un insieme non vuoto X di elementi, detti nodi, e una o più leggi che permettono di introdurre una corrispondenza Γ tra ogni elemento di X e un sottoinsieme, la coppia X e Γ è detto grafo G ovvero $G = \{X, \Gamma\}$.*⁸

Quindi un grafo è costituito dall'insieme X dei nodi e l'insieme Γ delle corrispondenze.

Graficamente i nodi si rappresentano come dei cerchi e le relazioni con dei tratti. I grafi possono essere orientati oppure non orientati a seconda che le relazioni abbiano una direzione o meno. Solitamente si considerano solo grafi orientati, detti digrafi, finiti, costituiti quindi da un numero limitato di attività.

Da queste definizioni si può ricavare che il **reticolo** offre una rappresentazione visiva della sequenza logica delle attività che compongono un processo. È quindi un grafo orientato in cui le attività sono connesse tra loro, i cui elementi costruttivi principali sono:

- nodi = rappresentati dai cerchi sono punti di connessione del grafo;
- archi = relazioni tra i nodi, sono le linee di collegamento;
- cappi = quando l'arco congiunge il nodo con sé stesso;
- percorsi = sequenza di nodi e archi, è un cammino che si segue nel grafo;
- circuiti = percorsi chiusi.



⁸ M.A. Bragadin, La programmazione dei lavori con i metodi reticolari metodi e strumenti di project time management per la costruzione, Maggioli, 2011.

In base alla struttura si distinguono due tipologie principali di reticolo:

- **Activity On Arc (AOA)** in cui gli archi rappresentano sia le attività che la sequenza logica mentre i nodi indicano l'inizio o la fine dell'attività stessa e sono quindi eventi.



- **Activity On Node (AON)** in cui le attività sono i nodi mentre gli archi rappresentano la relazione logica.



Dati questi modelli è opportuno specificare la differenza tra evento e attività. Gli eventi sono degli istanti del programma che non prevedono consumo di risorse perché hanno durata nulla, mentre le attività sono operazioni che richiedono impiego sia di tempo che di mezzi.

Nella fase di pianificazione è importante distinguere le attività e le relative relazioni; quindi, stabilire predecessore e successore delle operazioni analizzate.

Per disegnare un reticolo si distinguono tre regole fondamentali:

- **Regola di dipendenza logica** delle attività: l'attività susseguente non può cominciare fino a che non è terminata quella precedente;
- **Regola di convergenza**: date tre attività A, B, C, se l'attività C è susseguente di A e B non può iniziare se non sono terminate le altre;
- **Regola di divergenza**: date tre attività A, B, C, se le attività B e C sono susseguenti di A iniziano quando A è conclusa.

L'uso di queste tecniche implica la parzializzazione delle opere nelle singole attività da svolgere che possono essere eventi o attività elementari.

Inoltre, per far scorrere il reticolo si possono introdurre delle **attività fittizie**, cioè, delle attività artificiali che esprimono un semplice legame logico tra due eventi ma hanno una durata nulla e quindi non consumano risorse. Solitamente si indicano con linee tratteggiate e servono per completare il reticolo rappresentando con precisione le dipendenze.

Nel costruire il modello grafico, per programmare i compiti, bisogna considerare alcune ipotesi fondamentali. Siccome il reticolo rappresenta il processo costruttivo in cantiere, tutte le attività da svolgere devono essere inserite con la loro durata e le loro connessioni, inoltre, poiché le relazioni sono logico – cronologiche non sono possibili dei loop nel percorso, cioè, nessuna operazione può tornare indietro nel tempo.

Le tecniche reticolari si basano su un modello grafico che evidenzia le interdipendenze e le relazioni nel tempo. Ad ogni attività si associa una durata che rende possibile calcolare “il tempo di esecuzione minimo” del processo e le “attività critiche”. Tutte le altre attività, infatti, permettono un tempo di ritardo massimo che non va a danneggiare il tempo totale di progetto.

In conclusione, la differenza principale tra i metodi di gestione delle attività nel tempo è che i diagrammi a barre, riportando le date di inizio e fine attività su una sorta di calendario, sono molto utilizzate dalle imprese per gestire la programmazione dei lavori, mentre le tecniche reticolari esprimono i legami tra le varie lavorazioni e sono, di solito, usate dal committente come base di gara. Inoltre, queste ultime si rivelano essenziali nella gestione di progetti complessi, in quanto offrono una rappresentazione grafica delle interdipendenze tra le attività, facilitando l'analisi dei percorsi critici e la valutazione dei rischi.

4.3.2.1 Critical Path Method (CPM)

CPM è l'acronimo di Critical Path Method ovvero Metodo del Percorso Critico. Viene sviluppato alla fine degli anni Cinquanta negli Stati Uniti per la costruzione e manutenzione degli impianti chimici della Du Pont de Nemours.

È una tecnica di tipo deterministico per la pianificazione e gestione del progetto che si basa sull'individuazione delle attività che risultano critiche ai fini del rispetto dei tempi necessari al completamento dell'opera. Lo scopo è individuare il percorso critico tenendo sotto controllo le attività che lo compongono, poiché un ritardo di queste comporterebbe una dilatazione temporale di tutto il progetto.

L'imprenditore, sfruttando le proprie conoscenze e la propria esperienza, stima una durata per ciascuna mansione, permettendo di elaborare una previsione realistica dei tempi e delle risorse necessarie.

Originariamente il metodo è stato concepito per ottimizzare tempi e costi di progetto, ma nel tempo la sua funzione è stata distribuita tra diversi strumenti.

Negli anni sono state sviluppate differenti versioni di questa tecnica, per esempio, è stato introdotto il metodo CPM I-J che considera sia i tempi delle attività che i tempi di evento, mantenendo l'impostazione deterministica del metodo originario.

Lo strumento essenziale, come per tutte le tecniche reticolari, è il diagramma. Per il metodo del percorso critico si utilizza un reticolo AOA, che ha però reso la tecnica complessa e sempre più marginale in favore dei metodi AON più intuitivi.

Il metodo risulta più complesso poiché i nodi rappresentano gli eventi, mentre gli archi indicano sia le attività che la loro progressione temporale. L'evento alla coda della freccia è detto evento di inizio e si indica con la lettera *i*, mentre quello alla destra indicato con la *j* è l'evento di fine. Per cui l'attività è codificata dalla coppia di eventi *ij*.

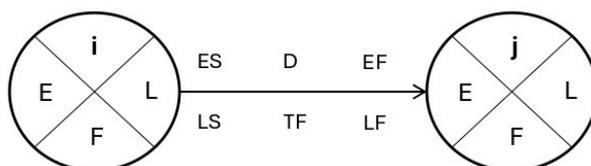
Peculiarità del metodo è che non è possibile la sovrapposizione di più attività perché l'unico legame è di tipo fine-inizio (FS), per risolvere questo problema si procede spezzando le azioni in più parti e collegandoli con delle attività fittizie, che vengono disegnate con una linea tratteggiata. Questa integrazione rende il reticolo più elaborato e la comprensione delle informazioni più ardua, oltre che aumentare il numero delle attività del reticolo.

Nella fase di schedulazione delle mansioni, stabilita la durata *D* di esecuzione, si definiscono quattro parametri:

- Early Start (ES) tempo minimo di inizio attività;
- Early Finish (EF) tempo minimo di fine attività;
- Late Start (LS) tempo massimo di inizio attività, senza tardare l'ultimazione del progetto;
- Late Finish (LF) tempo massimo di fine attività, senza tardare l'ultimazione del progetto.

Quindi, per ogni mansione si definiscono le date "al più presto" e "al più tardi" per valutare quali attività hanno maggiore o minore flessibilità. Oltre a questi valori, si individuano *E* ed *L* che rappresentano il tempo minimo e il tempo massimo in cui poter realizzare l'evento.

Graficamente si possono indicare come segue:



dove *F* = scorrimento dell'evento, *TF* = scorrimento totale dell'attività

Il processo si divide in due fasi: schedulazione in avanti e all'indietro. La **schedulazione in avanti** è detta anche schedulazione al più presto (ASAP) perché determina i tempi minimi delle attività. Si procede passo dopo passo dalle prime attività del progetto e si calcolano le date di fine in base a quelle precedenti, seguendo quindi l'ordine logico-cronologico delle lavorazioni. Dalla data di avvio del progetto, si calcola la data di inizio di ogni compito e la data di fine aggiungendo la durata dell'azione e sottraendo un giorno.

$$EF = ES + Durata - 1$$

La **schedulazione all'indietro**, invece, è detta schedulazione al più tardi (ALAS) perché individua i tempi massimi delle lavorazioni. In questo caso si parte dalla data di consegna finale del progetto e si procede a ritroso fino al punto di partenza.

Per ogni attività la data iniziale si calcola sottraendo la durata alla data finale del suo successore e aggiungendo un giorno.

$$LS = LF - Durata + 1$$

Il +/- 1 è conseguenza dell'utilizzo delle date di calendario, permette di considerare come giorno lavorativo anche l'inizio/fine dell'attività.

Con il metodo CPM dopo aver definito il reticolo e il percorso critico si valutano gli scorrimenti o **float** che rappresentano la flessibilità delle attività, ossia di quanto si può ritardare ciascuna azione senza compromettere la durata complessiva del progetto.

In particolare, si riconoscono vari tipi di float:

- Scorrimento dell'evento $Fi = Li - Ei$
- Scorrimento totale TF quantità di tempo massimo di cui si può ritardare un'operazione senza prolungare i tempi di progetto. $TF_{ij} = LF_{ij} - EF_{ij}$
- Scorrimento libero FF quantità di tempo di cui un'attività può essere ritardata senza ritardare i tempi minimi dei successori. Qualora tutte le attività abbiano rispettato i propri tempi. $FF_{ij} = ES_j - EF_{ij}$
- Scorrimento interferente INTF parte di scorrimento non ammessa se l'attività successiva inizia al più presto. $INTF_{ij} = L_j - E_j$
- Scorrimento indipendente INDF indica il ritardo ammissibile se l'attività precedente è terminata al più tardi e quella seguente inizia al più presto. Non influenza né le attività precedenti né seguenti. $INDF_{ij} = E_j - L_i - D_{ij}$
- Scorrimento condizionale CONF misura il ritardo ammissibile se l'attività precedente è terminata al più tardi e quella seguente inizia al più tardi. $CONF_{ij} = L_j - L_i - D_{ij}$

- Scorrimento programmato PF deriva dai vincoli imposti per lo svolgimento dell'attività, consiste nel definire specifiche date di inizio o fine.

A livello pratico quelli più utilizzati sono scorrimento totale, libero e programmato.

La differenza tra la data di fine al più tardi (LF) e quella al più presto (EF) di un'attività indica di quanto tempo si può ritardare quell'operazione senza compromettere il termine complessivo del progetto.

Questo intervallo di tempo chiamato margine di scorrimento totale o *total float* (TF).

$$TF = LF - EF$$

Lo scorrimento totale è un parametro fondamentale nella definizione del percorso critico:

- Se $TF < 0$ indica che l'attività, detta in questo caso ipercritica, dovrebbe iniziare prima di quanto stabilito e quindi andrebbe modificata la programmazione;
- Se $TF > 0$ l'attività può essere posticipata senza causare ritardi al progetto;
- Se $TF = 0$ l'attività fa parte del cammino critico.

Il **cammino critico** è il percorso di maggior durata che conduce dall'evento iniziale a quello finale e tutte le attività che ne fanno parte hanno il margine di scorrimento pari al valore minimo presente nel reticolo. Se si impone che il tempo T, ovvero il tempo massimo stabilito per completare il processo, coincida con il tempo minimo dell'ultimo evento E_{jn} allora si parla di **convenzione di scorrimento zero** e in questo caso il minimo valore di TF è pari a zero.

Quindi, utilizzando questa convenzione fanno parte del cammino critico le attività con $TF = 0$. Qualsiasi ritardo su un'attività critica comporta un allungamento complessivo dei tempi dell'intero progetto.

In generale, il CPM è quindi un algoritmo che aiuta ad analizzare, pianificare e organizzare progetti complessi, contribuisce nella pianificazione delle risorse, della durata e nell'ottimizzazione dei costi. Tramite il cammino critico si definiscono quali attività sono critiche per il completamento del progetto, quali non hanno invece impatto significativo e potrebbero essere posticipate.

È uno strumento che permette di identificare il percorso più lungo tra le attività pianificate per rispettare le scadenze.

Di seguito viene riportato un esempio di reticolo:

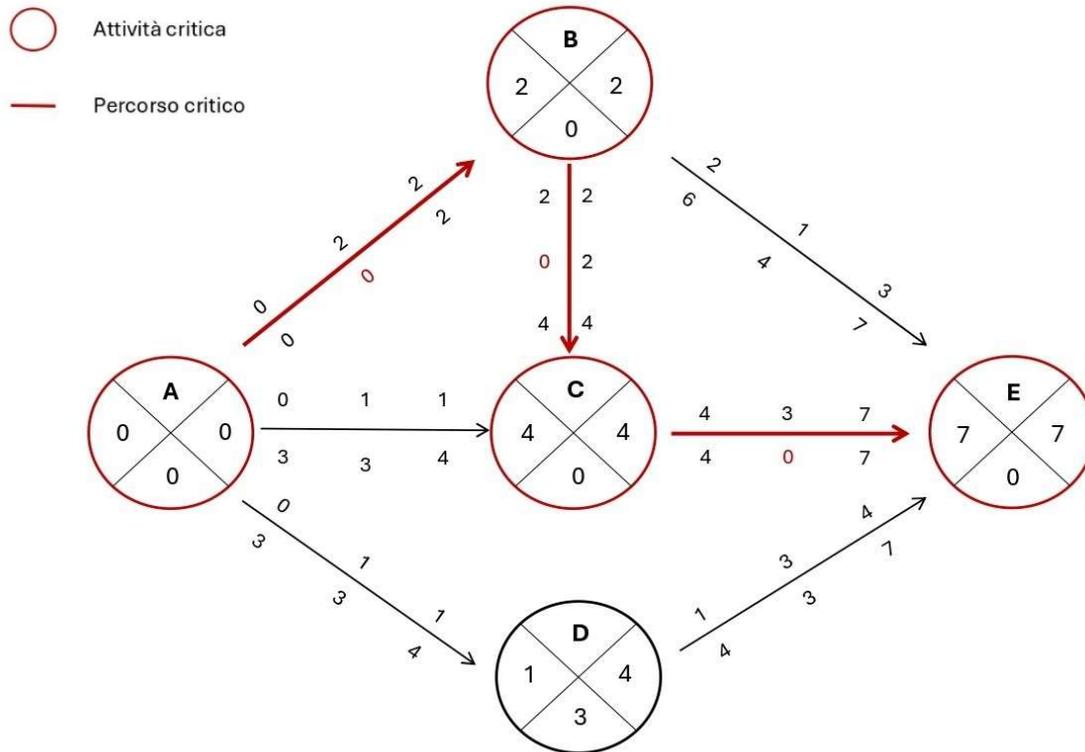


Figura 4.4. Esempio di reticolo CPM (fonte: M.A. Bragadin, La programmazione dei lavori con i metodi reticolari, Maggioli, 2011)

In conclusione, si può affermare che il CPM è ancora oggi molto diffuso e utilizzato perché numerosi sono i vantaggi apportati:

- Migliora la pianificazione perché si confrontano le aspettative e lo stato di avanzamento dei lavori;
- Agevola la gestione delle risorse e stabilisce le priorità tra le attività;
- Aiuta a prevenire i colli di bottiglia che possono causare perdita di tempo e risorse;
- Aiuta a evitare ritardi e gestire le emergenze.

Ovviamente, come tutti i metodi, presenta anche delle limitazioni:

- La durata delle attività è una stima e può variare;
- Per progetti molto grandi può essere complesso e difficile da interpretare;
- È uno strumento poco flessibile in caso di cambiamenti in corso d'opera;
- Lavoro richiesto significativo.

4.3.2.2 Precedence Diagramming Method (PDM)

Il Precedence Diagramming Method è probabilmente la tecnica più conosciuta nel campo della programmazione reticolare. La prima versione nacque nel 1961 ad opera del prof. Fondhal a seguito dell'adattamento del metodo CPM.

L'innovazione alla base del metodo è la rappresentazione delle attività nei nodi, invece che negli archi, tramite un reticolo AON.

Questo strumento nasce con l'obiettivo di semplificare le tecniche già esistenti e realizzare un metodo di facile comprensione e gestione che potesse essere utilizzato senza l'apporto della tecnologia. Grazie alla semplicità di costruzione del reticolo è oggi il metodo più diffuso nel settore delle costruzioni.

In pratica, il PDM è la rappresentazione del metodo CPM con un reticolo AON in cui le attività sono vincolate tra loro con legami Fine – Inizio (FS).

Il vantaggio apportato da questa tecnica è che non sono più necessarie delle attività fittizie per definire la logica del reticolo perché le attività e le loro relazioni sono già distinte. Per cui per rappresentare un reticolo risulta sufficiente disporre dell'elenco delle attività e definire quali siano predecessori e successori.

Lo svantaggio principale del metodo è che le operazioni sono identificate con un codice alfanumerico, indipendente dai legami, a differenza del CPM in cui ogni operazione era individuata dagli eventi di inizio e fine ij . In questo caso, predecessori e successori vanno esplicitati chiaramente.

Anche lo strumento del PDM si avvale di un digrafo orientato finito in cui ad ogni attività è associato un parametro che è la durata. Esistono solamente due attività speciali che sono quella iniziale e quella finale, dichiarate tali poiché la prima detta anche sorgente o *source* non ha predecessori e il secondo detto pozzo o *sink* non ha successori.

L'analisi temporale è la medesima del metodo CPM ma tenendo conto che le attività sono trasportate nei nodi. Anche in questo caso, l'analisi in avanti è l'algoritmo che fornisce i tempi minimi delle attività, mentre quella all'indietro i tempi massimi.

Nell'ambito del reticolo si può aggiungere l'intervallo di tempo che deve trascorrere dalla fine di un'attività all'inizio di quella successiva detto **ritardo di vincolo** che è un valore n imposto dal programmatore, fisso e non modificabile, che deriva da restrizioni esterne al progetto, come la disponibilità di risorse, le condizioni meteorologiche o i permessi.

$$FS = n$$

- Se $n > 0$ è un ritardo
- Se $n < 0$ è un anticipo

È un valore utilizzato per imporre restrizioni temporali sul progetto, al di là delle dipendenze logiche tra le attività. Siccome l'aggiunta di questo parametro può portare a una complessità maggiore del reticolo, i programmatori prediligono, in realtà, aggiungere direttamente un'attività apposita.

Una delle differenze con il metodo precedente è che con il PDM i legami fine - inizio possono avere una durata. Il **ritardo di legame** è l'intervallo di tempo tra il tempo minimo di fine del predecessore e il tempo minimo di inizio del successore. Questo particolare tipo di ritardo nasce con la diffusione della tecnica del PDM, ovvero da quando le attività sono state spostate sui nodi. In sostanza, identifica la dipendenza temporale tra le due attività nel caso in cui il ritardo di vincolo sia nullo $FS=0$.

$$R = ES_j - EF_i$$

Quando $R = 0$ si parla di legami condizionanti che definiscono il tempo di inizio al più presto del successore.

Nell'ambito del metodo spesso viene introdotta la convenzione di scorrimento zero con cui si impone che il valore T , cioè il tempo massimo di fine dell'attività finale sia uguale al tempo minimo di fine della stessa:

$$T = LF = EF$$

Allora il valore di scorrimento del reticolo è uguale a zero.

Per il metodo PDM i tempi di scorrimento sono gli stessi del CPM ij ad eccezione dello scorrimento di evento, che in questo caso non esiste. Pertanto, si riconoscono:

- Scorrimento totale TF quantità di tempo massimo di cui si può ritardare un'operazione senza prolungare i tempi di progetto. $TF_j = LF_j - EF_j$
- Scorrimento libero FF quantità di tempo di cui un'attività può essere ritardata senza ritardare i tempi minimi dei successivi. Qualora tutte le attività abbiano rispettato i propri tempi. $FF_j = \min(ES_k) - EF_j$
- Scorrimento interferente INTF parte di scorrimento non ammessa se l'attività successiva inizia al più presto. $INTF_j = LF_j - \min(ES_k) = TF_j - FF_j$
- Scorrimento indipendente INDF indica il ritardo ammissibile se l'attività precedente è terminata al più tardi e quella seguente inizia al più presto. Non influenza né le attività precedenti né seguenti. $INDF_j = \min(ES_k) - \max(LF_i) - D_j$
- Scorrimento condizionale CONF misura il ritardo ammissibile se l'attività precedente è terminata al più tardi e quella seguente inizia al più tardi.
 $CONF_j = \min(LS_k) - \max(LF_k) - D_j$
- Scorrimento programmato PF deriva dai vincoli imposti per lo svolgimento dell'attività, consiste nel definire specifiche date di inizio o fine.

A livello pratico quello più utilizzato è lo scorrimento totale.

Le attività del reticolo che hanno valori minimi di TF sono dette attività critiche, se si utilizza la convenzione di scorrimento zero allora sono quelle che hanno $TF = 0$.

Se invece risulta che $TF < 0$ l'attività si dice ipercritica e significa che bisogna ridurre la durata o modificarne i vincoli.

In questo metodo, la convenzione grafica per il PDM è la seguente:

ES	D	EF
Attività		
LS	TF	LF

dove D = durata, TF = scorrimento totale

Di seguito viene riportato un esempio di reticolo:

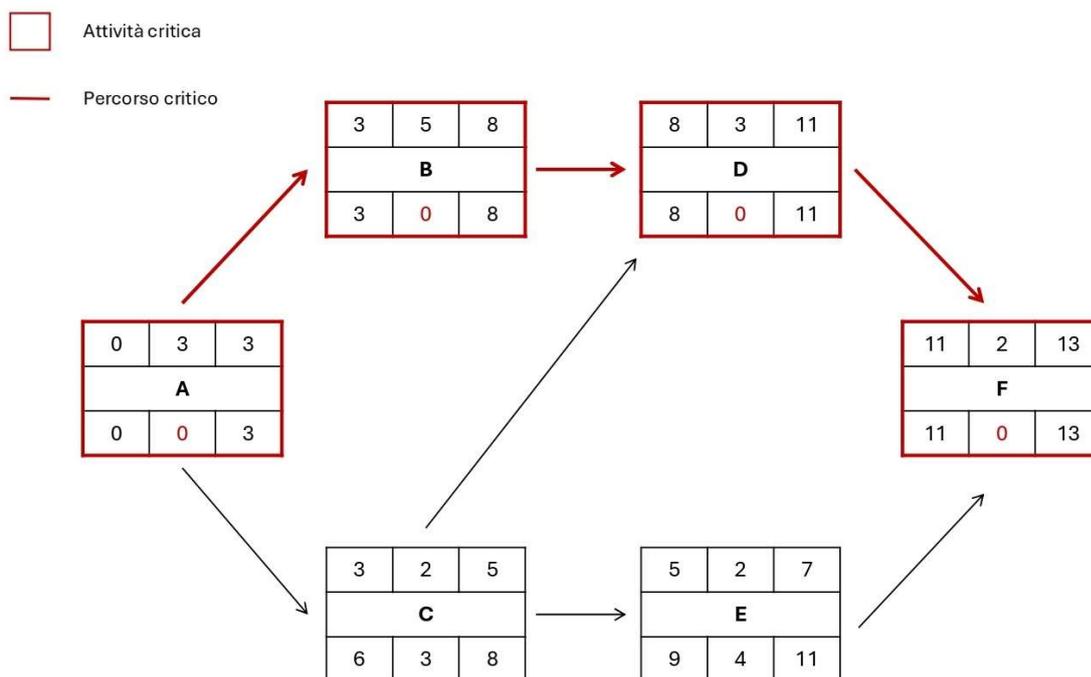


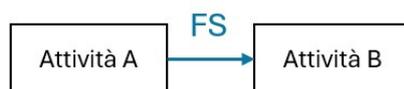
Figura 4.5. Esempio di reticolo PDM (fonte: M.A. Bragadin, La programmazione dei lavori con i metodi reticolari, Maggioli, 2011)

Il metodo appena esposto, chiamato PDM semplice, è senza dubbio uno dei più utilizzati al giorno d’oggi, ma presenta dei limiti per quanto riguarda la parziale o totale contemporaneità tra le attività. Questo aspetto critico è stato chiarito con l’introduzione del PDM generalizzato che segue il modello ideato da Craig nel 1964.

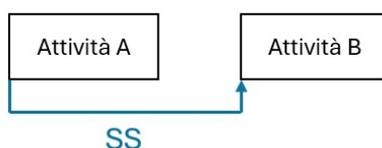
In questa versione della tecnica, innanzitutto, vengono proposti più legami tra le attività, detti appunto legami generalizzati e non solo quello fine – inizio.

I legami di dipendenza possono essere di quattro tipologie differenti:

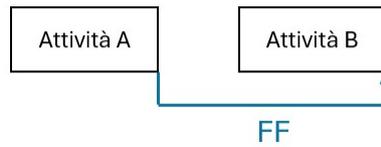
- Finish – Start (FS) = l’attività seguente può iniziare quando è finita la precedente



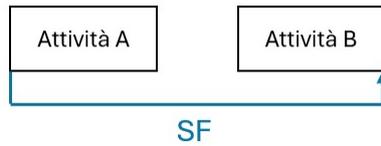
- Start – Start (SS) = l’attività seguente può iniziare quando inizia la precedente



- Finish – Finish (FF) = l'attività seguente deve finire quando finisce la precedente



- Start- Finish (SF) = l'attività seguente deve finire quando inizia la precedente



Tra i punti di forza del metodo generalizzato vi sono:

- Realismo del modello che rappresenta con precisione i legami tra le attività;
- Riduzione del numero di attività totali;
- Rappresentazione fedele delle attività svolte in parziale o totale contemporaneità.

Nonostante questo, non sono poche nemmeno le criticità che si possono presentare:

- Aumento della complessità della rappresentazione grafica;
- Diminuzione del significato del cammino critico, spesso complesso e poco intuitivo;
- Problemi di interpretazione dei vincoli;
- Attività completamente sovrapposte spesso vengono fuse in un'unica.

CARATTERISTICA	PDM SEMPLICE	PDM GENERALIZZATO
<i>Relazioni</i>	Solo FS	FS, SS, SF, FF
<i>Utilizzo</i>	Progetti semplici e piccoli	Progetti complessi e grandi
<i>Complessità</i>	Bassa	Alta

Tabella 4.2. Differenze tra reticolo PDM semplice e generalizzato

4.3.2.3 Program Evaluation and Review Technique (PERT)

Il PERT è uno strumento basato su tecniche reticolari, nato nel corso della Guerra Fredda negli Stati Uniti per la progettazione e realizzazione di missili su sommergibili.

La proposta prevedeva una rappresentazione grafica del progetto, scomposto in numerose attività elementari, rappresentate come frecce, il cui collegamento ne indicava la sequenza di esecuzione. In questo modo, è stato possibile stimare la durata complessiva del progetto e identificare le attività più critiche per il rispetto dei tempi.

La prima pubblicazione ufficiale risale alla fine degli anni Cinquanta in contemporanea con la diffusione del CPM, anche se apparentemente molto simili, questi due metodi usavano tecniche diverse per la stima della durata delle attività. Mentre il PERT considerava una visione probabilistica, cercando di prevedere l'impatto dell'incertezza su ogni attività, il CPM utilizzava un approccio deterministico, concentrandosi, invece, su una stima precisa delle tempistiche e su eventuali costi aggiuntivi necessari per ridurre i tempi di progetto.

Entrambi i metodi, basati su reti di relazioni, permettono di controllare le attività, considerando le interdipendenze e assicurando il raggiungimento degli obiettivi. Oggi, i termini sono spesso usati in modo intercambiabile, data la loro comune applicazione nella programmazione reticolare.

La peculiarità del PERT è che considera l'incertezza nella durata dell'attività ed è per tale motivo che ha trovato ampia diffusione nel settore delle costruzioni. Infatti, si avvale di una rappresentazione grafica che utilizza legami di tipo Fine – Inizio (FS), un reticolo Activity On Arc (AOA) e un modello di calcolo di tipo probabilistico per la stima della durata delle attività. Con il diagramma si rappresenta il flusso logico delle lavorazioni in cui le frecce rappresentano le attività e i nodi il punto di fine o inizio della stessa.

Oltre alla descrizione dell'attività, anche in questa tecnica, il parametro fondamentale è la durata prevista. Per calcolarla vengono stimati tre valori: ottimistico (a), probabile (n) e pessimistico (b).

- a rappresenta le condizioni favorevoli, quindi il tempo minimo supposto per eseguire l'attività;
- n è il valore più probabile, a livello statistico rappresentato dalla moda;
- b rappresenta le condizioni sfavorevoli, quindi il tempo massimo per completare l'attività.

Di conseguenza per ogni attività si conoscono: la durata dell'attività, che si rappresenta con una curva di distribuzione, la moda della distribuzione $Mo = n$ e il campo di variazione $b - a$.

È possibile quindi determinare i due parametri fondamentali che definiscono la curva di distribuzione che sono: il valore medio della durata dell'operazione t_e e la deviazione standard σ . Il tempo è calcolato eseguendo una media ponderata dei tre parametri:

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

Invece la deviazione standard e, di conseguenza, la varianza sono:

$$\sigma = \frac{b - a}{6}$$

$$V = \sigma^2 = \left(\frac{b - a}{6}\right)^2$$

Questo perché il sistema si basa sull'incertezza che si esprime attraverso distribuzioni di probabilità delle durate delle attività e si può quantificare mediante indicatori statistici come la deviazione standard e la varianza che misura la dispersione dei valori attorno al valore medio. Maggiore è la varianza maggiore è l'incertezza.

Ne consegue che, definite le attività, le durate, le relazioni e la varianza si può procedere nella rappresentazione del reticolo. A differenza dei metodi precedenti che analizzano le attività e si focalizzano sull'ottimizzazione, il PERT si concentra sul completamento delle mansioni, ovvero sugli eventi e si propone come obiettivo quello di calcolare il tempo minimo di esecuzione del progetto.

Questo metodo permette di individuare gli scorrimenti sia per le attività che per gli eventi. Inizialmente, lo scorrimento totale o **total float** (TF) era stato introdotto dal CPM poiché si riferiva alle attività, mentre con il PERT si parlava di scorrimento o **slack** che era riferito agli eventi. Solo con il passare del tempo i termini slack e float hanno assunto lo stesso significato. Nel caso del PERT si riconoscono quindi:

- Scorrimento libero $FF_{ij} = TE_j - TE_i - t_{ij}$
- Scorrimento totale: $TF_{ij} = TL_j - TE_i - t_{ij}$
- Scorrimento dell'evento: $F_i = TL_i - TE_i$

Le attività del reticolo che hanno valori minimi di TF_{ij} sono dette attività critiche, se si utilizza la convenzione di scorrimento zero allora sono quelle che hanno $TF_{ij} = 0$.

Inoltre, si definiscono eventi critici quelli che hanno lo scorrimento uguale a quello dell'evento finale, che è sempre critico $F_i = F_n$.

Anche in questo caso si possono individuare vantaggi e svantaggi nel metodo. Tra i primi:

- Metodo flessibile e più realistico;
- Considera le dipendenze tra le attività;
- Fornisce tutte le informazioni necessarie: attività critiche, durata, percorso critico.

Invece, tra gli svantaggi:

- Complessità dello strumento;
- Numero di dati richiesti maggiore.

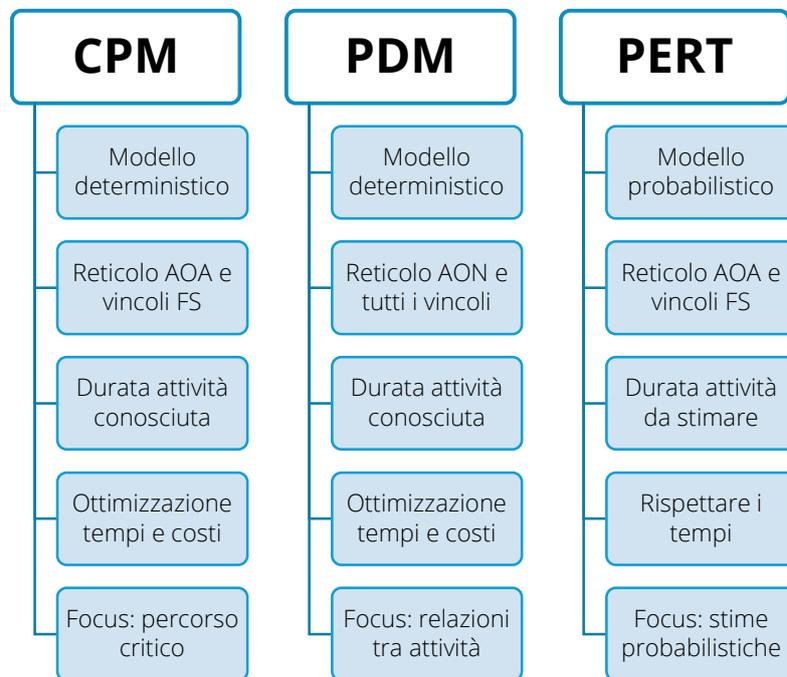


Figura 4.6. Confronto tra i metodi reticolari

4.4 Gestione delle attività nello spazio

La gestione delle attività nello spazio in un cantiere edile è un aspetto cruciale per garantire efficienza, sicurezza e successo complessivo del progetto. Oltre a una adeguata distribuzione delle attività nel tempo risulta, quindi, importante anche la distribuzione delle stesse attività nello spazio di lavoro. Per raggiungere questo obiettivo si procede con una valutazione attenta delle aree disponibili, delle risorse necessarie e della loro consequenzialità nel tempo.

La congestione spaziale in un cantiere edile può essere definita come una situazione in cui la densità di persone, attrezzature e materiali all'interno di un'area di lavoro supera la capacità ottimale, ostacolando il flusso delle attività e generando potenziali conflitti. Pertanto, una corretta pianificazione dello spazio permette di ottimizzare i processi lavorativi, riducendo i tempi di attesa e i movimenti inutili di squadre o attrezzature, aumentando di conseguenza la produttività e riducendo i costi. Inoltre, risulta essere un tema fondamentale ai fini della sicurezza perché diminuisce la possibilità di interferenza tra le lavorazioni e quindi il rischio per i dipendenti.

In altre parole, la gestione dello spazio è un aspetto spesso sottovalutato, ma di grande importanza, soprattutto in contesti complessi come i cantieri edili. In questi ambienti, la compresenza di operatori e attrezzature può generare una condizione di congestione spaziale, con ripercussioni significative sull'andamento dei lavori e sulla sicurezza degli operatori.

Sono numerosi gli studi che negli anni hanno affrontato questo argomento per dimostrare l'impatto positivo di un'adeguata pianificazione sui risultati del progetto.

In generale, il tema inizia ad affacciarsi all'ambito della pianificazione nel 1992 con la *regola delle 3S: Sicurezza, Spazio e Struttura* di Callahan, Quackenbush and Rowings, con cui viene chiarita l'importanza di una corretta pianificazione spaziale.

Secondo questo principio la Struttura fa riferimento alla logica nella definizione delle dipendenze tra le attività del progetto, mentre gli altri riguardano i conflitti spazio-temporali.

In particolare, lo Spazio riguarda i requisiti per squadre, attrezzature e strutture temporanee e la Sicurezza le verifiche dei possibili pericoli derivanti dalle attività che possono mettere a rischio i lavoratori. Tutto questo significa che il piano dovrebbe fornire:

- Un ambiente di lavoro sicuro per i lavoratori;
- Uno spazio sufficiente per eseguire le attività di costruzione;
- La sequenza delle operazioni di costruzione e fasi del progetto.

Nel 1997 Riley e Sanvido hanno introdotto un modello per la costruzione dello spazio focalizzato sulla gestione delle esigenze spaziali in un contesto progettuale. Tale modello si articola in una serie di passaggi logici e prioritari che guidano il progettista, il quale deve:

- Identificare gli spazi necessari all'attività;
- Definire la posizione degli spazi;
- Sviluppare una sequenza di lavoro;
- Identificare possibili conflitti.

Il punto cruciale che comincia ad emergere è la misurazione delle criticità dello spazio nonché lo sviluppo di metodi efficaci per ridurre al minimo la gravità dei conflitti spaziali.

Nel 2001 Mallasi e Dawood hanno messo in relazione il tema della produttività con l'interferenza spaziale, evidenziando che a seguito di quest'ultima la produttività della forza lavoro diminuisce del 30%. Ribadendo nuovamente l'importanza della pianificazione e suddivisione delle aree di lavoro.

Invece nel 2002 Akinci, Fisher, Levitt e Carlson hanno condotto una ricerca sui conflitti spazio-temporali che si manifestano nei progetti di costruzione, rilevando sei tipologie di spazi, ciascuna correlata alle specifiche attività. Le tipologie di spazio analizzate sono le seguenti:

- 1) Spazio per i componenti dell'edificio (***Building component space***) che comprende gli spazi necessari per la movimentazione e l'installazione dei componenti che costituiscono l'edificio come travi e pilastri.
- 2) Spazio per le squadre di lavoro (***Labor crew space***) si riferisce allo spazio occupato dalle squadre di lavoro durante le diverse fasi di costruzione. Include le aree di lavoro vere e proprie, gli spazi di movimento e le aree di sosta.
- 3) Spazio per le attrezzature (***Equipment space***) spazio dedicato allo stazionamento e all'utilizzo delle attrezzature di costruzione.
- 4) Spazio di pericolo (***Hazard space***) include le aree in cui sono presenti pericoli potenziali, come ad esempio zone di scavo o zone ad alto rischio di caduta oggetti.
- 5) Spazio protetto (***Protected space***) aree che devono essere protette da danni o interferenze durante i lavori di costruzione.
- 6) Spazio per strutture temporanee (***Temporary structure space***) comprende gli spazi occupati da strutture temporanee necessarie per la costruzione, come ad esempio ponteggi, impalcature, ma anche uffici.

La classificazione proposta sottolinea l'importanza di considerare le diverse esigenze spaziali delle attività di costruzione al fine di ottimizzare l'utilizzo dello spazio, garantire la sicurezza e l'efficienza dei lavori e prevenire conflitti.

Infatti, con le precedenti definizioni si vuole mettere in evidenza il fatto che ogni attività richiede almeno uno degli spazi elencati da cui possono insorgere dei conflitti spazio – temporali, se due o più operazioni vengono svolte anche nello stesso momento.

Per i conflitti spazio – temporali si individuano alcune caratteristiche. Innanzitutto, risulta fondamentale l'aspetto temporale in quanto i conflitti tra le attività si verificano solo per determinati periodi di tempo perché gli spazi utilizzati variano abbastanza rapidamente. Inoltre, bisogna considerare la tipologia del conflitto, che dipende del tipo di spazio coinvolto e della quantità di spazio interferente. 4 tipi principali di conflitti sono quelli individuati:

- Pericolo per la sicurezza (***Safety hazard***) si verifica quando un'attività genera uno spazio pericoloso che entra in conflitto con lo spazio richiesto dalla squadra di lavoro di un'altra attività;
- Congestione (***Congestion***) quando uno spazio per la squadra o per le attrezzature richieste da un'attività è in conflitto con un altro spazio per squadra, strutture temporanee, attrezzature o componenti richieste da un'altra attività;
- Conflitto di progettazione (***Design conflict***) quando un componente dell'edificio è in conflitto con un altro componente dell'edificio;
- Conflitto di danno (***Damage conflict***) quando uno spazio per la squadra di lavoro, le attrezzature o uno spazio pericoloso richiesto da un'attività è in conflitto con lo spazio protetto di un'altra attività.

Infine, tra due attività contrastanti che richiedono spazi specifici possono sorgere diversi tipi di conflitti, allora si verificheranno conflitti multipli.

Queste analisi rappresentano un apporto molto importante per i project manager che possono utilizzarle per modificare i propri modelli di produzione e gestire al meglio la programmazione e pianificazione della costruzione minimizzando i problemi legati ai conflitti spazio-temporali, ancor prima della fase di cantiere.

Lo strumento principale suggerito da professionisti per la risoluzione di questo tipo di conflitti sono le *flowline*. Spesso in fase di pianificazione questo diagramma è integrato con i modelli reticolari, in quanto insieme permettono di visualizzare le interazioni tra la sequenza delle

attività e lo spazio occupato, evidenziando così in maniera più immediata il possibile conflitto spazio - temporale.

In questo modo è possibile raggiungere l'obiettivo della programmazione ovvero fornire un ordine logico per le attività da svolgere, tenere conto dei requisiti di logica, spazio e ovviamente sicurezza.

Nel settore delle costruzioni, alcuni dei metodi che aiutano i pianificatori nella gestione del progetto nello spazio sono il Location Based Management System (LBMS) e il Last Planner System (LPS) che prevedono una suddivisione del progetto per renderlo facilmente controllabile. Questi metodi vengono poi affiancati da rappresentazioni grafiche quali le Line Of Balance (LOB) e le Flowline che consentono la visualizzazione di eventuali interferenze tra le attività.

4.4.1 Line Of Balance (LOB)

Le Line of Balance sono una tecnica di rappresentazione grafica della sequenza delle attività di un progetto, di cui mostrano la durata e le interdipendenze. Inizialmente, in Inghilterra erano adoperate nell'industria manifatturiera e solo in un secondo momento con l'articolo "*Programmazione dell'edilizia con le LOB*" sono state impiegate per la progettazione di strutture abitative. L'interesse per l'applicazione nel settore delle costruzioni cominciò ad aumentare negli anni Sessanta dopo la pubblicazione del libro "*Line of Balance in practice*". Dagli anni Ottanta è un metodo molto usato in Finlandia, ma a livello internazionale non è particolarmente diffuso.

È stato il primo metodo analitico di questo tipo, è una tecnica che permette di pianificare e controllare il flusso del lavoro, descritta nel 1968 da Lumsden come un modo per modellare le costruzioni ripetitive, motivo per cui risultò molto funzionale nel settore edilizio. Infatti, anche al giorno d'oggi si utilizza per scomporre il progetto in attività ripetitive.

Per la rappresentazione grafica si impiega un diagramma cartesiano in cui sull'asse orizzontale si indica il tempo, mentre su quella verticale la quantità di lavoro. Le attività sono rappresentate con due linee: una per l'inizio e una per la fine. La pendenza della linea indica la velocità di ciascuna attività: più è ripida la linea e più veloce è lo spostamento dell'attività fra le unità.

Dall'analisi delle rette è possibile identificare potenziali interferenze tra le attività, in particolare nei casi in cui si verifichi una sovrapposizione spaziale o temporale. Per mitigare tali rischi, è possibile adottare le seguenti strategie: aggiungere dei *buffer* temporali, margini di tempo tra le attività che consentono di assorbire eventuali ritardi e di prevenire la propagazione di effetti a cascata, oppure modificare la pendenza della retta attraverso la riallocazione delle risorse o la riorganizzazione delle attività.

Inoltre, è fondamentale considerare le diverse tipologie di ritardo che possono incidere sull'andamento del progetto.

- Ritardo di avvio dell'attività = posticipo dell'inizio di un'attività;
- Ritardo di spazio = evitare sovrapposizione spaziale, distanziando le aree di intervento contemporanee;
- Buffer di pianificazione = margini di tempo per eventi imprevisi come, ad esempio, condizioni meteo.

Con questa visualizzazione è possibile non solo analizzare i progressi e organizzare le risorse, ma anche prevedere le prestazioni future dei lavoratori. Infatti, si rappresenta lo stato pianificato dei lavori con linea continua, lo stato attuale con linea a punti e le previsioni con linee tratteggiate che procedono con lo stesso ritmo. Grazie a questa rappresentazione si individuano possibili conflitti e si capisce in quali situazioni è obbligatorio usare azioni correttive.

In generale, le LOB si configurano come un efficace strumento di pianificazione e controllo, particolarmente indicato per progetti caratterizzati da ripetitività. In fase di pianificazione, antecedente all'inizio delle attività, le LOB supportano l'ottimizzazione nella disposizione delle risorse e nella determinazione della velocità di avanzamento. Questa fase preliminare include la stesura di piani dettagliati relativi a costi e qualità, la definizione dei prerequisiti per ciascuna attività, scomposizione in sotto-attività e l'analisi dei potenziali problemi.

Tuttavia, il monitoraggio continuo delle attività si rivela essere la fase più importante nell'applicazione del metodo.

In questo step si effettuano proiezioni sull'andamento futuro del progetto e si definiscono le azioni correttive necessarie per assicurare la disponibilità dei materiali nei tempi previsti.

A livello grafico, quando due attività interferiscono, con conseguente elevata probabilità di interruzione del flusso di lavoro a causa dell'esaurimento dello spazio disponibile per l'attività successiva, viene segnalato mediante allarmi. Tali allarmi indicano la necessità di intervenire con azioni di miglioramento, volte a ripristinare la fluidità del processo.

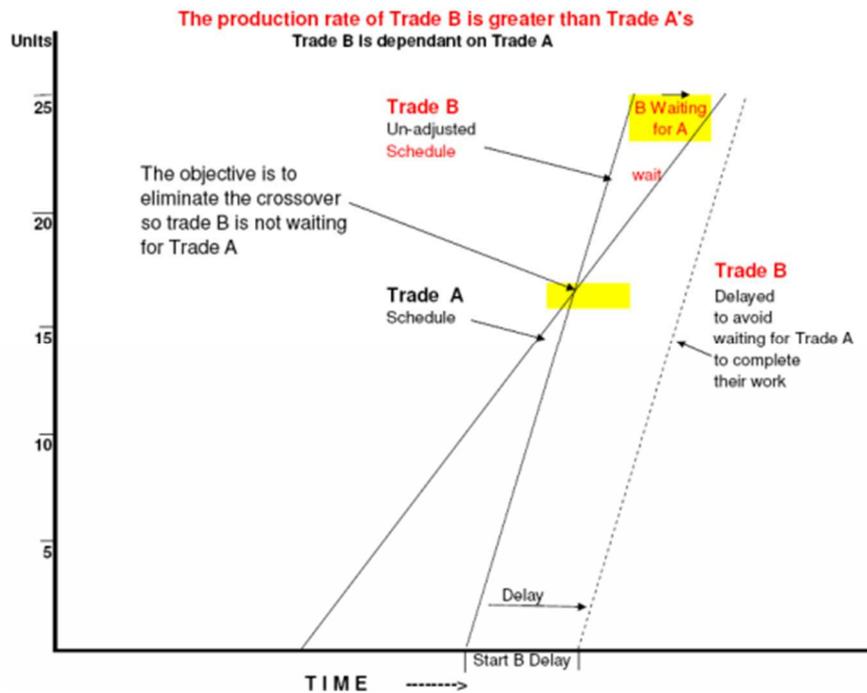


Figura 4.7. Esempio di diagramma LOB (fonte: Line of Balance, white paper Mosaic)

A differenza di un grafico a barre, che mostra la durata di una particolare attività, un grafico LOB mostra il tasso in cui il lavoro che costituisce tutte le attività deve essere intrapreso per rispettare il programma. La relazione tra un'operazione o un processo e l'operazione o il processo successivo è definita dallo spazio tra i due linee. Se un gruppo è in ritardo sulla pianificazione, ciò avrà un impatto sul gruppo successivo e questo è mostrato da linee che si intersecano.

Questo metodo presenta una serie di vantaggi:

- migliore controllo della pianificazione;
- possibilità di esaminare come le deviazioni dai piani influenzino il programma totale;
- pianificazione delle attività in modo che ciascuna attività sia eseguita in maniera continua in luoghi diversi del progetto. Si devono completare tutte le sotto-attività in una posizione prima di iniziare la successiva attività in quella posizione;
- calcolo di produttività e tempo in una rappresentazione grafica semplice;
- riduzione dei tempi, superamento costi e interferenze.

Oltre ai precedenti fattori positivi si possono individuare anche dei punti di debolezza:

- mancanza di percorso critico, che permette di definire la durata minima del progetto e quali attività allungherebbero il progetto in caso di ritardo;
- complessità maggiore per progetti con numero elevato di attività legate tra loro o che rischiano di sovrapporsi;
- graficamente la scala delle linee deve esser leggibile per comprendere facilmente le informazioni.

4.4.1.1 Flowline

Una versione più recente della tecnica delle Line of Balance è chiamata Flowline. Questo metodo, introdotto da Mohr nel 1979, permette di visualizzare il flusso delle squadre e come queste si muovono nelle varie aree del progetto sottolineando la posizione delle attività nello spazio e nel tempo.

Anche questa rappresentazione, che richiama la struttura delle LOB, sfrutta un diagramma cartesiano, in questo caso però nell'asse verticale sono riportate le unità in cui è suddivisa la struttura, mentre nell'asse orizzontale il tempo espresso in giorni, settimane oppure mesi. Anche qui ogni diagonale rappresenta un'attività e la loro inclinazione ne indica la produttività, per cui più una retta è inclinata maggiore è la produttività della squadra e di conseguenza minore è la durata complessiva della lavorazione.

Tra le attività possono essere aggiunti dei *buffer* o delle *flexibility zones*, ovvero delle aree vuote tra la pendenza delle linee, che indicano la distanza temporale e spaziale tra due lavorazioni successive (Fig.4.8a). Questi ritardi vengono introdotti per proteggere il flusso continuo delle attività e ridurre il rischio di interruzioni lavorative.

In generale, la sequenza di lavoro può esser letta in orizzontale quindi la prima diagonale rappresenta la prima attività in programma e così a seguire.

Il metodo delle flowline aiuta a visualizzare le differenze tra quanto pianificato e quanto effettivamente è stato eseguito. Di solito, il confronto è rappresentato all'interno dello stesso diagramma in cui le attività progettate sono indicate con linee continue, mentre quello che è stato realmente svolto con linee tratteggiate.

Di conseguenza, si possono fare delle previsioni, proiettando le tempistiche, si presuppone che le risorse mantengano la produttività costante e graficamente si possono visualizzare eventuali

interferenze. Se un'attività precedente rischia di sovrapporsi a una successiva, viene generato un allarme per segnalare il conflitto (Fig.4.8b).

In questo modo si può procedere stabilendo delle azioni di controllo per aggiustare la previsione, prevenendo interferenze ed evitando ritardi.

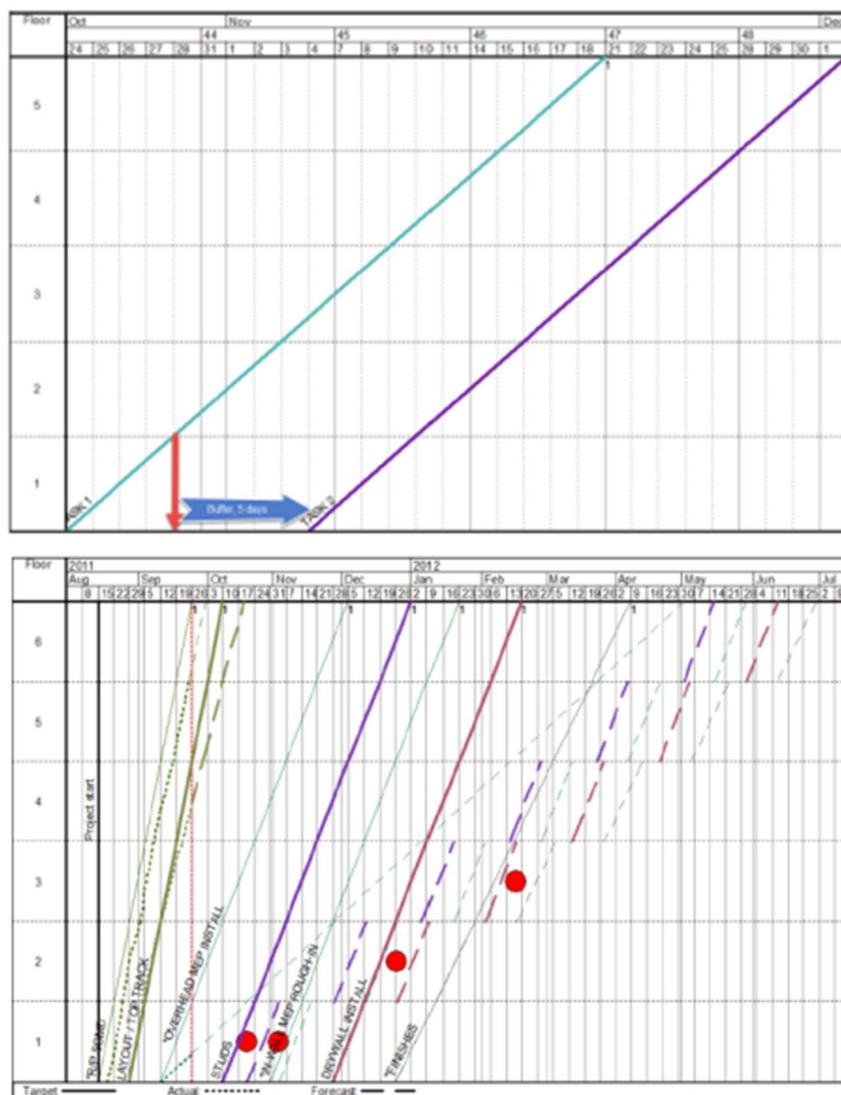


Figura 4.8a (sopra), 4.8b (sotto). 4.7a Aggiunta buffer tra due attività, 4.7b Previsioni e allarmi nelle flowline (fonte: R.Poliani, Planning and control in construction: analysis and integrations on three methodological approaches. Politecnico di Milano, a.a. 2019/2020)

A differenza del CPM che si articola su un conflitto temporale, in questo caso ci si basa sulla produttività degli operatori, che potrebbe causare ritardi e impattare sul progetto in maniera notevole.

In fase di ottimizzazione si può modificare la pendenza delle rette, tramite l'aumento o il decremento di produttività della squadra, incidendo sulla durata complessiva del progetto. Infatti, cambiare la pendenza vuol dire modificare la produttività della squadra oppure il numero

di lavoratori. In vista di una ottimizzazione è anche possibile modificare le posizioni o gli obiettivi progettuali.

Le flowline si sono rivelate uno strumento prezioso per la valutazione dello stato della pianificazione, in quanto evidenziano possibili conflitti spazio-temporali e, inoltre, aiutano a capire meglio i passaggi, gli step fondamentali e gli obiettivi del progetto.

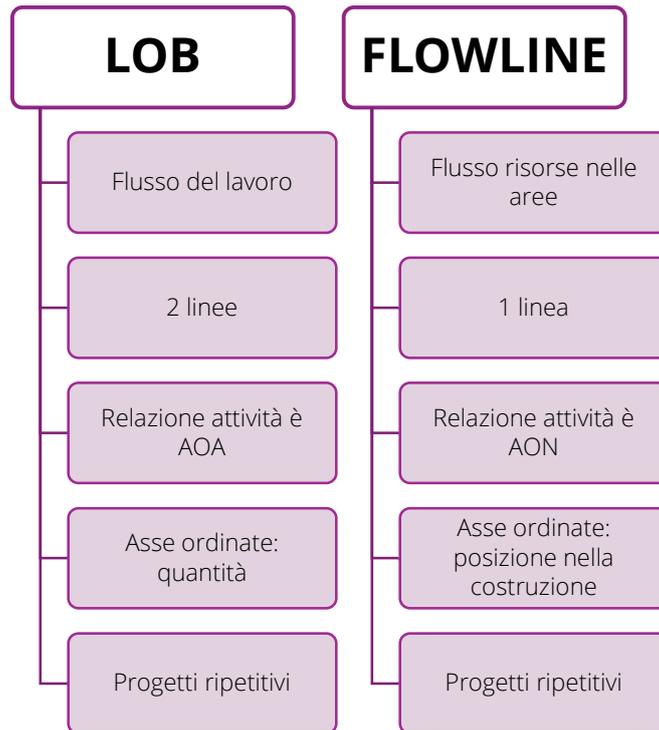


Figura 4.9. Confronto tra line of balance e flowline

Le flowline si differenziano dalle LOB anche perché la quantità di tempo assegnata a ciascuna postazione di lavoro varia in base al volume di lavoro richiesto in quella postazione. L'obiettivo finale rimane comunque lo stesso ovvero analizzare l'avanzamento delle diverse squadre di lavoro per ottimizzare la durata complessiva del progetto.

Infatti, al giorno d'oggi le flowline sono integrate con il sistema di gestione basato sulla localizzazione in cui si misura l'avanzamento delle squadre di lavoro mentre si spostano attraverso un edificio. Il fine è quello di preservare il tasso di produttività della squadra mentre si muovono da una postazione all'altra.

4.4.2 Location Based Management System (LBMS)

Il Location Based Management System è un approccio innovativo alla pianificazione e gestione dei progetti, diffuso nel settore delle costruzioni, ma applicabile anche in altre realtà, il cui fulcro risiede nella gestione del progetto tramite definizione della localizzazione e sequenza temporale. È un sistema che segue il progetto dalla fase di realizzazione al completamento.

La localizzazione costituisce la principale suddivisione del lavoro che viene concretizzata tramite la stesura della Location Breakdown Structure. L'approccio presume, quindi, la suddivisione del progetto in posizioni fisiche e che tutto sia pianificato e controllato utilizzando tali posizioni.

Di conseguenza, il sistema presenta delle caratteristiche differenti dai metodi di pianificazione basati sulle attività:

- i sistemi basati sulle attività prevedono la scomposizione in una Work Breakdown Structure e non impongono l'uso delle stesse posizioni, mentre LBMS utilizza la posizione come unità di base della pianificazione e del controllo;
- nel metodo LBMS si presuppone che la logica si ripeta in ogni posizione in cui esistono le stesse due attività riducendo notevolmente il numero di relazioni logiche;
- nel metodo LBMS il lavoro è considerato un flusso continuo, in cui sono le risorse che si muovono tra le posizioni. Per questi motivi si definisce un *resource oriented planning approach* a differenza del CPM che è *activity based planning method*; ⁹
- in fase di controllo sono enfatizzate le informazioni in tempo reale che permettono di prevedere i problemi prima che si verifichino. In questo senso è migliore rispetto al CPM, in cui si risponde alle deviazioni del percorso critico dopo che sono già avvenute.

In poche parole, con la definizione del flusso di lavoro continuo e di spostamento delle squadre tra le varie postazioni, il sistema ha l'obiettivo di ottimizzare la pianificazione nelle varie aree di progetto. Gli stessi lavoratori possono scoprire quanto tempo ciascuno di loro ha in ogni luogo o quando devono passare all'attività successiva.

In generale, è un metodo che migliora la prevedibilità di progetto permettendo di gestire in anticipo potenziali problemi o ritardi.

⁹ A. Rezaei, Location based scheduling in the form of flowline and its comparison to Cpm/Bar Chart Scheduling. International journal of Electronics, Mechanical and Machatronics engineering, 2015

Queste tecniche basate sullo studio della posizione, inizialmente solo grafiche, sono state utilizzate negli anni Quaranta per strutture verticali come l'Empire State Building di New York e successivamente anche dalla US Navy. L'approccio è stato poi ampiamente studiato in Finlandia tra gli anni Ottanta e Novanta, poiché lì il CPM non aveva trovato terreno fertile come negli altri stati.

Queste tecniche erano note con molti nomi differenti, il termine *location – based scheduling* è stato coniato da O.Seppänen e R. Kenley solamente nel 2004.

Il LBMS si costituisce di due fasi principali: pianificazione e controllo (Fig.4.10).

Fase di pianificazione (*Location Based Planning System*):

- 1) Definizione della LBS e quindi suddivisione del progetto in zone
- 2) Pianificazione delle attività per ciascuna area tenendo conto del tipo di attività, della durata, delle risorse e della sequenza temporale
- 3) Assegnazione delle risorse quali manodopera, attrezzature, materiali

Fase di controllo (*Location Based Controlling System*):

- 4) Monitoraggio dei progressi evidenziando gli scostamenti rispetto al piano iniziale
- 5) Gestione degli imprevisti apportando modifiche al piano di lavoro

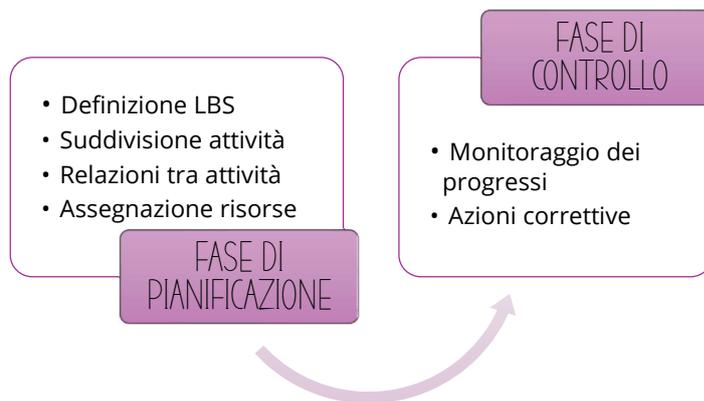


Figura 4.10. Fasi del metodo LBMS

Il primo step del metodo prevede la suddivisione del progetto in luoghi più piccoli al fine di pianificare, analizzare e controllare il lavoro mentre scorre attraverso questi luoghi.

Definire una posizione, infatti, permette di analizzare la proposta su una scala facile da programmare e da controllare.

Dopo aver scomposto il progetto in varie unità spaziali si può iniziare a programmare le attività e stabilire le relazioni logiche tenendo conto del tipo di lavorazione e degli spazi.

Si distinguono cinque tipologie di iterazioni:

- Relazioni logiche esterne tra le attività all'interno della stessa area: relazioni semplici che valgono sempre indipendentemente dall'area, ovvero, tra le stesse due attività ci sarà sempre la medesima relazione in qualsiasi luogo esse vengano svolte;
- Relazioni logiche esterne a diversi livelli di gerarchia: in questo caso la relazione logica è definita dalla struttura gerarchica e non dalla posizione;
- Relazione logica di dipendenza interna tra le posizioni: relazioni specifiche della LBMS che fanno riferimento agli spostamenti delle risorse tra le aree;
- Relazioni aggiuntive in base alla posizione: simili alle prime relazioni ma tengono conto di eventuali i ritardi dovuti alla posizione;
- Relazioni CPM tra qualsiasi attività in luoghi diversi: sono relazioni generali utilizzate per collegare fasi diverse che si svolgono in posizioni diverse e che non sono direttamente correlate tra loro. Per questo motivo sono simili a quelle dei metodi reticolari.

Inoltre, si presuppone che possano esistere simultaneamente più relazioni logiche.

Attraverso queste diverse tipologie di relazioni è possibile ottimizzare la pianificazione e la gestione dei lavori, tenendo conto della localizzazione delle attività e delle risorse.

Durante la fase di progettazione possono emergere alcune situazioni di rischio che devono essere considerate. In particolare, si individuano:

- Rischio di avvio (***Starting Risk***): probabilità che attività inizi effettivamente nei tempi previsti. Può esser dovuto a ritardi nelle attività precedenti, indisponibilità risorse, problemi con i materiali;
- Rischio di durata (***Duration Risk***): potenziale variazione della durata di un'attività legata alla sua ubicazione. Può esser dovuto, per esempio, alla difficoltà di accesso all'area o alla presenza di ostacoli;
- Rischio di inizio risorse (***Resource Beginning Risk***): rischio legato a come ottenere e mobilitare le risorse quando necessario per iniziare attività. In questo caso il ritardo è dovuto a difficoltà logistiche, problemi di approvvigionamento, indisponibilità personale;
- Ritardo di rientro risorse (***Resource Come Back Delay***): ritardo associato al rientro di un equipaggio o un'attrezzatura dopo esser stata smobilitata da un'area;

- Rischio del fattore produttivo (***Production Factor Risk***): legato a incertezza sulla produttività delle risorse che può essere la qualità dei materiali ma anche la competenza delle squadre.

Comprendere e valutare i precedenti fattori è uno step fondamentale per ridurre il rischio in relazione alla pianificazione. A seguito di queste valutazioni si possono adottare strategie di mitigazione, come la previsione di risorse alternative, la definizione di piani di emergenza, oltre al monitoraggio costante dei progressi. Solo così è possibile massimizzare le probabilità di successo di un progetto e rispettare i tempi e i costi previsti.

Un'altra strategia che spesso viene adottata è la creazione di *buffer* di tempo che sono dei margini di sicurezza aggiunti alla durata stimata dell'attività per proteggere il flusso continuo delle attività, considerando la variabilità del piano. In pratica, i *buffer* vanno ad assorbire eventuali ritardi del piano.

Nel metodo LBMS è però la fase di controllo che assume un peso maggiore rispetto alla pianificazione, perché è proprio la possibilità di visualizzare le informazioni in tempo reale che permette di rispettare i piani stabiliti.

Lo step del monitoraggio si basa su diversi fattori di cui è necessario conoscere l'entità:

- data di inizio, fine e interruzioni del progetto per mostrare lo stato di avanzamento tramite diagrammi;
- quantità effettive per verificare deviazioni rispetto al piano. Eventuali cambiamenti devono essere sempre segnalati altrimenti i calcoli seguenti risulteranno errati;
- risorse effettive importanti per calcolare il consumo e le deviazioni;
- lunghezza dei turni e dei giorni di riposo poiché il consumo di risorse si basa sulle ore di manodopera.

A differenza del metodo CPM e dei grafici a barre, dove la suddivisione in zone non è richiesta, il location-based scheduling si fonda sulla definizione di località gerarchiche. Ogni attività, infatti, è vincolata a una specifica area e la sua efficienza varia in base alla posizione. In questo contesto, la struttura gerarchica dei luoghi (LBS) svolge un ruolo analogo alla WBS nel CPM.

In sintesi, il metodo LBMS presenta alcune caratteristiche vantaggiose:

- programmazione delle attività nel tempo e nello spazio tramite le flowline;
- pianificazione con flusso continuo delle risorse, evitando spazi non utilizzati;
- ottimizzazione possibile aggiungendo i buffer per ridurre i rischi oppure modificando la produttività;
- possibile integrazione con la visualizzazione BIM, perché ha a che fare con le posizioni.

4.4.3 Last Planner System (LPS)

Il Last Planner System, introdotto negli anni Novanta da Glenn Ballard, è un sistema di pianificazione della produzione utilizzato per coordinare ed ottimizzare un processo progettuale, dalla fase di programmazione al collaudo.

È un metodo che riduce la distanza tra quello che viene pianificato e quello che viene effettivamente realizzato e si basa sul coinvolgimento degli esecutori dei lavori già dalla fase di pianificazione, promuovendo quindi la collaborazione.

La pianificazione ha lo scopo di creare un flusso di lavoro prevedibile in modo da ottenere risultati affidabili e consente di individuare e affrontare potenziali ostacoli prima che rallentino il flusso. Include una fase di apprendimento e analisi degli errori in cui per ogni incarico incompleto vengono analizzate le cause principali per garantire che il problema non si verifichi nuovamente.

LPS si costituisce di cinque momenti principali (Fig. 4.11) che vengono utilizzati per collegare i livelli di pianificazione a lungo, medio e breve termine.

Nella pianificazione a lungo termine si individuano programma generale (*master schedule*) e programma delle fasi (*phase schedule*). Invece, della pianificazione a breve termine fa parte il piano di previsione (*lookahead plan*) che ha proprio la funzione di collegare le due pianificazioni per rendere i piani realistici ed evidenziare i problemi il prima possibile. Il fine di questo piano è quello di scomporre il progetto dalle fasi generali al livello operativo. Oltre a questi vi sono il *Commitment plan* o *Weekly Work Plan* (WWP) che individua le operazioni che devono essere svolte e le loro interrelazioni. Ed infine l'apprendimento (*learning*) che rappresenta un processo di ottimizzazione orientato al futuro, volto a migliorare l'efficienza del progetto.

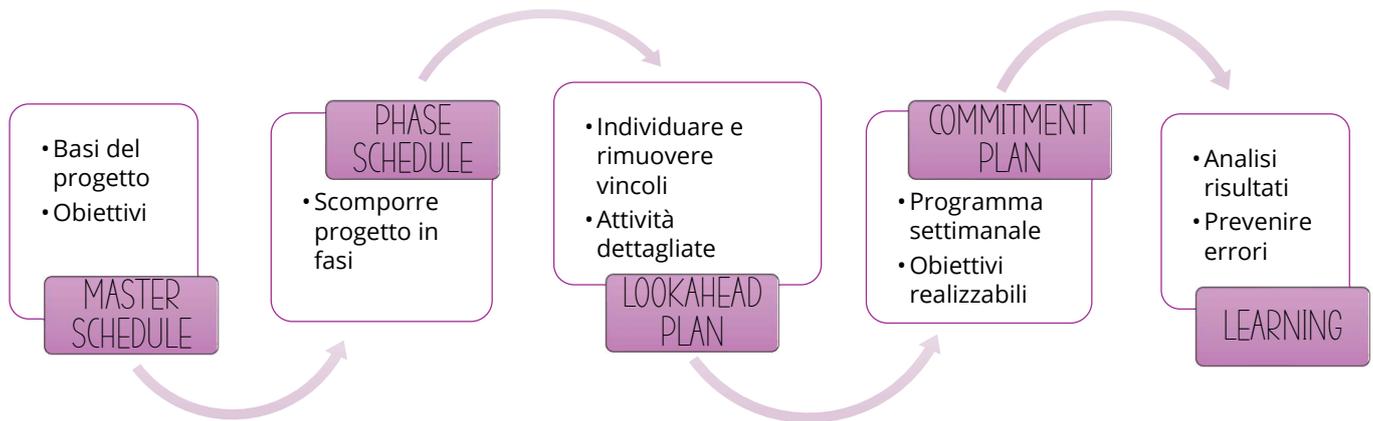


Figura 4.11. Fasi del metodo LPS

1) *Master Schedule*

Indica cosa si deve fare, chi lo deve fare ed entro quando, in pratica individua le tappe fondamentali e le strategie a lungo termine. Traduce il volere del proprietario in un programma di lavoro, se questo non è soddisfatto si apportano delle modifiche.

2) *Phase Schedule*

In questo step il piano generale viene suddiviso in fasi più piccole, con un grado di dettaglio delle attività maggiore.

Il metodo si basa sul lavoro collaborativo, poiché i partecipanti devono preparare un piano di lavoro preliminare in cui indicano: descrizione attività, durata prevista, risorse richieste e cosa deve esser terminato prima dell'inizio attività.

Si procede poi a ritroso per evidenziare vincoli e prerequisiti e una volta definito un piano accettabile, si stabiliscono i tempi delle attività.

L'obiettivo è realizzare un piano che vada bene agli stakeholder, stabilire i passaggi tra specialisti e avere un calendario concordato prima dell'inizio della fase.

3) *Lookahead Plan*

Indica il piano settimanale che viene elaborato considerando le risorse disponibili e gli obiettivi da raggiungere, suddividendo quindi le attività in operazioni più dettagliate.

È il piano che stabilisce il collegamento tra il programma generale e gli impegni a breve termine in cui si valutano i vincoli.

4) *Commitment Plan (Weekly Work Planning)*

È un'estensione del piano precedente, ma più dettagliato che conduce direttamente alla produzione. Indica la programmazione settimanale del lavoro, quali incarichi devono essere svolti, in che sequenza e che tempistiche. I programmi delle attività vengono aggiornati ogni settimana per corrispondere sempre alla situazione attuale mentre il programma generale non è mai aggiornato. Difatti, aggiornare il piano generale potrebbe creare una falsa sicurezza, invece tenerlo così stabilisce dei confini in cui è possibile reagire.

5) *Learning*

È la fase conclusiva in cui si analizzano i risultati ottenuti per evidenziare problemi o ritardi e apportare modifiche al piano di lavoro. Quindi, alla fine di ogni settimana, si misura il numero di incarichi completati rispetto a quelli pianificati, per rimuovere vincoli, analizzare le attività non terminate e imparare dagli errori.

In sintesi, si può dire che: *“in phase scheduling, team members are committing to do their best. In lookahead planning, team members are doing all they can to remove constraints. In weekly work planning, team members are committing to doing their tasks”*.¹⁰

Quindi, nella pianificazione per fasi i collaboratori devono fare del proprio meglio per la progettazione, nella fase successiva devono fare tutto quello che possono per rimuovere i vincoli, mentre nella pianificazione settimanale devono svolgere le proprie attività.

LPS is based on the idea that all planning is a forecast and forecasts are always wrong (Ballard 2000).¹¹

LBMS e LPS si possono considerare due processi complementari: il primo mira a prevenire le interferenze, il secondo a ottimizzare la pianificazione. L'analisi dei vincoli e la pianificazione settimanale dell'LPS possono anticipare problemi di produzione più rapidamente rispetto all'LBMS. Viceversa, le previsioni di produttività dell'LBMS rivelano aspetti non considerati dall'LPS. Pertanto, l'integrazione di questi due metodi rappresenta una soluzione potenzialmente vantaggiosa.

¹⁰ R.Poliani, Planning and control in construction: analysis and integrations on three methodological approaches. Politecnico di Milano, a.a. 2019/2020, p.50

¹¹ X.Brioso, D.Murguia, A.U.Sanchez, Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System, In Organization, Technology and Management in Construction, 2017

METODO PROPOSTO

Il settore delle costruzioni, come è stato più volte sottolineato, costituisce un pilastro significativo dell'economia del Paese che spesso si trova ad affrontare sfide importanti in termini di sicurezza. I cantieri sono quotidianamente teatro di rischi elevati per i lavoratori. Le cadute dall'alto, gli incidenti con attrezzature, materiali infiammabili e sostanze pericolose sono solo alcune delle minacce che incombono sugli addetti ai lavori.

Oltre a tutto quello che riguarda la sicurezza, nella gestione dei cantieri si affaccia anche un altro tema che è l'inefficienza. I ritardi dovuti a errori di progettazione o a comuni imprevisti, sprechi di materiali a causa di una cattiva gestione degli approvvigionamenti, costi imprevisti e difficoltà di coordinamento tra le diverse figure coinvolte nel progetto, concorrono alla compromissione della produttività.

È fondamentale rimarcare come sicurezza ed efficienza siano due tematiche strettamente connesse tra loro. Questo poiché la mancanza di sicurezza porta inevitabilmente ad inefficienze operative, come nel caso di un incidente sul lavoro che causa ritardi e costi aggiuntivi. Allo stesso tempo, l'inefficienza compromette la sicurezza, ad esempio quando il desiderio di recuperare i ritardi accumulati porta a trascurare le procedure di sicurezza.

Per organizzare e gestire il cantiere in modo efficace, risulta quindi necessario un approccio integrato che consideri sicurezza ed efficienza come elementi complementari posti allo stesso livello. Difatti, un ambiente di lavoro sicuro è anche più efficiente e un processo produttivo ben organizzato contribuisce a migliorare la sicurezza.

Nel prossimo paragrafo si vuole presentare un metodo di gestione e organizzazione delle attività del progetto che ha come protagonisti sia la sicurezza che l'efficienza. Nel tentativo di dimostrare come questi requisiti possano essere rispettati, l'approccio proposto vuole analizzare i conflitti spazio-temporali che possono verificarsi nel cantiere e la loro potenziale risoluzione con l'utilizzo dei tempi di scorrimento delle attività.

5.1 Fasi del metodo

Il presente metodo (Fig.5.1) è strutturato secondo una logica di localizzazione delle attività tramite l'utilizzo di una Location Breakdown Structure (LBS), che consente di superare i limiti del diagramma di Gantt tradizionale, focalizzato principalmente sulla dimensione temporale.

L'integrazione della LBS nella Work Breakdown Structure (WBS) rappresenta un elemento di cruciale importanza. Infatti, la WBS, che fornisce una scomposizione gerarchica del progetto in attività più piccole e gestibili, viene così arricchita dalla dimensione spaziale.

Questa sinergia permette di tracciare in modo preciso le variazioni di localizzazione delle attività nel corso del progetto, un aspetto spesso trascurato nei metodi tradizionali, ma fondamentale per una completa analisi dei rischi.

Attraverso la distribuzione delle attività nel tempo e nello spazio di progetto, il modello consente di identificare e quantificare i conflitti spazio-temporali che possono sorgere tra le diverse operazioni.

L'attenzione si concentra in particolare sulle attività subcritiche, ovvero quelle che, pur non influenzando direttamente la durata complessiva del progetto, presentano un margine di flessibilità limitato e possono facilmente diventare critiche in caso di imprevisti.

Grazie all'utilizzo del *total float* (TF), ovvero la quantità di tempo in cui un'attività può essere ritardata senza compromettere la data di fine del progetto, le attività subcritiche possono essere gestite e ottimizzate, minimizzando i rischi potenziali. Inoltre, il TF permette di stabilire una priorità tra le attività subcritiche sovrapposte, fornendo uno strumento di supporto per le azioni di coordinamento della sicurezza in fase di controllo dei lavori.

Il metodo consente di integrare la dimensione spaziale e temporale in un modello unificato. Questo approccio offre una visione più completa e dettagliata dei rischi, consentendo ai project manager di adottare misure preventive più efficaci e di garantire la gestione della sicurezza durante l'intero ciclo di vita del progetto.



Figura 5.1. Step fondamentali del metodo

1) Analisi del contesto ed elenco delle attività

In questa fase iniziale, vengono analizzate le caratteristiche specifiche dell'area di progetto, con il fine di identificare i potenziali rischi e interferenze dovute al contesto esterno che potrebbero compromettere il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Parallelamente a questo, si procede con l'elenco delle attività da svolgere per la realizzazione del progetto.

Con le informazioni raccolte durante queste analisi si pongono le basi per il modello avendo una visione chiara e completa del progetto e del luogo in cui si opera.

2) LBS – Location Breakdown Structure

In questo step si suddivide l'area di lavoro in unità e sottounità. La scomposizione facilita il riconoscimento delle zone occupate, il percorso delle risorse disponibili e soprattutto l'identificazione delle lavorazioni in relazione al luogo in cui vengono eseguite. La suddivisione non solo fornisce una mappa dello spazio di lavoro, ma consente di valutare l'impatto di ogni singola attività sull'area circostante e individuare possibili interferenze o sovrapposizioni tra le diverse attività.

3) WBS – Work Breakdown Structure

Le attività vengono organizzate in modo gerarchico e scomposte da quelle più complesse a quelle più semplici, definendo quindi delle sotto-attività più facilmente gestibili. Questo approccio garantisce una visione chiara e dettagliata di ogni singolo task, facilitando l'assegnazione delle risorse e delle tempistiche.

4) Schema di produzione

Il passaggio successivo è la definizione delle tempistiche necessarie a completare ciascuna attività. Questo processo avviene attraverso l'inserimento delle attività all'interno di uno schema di produzione che permette di visualizzare in modo dettagliato le diverse fasi del processo produttivo e di stimarne i tempi.

Lo schema di produzione è uno strumento utilizzato per la pianificazione e il controllo del progetto, in cui per ogni attività conoscendo quantità, importo unitario e incidenza di manodopera è possibile calcolare i seguenti parametri:

- Uomini – giorno = numero di persone necessarie per completare l'attività in un determinato numero di giorni;
- Durata dell'attività = stima del tempo necessario per completare l'attività, espressa in giorni.

La definizione delle tempistiche è una fase essenziale che permette poi di definire in modo accurato un cronoprogramma dei lavori.

5) Reticolo PDM su diagramma spazio – risorse

Dopo aver definito le tempistiche di ogni attività, le aree di intervento e le attività stesse si crea un reticolo PDM integrato in un diagramma spazio – risorse. Questo approccio permette di visualizzare le relazioni tra attività, la loro collocazione spaziale e l'impiego delle risorse.

Il reticolo è strutturato in modo tale che ogni riga corrisponda ad una specifica area del progetto, offrendo una rappresentazione immediata della distribuzione delle attività nello spazio.

All'interno del reticolo, vengono quindi definiti i legami tecnologici tra le attività, ovvero le relazioni di dipendenza che ne regolano la sequenza di esecuzione e successivamente, dopo l'assegnazione delle squadre di lavoro, si definisce il loro spostamento tra le aree.

6) Clash matrix

Il passaggio successivo, fondamentale per garantire la sicurezza nel cantiere, è identificare le possibili interferenze tra le operazioni. Per questo motivo è costruita una clash matrix che permette di visualizzare in modo immediato le relazioni spaziali tra le diverse aree di progetto e di individuare le zone in cui potrebbero verificarsi conflitti.

La matrice utilizzata è una tabella a doppia entrata in cui sia le righe che le colonne rappresentano le aree in cui è suddiviso il progetto e dall'incrocio si ottengono delle celle che indicano la loro relazione. Per ogni cella è stabilito se le aree interessate sono:

- adiacenti, senza possibilità di interferenza;
- adiacenti, con possibilità di interferenza;
- non adiacenti.

7) Identificazione attività interferenti

La fase seguente è quella che si focalizza sull'individuazione delle interferenze. Per procedere si trasferisce il reticolo sul software MS Project e tramite le funzionalità del programma si sfrutta la creazione automatica del Diagramma di Gantt, uno strumento fondamentale per la visualizzazione e l'analisi delle attività del progetto. Infatti, grazie al Gantt, al diagramma spazio – risorse e alla clash matrix è possibile determinare facilmente le attività che si svolgono contemporaneamente e nello stesso luogo o in aree contigue, ovvero tutte quelle che presentano un rischio di interferenza.

8) Ottimizzazione con i tempi di scorrimento

L'ultimo passaggio del metodo è quello che conduce all'ottimizzazione del processo produttivo. Per raggiungere questo obiettivo viene utilizzato il calcolo automatico del *total float* tramite cui è possibile definire il percorso critico e le attività critiche; quindi, tutte quelle attività che, se posticipate, conducono a un ritardo della durata complessiva dei lavori. Difatti, dopo aver stabilito le attività interferenti e valutato i tempi di scorrimento si individuano quali attività possono essere ritardate.

In conclusione, il metodo promuove l'integrazione dei diversi processi di costruzione, dalla progettazione all'esecuzione, attraverso anche l'utilizzo di strumenti digitali. Introduce un sistema di gestione dei rischi, basato sull'identificazione e la valutazione preventiva dei pericoli, nonché sull'implementazione di misure di controllo efficaci. Questo approccio consente di ridurre il rischio di incidenti e di creare un ambiente di lavoro più sicuro per i lavoratori. Infine, mira ad ottimizzare l'utilizzo delle risorse, sia umane che materiali, per ridurre i costi, i tempi di esecuzione e l'impatto ambientale dei progetti di costruzione.

CASO STUDIO

Il presente lavoro di tesi si concentra sull'analisi di un caso studio specifico, che mi ha incuriosito nel corso dell'esperienza di tirocinio curriculare presso l'unità Progettazione e Direzione Lavori del settore Edifici Pubblici del Comune di Forlì.

Durante questo percorso formativo oltre al mio tutor, ho avuto modo di confrontarmi con altri architetti che, pur operando su progetti e cantieri distinti dai miei, hanno rappresentato una preziosa fonte di apprendimento.

In modo particolare, l'operazione di restauro e rifunzionalizzazione del Mercato Coperto, seguita dall'architetto Chiara Atanasi Brilli in qualità di direttore dei lavori, ha suscitato il mio interesse da subito, spingendomi ad approfondire la tematica. La rilevanza di tale intervento, sia dal punto di vista architettonico che sociale, mi ha indotto ad analizzare in dettaglio le diverse fasi del processo, con l'obiettivo di comprendere al meglio le sfide progettuali e le potenzialità di questo spazio.

Il caso studio prescelto viene dunque adottato come esempio dell'applicazione del metodo proposto, in quanto offre l'opportunità di analizzare un reale cantiere di costruzione, esaminando in concreto le dinamiche che generano i conflitti spazio – temporali, le conseguenze sul processo produttivo e la strategia di intervento adottata per la risoluzione.

Pertanto, tramite questo contributo, si vuole dimostrare l'efficacia del metodo proposto per la gestione delle interferenze e offrire una soluzione applicabile per migliorare la programmazione dei lavori in situazioni analoghe.

6.1 Evoluzione storica dell'edificio

La prima cartografia in cui è riconoscibile l'edificio risale al 1795 (Fig.6.1a), nella suddetta mappa si può distinguere la planimetria della chiesa di San Francesco Grande ed il convento annesso. Infatti, l'attuale piazza Cavour, all'epoca, era in parte occupata dalla chiesa.

Successivamente, sotto il dominio francese lo stabile fu reso polifunzionale: una parte servì ad accogliere la cavalleria mentre l'altra le scuole del Ginnasio.

Il 15 settembre 1815, Luigi Belli, divenuto proprietario, fece definitivamente demolire questi edifici e costruire i due fabbricati che fiancheggiano il Foro Annonario, a sua volta costruito su una parte dell'antico convento.

La struttura fu eretta su disegno dell'architetto Giacomo Santarelli e commissionata dal Comune sotto il Governo dei Legati pontifici Nicolò Grimaldi ed Alessandro Spada.

Dalla mappa del Catasto del 1860 (Fig. 6.1b) è individuabile la sagoma planimetrica del Foro Annonario.



Figura 6.1a (sinistra), 6.1b (destra). 6.1a Mappa catastale del 1795, 6.2b Mappa catastale del 1860

Nella mappa catastale degli anni successivi è visibile un fabbricato con configurazione differente rispetto a quella attuale, per cui si presuppongono delle modifiche postume, probabilmente risalenti agli anni 50 – 60.

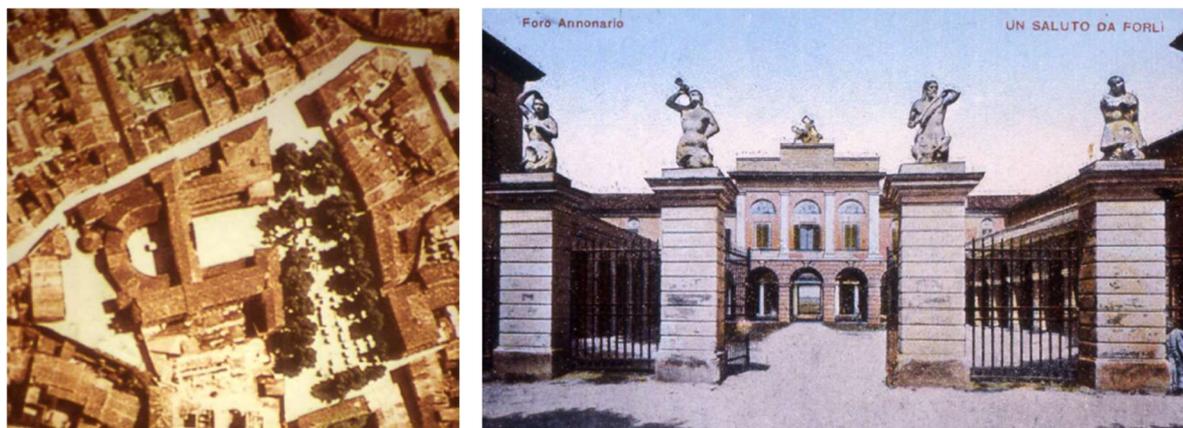


Figura 6.2. Immagini storiche

Anche nel corso degli anni Settanta furono effettuati vari interventi superfetativi fra cui la collocazione di una grande tettoia in acciaio a copertura della piazzetta interna del mercato, che nascondeva quasi interamente la facciata monumentale. Con lo stesso intervento è stata

ricoperta anche l'edera del mercato, separata dalla piazzetta interna da un colonnato (Fig. 6.3a e 6.3b). Tra il 2018 e il 2020, il Comune ha effettuato un primo intervento di restauro e riqualificazione del complesso del Mercato, tramite la demolizione della vecchia tettoia per aprire nuovamente la piazza e rendere visibili le architetture dell'Ottocento (Fig.6.3c). Durante questa operazione vennero ripristinate anche le coperture laddove ammalorate.



Figura 6.3a (in alto a sinistra), 6.3b (in alto a destra), 6.3c (in basso). 6.3a Vista della tettoia dall'alto (2015), 6.3b Vista della tettoia da Piazza Cavour (2015), 6.3c Vista da Piazza Cavour (2024)

Il complesso architettonico racchiuso in un quadrato di circa 80 m di lato, si sviluppa attorno a una piazza su tre lati: i due lati opposti riprendono le preesistenti maniche del convento, mentre il terzo è costituito da un fabbricato di nuova costruzione sorretto da un portico a sette forni e impreziosito da fregi e altorilievi ad opera dell'architetto forlivese Giacomo Santarelli.

I fabbricati gemelli, sviluppati su due piani, si caratterizzano per la loro funzionalità: il piano terra, affacciato sul foro, ospita negozi e bar, mentre sul retro, rispetto al corpo centrale, si apre un'edera semicircolare sede del mercato ortofrutticolo e del pesce. Il piano primo, invece, è interessato dai lavori di restauro che trasformeranno la ex scuola in uffici e sale riunioni di proprietà del comune.

La struttura è attualmente nota con diverse denominazioni, ciascuna con una specifica origine: “Mercato Coperto”, che ne indica la funzione di mercato riparato; “Mercato delle Erbe”, richiamando l'antica tradizione del mercato di granaglie in piazza San Francesco (ora Cavour), oggi dedicato appunto alle erbe; ed “Ex Flavio-Biondo”, in riferimento all'istituto scolastico che ha occupato il primo piano fino a tempi recenti.

Di conseguenza, anche la piazza antistante, piazza Cavour, è spesso definita Piazza delle Erbe.



Figura 6.4. Localizzazione edificio

Gli interventi di restauro del 2018

A partire dai primi anni 2000, il centro storico ha sperimentato un progressivo deterioramento, caratterizzato da un declino sia strutturale che commerciale. Tale condizione ha avuto un impatto negativo sul Mercato Coperto e sull'adiacente piazza Cavour, contribuendo a una diminuzione dell'afflusso di residenti e visitatori.

Tale situazione negativa è stata però affrontata grazie all'esecuzione dei primi interventi di restauro previsti dall'amministrazione comunale.

Il punto di forza di quest'area su cui il progetto desidera soffermarsi, è proprio la multifunzionalità, sia all'interno dell'edificio che nella piazza. Questa varietà di funzioni, che include ristoranti, un mercato alimentare, locali, e in passato anche una scuola e aree verdi, rappresenta un elemento distintivo.

La combinazione di questa diversità con la qualità urbana e architettonica del luogo offre un'opportunità per una riqualificazione completa dell'area. Tale riqualificazione si concentra su tre aspetti: funzionale, architettonico e ambientale. L'obiettivo è l'ottimizzazione delle funzioni presenti, del patrimonio storico – artistico e della gestione delle risorse in maniera sostenibile. In sintesi, si propone di rivitalizzare la zona, qualificarla e renderla polo attrattivo per cittadini e visitatori.

L'operazione di riqualificazione è stata suddivisa in due progetti principali.

Il primo progetto (Fig.6.5) riguardava l'arredo urbano di piazza Cavour, il restauro delle facciate dei fabbricati laterali ai fianchi dell'ingresso del Mercato Coperto e la valorizzazione di spazi inutilizzati sulla piazza, che sono stati poi destinati all'apertura di nuove attività di ristorazione.

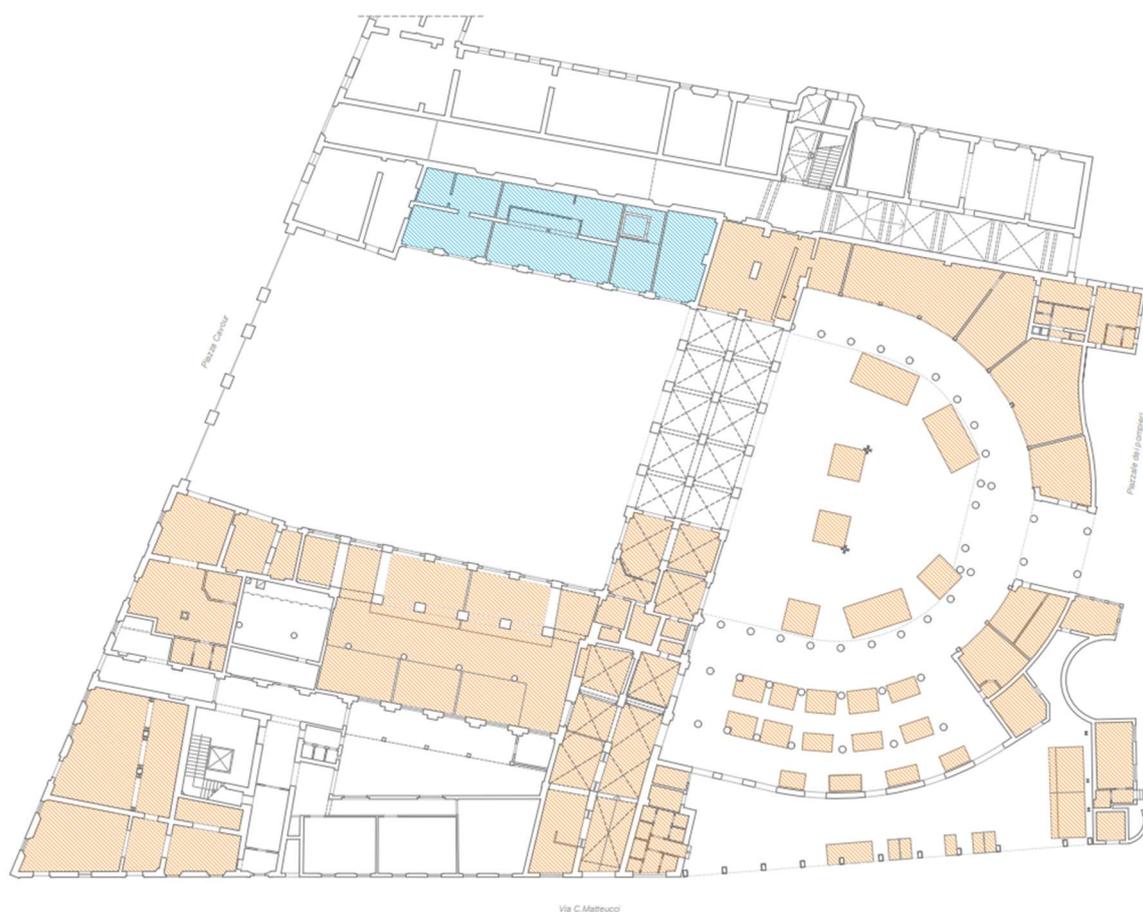


Figura 6.5. In arancione aree di intervento del primo progetto, in azzurro locali destinati a nuove attività

Il secondo progetto autorizzato (Fig.6.6), invece, prevedeva, la rimozione della tettoia incongrua in acciaio che copriva la piazza principale del mercato ed il restauro della facciata monumentale e delle facciate laterali, oltre al ripristino delle coperture laddove ammalorate.

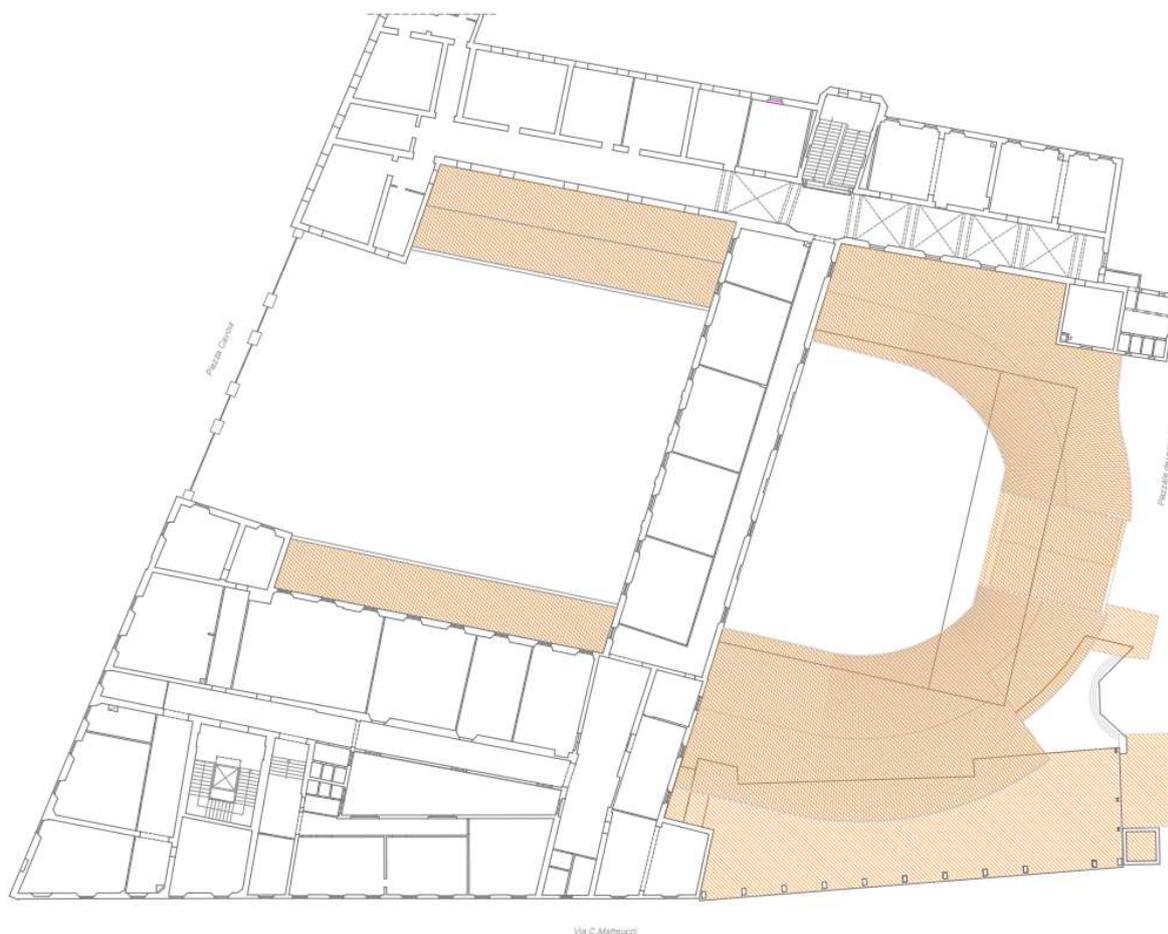


Figura 6.6. Interventi sulle coperture previsti dal secondo progetto

La riqualificazione dell'area adibita al mercato ha portato a un miglioramento dello spazio pubblico e creazione di nuove attività commerciali che hanno attirato sempre più visitatori.

Gli interventi di restauro del 2023

Al fine di valorizzare pienamente il potenziale derivante dalla sua posizione strategica e dalle peculiarità architettoniche che ne contraddistinguono la struttura, si è reso necessario un intervento di recupero integrale del complesso edilizio.

Pertanto, i progetti principali autorizzati dalla Soprintendenza e finanziati tramite i fondi del PNRR, che riguardano la riqualificazione e rifunzionalizzazione dell'area, sono stati suddivisi in tre stralci funzionali, ognuno autonomo rispetto agli altri.

Il primo stralcio interessa l'ala di destra e il fronte sulla piazza del Mercato. Si procede con un intervento strutturale al fine di consolidare il complesso e ancorare la facciata monumentale al resto del fabbricato. Gli ambienti interni vengono distribuiti a futuro uso dall'amministrazione comunale.

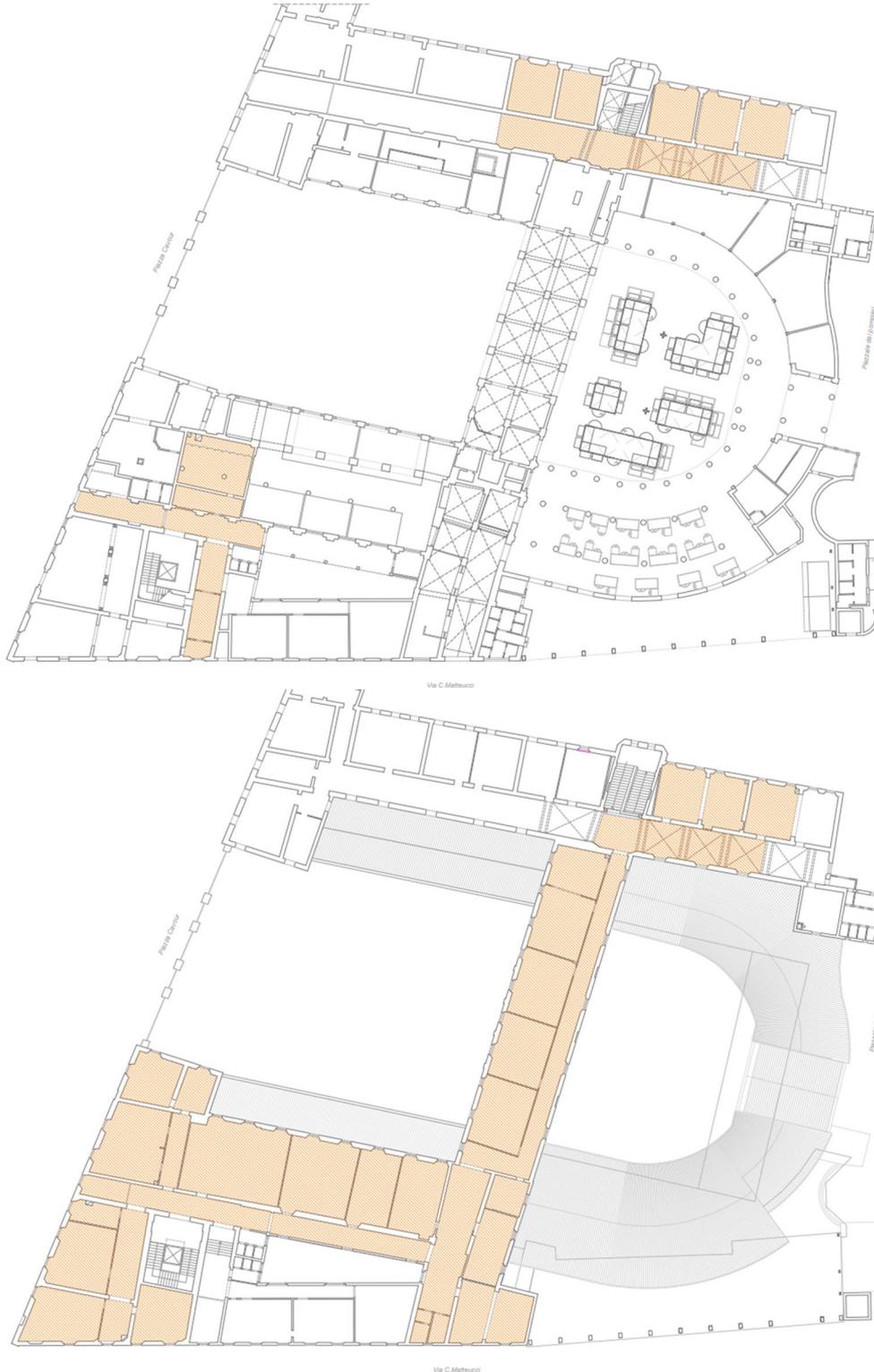


Figura 6.7a (sopra), 6.7b (sotto). 6.7a Aree di intervento piano terra, 6.7b Aree di intervento primo piano

Il secondo stralcio interessa la restante area del fabbricato, quindi l'ala sinistra della piazza, comprendente sia il piano terra che il primo piano. In questa zona si vuole collocare accanto al blocco scale un nuovo ascensore per il superamento delle barriere architettoniche e, a seguito di un miglioramento strutturale, nuovi uffici comunali e aree per servizi igienici.



Figura 6.8a (sopra), 6.8b (sotto). 6.8a Aree di intervento piano terra, 6.8b Aree di intervento primo piano

Il terzo stralcio include la demolizione del fabbricato sito in via Matteucci, la cui incongruenza con le mappe catastali storiche suggerisce una costruzione successiva non conforme.

In quella stessa area il progetto prevede la realizzazione di uno spazio culturale a doppio volume, da dedicare a sala conferenze del centro storico, ad uso sia del comune di Forlì che di privati.

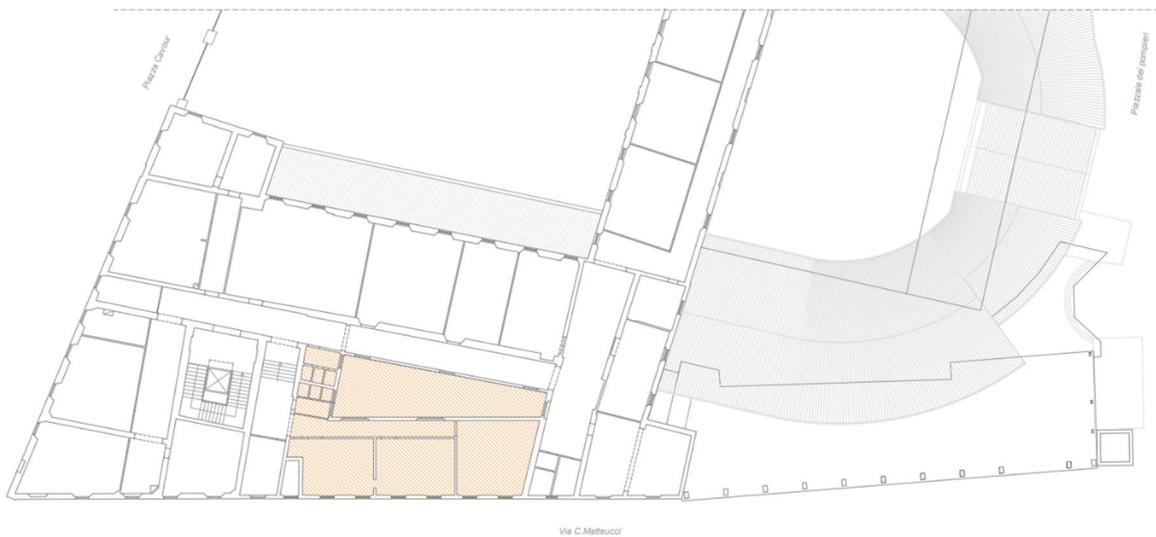
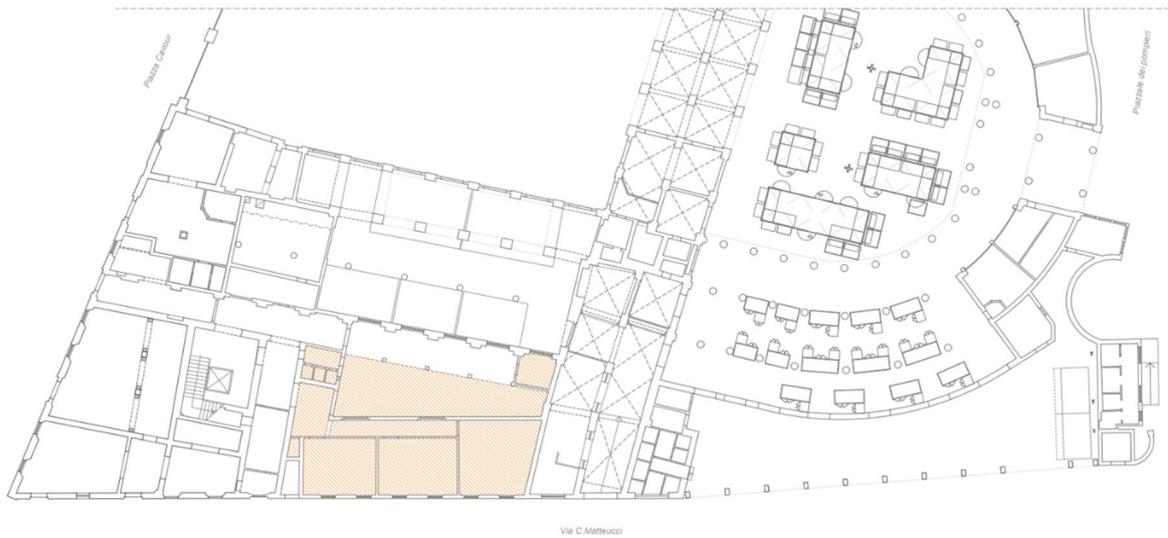


Figura 6.9a (sopra), 6.9b (sotto). 6.9a Aree di intervento piano terra, 6.9b Aree di intervento primo piano

6.1.1 Il primo stralcio attuativo

Il presente lavoro di tesi si inserisce, pertanto, nel contesto di un progetto di riqualificazione molto ampio, promosso dall'amministrazione comunale, volto alla rigenerazione di un edificio significativo del centro storico.

Tuttavia, al fine di dimostrare la validità del metodo proposto, ci si concentrerà esclusivamente sul primo stralcio del progetto. Questa scelta consente di circoscrivere l'ambito di indagine, permettendo un'analisi più approfondita delle problematiche e delle potenzialità di tale area.

Il primo stralcio attuativo riguarda gli interventi sulla sezione più estesa del fabbricato, con un'attenzione particolare al primo piano, dove si svolgerà la maggior parte delle attività, pur interessando anche una porzione del piano terra.

In quest'area l'accesso al piano superiore, in cui saranno collocati gli uffici comunali, avverrà dall'ingresso nell'ala destra su piazza Cavour, utilizzando il portone esistente di accesso ai precedenti locali della scuola Flavio Biondo. Quindi, il piano terra fungerà da filtro per il pubblico, per poi dare accesso alla scala ed al vano ascensore esistenti.

Si rende necessario, per motivi di sicurezza, eseguire un intervento di consolidamento strutturale dei solai posti al di sopra dell'area ortofrutta e nell'ala sinistra, che alzerà l'attuale quota di calpestio, portando ad un unico livello tutto il piano.

Sia le pavimentazioni che i controsoffitti attuali risultano in gran parte ammalorati; pertanto, ne è previsto il rifacimento su tutto il piano. In modo particolare i nuovi controsoffitti in cartongesso serviranno anche per nascondere gli impianti.

Si provvederà poi a dotare gli uffici di due nuove aree adibite a servizi igienici e di diversi spazi destinati ad archivio.

Per garantire la stabilità dell'edificio, verranno realizzati interventi di consolidamento strutturale mediante l'inserimento di elementi metallici su tutto il primo piano. Contestualmente, la facciata storica, non solidale con il resto dell'edificio, sarà collegata alla struttura attraverso tiranti appositamente studiati per risultare pressoché invisibili dall'esterno.

Nell'ala del fabbricato corrispondente alla facciata monumentale gli uffici saranno delimitati dal telaio in acciaio, che ne stabilirà le ampiezze: i controventamenti saranno mascherati da pareti in cartongesso che conterranno oltre alle putrelle, anche i cavi degli impianti meccanici ed elettrici.

Data la necessità di implementare un'ulteriore via di fuga, il presente intervento, pur concentrandosi sul primo stralcio, prevede l'integrazione di elementi appartenenti al secondo. In particolare, verranno utilizzati l'accesso al parcheggio posteriore, la scala monumentale esistente che conduce al primo piano nell'ala interessata, e la collocazione di un nuovo ascensore adiacente allo scalone, al fine di garantire un'adeguata sicurezza e accessibilità.

In questa porzione di fabbricato, al piano terra, saranno collocati gli ambienti destinati agli impianti, una nuova cabina elettrica ed una centrale termica ad uso dell'intera struttura.

Inoltre, per il rispetto della normativa antincendio sarà necessario collocare due scale di sicurezza esterne al fabbricato, una in corrispondenza dell'ingresso posteriore sul parcheggio ed una nuova scala, nel parcheggio lato prefettura, in zona mascherata a tutti i fruitori del mercato e della piazza Cavour.

Parallelamente al significativo intervento di restauro e consolidamento del primo piano del fabbricato storico, si prevede l'avviamento degli spazi commerciali al piano terra. Questa sinergia tra recupero strutturale e funzioni commerciali ha lo scopo di incrementare la frequentazione dell'area, sia durante il giorno che nelle ore serali, contribuendo così a una maggiore vitalità del centro storico. Il completamento dei successivi stralci del progetto consentirà di restituire l'intera area al centro storico in una forma rinnovata, rendendo fruibili tutti gli spazi e rivitalizzando le attività esistenti.

Per una comprensione approfondita delle modifiche apportate al progetto, si rimanda alla consultazione degli Allegati 1.1 e 1.2 che illustrano lo stato modificato del progetto. Gli Allegati 2.1 e 2.2, invece, offrono una visualizzazione comparativa tra lo stato attuale e lo stato modificato con l'utilizzo dei gialli e rossi, indicando quali interventi previsti da progetto devono essere eseguiti.

6.1.2 Il cantiere

L'area su cui sorge il complesso è quella tipica di un contesto urbanizzato, in quanto nelle vicinanze sono presenti edifici pubblici, attività commerciali ed anche immobili a destinazione residenziale. Pertanto, l'inserimento del cantiere all'interno del tessuto urbano esistente ha richiesto un'attenta pianificazione, al fine di minimizzare l'impatto sulle attività circostanti e garantire la sicurezza di lavoratori e cittadini.

Il layout di cantiere estrapolato dagli elaborati del Piano di Sicurezza e Coordinamento e alcuni zoom di dettaglio ripresi dal Piano Operativo di Sicurezza, sono stati concepiti per ottimizzare

gli spazi disponibili, definendo le aree di lavoro, i percorsi di accesso e le zone di stoccaggio dei materiali. Particolare attenzione è stata posta poi alla gestione dei flussi di traffico in considerazione della presenza di edifici e attività nelle immediate vicinanze.

I progetti sono stati elaborati e studiati per risultare il meno possibile invasivi, anche se nonostante le strategie adottate, in alcune circostanze si è reso necessario interrompere temporaneamente le attività lavorative per garantire la sicurezza. In particolare, l'anticipo della demolizione dell'edificio su viale Matteucci, prevista nel terzo stralcio, è stato effettuato durante il primo per gestire le operazioni ad alto rischio e ampliare l'area di cantiere disponibile.

Per tutte le altre lavorazioni a programma, invece, si è mantenuta la continuità delle operazioni commerciali, adottando misure di sicurezza quali l'attenzione agli orari di maggiore affluenza e la delimitazione accurata delle aree di cantiere.

Per la rappresentazione del layout di cantiere ricavato dal PSC e dei dettagli di approfondimento del POS si rimanda agli Allegati 3.1 e 3.2.

6.2 Applicazione del metodo

Il progetto, come è stato precedentemente spiegato, si focalizza esclusivamente su una parte del piano comunale, ovvero sul primo stralcio attuativo, che è stato approvato dalla Soprintendenza e i cui lavori sono cominciati nel luglio 2023 finanziati dai fondi PNRR.

Il presente lavoro di tesi si basa sull'analisi di un caso studio reale, relativo a un cantiere di costruzione già avviato. L'approccio metodologico adottato prevede l'utilizzo di interventi e documenti di pianificazione preesistenti, conformi alle prassi operative del cantiere in questione. Tuttavia, al fine di valutare l'efficacia del metodo, è stato condotto uno studio parallelo, ipotizzando uno scenario alternativo in cui il cantiere non avesse ancora avuto inizio. L'obiettivo della tesi è dimostrare come sia possibile tramite la programmazione dei lavori e l'utilizzo dei tempi di scorrimento gestire le attività garantendo simultaneamente sicurezza dei lavoratori ed efficienza del cantiere, senza escludere né l'una né l'altra, in quanto ritenute strettamente interdipendenti.

Di seguito vengono elencate nuovamente le fasi che compongono il metodo progettuale:

- 1) Analisi del contesto e delle attività;
- 2) LBS – Location Breakdown Structure
- 3) WBS – Work Breakdown Structure
- 4) Schema di produzione

- 5) Reticolo PDM su diagramma spazio – risorse
- 6) Clash Matrix
- 7) Identificazione attività interferenti
- 8) Ottimizzazione con i tempi di scorrimento

Step 1: Analisi del contesto ed elenco delle attività

In questa fase sono state analizzate le caratteristiche dell'area del progetto, al fine di identificare i potenziali rischi e le interferenze dovute al contesto esterno che potrebbero compromettere il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

In particolare, per quanto riguarda le interferenze, la problematica principale è data dal luogo in cui si inserisce il progetto: un contesto fortemente attivo, poiché, sebbene il primo piano dell'edificio sia abbandonato da anni, il piano terra ospita numerose attività commerciali e di ristorazione, oltre al mercato alimentare (vedi Allegato 4).

È evidente che tale situazione costituisce una problematica interferenziale non secondaria in quanto le porzioni del complesso coinvolte dall'intervento sono ubicate nelle immediate vicinanze delle attività commerciali. Inoltre, è necessario considerare le problematiche legate al transito degli utenti del mercato e le relative interferenze con il cantiere.

Pertanto, risulta necessario delimitare l'area di cantiere e le vie di transito, distinguendo quelle adibite all'ingresso del personale di cantiere e quelle per i fruitori ed esercenti del Mercato Coperto.

Parallelamente a questo, al fine di delineare un quadro completo delle attività e dei rischi connessi al progetto, è stata condotta un'analisi dei documenti di pianificazione (PSC e POS), che ha permesso di identificare le principali operazioni previste e i potenziali pericoli.

La presenza di diverse fasi di lavoro contemporanee implica, oltre ai rischi specifici di ciascuna attività, anche i rischi dovuti all'interferenza fra attività potenzialmente non compatibili. Per il cantiere in questione, i principali dovuti all'interferenza sono:

- caduta di materiali dall'alto;
- rumore e polveri;
- presenza di addetti nel raggio di azione dalle macchine operatrici;
- investimento degli addetti da parte di macchine operatrici e mezzi di cantiere.

Dopo aver individuato i possibili rischi e le operazioni principali, grazie all'analisi dei computi e dell'elenco prezzi elaborati dai professionisti (strutturisti e impiantisti) sono state definite tutte le attività elementari previste.

Infine, l'analisi del contratto di appalto ha evidenziato le tempistiche di realizzazione dell'opera. *“Il tempo utile per ultimare i lavori in appalto è fissati in **giorni 600 (seicento)** naturali decorrenti dalla data del verbale di consegna dei lavori”*.¹²

Quindi, tale valore sancito contrattualmente, costituisce un vincolo progettuale da rispettare per raggiungere gli obiettivi di progetto e dimostrare che questa metodologia adottata rispetta e garantisce l'efficienza del cantiere.

Le informazioni raccolte durante questa fase di studio hanno posto le basi per la modellazione, fornendo una visione completa del progetto e del contesto in cui si opera.

Step 2: LBS – Location Work Breakdown Structure

Il secondo step è stata la suddivisione dell'area oggetto di intervento in unità e sottounità. Questa scomposizione ha facilitato il riconoscimento delle zone occupate e fornito una mappa dello spazio di lavoro.

Sapendo che il piano terra è stato progettato per ospitare ripostigli e impiantistica, mentre il primo piano è stato riservato alla creazione di uffici, archivi e sale riunioni, le aree sono state distinte in base alle operazioni da eseguire.

Per facilitare il riconoscimento sono stati attribuiti dei codici alfanumerici: il piano terra (0) del Mercato Coperto (MC) è articolato in area B, C ed E, mentre il primo piano (1) in area A,C,D,E e B che viene a sua volta scomposta in due sottounità.

PROGETTO	PIANO	AREA	UNITÀ	CODICE
MERCATO COPERTO - MC	PIANO TERRA (0)	Area B	-	MC.0.B
		Area C	-	MC.0.C
		Area E	-	MC.0.E
	PIANO PRIMO (1)	Area A	-	MC.1.A
		Area B	1	MC.1.B.1
			2	MC.1.B.2
		Area C	-	MC.1.C
		Area D	-	MC.1.D
		Area E	-	MC.1.E

Tabella 6.1. Sistema di codifica LBS

¹² Comune di Forlì, *Contratto d'appalto per l'esecuzione dei lavori di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del mercato coperto in piazza Cavour*, 2023.

Le aree che sono state poi riportate graficamente sulle planimetrie, per facilitarne la comprensione, si possono individuare come in Fig.6.10a e 6.10b.

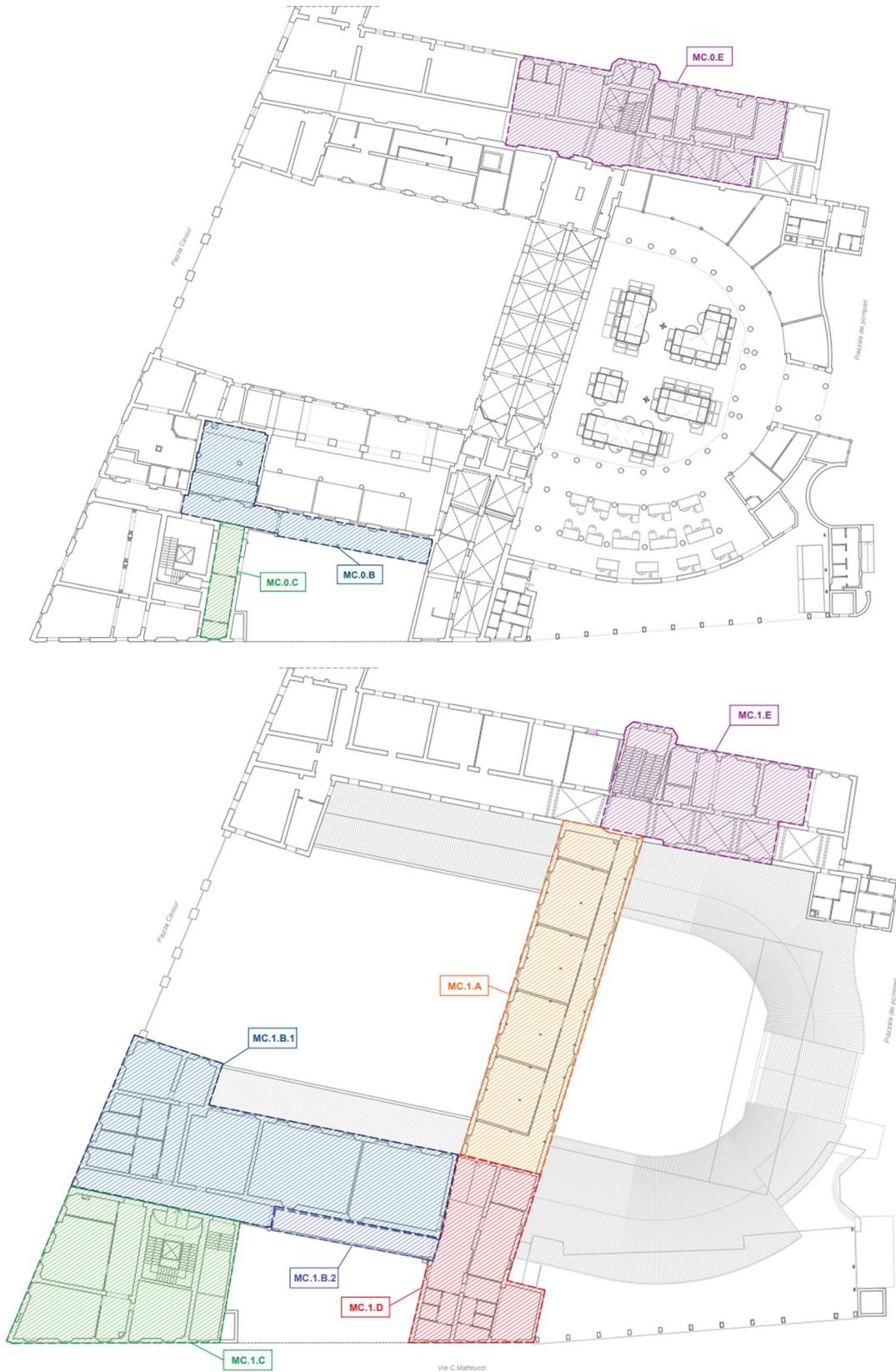


Fig.6.10a (sopra), 6.10b (sotto). 6.10a Aree LBS piano terra, 6.10b Aree LBS piano primo

Step 3: WBS – Work Breakdown Structure

Definite le operazioni da svolgere e i codici delle aree di progetto si procede scomponendo le lavorazioni in attività elementari. A tal fine, è impiegata la Work Breakdown Structure (WBS), che permette di organizzare in modo gerarchico tutte le operazioni necessarie attribuendo anche in questo caso dei codici alfanumerici. Come codifica è stata utilizzata la lettera A seguita da una numerazione crescente.

Questo approccio, indispensabile per quelli successivi, garantisce una visione di ogni singolo task, facilitando quella che sarà l'assegnazione delle risorse e la definizione delle tempistiche.

Il progetto di restauro è stato articolato in quattro macro-attività principali: operazioni preliminari di demolizione e rimozione, opere strutturali, opere impiantistiche e opere edili. Ciascuna di queste è stata suddivisa in sotto-attività specifiche; ognuna può essere poi ulteriormente scomposta in singole lavorazioni oppure nelle aree di intervento in cui viene svolta.

Per motivi di chiarezza espositiva, la rappresentazione fornita (Fig. 6.11) si concentra sulle attività di livello superiore. Le attività più dettagliate verranno approfondite nelle fasi successive del metodo (Allegato 5.1 e 5.2).

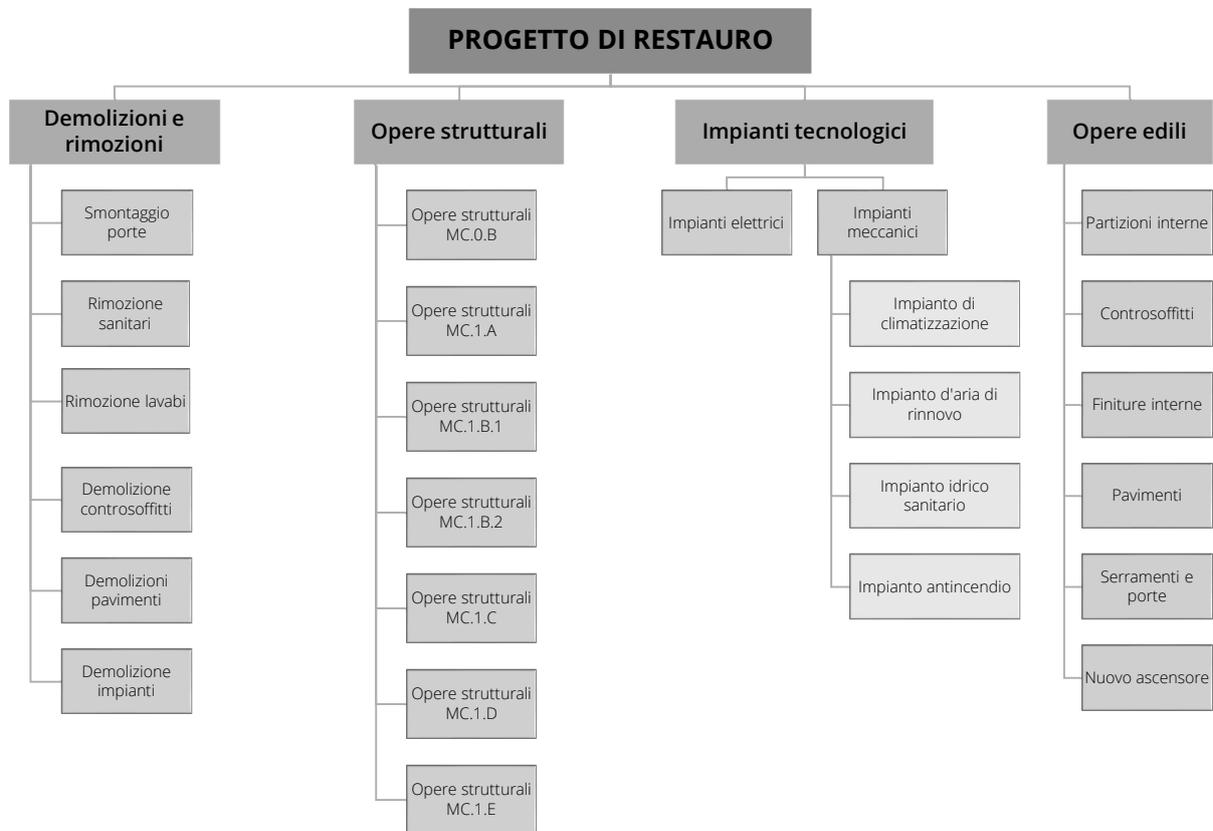


Figura 6.11. WBS di progetto

Step 4: Schema di produzione e stima delle durate

Il passaggio successivo è stata la definizione delle tempistiche necessarie per completare ciascuna attività. Questo processo avviene attraverso la definizione dello schema di produzione che permette di visualizzare in modo dettagliato le diverse fasi del processo produttivo e di stimarne i tempi.

Per la stesura dello schema di produzione è risultato necessario conoscere quantità di materiale, importo unitario e incidenza di manodopera di ogni singola attività. Questo è stato possibile grazie all'analisi dei computi metrici, dell'elenco prezzi forniti dai professionisti e tramite la consultazione del Prezziario Regionale dell'Emilia-Romagna per ricavare l'incidenza di manodopera quando non era già fornita dai documenti.

Conoscendo i precedenti valori si possono calcolare due parametri fondamentali:

- Uomini – giorno = numero di persone necessarie per completare l'attività in un determinato numero di giorni;
- Durata dell'attività = stima del tempo per compiere l'attività, espressa in giorni.

In modo particolare, i calcoli da eseguire sono i seguenti:

Importo di manodopera = *Importo dell'attività (€) x Incidenza di manodopera (%)*

Uomini – giorno = *Importo di manodopera (€) / Prezzo giornaliero manodopera (€)*

Durata = *Uomini – giorno (n) / Unità di manodopera per squadra (n)*

Siccome per la durata occorre conoscere di quante persone è costituita ciascuna squadra, inizialmente si è ipotizzato che ognuna fosse composta da 3 persone e che l'importo giornaliero della manodopera fosse pari a 150€ (Fig.6.12).

Durante la definizione dello schema è stato riscontrato un problema per l'aspetto impiantistico, in quanto non essendo esperti del settore non è stato possibile scindere le voci in lavorazioni più specifiche. Per questo motivo per la definizione delle tempistiche, in questo caso, sono state eseguite delle stime al metroquadro.

Prima di tutto, conoscendo l'importo totale delle attività, previste dai piani dei professionisti, si è ricavata una durata complessiva dei lavori.

Successivamente è stato definito un coefficiente, suddividendo la durata complessiva per la somma di tutte le aree coinvolte nell'operazione, che è stato poi distribuito in maniera

proporzionale tra le superfici, per ricavare la durata dell'operazione in ogni area interessata (Fig.6.13). Quindi, i passaggi sono stati i seguenti:

- 1) Importo di manodopera = Importo dell'attività (€) x Incidenza di manodopera (%)
- 2) Uomini – giorno = Importo di manodopera (€) / Prezzo giornaliero manodopera (€)
- 3) Durata complessiva (giorni) = Uomini – giorno / Unità di manodopera per squadra
- 4) Coefficiente = Durata complessiva (giorni) / Area totale (mq)
- 5) Durata nell'area di interesse (giorni) = Coefficiente x Area di interesse (mq)

A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	
WBS - PROGETTO A	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA	QUANTITÀ	PREZZO UNITARIO (€)	IMPORTO (€)	INCIDENZA MANODOPERA (%)	IMPORTO MANODOPERA (€)	PREZZO GIORNALIERO MANODOPERA (€)	UOMINI - GIORNO (UG)	UNITÀ DI MANODOPERA PER SQUADRA	DURATA (GIORNI)
							= E · F	Predefinito	= G / H	Da assegnare	= I / L
A.1	CANTIERIZZAZIONE										
A.1.1	All'estimazione cantiere										7
A.2	DEMOLIZIONI E RIMOZIONI										
A.2.1	Demolizione pavimenti										
A.2.1.1	MC.0.B	mq	25,5	14,1	359,55	79%	284,04	150	1,89	3	1
A.2.1.2	MC.0.C	mq	39,4	14,1	555,54	79%	438,88	150	2,93	3	1
A.2.1.3	MC.1.A	mq	308	14,1	4342,8	79%	3430,81	150	22,87	3	8
A.2.1.4	MC.1.B	mq	429	14,1	6048,9	79%	4778,63	150	31,86	3	11
A.2.1.5	MC.1.C	mq	224	14,1	3158,4	79%	2495,14	150	16,63	3	6
A.2.1.6	MC.1.D	mq	173	14,1	2439,3	79%	1927,05	150	12,85	3	4
A.2.1.7	MC.1.E	mq	98	14,1	1381,8	79%	1091,62	150	7,28	3	2
A.2.2	Smontaggio porte e portani										
A.2.2.1	MC.0.B	mq	4,8	39,66	190,37	79%	150,39	150	1,00	3	0,5
A.2.2.2	MC.0.C	mq	10,7	39,66	424,36	79%	335,25	150	2,23	3	1
A.2.2.3	MC.0.E	mq	5,9	39,66	233,99	79%	184,86	150	1,23	3	0,5
A.2.2.4	MC.1.A	mq	10,6	39,66	420,40	79%	332,11	150	2,21	3	1
A.2.2.5	MC.1.B	mq	6,6	39,66	261,56	79%	2067,87	150	13,79	3	5
A.2.2.6	MC.1.C	mq	5,8	39,66	230,03	79%	181,72	150	1,21	3	0,5
A.2.2.7	MC.1.D	mq	8,8	39,66	349,01	79%	275,72	150	1,84	3	1
A.2.2.8	MC.1.E	mq	2,2	39,66	87,25	79%	68,93	150	0,46	3	0,5
A.2.3	Rimozione sanitari										
A.2.3.1	MC.1.D	cad	2	75,45	150,9	79%	119,21	150	0,79	3	1
A.2.4	Rimozione lavabi										
A.2.4.1	MC.1.D	cad	3	43,18	129,54	79%	102,34	150	0,68	3	1
A.2.5	Demolizione controsoffitti										
A.2.5.1	MC.0.E	mq	109,1	9,4	1025,54	79%	810,18	150	5,4	3	2
A.2.5.2	MC.1.A	mq	308	9,4	2895,2	79%	2287,21	150	15,2	3	5
A.2.5.3	MC.1.B	mq	575	9,4	5405	79%	4269,95	150	28,5	3	9
A.2.5.4	MC.1.C	mq	235	9,4	2209	79%	1745,11	150	11,6	3	4
A.2.5.5	MC.1.D	mq	182,94	9,4	1719,636	79%	1358,51	150	9,1	3	3
A.2.5.6	MC.1.E	mq	55,35	9,4	520,29	79%	411,03	150	2,7	3	1
A.3	OPERE STRUTTURALI										
A.3.1	OPERE STRUTTURALI AREA 1.A										

Figura 6.12. Estratto dello schema di produzione

A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	
WBS - PROGETTO A	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA	QUANTITÀ	PREZZO UNITARIO (€)	IMPORTO (€)	INCIDENZA MANODOPERA (%)	IMPORTO MANODOPERA (€)	PREZZO GIORNALIERO MANODOPERA (€)	UOMINI - GIORNO (UG)	UNITÀ DI MANODOPERA PER SQUADRA	DURATA COMPLESSIVA (GIORNI)	COEFFICIENTE	DURATA (GIORNI)
							= E · F	Predefinito	= G / H	Da assegnare	= I / L	M/somma(C)	= N · C
A.5	IMPIANTI TECNOLOGICI												
A.5.1	Demolizione e rimozione vecchi impianti		1716,12		49141,3	99%	48649,89	150	324,3	3	108	0,063	
A.5.1.1	MC.0.B	mq	121,7										8
A.5.1.2	MC.0.C	mq	88										6
A.5.1.3	MC.0.E	mq	206,62										13
A.5.1.4	MC.1.A	mq	311,2										20
A.5.1.5	MC.1.B	mq	384,7										24
A.5.1.6	MC.1.C	mq	307,4										19
A.5.1.7	MC.1.D	mq	196,5										12
A.5.1.8	MC.1.E	mq	100										6

Figura 6.13. Focus parte impiantistica

Per una visione completa e approfondita si rimanda agli Allegati 5.1 e 5.2.

Step 5: Reticolo PDM su diagramma spazio – risorse

In questa fase è stato creato un reticolo PDM, in cui le attività sono rappresentate dai nodi e le frecce indicano le relazioni logiche, ma in questo caso è stato integrato in un diagramma spazio – risorse. L'approccio ha permesso di visualizzare le relazioni tra le attività, la loro collocazione spaziale e l'impiego delle risorse.

Infatti, il reticolo è stato strutturato in modo tale che ogni riga corrispondesse a una specifica area della LBS, partendo dal piano terra fino al primo piano, offrendo una rappresentazione chiara e immediata della distribuzione delle attività nello spazio.

All'interno del reticolo, sono stati definiti per prima cosa i legami tecnologici tra le attività, ovvero le relazioni di dipendenza che ne regolano la sequenza di esecuzione, tramite le frecce orizzontali. Successivamente, si è proceduto all'allocazione delle risorse, ovvero all'assegnazione delle squadre di lavoro e alla definizione del loro spostamento tra le aree, con i collegamenti diagonali.

Nel reticolo le operazioni sono rappresentate dai cerchi all'interno dei quali viene scritta la durata e sopra il nome dell'attività stessa.

Graficamente si ricava il seguente reticolo:

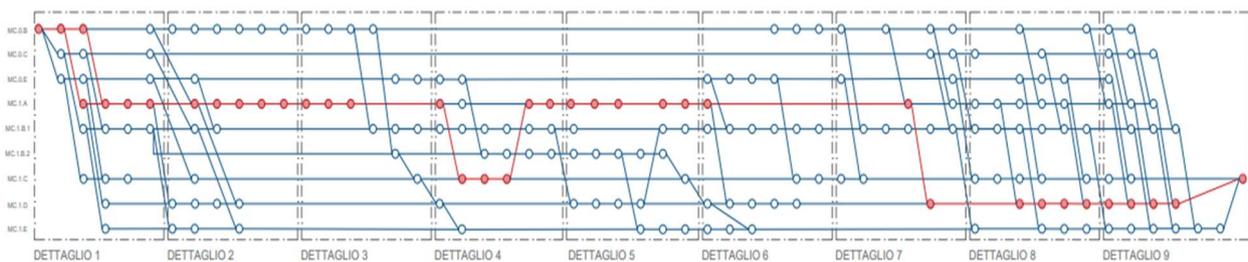


Figura 6.14. Reticolo PDM su diagramma spazio – risorse prima dell'ottimizzazione

Una rappresentazione più dettagliata, con una scala di maggiore ingrandimento è disponibile all'Allegato 6, mentre i vari focus specifici agli Allegati da 6.1 a 6.5.

Step 6: Clash Matrix

Il passaggio successivo è l'identificazione delle possibili interferenze tra le operazioni, ma per giungere a questo è necessario prima valutare quali aree del fabbricato siano effettivamente interferenti tra loro.

Per questo motivo è stata costruita una clash matrix che permette di visualizzare in maniera immediata le relazioni spaziali tra le diverse aree di progetto e di individuare le zone in cui potrebbero verificarsi conflitti.

La matrice utilizzata è una tabella a doppia entrata in cui sia le righe che le colonne rappresentano le aree in cui è suddiviso il progetto e dall'incrocio si ottengono delle celle che indicano la loro relazione. Per ogni cella è stabilito se le aree interessate sono:

- adiacenti, senza possibilità di interferenza (giallo);
- adiacenti, con possibilità di interferenza (arancione);
- non sono adiacenti (verde).

	MC.0.B	MC.0.C	MC.0.E	MC.1.A	MC.1.B.1	MC.1.B.2	MC.1.C	MC.1.D	MC.1E
MC.0.B									
MC.0.C									
MC.0.E									
MC.1.A									
MC.1.B.1									
MC.1.B.2									
MC.1.C									
MC.1.D									
MC.1E									

Figura 6.15. Matrice spazio - interferenza

Il motivo principale di interferenza è dovuto allo spostamento delle squadre, si evince che le aree con possibilità di interferenza sono quelle che impediscono lo spostamento da un'area all'altra. Ad esempio, se si opera nell'area MC.0.E si blocca il passaggio al piano superiore per cui lavorare in MC.1.A o MC.1.E non risulta possibile.

Mentre gli spostamenti in area B e C sono ancora effettuabili grazie all'altra rampa di accesso.

Questo strumento permette di individuare tra quali aree potrebbero verificarsi dei conflitti, adottando delle misure preventive ed evitando sovrapposizioni o sequenze di lavoro che potrebbero causare problemi.

Step 7: Analisi delle interferenze

La fase seguente è quella che si focalizza sull'individuazione effettiva delle interferenze. Prima di procedere, il reticolo è stato riscritto sul software MS Project, che in automatico ha generato il diagramma di Gantt, uno strumento fondamentale per la visualizzazione e l'analisi delle attività di progetto. Grazie a questo e alla clash matrix è stato possibile determinare quali attività si svolgono nello stesso momento e in aree contigue, ovvero tutte quelle che presentano un rischio di interferenza.

Per il caso di studio, è stata utilizzata principalmente un'altra funzione del software: il calendario. Questo strumento, che mostra le attività programmate per ogni giorno, ha permesso di analizzare chiaramente quali fossero quelle contemporanee. La scelta è ricaduta su questa funzione poiché le numerose lavorazioni previste dal progetto avendo durate molto variabili, da pochi giorni a mesi, rendevano la lettura del diagramma di Gantt poco pratica.

Si è proseguito implementando un sistema di codifica per cui le operazioni simultanee svolte in aree con potenziale interferenza sono state identificate con un codice alfanumerico composto dalla lettera 'i' seguita da un numero progressivo.

Durante l'analisi, però è emerso un'ulteriore problematica: in alcune giornate la pianificazione prevedeva un numero eccessivo di lavorazioni contemporanee, risultando impraticabile. Le cause principali riscontrate sono due: l'insufficienza di risorse umane, dato che il numero massimo di personale disponibile è di 15 unità e le ridotte dimensioni dell'area stoccaggio di cantiere. Questo tipo di criticità è identificato con il codice 'S'.

I due tipi di conflitto vengono quindi evidenziati nel calendario (Fig. 6.16a):

- l'interferenza in rosso;
- lo stoccaggio risorse in giallo.

Questa prima fase di individuazione delle interferenze è stata svolta su tutto il calendario.

I principali conflitti riscontrati, che necessitano di successive misure di mitigazione, riguardano prevalentemente l'ostruzione degli spostamenti delle squadre a causa di macchinari ingombranti, impalcature o interferenze tra le lavorazioni. Altri rischi comuni, come rumore, polvere e caduta di oggetti dall'alto, possono essere limitati attraverso un'adeguata pianificazione del cantiere e la suddivisione delle attività nelle giornate.

Di seguito vengono riportate alcune situazioni di esempio:

- 1) Nella prima settimana lavorativa, la demolizione dei pavimenti al piano terra impedisce il passaggio delle squadre al primo piano. Questa fase di analisi dimostra quanto sia necessario esaminare sempre tutte le attività e non basarsi soltanto sulle aree di interesse. Infatti, in questo caso, si potrebbe pensare di utilizzare l'altro ingresso, tuttavia, nell'area E vengono demoliti i controsoffitti, limitando il passaggio anche qui. Inoltre, si è ritenuto necessario identificare la demolizione dei controsoffitti in A con codice giallo, poiché tutte queste lavorazioni svolte contemporaneamente non sono fattibili. Richiederebbero troppo personale, soprattutto addetto alla medesima mansione, rendendo impossibile l'allocazione delle risorse. (Fig.6.16a) Data la natura polverosa e rumorosa delle operazioni, è essenziale delimitare l'area del cantiere al piano terra e mantenere percorsi separati per negozi e mercato.
- 2) Un ulteriore fattore che ha richiesto un'ottimizzazione successiva riguarda le attività interferenti in cui una delle due è la maturazione del calcestruzzo. In tali circostanze, l'area interessata dal processo di indurimento deve rimanere inaccessibile per almeno due giorni, periodo necessario affinché il calcestruzzo sia calpestabile. Pertanto, in ogni situazione in cui si è presentata questa problematica, sono stati aggiunti ulteriori due giorni all'eventuale ritardo precedentemente pianificato.
- 3) La presenza di impalcature o ponteggi può rappresentare un'altra situazione di potenziale interferenza, in quanto tali strutture possono ostruire il passaggio nell'area di lavoro. Anche in questi casi, si è reso necessario adottare le opportune misure di ottimizzazione.
- 4) Un'altra condizione particolare è la fornitura del telaio metallico per l'area MC.1.A al primo piano. Questa operazione risulta particolarmente complessa per gli spazi limitati a disposizione, ma soprattutto per i percorsi di accesso alle zone di lavoro disagiati. Per ovviare a queste difficoltà, la struttura viene scomposta in elementi di dimensione ridotte e il tiro al piano avviene grazie a una gru posizionata al centro del foro. Inoltre, possono essere utilizzati piani di carico in corrispondenza delle aperture perimetrali, ma il sollevamento è consentito solo dopo aver delimitato le aree sottostanti, al fine di evitare rischi di caduta di materiali dall'alto.

In questo caso, per minimizzare il disagio, pur mantenendo i transiti pedonali per il mercato e le normali attività che vi si svolgono, risulta fondamentale delimitare l'area di lavoro e individuare la fascia oraria che riduca al minimo gli impatti sulle attività esistenti.

Step 8: Ottimizzazione con i tempi di scorrimento

L'ultimo passaggio del metodo è quello che conduce all'ottimizzazione del processo produttivo. Per raggiungere questo obiettivo viene utilizzato un altro dei vantaggi del software ovvero il calcolo automatico del *total float* tramite cui è possibile definire il percorso critico e le attività critiche; quindi, tutte quelle attività che, se posticipate, conducono a un ritardo della durata complessiva dei lavori.

Difatti, dopo aver stabilito le attività interferenti si individuano quali possono essere rimandate inserendo i ritardi di legame. In questo modo, si indica che rispetto al legame Fine – Inizio del reticolo l'attività successiva deve aspettare il tempo prefissato dalla fine del predecessore prima di incominciare (Fig.6.16b).

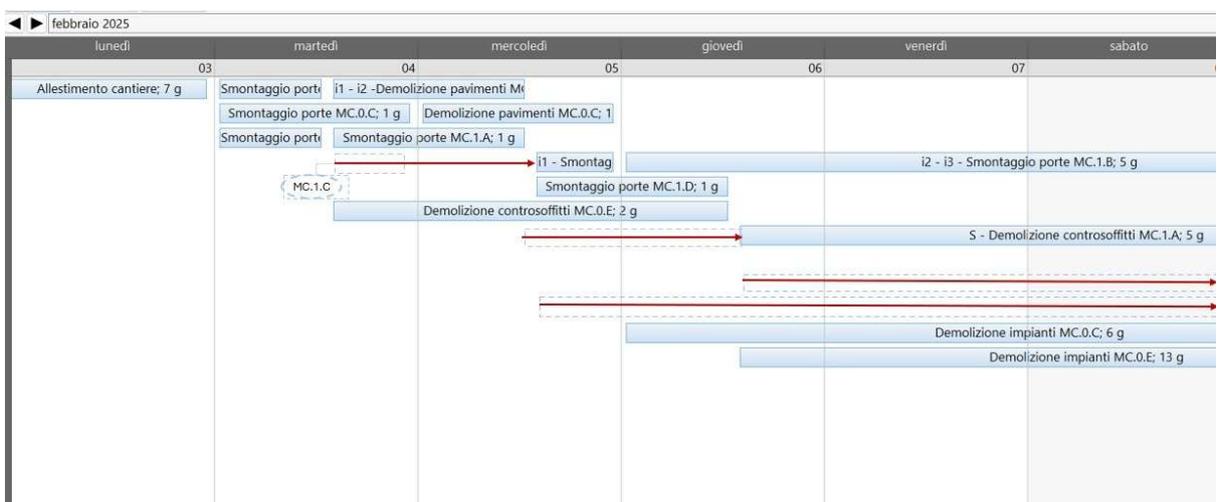
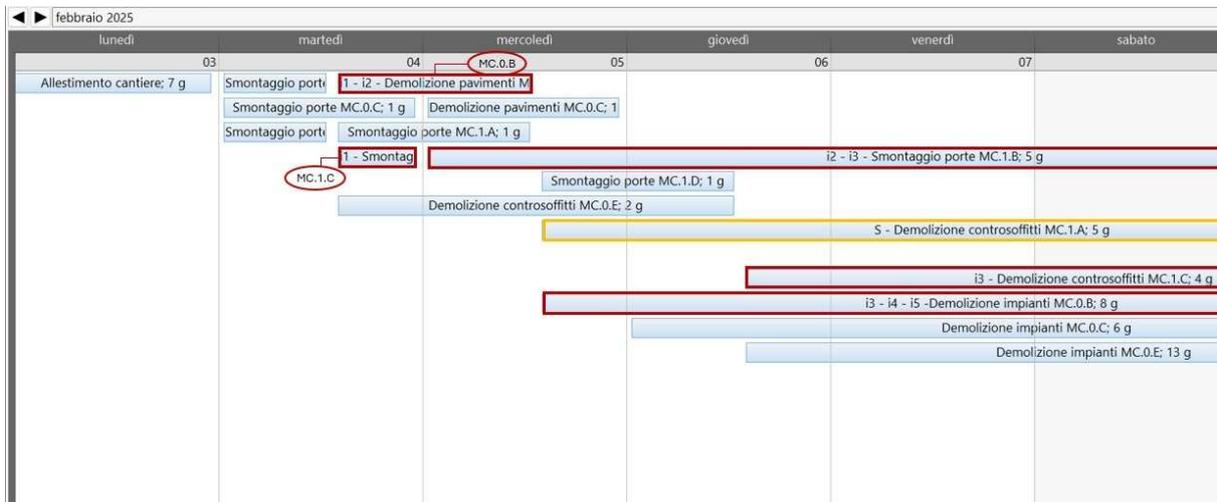


Figura 6.16a (sopra), 6.16b (sotto). 6.16a Identificazione delle interferenze, 6.16b Ottimizzazione con i tempi di scorrimento

È importante sottolineare che una significativa porzione delle interferenze identificate durante la fase di analisi preliminare è stata risolta grazie alle prime ottimizzazioni. Tale risoluzione è possibile grazie alla natura interdipendente delle attività, le quali sono legate tra loro attraverso vincoli di tipo Fine-Inizio. Infatti, una volta apportate le modifiche iniziali, le attività successive si sono automaticamente spostate, riducendo le sovrapposizioni indesiderate.

Questo metodo è stato applicato in modo analitico, ripercorrendo tutto il calendario, infatti, è risultato fondamentale rivalutare attentamente tutte le attività e riconsiderare ogni possibile interferenza. L'analisi iterativa consente di identificare e mitigare eventuali nuovi ritardi o interferenze che potrebbero essere emersi a seguito degli scorrimenti. In questo modo si garantisce una maggiore accuratezza nella previsione della data di completamento.

Siccome la valutazione degli scorrimenti viene effettuata sull'intero calendario di progetto, in molti casi, i ritardi tendono ad accumularsi, con conseguente aumento del valore complessivo dello slittamento. Di conseguenza, è indispensabile monitorarne l'effetto a cascata, considerando sempre la durata totale del progetto. Nonostante le ottimizzazioni iniziali abbiano mitigato alcune interferenze, è necessario essere consapevoli che i ritardi successivi potrebbero propagarsi lungo l'intera timeline delle attività, influenzando la data di completamento prevista.

In determinate situazioni, la soluzione ottimale per ridurre le interferenze si è rivelata essere la modifica delle attività critiche. Nonostante ciò, comporti un aumento dei tempi di cantiere, garantisce un processo più efficiente e sicuro.

Per conseguire gli obiettivi prefissati è stata adottata anche un'altra misura migliorativa che agisce direttamente sulle tempistiche di esecuzione: l'ottimizzazione dell'allocazione delle risorse umane. Si intende la modulazione del numero di lavoratori assegnati a specifiche attività che genera un impatto diretto sulla loro durata. Infatti, laddove si riscontri la necessità di accelerare determinate operazioni, un incremento della forza lavoro può tradursi in un aumento proporzionale della produttività e, quindi, in una riduzione della durata complessiva dell'attività. Pertanto, si contribuisce a minimizzare il periodo di sovrapposizione o interferenza con altre lavorazioni e a riprogrammare le attività successive in maniera più efficiente.

Questa tecnica di ottimizzazione è stata applicata in diverse occasioni, rivelandosi particolarmente efficace nei casi in cui, a seguito delle precedenti modifiche al calendario, si riscontrava la presenza di sole due attività contemporanee per un periodo di tempo prolungato.

Tale situazione, pur riducendo il rischio di interferenze complesse, poteva comportare un'inutile dilatazione dei tempi di esecuzione, compromettendo l'efficienza complessiva del cantiere. Per ovviare a questo inconveniente, si è optato per un intervento mirato sull'attività di maggiore durata, incrementando le risorse umane ad essa dedicate. Tale decisione è stata presa tenendo sempre in considerazione i vincoli spaziali e la natura specifica dell'attività in questione, al fine di garantire un'implementazione efficace e sicura. L'obiettivo primario era quello di accelerare il completamento dell'attività, riducendo così il periodo di attesa e mantenendo elevato il ritmo di lavoro del cantiere.

Un esempio concreto di questa strategia riguarda l'attività di fornitura e fissaggio del telaio metallico nell'area MC.1.A. Inizialmente, con una squadra composta da tre operatori, la durata prevista per l'operazione era di 70 giorni. (Fig.6.17a) Tuttavia, valutando le caratteristiche dell'operazione e la configurazione dello spazio disponibile, si è raddoppiata la squadra, portandola a sei lavoratori. Di conseguenza, la durata si è ridotta a 35 giorni. (Fig.6.17b)

L'area interessata consentiva il posizionamento di due trabattelli in posizioni opposte, rendendo compatibile la presenza di due squadre di tre operatori ciascuna. In questo modo, è stato possibile aumentare la forza lavoro senza compromettere la sicurezza e l'efficienza delle operazioni.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	
WBS - PROGETTO A	DESCRIZIONE	UNITÀ DI MISURA	QUANTITÀ	PREZZO UNITARIO (€)	IMPORTO (€)	INCIDENZA MANODOPERA (%)	IMPORTO MANODOPERA (€)	PREZZO GIORNALIERO MANODOPERA (€)	UOMINI - GIORNO (UG)	UNITÀ DI MANODOPERA PER SQUADRA	DURATA (GIORNI)
							= E · F	Predefinito	= G / H	Da assegnare	= I / L
A.3.1.3.4	Fornitura telaio metallico e posa telaio metallico	kg	22352,77	3,9	87175,8	36%	31383,29	150	209,2	3	70
A.3.1.3.5	Collegamento per capochiave	n	88	300	26400	46%	12144,00	150	81,0	3	27
A.3.1.3.4	Fornitura telaio metallico e posa telaio metallico	kg	22352,77	3,9	87175,8	36%	31383,29	150	209,2	6	35
A.3.1.3.5	Collegamento per capochiave	n	88	300	26400	46%	12144,00	150	81,0	4	20

Figura 6.17a (sopra), 6.17b (sotto). 6.17a Prima dell'ottimizzazione, 6.17b Dopo l'ottimizzazione con aumento delle risorse

È importante considerare che l'ottimizzazione dell'allocazione delle risorse non si limita alla semplice variazione del numero di lavoratori. Può includere anche la riorganizzazione delle squadre di lavoro, l'assegnazione di compiti specifici e l'implementazione di turni di lavoro. In questo modo, è possibile massimizzare l'efficienza delle risorse disponibili e garantire il rispetto delle tempistiche previste, minimizzando al contempo i rischi per la sicurezza sul luogo di lavoro.

In conclusione, a seguito del processo di ottimizzazione del programma, finalizzato alla mitigazione delle interferenze spazio-temporali e al rispetto dei vincoli contrattuali, si è riscontrato che la durata complessiva dei lavori ammonta a 534 giorni. Tale durata, sebbene ecceda i 414,5 giorni antecedenti l'ottimizzazione, risulta comunque contenuta entro i 600 giorni previsti dal contratto (Tabella 6.2).

Durata complessiva PRIMA dell'ottimizzazione	Durata complessiva DOPO l'ottimizzazione	Durata complessiva di CONTRATTO
414,5 giorni	534 giorni	600 giorni

Tabella 6.2. Confronto tra le durate complessive del cantiere

Per una panoramica completa del reticolo dopo l'ottimizzazione, si rimanda all' Allegato 7 e per i dettagli specifici agli Allegati da 7.1 a 7.5.

6.3 Conclusioni

L'analisi condotta ha dimostrato che il metodo di gestione del programma dei lavori adottato si rivela uno strumento efficace e affidabile.

Il suo principale punto di forza risiede nella capacità di fornire un controllo globale sull'intero progetto, consentendo una visione d'insieme chiara e dettagliata, ma anche un'analisi puntuale di ogni singola operazione.

L'approccio analitico adottato, pur richiedendo un investimento iniziale di tempo, si è rivelato vantaggioso per la sua capacità di adattarsi alle specificità del progetto. A differenza di un sistema automatizzato, la gestione manuale del programma consente di valutare attentamente ogni attività e il contesto in cui essa si svolge, considerando le peculiarità del luogo e le potenziali interazioni.

Quindi, questo metodo permette un monitoraggio attivo, garantendo che ogni fase sia attentamente supervisionata e che eventuali criticità siano immediatamente individuate e affrontate, apportando eventuali correzioni.

Tuttavia, è doveroso riconoscere che il metodo presenta anche alcune limitazioni. La sua applicazione in progetti di elevata complessità potrebbe risultare onerosa in termini di tempo e risorse, poiché ogni modifica si riversa a cascata sulle attività seguenti richiedendo un aggiornamento e una valutazione dell'impatto costante.

Sebbene la fase di pianificazione iniziale possa risultare più laboriosa, il risultato finale è un programma di lavoro chiaro e dettagliato, che offre una visione completa e aggiornata dell'avanzamento del progetto.

L'implementazione della fase di ottimizzazione, benché abbia comportato un incremento dei tempi di esecuzione, derivante dalla riduzione delle interferenze e dalla limitazione delle attività simultanee, rappresenta un compromesso accettabile in virtù dei benefici ottenuti in termini di sicurezza e qualità del lavoro.

La decisione di procedere con l'ottimizzazione è propria del programmatore, non è obbligatoria, è lui che deve valutare attentamente i rischi e i benefici in relazione alle specificità del progetto.

Nel panorama delle metodologie di pianificazione e controllo precedentemente esposte, non ne esiste una totalmente superiore. Infatti, ciascun approccio presenta vantaggi e svantaggi, che ne determinano l'idoneità o meno in relazione al contesto in cui si vuole applicare.

La tecnica del Critical Path Method (CPM), ad esempio, si distingue per la sua capacità di determinare il tempo minimo di completamento del progetto e di identificare il percorso critico, ossia la sequenza di attività che non ammettono ritardi. Tale approccio si rivela particolarmente efficace in fase di pianificazione, consentendo di definire una tempistica realistica e di monitorare l'avanzamento dei lavori.

Il metodo Last Planner System (LPS), ampiamente diffuso negli Stati Uniti, pone l'accento sulla programmazione partecipativa, coinvolgendo attivamente gli operatori di cantiere nella definizione del piano di lavoro. Tale approccio favorisce una maggiore aderenza alla realtà operativa, ma può trascurare l'aspetto della sicurezza, se non adeguatamente integrato con altre metodologie.

Invece, la tecnica grafica delle Line of Balance (LOB) e delle Flowline, si distingue per la sua attenzione alla sicurezza dei lavoratori, un aspetto cruciale nel contesto dei progetti di costruzione. Si pone l'attenzione sulla riduzione delle interferenze, ottimizzando la produttività delle risorse attraverso la gestione del personale, la definizione degli obiettivi e l'inserimento di buffer temporali.

In questo senso, i principi alla base delle LOB presentano significative analogie con il metodo proposto in questa tesi, entrambi incentrati sulla gestione delle interferenze spazio-temporali mediante la dilatazione temporale e la modulazione delle squadre di lavoro.

L'approccio proposto vuole offrire una soluzione alternativa per la gestione della sicurezza dei lavoratori, un tema prioritario nel settore delle costruzioni. Si dimostra che attraverso un'accurata pianificazione e un controllo rigoroso delle attività, è possibile individuare e mitigare le interferenze potenziali, riorganizzando le sequenze di lavoro mediante l'impiego dei tempi flottanti. I risultati ottenuti attestano che tale metodo consente di rispettare le tempistiche contrattuali, garantendo al contempo l'efficienza del cantiere, la riduzione dei tempi di attesa e la prevenzione della sovrapposizione di attività pericolose o in aree contigue.

In sintesi, il metodo adottato ha permesso di coniugare sicurezza ed efficienza in cantiere, riducendo i rischi per i lavoratori, ottimizzando le risorse, evitando tempi di attesa e rispettando le scadenze. I benefici concreti per il cantiere, in termini di riduzione dei rischi e ottimizzazione delle risorse, hanno superato le sfide iniziali legate alla dilatazione dei tempi. Questo approccio si dimostra quindi una valida alternativa per coniugare produttività e sicurezza, contribuendo a migliorare la qualità dei progetti di costruzione.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

7.1 Bibliografia

- Arditi D., Tokdemir O. B., *Scheduling system for repetitive unit construction using line of balance technology*, In *Engineering Construction & Architectural Management*, pp. 90-103, 2001.
- Brioso X., Murguia D., Sanchez A.U., *Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System*, In *Organization, Technology and Management in Construction*, pp.1604-1614, 2017.
- Bragadin M.A., *Scelte progettuali e sicurezza nel cantiere edile*, Milano, Maggioli, 2012.
- Bragadin M.A., *La normativa per la gestione della sicurezza in cantiere*, Milano, Maggioli, 2012.
- Bragadin M.A., *La programmazione dei lavori con i metodi reticolari metodi e strumenti di project time management per la costruzione*, Milano, Maggioli, 2011.
- Bragadin M.A., Kähkönen K., *Resource - Space Charts for Construction Workspace Scheduling*, In *Proceedings of the CIB World Building Congress 2016, Volume III*, pp. 677-688, 2016.
- Bragadin M.A., Kähkönen K., *Safety, space and structure quality requirements in construction scheduling*, In *Procedia Economics and Finance*, 21, pp. 407-414, 2015.
- Davey A.J., *Line of balance in practice*, University of the Witwatersand, 1974.
- Dawood N., Mallasi Z., *Construction workspace planning: assignment and analysis utilizing 4D visualization technologies*, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Blackwell Publishing, pp. 498-501, 2006.
- *D.Lgs. 81/2008*, 9 aprile 2008, n. 81.
- Gottfried A., Trani M.L., *Manuale di sicurezza nei cantieri edili progettazione, gestione, coordinamento*, Milano, U.Hoepli, 2002.
- Kenley R., Seppänen O., *Location-based Management of Construction Projects: Part of a New Typology for Project Scheduling Methodologies*, In *Proceedings -Winter Simulation Conference*, pp. 194-205, 2009.
- Poliani R., *Planning and control in construction: analysis and integrations on three methodological approaches*, Politecnico di Milano, pp. 20-67, a.a. 2019/2020.

- Rezaei A., *Location Based Scheduling In The Form Of Flow Line and Its Comparison to Cpm/Bar Chart Scheduling*, International Journal of Electronics, Mechanical and Machatronics engineering, pp. 891-903, 2015.
- Semeraro G., *Il cantiere sicuro tecnica della prevenzione infortuni nei cantieri edili e di ingegneria civile aggiornato con il D.Lgs. 81/2008 come modificato dal D.Lgs. 106/2009, dalla L. 88/2009 e dal D.Lgs. 17/2010*, Roma, EPC, 2010.
- Seppänen O., Modrich R., Ballard G., *Integration of Last Planner System and Location – Based Management System*, In Proc. 23rd Ann. Conf. Of the Int’l Group for Lean Construction. Perth, pp. 123-132, 2015.
- Su Y., Lucko G., *Comparison and Renaissance of Classic Line-of-balance and Linear Schedule Concepts for Construction Industry*, In Procedia Engineering, 123, pp. 546-556, 2015.

Documenti consultati del Comune di Forlì

- *Piano di Sicurezza e Coordinamento*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Agosto 2023.
- *Piano Operativo di Sicurezza*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Giugno 2023.
- *Relazione Storica*, Rifunzionalizzazione dell’area commerciale di Piazza Cavour, 28 Aprile 2006.
- *Relazione tecnica generale*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Dicembre 2020.
- *Contratto di appalto*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Marzo 2023.
- *Elenco e analisi prezzi opere strutturali*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Novembre 2022.
- *Computo metrico estimativo opere strutturali*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Novembre 2022.
- *Computo metrico estimativo impianti meccanici*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Ottobre 2022.
- *Computo metrico estimativo impianti elettrici ed ausiliari*, Progetto di riqualificazione e restauro del complesso edilizio del Mercato Coperto in Piazza Cavour, Agosto 2022.

7.2 Sitografia

- R. Zucchetti, 2012, *Dai primi del '900 al Testo Unico, Storia normativa sicurezza sul lavoro in Italia*. URL: <https://www.quotidianosicurezza.it/sicurezza-sul-lavoro/esperto-risponde/sintesi-storia-sicurezza-lavoro-italia.htm>
- *Prezzario regionale 2022 per l'edilizia e lavori pubblici*. URL: https://territorio.regione.emilia-romagna.it/osservatorio/elenco_regionale_prezzi/aggiornamento-infrannuale-2022/prezzario-er-2022.xls
- O. Seppänen, 2016, *Introduction to Location Based Management Systems Combined with Flowline Visualization*, Lean Construction Blog. URL: <https://leanconstructionblog.com/Location-Based-Management-System-CPM-on-steroids-combined-with-flowline-visualization.html>
- *Line of Balance*, White paper, Mosaic Projects, URL: https://mosaicprojects.com.au/WhitePapers/WP1021_LOB.pdf
- Inail, 2013, *Elaborazione del DUVRI - Valutazione dei rischi da interferenze*. URL: https://www.unibs.it/sites/default/files/2022-06/Elaborazione-del-DUVRI--Inail_0.pdf
- *Enti ed organi di vigilanza e controllo e di consulenza ed assistenza*, URL: https://www.frareg.com/cms/wp-content/uploads/history/news/documentazione/sicurezza/cap3_528.pdf
- *7 tecniche di project management nelle costruzioni*, 2023, URL: <https://biblus.acca.it/tecniche-di-project-management-nelle-costruzioni/>
- Coltro N., Tesi di laurea, Università degli studi di Padova. URL: https://thesis.unipd.it/retrieve/85085cda-79f0-477b-af41-29fad60d31db/TESI_NICOLA_COLTRO.pdf
- Gatti D., *Project management tecniche reticolari – CPM*, URL: <http://web.tiscali.it/gattidario/PManagement/LE%20TECNICHE%20RETICOLARI%20-%20CPM%20.htm>
- PuntoSicuro, 2024, *Sicurezza in edilizia: l'analisi aggiornata su un settore ad alto rischio*. URL: <https://www.puntosicuro.it/dati-statistiche-C-54/sicurezza-in-edilizia-l-analisi-aggiornata-su-un-settore-ad-alto-rischio-AR-23962/>
- Corsi Sicurezza, *Rischi per la salute, sicurezza e trasversali: cosa sono e come prevenirli*, URL: <https://www.corsisicurezza.it/blog/rischi-salute-sicurezza-trasversali.htm>
- Asana, *Metodo del percorso critico (CPM): Definizione e utilizzo*. URL: <https://asana.com/it/resources/critical-path-method>