

# POLITECNICO DI MILANO

FACOLTA' DI INGEGNERIA DEI SISTEMI

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA GESTIONALE



## Interdipendenze operative nella gestione di un grande progetto di ingegneria

Ruolo del PMC

Relatore: Prof. Franco Caron

Tesi di Laurea di:

Marcello De Lucia

Matr. 750333

Anno Accademico 2011/2012

# INDICE

Abstract .....	5
Sommario .....	6
Summary .....	22
1. Grandi progetti di ingegneria e loro complessità.....	28
1.1 Definizione, caratteristiche e fasi del ciclo di vita di un grande progetto.....	28
1.2 Legami tra fasi operative di progetto.....	33
1.3 Forzature alle logiche di interazione per le attività critiche.....	35
2. Ingegneria e costruzione: differenze e loro relazione.....	38
2.1 Effetto della modalità di gestione dell'ingegneria sulla costruzione .....	43
3. Metodologie e strumenti di analisi delle interdipendenze .....	46
3.1 Descrizione dell'impatto delle interdipendenze e delle sovrapposizioni tra fasi sulle prestazioni di progetto.....	46
3.2 Analisi di dettaglio delle interazioni cicliche tra fasi .....	51
3.3 Esempio di una modalità di rappresentazione di dettaglio delle interdipendenze tra attività e stakeholders .....	58
3.4 Analisi di sintesi delle interazioni tra fasi .....	60
3.4.1 Avanzamento fisico del progetto .....	61
3.4.2 Metodi di misurazione dell'avanzamento e "curve ad S" .....	62
3.4.3 Relazione tra fasi di progetto .....	64
4. Caso di studio: un grande progetto in Italia .....	67
4.1 Descrizione delle sequenze di attività presenti nella realizzazione di un'infrastruttura .....	68
4.2 Focus su attività geognostica: incrocio stakeholders/reticolo attività/input .....	69
4.3 Descrizione delle cause di ritardo/extracosto e degli effetti diretti e indiretti sulla fase di progettazione .....	77
4.5 Visione dell'avanzamento dei lavori per il committente e sua capacità di influenzare gli stakeholders .....	81
4.2 Contesto contrattuale e tipologie di relazione con la committenza, in cui si inserisce il ruolo del PMC .....	82
4.2.1 Progettazione/Offerta/Costruzione .....	84
4.2.2 Progettazione/Costruzione .....	85
4.2.3 Construction Project Management .....	87

4.2.4 Il ruolo del PMC nel modello di gestione del progetto .....	88
5. Risultato .....	93
5.1 Il management delle interfacce di progetto e necessità di coordinamento .....	93
4.3.4 Discussione sull'efficacia del ruolo del PMC .....	97
Conclusioni .....	99
BIBLIOGRAFIA .....	102
APPENDICE .....	104
<i>RINGRAZIAMENTI</i> .....	113

## **INDICE FIGURE**

Figura 1: Ciclo di vita dell'investimento iniziale, dell'opera, del progetto .....	32
Figura 2: Interazioni tra le fasi operative del progetto .....	33
Figura 3: Compressione della data di consegna con le "forzature" .....	35
Figura 4: Andamento temporale dell'influenza sui risultati e del costo dell'azione correttiva .....	38
Figura 5: Livelli decisionali e relazioni tra ruoli di progetto .....	39
Figura 6: Andamento dell'incertezza in funzione del tempo nella fase di ingegneria .....	41
Figura 7: Sviluppo dell'ingegneria per approssimazioni successive e per interazione tra gli specialisti coinvolti .....	45
Figura 8: Stime della relazione tra avvio dell'ingegneria e livello di definizione delle specifiche del prodotto .....	48
Figura 9: Andamento della durata del progetto in relazione al grado di sovrapposizione tra fasi .....	49
Figura 10: Andamento dell'effort di lavoro in relazione al grado di sovrapposizione tra fasi .....	49
Figura 11: Stima tempo necessario vs pianificato per il completamento del progetto .....	50
Figura 12: Andamento degli errori rimanenti al completamento del progetto in relazione al grado di sovrapposizione tra fasi .....	51
Figura 13: Schema dei passi della metodologia ADePT .....	53
Figura 14. Notazione IDEF0v .....	54
Figura 15: Sistema di decisione per classificare le attività nel metodo ADePT .....	55
Figura 16: Esempio di riorganizzazione delle attività con la matrice DSM .....	56
Figura 17: Esempio di interdipendenze nell'elaborazione di un documento tecnico di un'elettropompa .....	59
Figura 18: Progetto come fascio di curve di avanzamento .....	64
Figura 19: Sequenza di curve di avanzamento di ingegneria, approvvigionamento, costruzione .....	66
Figura 20: Rappresentazione delle interdipendenze del caso di studio .....	72
Figura 21: Interdipendenza tra modello geotecnico e mappatura del territorio .....	74
Figura 22: Diagramma di Gantt .....	76
Figura 23: Curva di avanzamento del progetto pianificato e conseguito .....	80
Figura 24: Approccio Progettazione/ Offerta/ Costruzione .....	84
Figura 25: Approccio Progettazione/ Costruzione .....	86
Figura 26: Approccio Construction Project Management .....	87
Figura 27: Approccio Progettazione/Costruzione con PMC .....	88
Figura 28: Effort del PMC nel ciclo di vita del progetto .....	90

## Abstract

In questo lavoro di tesi si propone un percorso di analisi delle caratteristiche di un grande progetto di ingegneria con l'obiettivo di governarne la complessità intrinseca derivante dalla presenza di molteplici interdipendenze tra le fasi operative.

Le criticità che emergono nell'interazione tra fasi di progetto naturalmente interrelate vengono amplificate dal coinvolgimento di un vasto insieme di attori che hanno interessi diversi su particolari aspetti dei risultati prodotti da ciascuna attività.

In questo contesto problematico derivante dalle interdipendenze di progetto emerge la necessità di un sistema di governo delle molteplici interfacce e dei legami che si stabiliscono tra responsabilità, informazioni e risultati delle attività, organizzazioni coinvolte nel progetto tra cui il committente, materiali e risorse in generale. Si tratta della necessità di un sistema di governo capace di:

- monitorare le prestazioni e far emergere le criticità di progetto,
- integrare e coordinare sia le attività che i ruoli,
- identificare la migliore soluzione locale per il recupero di eventuali ritardi e/o extra costi,
- supportare il committente e il project manager nel prendere decisioni sul controllo dell'avanzamento.

Una possibile soluzione organizzativa consiste nell'introduzione della figura del Project Management Consultant. In particolare, si trarranno conclusioni sui benefici del PMC apportati al committente e al progetto in generale, a partire dall'analisi di una grande infrastruttura italiana, che ne ha visto l'applicazione a supporto della committenza.

## Sommario

In questo lavoro di tesi si propone un percorso di analisi delle caratteristiche di un grande progetto di ingegneria con l'obiettivo di governarne la complessità intrinseca derivante dalla presenza di molteplici interdipendenze tra le fasi operative. L'aumento di complessità propria di un grande progetto ha motivato la continua ricerca di una logica di gestione adatta a controllare i molteplici aspetti critici e le rispettive conseguenze sul progetto. La gestione inappropriata della complessità di grandi opere porta a un effetto finale che si manifesta con evidenza sui parametri di progetto in termini di costo e durata di realizzazione; infatti, questi parametri assumono proporzioni rilevanti rispetto alla stima iniziale in fase di gara. Come esempio, si possono osservare le prestazioni finanziarie della gestione delle Olimpiadi di Londra 2012, il cui inizio è atteso il 27 luglio: la disponibilità totale di fonti di finanziamento richiesta dal progetto in fase di stima nel febbraio 2005 era di 4.036 milioni di sterline. La stessa stima nel 2007 (NAO, 2007), una volta iniziata la realizzazione delle diverse infrastrutture previste, ha raggiunto 9.325 milioni di sterline e solo nel 2011 si è ridotta leggermente, consolidando comunque l'aumento del 130% del budget totale necessario per tutti i lavori previsti (NAO, 2011).

Inoltre, le criticità che emergono nell'interazione tra le fasi di progetto, naturalmente interrelate tra loro, vengono amplificate dal coinvolgimento di un vasto insieme di attori che hanno interessi diversi su particolari aspetti dei risultati prodotti da ciascuna attività.

La dimensione, la varietà, il contesto e le interdipendenze sono i fattori che spiegano la complessità di un grande progetto (Vidal, Marle, 2008). Relativamente a questi fattori, quindi, si concentrerà l'attenzione sulle interdipendenze di tipo operativo che coinvolgono le fasi di progetto, in particolare l'ingegneria e la costruzione, e i corrispondenti ruoli con responsabilità sulle loro prestazioni.

Lo scopo di questo lavoro è soprattutto la comprensione della natura dei problemi strutturali che derivano dalle interdipendenze di progetto e l'individuazione degli approcci gestionali per rispondere al problema, data l'innovatività della tematica in ambito sia letterario che aziendale.

Il focus settoriale dell'analisi sarà rivolto alle società di engineering & contracting, che si impegnano principalmente nella realizzazione di grandi progetti per clienti esterni.

Un progetto può essere inteso come un processo temporaneo, non ripetitivo, finalizzato alla produzione di una o più unità di un unico prodotto o servizio, le cui caratteristiche vengono elaborate progressivamente (PMI, 2004). Il progetto comporta un cambiamento con forte contenuto innovativo, cioè un passaggio da uno stato iniziale ad uno finale, diversi tra loro, attraverso il consumo di risorse, tempo e informazioni, disponibili in quantità limitata. Queste specificità del progetto lo distinguono da un'altra tipologia di processi, quelli ripetitivi, che invece sono tipicamente sistemi di produzione attraversati da flussi standard di operazioni e materiali.

La fase realizzativa rientra nel ciclo di vita del progetto a valle della fase concettuale, in cui sulla base delle esigenze espresse dal cliente si definisce la configurazione del prodotto da fornire, e della fase di definizione, che prevede un'analisi dettagliata degli obiettivi attesi dal progetto e dei relativi piani operativi di realizzazione. La realizzazione del progetto porta poi alla fase di rilascio con la consegna del risultato al cliente. Questa fase implica la mobilitazione delle risorse pianificate per il completamento dell'opera e segue due sequenze parallele di processi: la prima, di tipo operativo, comporta l'avanzamento del progetto e prevede tipicamente l'ingegneria di base e di dettaglio, l'approvvigionamento, la costruzione e il montaggio, l'avviamento e il collaudo. La seconda riguarda il processo di pianificazione e controllo, che si articola in una fase propedeutica di avvio per procedere poi con la pianificazione, l'esecuzione e il monitoraggio, il controllo e la chiusura.

Dal punto di vista operativo, lo sviluppo del progetto lungo il suo ciclo di vita prevede una partenza basata su una visione di insieme del sistema da realizzare, approccio tipico dell'ingegneria di base, per poi procedere lungo distinti filoni specialistici attraversando le fasi non solo di ingegneria di dettaglio ma anche di approvvigionamento e montaggio. Infine si ritorna alla visione sistemica nella fase conclusiva di avviamento e collaudo dell'impianto. Le fasi operative del progetto comprendono un numero crescente di attività, sempre più specialistiche e interrelate, richiedendo così il coinvolgimento di attori specializzati su determinate operazioni. Ne è un esempio la frammentazione della fase di ingegneria su discipline specialistiche sistemicamente legate tra loro o la micro ripartizione di componenti d'impianto tra subfornitori specializzati.

In questo contesto, il compito della gestione di progetto è pertanto quello di mantenere la coerenza dell'impianto nel suo complesso mentre sono in corso i diversi processi specialistici in modo da ottenere alla fine le prestazioni funzionali che rappresentano l'obiettivo della realizzazione.

Le singole fasi operative non si sviluppano in maniera sequenziale, come avviene nei processi ripetitivi, ma hanno un grado di sovrapposizione tale da essere realizzate sulla base dei risultati progressivamente prodotti da ciascuna di esse. Questa gestione in parallelo e iterativa delle fasi deriva dalla natura propria dei progetti, che hanno un'indeterminatezza iniziale che non permette la definizione a priori delle caratteristiche del prodotto da realizzare e che può essere ridotta solo coinvolgendo diverse aree funzionali. In questo modo, ad esempio nella fase di ingegneria, possono essere rilasciate diverse versioni intermedie da condividere di volta in volta tra gli attori di progetto e possono essere "congelate" decisioni sufficientemente robuste per poter procedere. Di conseguenza, le modalità di coordinamento non possono basarsi che sulla interazione diretta degli attori coinvolti, i quali devono collaborare al fine di correggere gli eventuali scostamenti dell'andamento del progetto rispetto al piano di realizzazione.

La conoscenza delle relazioni di interdipendenza tra le fasi e tra gli attori è indispensabile per garantire l'efficacia globale dell'intero progetto piuttosto che l'efficienza locale delle singole fasi operative, oltre a fornire una completezza di informazioni per il controllo del progetto.

Un quadro sintetico delle principali interazioni tra fasi a livello di piano generale è fornito dalla seguente figura 2 (Caron, 2009):

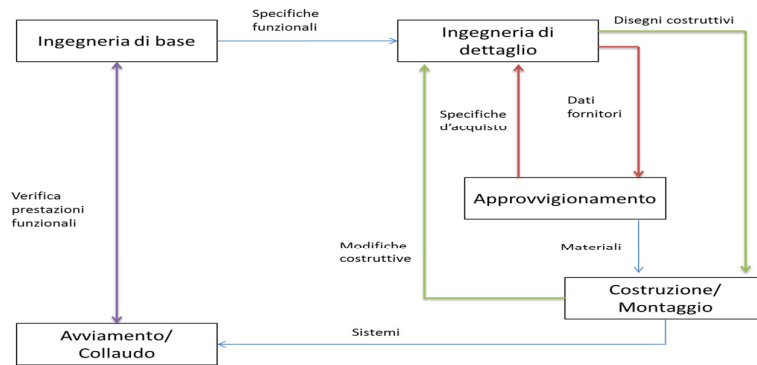


Figura 2: Interazioni tra le fasi operative del progetto

- interazione tra la fase di ingegneria di dettaglio e la fase di approvvigionamento: la prima trasmette alla seconda le specifiche funzionali dei componenti da acquistare e riceve di ritorno i dati provenienti dai fornitori. Si crea un processo iterativo e interattivo attraverso cui le caratteristiche tecniche dei componenti d'impianto vengono progressivamente dettagliate. In questo caso le modifiche sono del tutto fisiologiche e tali da integrare vincoli e opportunità di mercato nella progettazione dei componenti. La fine di questa fase è sancita dal congelamento della documentazione tecnica, che così viene resa "esecutiva" cioè atta a definire in modo permanente ed esaustivo le modalità di fabbricazione/montaggio. E' quindi importante considerare il timing di questo evento, che se fosse eccessivamente anticipato rischierebbe di portare a soluzioni inadeguate non potendo recepire vincoli e opportunità derivanti dai diversi attori coinvolti. Invece, se fosse eccessivamente posticipato, determinerebbe un ritardo nello sviluppo delle fasi a valle con possibile pregiudizio delle scadenze contrattuali;
- interazione tra la fase di ingegneria di dettaglio e la fase di costruzione/montaggio: la prima trasmette alla seconda la documentazione tecnica necessaria per la corretta installazione dei componenti d'impianto ricevendo di ritorno le varianti pervenute in cantiere. In questo modo, la configurazione dell'impianto assume carattere definitivo, riflettendo le modifiche introdotte in corso d'opera nella versione "as built". Queste varianti possono risultare patologiche, in quanto estesi rifacimenti di lavoro corrispondono a una carenza gestionale di conduzione del progetto, che si traduce in un aggravio di costi e tempi tanto più rilevanti quanto più tardivamente le non conformità sono state rilevate;
- interazione tra la fase di ingegneria di base e la fase di avviamento/collaudò: la prima definisce la configurazione dell'impianto in grado di garantire le prestazioni a esso richieste sul piano contrattuale, da verificare poi in fase di collaudò. Qualsiasi deviazione rilevante dai livelli di prestazione attesi può richiedere una revisione delle scelte progettuali di base, a meno che non si accetti di pagare le penali associate. In questo caso, sono da escludere completamente le iterazioni che porterebbero ai massimi costi di rifacimenti.

L'elevata criticità delle interdipendenze descritte tra le fasi operative e tra i ruoli in esse coinvolti viene ulteriormente alimentata dall'applicazione di "forzature" nella sovrapposizione temporale,



soprattutto in relazione alle attività critiche, in modo tale che una volta avviata la fase a monte quella a valle venga avviata il più presto possibile, riducendo così la durata del progetto. Quindi, con questa tecnica detta anche “fast tracking” lo sviluppo in parallelo delle fasi viene ulteriormente accentuato (Rossi, 1986).

Prendendo in riferimento l'intero progetto, una delle forzature più tipiche riguarda la fase di approvvigionamento, quando si emette una richiesta di offerta le cui caratteristiche derivano dal patrimonio e dall'esperienza aziendale di precedenti realizzazioni e dall'analisi del preventivo di offerta, quasi prescindendo dallo specifico progetto. Come conseguenza, diversi dati saranno scarsamente affidabili a causa delle ipotesi fatte, per cui ci si riserverà la finalizzazione della gara dopo la selezione del fornitore e la relativa negoziazione. Sul piano contrattuale, questa tecnica consente l'emissione dei cosiddetti “ordini aperti”, che si basano quindi su quantitativi presunti e che permettono di prefissare i termini di consegna.

Le forzature sulle logiche di interazione tra attività non sono necessarie solo per porre rimedio agli eventuali ritardi sui tempi di realizzazione, ma soprattutto per intervenire sui parametri attesi di costi, incassi ed esborsi, e/o per tener conto delle contingenti esigenze più generali dell'azienda. In ogni caso, quanto più spinta è la sovrapposizione temporale tra le fasi, tanto più si rende necessaria una maggiore intensità di coordinamento tra gli attori coinvolti.

Quindi, le logiche di forzatura delle interdipendenze tra fasi, portando a una sovrapposizione più spinta di quella naturale, fanno sì che la modalità di lavoro con cui ciascuna fase viene condotta condiziona in modo determinante le altre. Quest'aspetto conduce alla tematica strettamente legata della gestione del rischio durante l'avanzamento del progetto. Infatti, nel caso in cui le ipotesi effettuate non si verificassero, potrebbe aumentare da una parte la probabilità di accadimento di eventi imprevisi dall'altra la severità del loro impatto diretto e indiretto sulle fasi interdipendenti.

I principali motivi, aziendali o di progetto, che spiegano il ricorso alle forzature e le conseguenze dei relativi rischi che si generano, possono essere (Rossi, 1986):

- l'anticipazione di una determinata disciplina al fine di assorbire una certa disponibilità di personale, rivelata dall'esame dei carichi di lavoro dell'ente in questione. Questo comporta una riduzione della produttività delle risorse e quindi un maggior consumo di ore;
- il lancio anticipato della campagna acquisti per approfittare di una favorevole situazione di mercato, o per attenuare i rischi di cantiere mediante un'anticipata disponibilità di materiali: in questo caso, si dovrà valutare il rischio di costi extra da riconoscere in corso di esecuzione ai costruttori per la non completa definizione dei parametri tecnici, in raffronto ai prezzi più competitivi che si possono ottenere con un'anticipata emissione degli ordini, o, rispettivamente, con una minore possibilità di contenziosi per maggior onere con le imprese di cantiere;
- l'anticipazione delle attività che conducono alla realizzazione di un determinato evento, al cui verificarsi sia legato contrattualmente l'incasso di una rata consistente dell'importo contrattuale, per necessità finanziarie dell'azienda. La conseguenza è che la commessa dovrà assorbire la maggiorazione dei costi provocata da questo squilibrio su altre attività.

- in caso di ritardo pregresso, il project manager dovrà valutare il rischio imprenditoriale derivante dal posticipare l'approvazione formale del committente dopo la definizione tecnica delle specifiche di un componente d'impianto contro il beneficio del mantenimento delle date contrattuali, avviando in anticipo l'approvvigionamento.

Tuttavia, con la tendenza a ridurre sempre più il ciclo di vita del progetto, le leve gestionali delle logiche di forzatura delle interazioni tra le fasi possono indurre conseguenze foriere del fallimento della gestione del progetto.

A fronte di tutto ciò diventa necessario un sistema di governo della complessità propria di un grande progetto, che consideri in fase di pianificazione gli effetti delle interdipendenze, data la loro importanza nel condizionare il successo della gestione dell'intero progetto. Si osserva che i metodi di sovrapposizione aumentano la frequenza e il numero di informazioni trasferite tra le fasi coinvolte; un maggior numero di attività iniziano con informazioni incomplete o premature, aumentando le iterazioni. Di fronte a tutto ciò, le politiche manageriali, in generale, non sono state orientate a fronteggiare gli effetti dell'aumento di complessità creato col ricorso spinto alle forzature.

Considerata l'elevata necessità di coordinamento e il forte impatto sulle prestazioni di progetto, soprattutto in termini di tempi e costi, l'ambito dell'analisi riguarderà l'interdipendenza tra le fasi di ingegneria e di costruzione/montaggio, con i relativi output prodotti e attori coinvolti. La conoscenza dettagliata di questo tipo di interazione è condizione necessaria per il coordinamento di progetto nel suo complesso e per predisporre le condizioni affinché si possano attuare le interazioni nei modi e nei tempi voluti senza pregiudicare le prestazioni attese.

Il passaggio dalla fase di definizione delle caratteristiche tecniche del prodotto da realizzare alla fase di costruzione del prodotto stesso ricopre l'intervallo di tempo più critico lungo il ciclo di vita del progetto, in quanto i suoi esiti finali risultano più facilmente prevedibili e "governabili". Infatti, l'ingegneria ha raggiunto un elevato grado di definizione tecnica, mentre l'attività di cantiere è nella fase iniziale, quando le modalità di mobilitazione delle risorse sono ancora in parte modificabili senza variazioni di costo rilevanti.

A partire dalle caratteristiche della fase di ingegneria, le peculiarità dal punto di vista gestionale che si riflettono poi sulla fase di costruzione sono:

- l'elaborazione progressiva;
- il concurrent engineering;
- l'approccio "construction driven".

Nella fase di ingegneria si concentra in modo particolare l'aspetto di *elaborazione progressiva* tipica dei progetti. La documentazione tecnica che descrive sistemi e componenti viene elaborata e approvata per approssimazioni successive tramite un processo iterativo che prevede diverse emissioni, man mano che le informazioni disponibili diventano più complete.

Ciò comporta il secondo aspetto gestionale caratteristico dell'ingegneria, il *concurrent engineering*, che consiste nel coinvolgimento di diverse aree funzionali in modo che ogni revisione recepisca dalle unità specialistiche i dati e i commenti che consentono di ottenere un ulteriore grado di completamento, e quindi una nuova emissione, del documento tecnico. Quindi, si crea un sistema di interazioni tra diversi ruoli specialistici che reciprocamente si scambiano informazioni funzionali alla definizione dei documenti tecnici di cui sono responsabili. Infatti, nell'ingegneria di dettaglio, seguendo un approccio orientato ai processi specialistici, le diverse discipline non si susseguono in maniera sequenziale ma procedono con un avanzamento simile e con un grado di sovrapposizione tale da essere in grado di integrare tempestivamente nelle specifiche tecniche del determinato componente d'impianto tutti i vincoli e le opportunità che scaturiscono dalle discipline correlate che si occupano di altre parti d'impianto.

Il prerequisito per l'efficacia di quest'approccio di sviluppo in parallelo è lo scambio di informazioni continuo e bidirezionale tra gli attori coinvolti, in modo che lo stato delle informazioni sia sempre aggiornato, garantendo così la coerenza e la completezza dei documenti. Allo stesso tempo, col procedere del ciclo di vita, l'aumento della disponibilità di informazioni affidabili rende l'avanzamento meno iterativo e riduce l'incertezza intrinseca del progetto (figura 6).

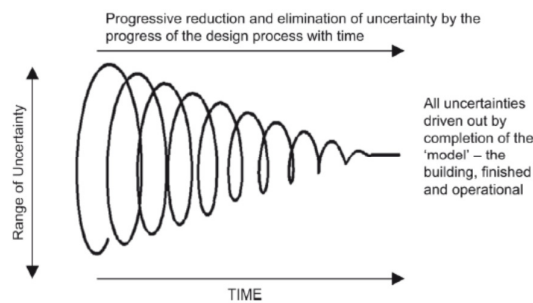


Figura 6: Andamento dell'incertezza in funzione del tempo nella fase di ingegneria

In questo modo, si limita sempre più il cosiddetto «effetto di trascinamento», che consiste nel continuo adattamento reciproco delle fasi a modifiche pervenute con la realizzazione progressiva dell'opera.

Questi aspetti dell'ingegneria sono strettamente legati all'*approccio construction driven*, in quanto comporta la definizione delle priorità con cui devono essere elaborati i documenti tecnici necessari ad avviare le prime sequenze costruttive pianificate per la realizzazione delle parti di impianto secondo i tempi richiesti dalla fase di realizzazione, a loro volta dettati dalla data finale di consegna al cliente. Infatti la pianificazione generale di progetto impone le milestone principali a partire dai vincoli contrattuali definiti dal cliente prima per la fase di collaudo e poi per quella di costruzione, che influenza il programma di progettazione seguendo un approccio di tempificazione a ritroso.

In questo contesto tipico della fase di ingegneria si configura una rete di relazioni tra gli specialisti delle diverse discipline ingegneristiche che elaborano la documentazione di propria competenza integrando le scelte progettuali sui diversi aspetti del progetto da realizzare. In questo modo ogni

ruolo ha una visione più ampia del progetto e riesce ad anticipare i vincoli e le opportunità progettuali che si possono manifestare con le fasi successive. In particolare, si identifica la disciplina trainante, i cui rilasci intermedi permettono l'avanzamento di altre discipline, in quanto informazioni anche approssimative generate a monte sono da subito utili per l'impostazione delle attività che seguono.

La figura 7 descrive il tipico modo di procedere dell'ingegneria, in particolare riguardo l'elaborazione di due documenti: le specifiche di un componente d'impianto e il layout dell'impianto stesso. I due processi di progettazione evolvono per approssimazioni successive e sono tra loro interdipendenti. Ad ogni nuova versione dei documenti corrisponde un interscambio informativo tra gli specialisti incaricati della loro elaborazione, poiché la disponibilità di dati sempre più precisi sulle caratteristiche del componente consente una definizione sempre più dettagliata del layout.

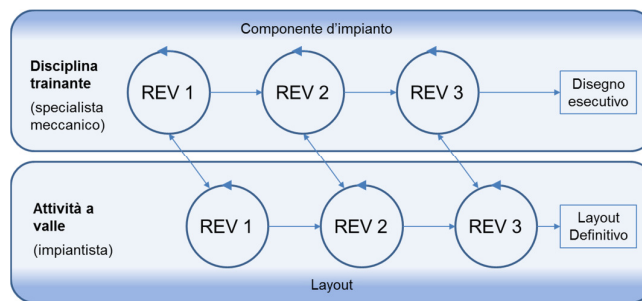


Figura 7: Sviluppo dell'ingegneria per approssimazioni successive e per interazione tra gli specialisti coinvolti

La gestione ottimale di questi aspetti della fase di ingegneria consente di ottenere come risultato un'elevata robustezza delle specifiche tecniche elaborate, perché contengono un grado di indeterminazione progressivamente ridotto. Ne conseguono la minimizzazione delle necessità di revisione nella stessa fase di ingegneria e di rilavorazione durante la fase di costruzione, oltre a permettere il parallelo e progressivo aumento di completezza e affidabilità della documentazione prodotta e dell'opera in generale, che vengono così approvate facilmente da tutti i ruoli interessati. Emerge così il legame tra le prestazioni della fase di ingegneria e quelle della fase di costruzione.

Un problema strutturale che deriva dalla gestione in parallelo delle attività è la cosiddetta "sindrome del 90%", causa di notevoli fallimenti nel rispetto della pianificazione di progetto (Ford, Sterman, 2003). Questo effetto si ha quando un progetto, col tendere al 90% di completamento seguendo la tempistica pianificata, entra in stallo e finisce con un ritardo di circa due volte la durata stimata originariamente. Ciò è dovuto al ritardato riconoscimento della necessità di rilavorazioni nelle fasi di definizione e progettazione, che, se trascurate in precedenza, emergono inevitabilmente quanto più si procede lungo il ciclo di vita del progetto. Questo problema è anche correlato al passaggio da una visione specialistica a una sistemica, col progredire della fase di costruzione, quando si predispongono le singole parti d'impianto a una verifica di sistema per l'avviamento e per i collaudi finali, da cui possono emergere errori non rilevati prima.

Nell'ambito della stessa analisi, gli autori Ford e Sterman analizzano l'effetto delle forzature su: la durata del progetto, l'impegno di lavoro e gli errori rimanenti al completamento del progetto. Loro osservano come un aumento della sovrapposizione riduce la durata complessiva di progetto, ma con rendimenti decrescenti, così come lo sforzo di lavoro richiesto è minore e di conseguenza si riducono anche i costi di progetto. Tuttavia, questi effetti possono essere compromessi dal rischio di rilavorazioni patologiche, in fase avanzata di progetto, che ne fanno aumentare la durata e i costi. Il terzo impatto dell'applicazione delle forzature si concretizza in un peggioramento della qualità di progetto, intesa sia come difetti di produzione sia come incoerenza con le specifiche di progetto.

Gli strumenti e i metodi di pianificazione e controllo delle interazioni tra attività, rilevati dalla ricerca bibliografica, sono:

- la metodologia ADePT;
- la rappresentazione del reticolo delle attività incrociata con gli stakeholder;
- le curve ad S sequenziate.

Il metodo ADePT è un tentativo di modellizzazione del processo di progettazione, che ne rappresenta le attività necessarie e i relativi flussi informativi. Da queste attività, identificate attraverso un processo di scomposizione gerarchica della fase di ingegneria, deriva la produzione della principale documentazione tecnica, invece le informazioni richieste sono gli input al modello. Come schematizzato nella figura 13 (Austin et al., 1999 a), le attività vengono prima classificate sulla base di opportuni criteri di valutazione delle informazioni richieste e poi messe in relazione tra loro attraverso la costruzione di una matrice di dipendenza (Dependency Structure Matrix). L'elaborazione della matrice porta come risultato l'identificazione delle interazioni tra le attività del processo di progettazione e la loro riallocazione nell'ordine ottimale di esecuzione tale da minimizzare le interazioni. Si definisce così il programma di gestione della progettazione, che subisce un'ultima revisione per integrare nella fase di ingegneria i programmi di approvvigionamento e di costruzione.

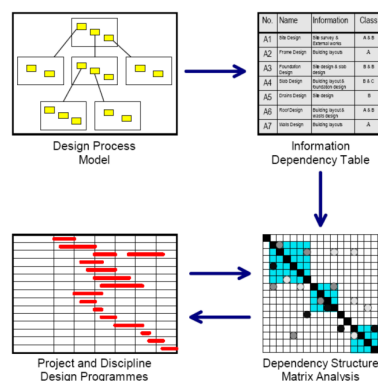


Figura 13: Schema dei passi della metodologia ADePT

L'analisi con la matrice DSM è ritenuta dall'autore Austin adatta a modellizzare la fase di progettazione, poiché, oltre a individuare e minimizzare le interdipendenze tra attività, mette in evidenza i cicli di informazioni critiche che richiedono una focalizzazione del coordinamento: da una parte se ne aumenta l'intensità laddove necessario e dall'altra si identificano i ruoli e le fonti di informazioni da controllare. Questo modello permette anche di valutare gli effetti delle variazioni dell'ordine con cui vengono svolte le attività. Predisporre, quindi, la base per la programmazione della fase di ingegneria.

La metodologia ADePT ha come ulteriore scopo quello di distinguere l'insieme di informazioni che permettono la continuità nello sviluppo del progetto senza essere riprocessate da un altro insieme di informazioni che invece richiedono iterazioni prima di essere sufficientemente complete (Mitchell *et al.*, 2004). I dati appartenenti al primo gruppo possono essere stimati e procedono con una priorità più alta rispetto all'altra tipologia di informazioni, in quanto non interrompono il flusso di lavoro, ma permettono l'avvio anticipato delle attività a valle.

La rappresentazione reticolare permette una descrizione logico-temporale delle attività interrelate tra loro, la quale viene incrociata con i rapporti agli attori delle discipline coinvolte e alle informazioni sia richieste che prodotte. Su questa base, possono emergere le considerazioni dal punto di vista della gestione delle attività. In particolare, si possono valutare le attività critiche dal punto di vista dell'integrazione di diversi attori o informazioni oppure come le forzature applicate su determinate sovrapposizioni di attività ne influenzano i risultati previsti. Offre quindi un utile strumento per individuare i punti di contatto critici tra attività e attori da monitorare per l'avanzamento pianificato del progetto.

Il terzo strumento di pianificazione e controllo fa riferimento alle "curve ad S" sequenziate e si basa sul principio che, in un contesto di concurrent engineering, è necessario che si siano raggiunti determinati avanzamenti minimi tra l'attività trainante e le attività a valle che essa condiziona direttamente, in modo da permettere l'avanzamento di progetto in tempi ridotti e in maniera economica. Infatti, nell'ambito dell'ingegneria, l'orientamento al progetto prevede che la disciplina trainante, coinvolgendo anticipatamente gli attori interessati, effettui dei rilasci "intermedi" della soluzione proposta con l'obiettivo di ricevere ulteriori indicazioni su vincoli e opportunità da parte degli altri attori, consentendo così l'elaborazione progressiva di una soluzione robusta, per la quale sia limitato il rischio di dover procedere a modifiche sostanziali di quanto è stato già congelato. Nonostante le problematiche nel misurare e nell'aggregare le prestazioni di diverse fasi di progetto, si può delineare un modello dinamico di progetto, inteso come fascio di curve di avanzamento tra loro interrelate, per sintetizzare le interdipendenze tra diversi andamenti. Dal confronto di esperienze relative a progetti simili, emergono delle regolarità nei legami ricorrenti fra le diverse curve di avanzamento utili per la pianificazione delle interdipendenze di progetti futuri. Il modello presentato è anche necessario per misurare a valle le conseguenze delle deviazioni riscontrate sulle attività in corso, quindi per effettuare le previsioni a finire. I valori delle variazioni indotte vengono estrapolati dall'esame in cascata dell'andamento delle curve, arrivando a conclusioni in termini di tempo e costo.

Per poter comprendere le dinamiche reali di un progetto viene analizzato un caso di studio relativo alla progettazione di una grande infrastruttura sul territorio italiano. Facendo riferimento

a una attività specialistica di ingegneria, si analizzano le criticità gestionali e gli impatti dei rischi che influenzano la gestione dell'attività stessa e di quelle che seguono a cascata, riportando l'esperienza "in campo" di una società operante nel settore engineering & contracting. Si cerca di fornire quindi un esempio di applicazione degli strumenti di controllo delle interdipendenze tra le attività e i ruoli coinvolti.

Il punto di vista adottato nel condurre l'analisi del caso di studio è quello del contraente generale e viene posta l'attenzione su una delle attività presenti sul cammino critico del progetto, le indagini geognostiche. L'importanza di quest'attività deriva dal ruolo giocato rispetto all'intera fase di progettazione, in quanto può determinarne la fattibilità o meno nel proseguire con la realizzazione di una grande infrastruttura.

Per questa parte iniziale della fase di progettazione vengono messi in evidenza prima di tutto i passi previsti per lo sviluppo delle indagini geognostiche e la corrispondente documentazione prodotta con l'avanzamento progressivo. Quindi, si propone la rappresentazione logica-temporale del tipo reticolare che incrocia ogni attività con le diverse figure professionali coinvolte e con le informazioni necessarie per poter proseguire con le attività successive. Per semplificare la rappresentazione grafica, nell'intero reticolo in figura 20 si fa ricorso principalmente ai legami FS (finish to start) per indicare che l'inizio di una certa attività avviene dopo la fine della/e attività che la precedono.

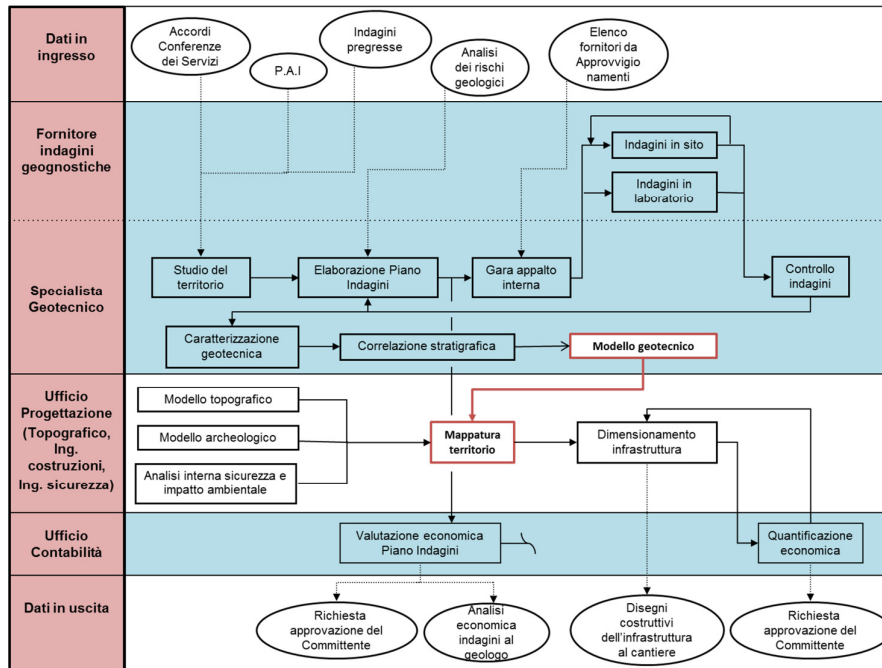


Figura 20: Rappresentazione delle interdipendenze del caso di studio

Viene focalizzata poi l'attenzione sulla particolare interdipendenza tra l'elaborazione del modello geotecnico, documento conclusivo delle indagini geognostiche, e la mappatura del territorio in cui

esso confluisce. Questo particolare passaggio fornisce un esempio di applicazione dell'approccio del concurrent engineering nell'ambito della gestione tipica dell'ingegneria.

Definita prioritaria l'elaborazione della mappatura del territorio per avviare il dimensionamento dell'infrastruttura e quindi la sua realizzazione, dalla rappresentazione delle attività si può vedere come questo documento richieda il coinvolgimento contemporaneo di diverse discipline. Infatti, le indagini geognostiche svolte dallo specialista di geotecnica procedono in parallelo con gli studi topografici, con le valutazioni sull'impatto ambientale e con le indagini archeologiche.

Ciascun documento tecnico confluyente nella mappatura del territorio segue un processo iterativo di elaborazione progressiva che porta al congelamento dei parametri tecnici individuati nelle rispettive analisi. Infatti, come mostra la figura 21, il geotecnico rilascia all'Ufficio Progettazione versioni del modello geotecnico con un contenuto progressivamente completo a seguito della definizione della caratterizzazione geotecnica, che a sua volta recepisce le iterazioni sui risultati delle indagini geognostiche. Quindi, la geognostica si configura come disciplina trainante per la definizione della mappatura del territorio effettuata dall'Ufficio Progettazione.

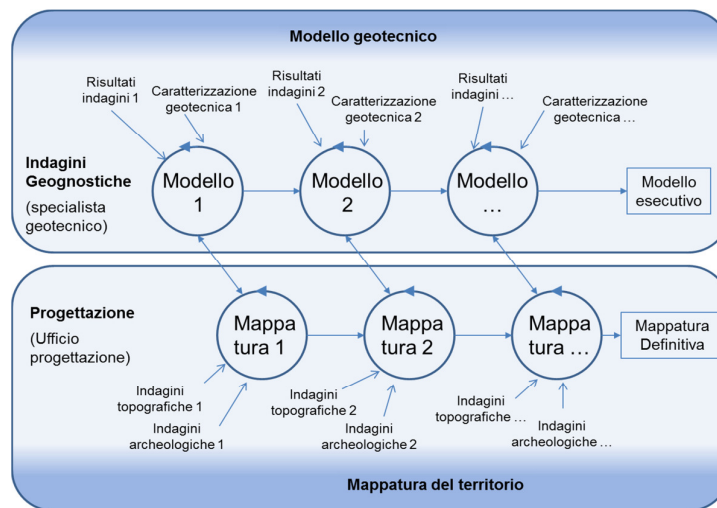


Figura 21: Interdipendenza tra modello geotecnico e mappatura del territorio

Questa modalità di gestione comporta uno scambio informativo costante e bidirezionale tra gli attori delle diverse discipline specialistiche. In questo modo, l'integrazione dei vincoli progettuali derivanti dalle diverse discipline e l'aumento contemporaneo del grado di completezza dei dati tecnici consentono di trasmettere alle attività a valle un basso livello di incertezza. Questo approccio permette così un avanzamento robusto della progettazione, capace di assorbire le eventuali variazioni manifestate successivamente.

La stessa gestione in parallelo viene applicata all'attività di dimensionamento dell'infrastruttura eseguita dall'esperto di ingegneria delle costruzioni nel reparto Progettazione, che rilascia ai costruttori i primi disegni costruttivi per raggiungere poi la versione definitiva o "as built" una volta avviata la costruzione. Deriva infatti dal cantiere la necessità di integrare i disegni costruttivi con le modifiche pervenute realizzando l'infrastruttura. Entrambi i ruoli del progettista e del costruttore interagiscono poi con l'Ufficio contabilità per integrare le scelte dei componenti con i



vincoli economici. Quindi, il reparto Progettazione nell'attività di dimensionamento rilascia progressive approssimazioni dei disegni dell'infrastruttura sia al reparto Contabilità che ai ruoli incaricati della fase di costruzione e in particolare dei lavori civili, prima attività per l'avvio del cantiere, che possono richiedere revisioni e integrazioni di specifiche tecniche prima di considerarle definitive.

Come è tipico dei grandi progetti di ingegneria, anche nella gestione delle indagini geognostiche si ricorre alle forzature, spingendo la sovrapposizione temporale delle attività che influenzano la data di completamento della fase di progettazione. In particolar modo, con l'obiettivo di ridurre il tempo di elaborazione della documentazione tecnica relativa alle indagini del sottosuolo ed eventualmente recuperare ritardi cumulati nelle attività precedenti, si "forza" la sovrapposizione temporale tra le indagini, soprattutto di quelle in laboratorio, e la caratterizzazione geotecnica. L'inizio di quest'ultima attività, infatti, viene anticipato notevolmente senza attendere i risultati completi delle indagini sia in sito che in laboratorio, utilizzando informazioni sul sottosuolo derivanti da analisi passate che così permettono la stima dei parametri geotecnici principali. Ciò espone la fase di progettazione al rischio di utilizzare valori errati e incoerenti con l'area territoriale in analisi. Per ridurre questo rischio si ricorre a un confronto dei risultati delle indagini una volta completate: nel caso in cui sia necessario una revisione delle indagini, l'applicazione della forzatura causa sia diseconomie per il doppio costo di verifica sia ritardi nell'avanzamento che così viene rallentato.

Un'ulteriore forzatura si verifica tipicamente quando è richiesta l'approvazione del committente del Piano Indagini, che è opportuno ottenere prima di procedere alla gara per l'affidamento a società esterne dell'esecuzione delle indagini in sito e in laboratorio. Infatti, la sequenza ottimale di gestione prevede che l'autorizzazione del committente venga richiesta quando le specifiche delle indagini siano definite completamente nel corrispondente Piano. L'applicazione della logica delle forzature prevede invece che il project manager valuti il rischio di anticipare gli accordi coi possibili fornitori per avere la definizione tecnica delle indagini, sottoponendo all'approvazione del committente solo una parte dei documenti prioritari del Piano Indagini, che sarà elaborato ed integrato progressivamente.

Con riferimento alle attività geognostiche, si ricorre alle curve ad S come strumento di rappresentazione sintetica degli effetti derivanti dal manifestarsi di una sorgente di incertezza. Con lo scopo di valutare l'impatto di un ritardo nell'avanzamento, si considera il caso in cui i parametri stimati durante la caratterizzazione geotecnica, avviata in anticipo rispetto alla sequenza ottimale, non sono coerenti con i risultati ottenuti dalle indagini geognostiche in seguito effettuate. Il manifestarsi di questo rischio comporta un ritardo nella progettazione basata sulle indagini geognostiche, rendendo necessario una ripianificazione realistica dell'avanzamento ed eventualmente della data di completamento.

Inoltre, con lo strumento delle curve ad S sequenziate può essere valutato come il ritardo registrato in fase di progettazione influenza le successive fasi di approvvigionamento dei materiali e costruzione, in relazione alla severità dell'impatto del rischio.

Nella parte conclusiva del caso di studio, si mette in relazione il ruolo del committente con la sua visione dell'avanzamento dei lavori e la sua capacità di influenzare gli stakeholders coinvolti nel progetto.

Per quanto riguarda la gestione delle prestazioni del progetto, soprattutto in presenza di scarse competenze tecniche nel seguire le prestazioni di attività specifiche, il committente tende ad affidarsi all'esperienza del contraente generale specializzato nella realizzazione di un progetto molto complesso come è il caso di una grande infrastruttura. Invece, forte attenzione del committente è rivolta alla gestione "politica" degli stakeholders determinanti per il successo del progetto, in quanto ognuno di essi esprime interessi diversi, ha una propria capacità di influenza e può assumere un atteggiamento più o meno favorevole. Ad esempio, si pensi all'importanza del committente data all'organizzazione della Conferenza di Servizi, in cui si riuniscono le istituzioni con le competenze tali da determinare la fattibilità del progetto.

Ciò comporta un maggiore disinteresse del committente sul controllo dell'avanzamento di dettaglio del progetto, quindi dovuto alla presenza di forti asimmetrie informative e di competenze rispetto al contraente generale, che non gli consentono di valutare le procedure di lavoro adottate. Come soluzione organizzativa di questa criticità nella gestione del progetto, il presente caso di studio ha visto la collaborazione, al fianco del committente, di un nuovo ruolo nel panorama della gestione dei grandi progetti di ingegneria, ovvero il Project Management Consultant o PMC. Il committente affida a questa figura il controllo delle prestazioni di progetto ottimali, grazie alle sue capacità di governo delle molteplici interdipendenze e di coordinamento della macro rete di attori.

Il PMC si inserisce così tra il contraente generale e il committente, a cui trasferisce in maniera sintetica lo stato del progetto lungo il suo ciclo di vita agevolandone la presa di decisioni (figura 27).

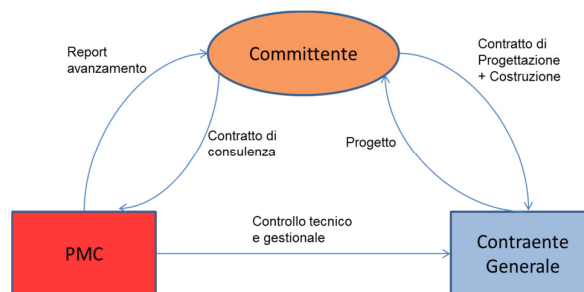


Figura 27: Approccio Progettazione/Costruzione con PMC

Dalla descrizione delle attività svolte dal PMC, si osserva che l'azione di supporto del PMC si concentra nella fase realizzativa del progetto. Da una parte esegue il controllo delle attività (progettuali, operative) del contraente generale che vengono confrontate con le prestazioni richieste dal contratto; dall'altra propone al committente le opportune azioni correttive, motivate con le indicazioni della priorità, in relazione all'effetto che esse possono generare sul progetto nel suo insieme.

Inoltre, il PMC a differenza del contraente generale ha la capacità di costruire una dettagliata analisi dei rischi di progetto che copre l'asimmetria informativa tra contraente generale e committente stimolando così una maggiore trasparenza tra gli attori. Svolge quindi una funzione di controllo sull'intero progetto di tipo proattivo e propositivo, che può concludersi con

l'implementazione delle azioni correttive in corso di progetto, su decisione e responsabilità del committente.

Gli strumenti di pianificazione e controllo descritti in questo lavoro si dimostrano utili nell'ambito della gestione del progetto, in quanto hanno proprio lo scopo di individuare i punti critici di interazione tra attività su cui focalizzare l'attenzione e il coordinamento (metodo ADePT, rappresentazione reticolare attività/stakeholder) e di prevedere le relazioni di fasi successive, in termini di avanzamento sia pianificato che realizzato (Curve ad S sequenziate).

Il metodo ADePT permette l'ottimizzazione delle interazioni tra attività ma è specifico della progettazione e risente dell'onerosità dei calcoli matriciali. Questo strumento è efficace anche nell'individuare le attività e le informazioni prioritarie per anticipare gli approvvigionamenti e la costruzione. Inoltre, grazie all'identificazione delle interazioni tra attività indica le aree in cui intensificare il coordinamento. Tuttavia, la difficoltà di analisi delle attività previste per ogni tipologia di indagine, oltre all'indisponibilità di un software necessario per l'elaborazione della matrice DSM, hanno ostacolato l'applicazione del metodo ADePT nel caso di studio per individuare le interazioni ottimali tra le attività di progettazione preliminare. Nonostante ciò è stato possibile riscontrare le interazioni nell'ambito delle indagini geognostiche, a partire dalla rappresentazione incrociata delle attività con gli stakeholder di dettaglio.

La rappresentazione delle relazioni tra la sequenza logico-temporale di attività e gli attori coinvolti per la loro esecuzione si è dimostrata efficace nell'ottenimento di una visione complessiva dell'elaborazione della documentazione tecnica in fase di progettazione. Nel caso particolare dell'interdipendenza tra la mappatura del territorio e il modello geotecnico, si possono monitorare i rilasci intermedi verso ruoli di altre fasi, necessari per anticiparne l'avvio. Questo strumento si pone anche come base su cui valutare quali attività porre in parallelo e dove apportare le forzature.

Se il metodo ADePT e la rappresentazione incrociata di attività e stakeholders permettono un'analisi di dettaglio del progetto, le "curve ad S" sono uno strumento di pianificazione e controllo che sintetizzano lo stato del progetto in termini di prestazioni di tempo e costo. Con questo strumento si può creare un modello dinamico del progetto, riportando in sequenza e con l'opportuno grado di sovrapposizione gli andamenti delle fasi operative. Oltre a poter individuare le regolarità che si presentano nei progetti di engineering & contracting, il modello presentato è fondamentale per sintetizzare a valle le conseguenze delle deviazioni riscontrate sulle attività in corso e quindi per effettuare le previsioni a finire.

Dall'applicazione degli strumenti presentati nel caso di studio si rileva che la rappresentazione incrociata di attività e stakeholders congiuntamente alle curve ad S sono efficaci nell'individuare le criticità gestionali e nel valutare gli effetti diretti e indiretti sulle attività interrelate. Tuttavia, se il committente non ha la capacità di comprendere lo stato tecnico del progetto, questi strumenti vengono utilizzati dal contraente generale, che non sempre riporta valutazioni al committente realistiche e affidabili. La soluzione che si presenta a valle dei risultati avuti nel caso di studio è l'introduzione del ruolo del PMC come sistema di governo del progetto al fianco del committente. Come manifestato nel caso di studio e dall'esperienza di diversi esperti del settore, la piena efficacia di questa nuova figura è ancora da raggiungere in Italia, dove soprattutto non esiste una completa diffusione e comprensione della cultura di Project Management.

Le criticità nella gestione di un grande progetto emerse nell'analisi teorica delle interdipendenze e confrontate poi con la realtà del caso di studio, possono essere associate alle cosiddette interfacce di progetto. A valle dello studio affrontato vengono riepilogate per offrire una visione complessiva dei punti critici da monitorare. Questi possono fare riferimento alle relazioni tra: responsabilità; attività o loro risultati; ruoli o organizzazioni, tra cui il committente; materiali e risorse in generale.

Inoltre, si osserva come le prestazioni di progetto, essendo legate alle diverse interfacce, richiedono una chiara definizione delle responsabilità dei ruoli in modo che ci sia un riferimento univoco nel caso si verifichi uno scostamento dell'avanzamento realizzato rispetto a quello pianificato. Il ruolo del PMC rappresenta una soluzione anche su questo punto di vista, grazie alla sua capacità di presentare una configurazione di progetto completa e chiara. La sua esperienza nella gestione di progetti complessi gli permette anche di associare correttamente le prestazioni di determinate attività ai ruoli con le competenze adatte a svolgerle.

In conclusione si può affermare che i tradizionali approcci all'organizzazione di una commessa non fanno emergere con chiarezza e trasparenza le criticità operative derivanti dalla presenza delle interdipendenze tra fasi e ruoli. Anche se è diffusa la consapevolezza della necessità di integrazione della fase di ingegneria e quella di costruzione, la rassegna delle metodologie e degli strumenti di pianificazione e controllo delle interdipendenze ha rilevato l'assenza di un modello di integrazione tra ingegneria e costruzione, che consideri anche l'insieme dei ruoli coinvolti in queste fasi.

Il percorso seguito con questa tesi mette, quindi, in evidenza la necessità di un sistema di governo del progetto capace di:

- monitorare le prestazioni e far emergere le criticità di progetto,
- integrare e coordinare sia le attività che i ruoli,
- identificare la migliore soluzione locale per il recupero di eventuali ritardi e/o extra costi,
- supportare il committente e il project manager nel prendere decisioni sul controllo dell'avanzamento.

Infine, con questa tesi si cercherà di apportare un contributo teorico ai lavori che sono già stati svolti nel ricostruire le logiche fondamentali di organizzazione delle particolari fasi di ingegneria e costruzione, le quali mantengono la loro validità anche al mutare della tipologia di progetto. Il sistema di governo delle problematiche presentate può essere una soluzione organizzativa, quale è il ruolo del PMC, ma se questa figura da una parte deve ancora realizzarsi pienamente dall'altra è solo un punto di partenza per individuare ulteriori soluzioni per il controllo tecnico del progetto.

La struttura dell'elaborato è la seguente: nel capitolo 1 si delineano le caratteristiche proprie di un progetto per comprendere il contesto e la natura delle problematiche in cui si vengono a creare le interdipendenze; nel capitolo 2 si focalizzerà il problema sulla particolare interdipendenza tra le fasi di ingegneria e costruzione; nel capitolo 3 si affronterà la rassegna delle metodologie note per gestire le interdipendenze; nel capitolo 4 si proporrà l'analisi di un caso di studio come esempio di applicazione degli strumenti di controllo delle interdipendenze tra le attività e i ruoli coinvolti e come introduzione al ruolo del PMC; nel capitolo 5 verranno esposti i risultati dello studio affrontato, offrendo un riepilogo delle criticità da monitorare in ottica di gestione delle interdipendenze e esprimendo una valutazione dell'efficacia sperimentata del ruolo del PMC. Infine, a partire dall'analisi affrontata in questo lavoro si traggono le conclusioni, con accenni alle limitazioni dell'analisi svolta e sui possibili studi futuri.

## Summary

In this thesis document it is proposed a path of analysis of the characteristics of a large engineering project with the aim to manage the inherent complexity arising from the presence of multiple interdependencies between operational phases. The increase of complexity typical of a large project has motivated the continuing search for a proper management logic to control the multiple critical aspects. The critical issues that arise in the interaction between the phases of the project, naturally interrelated to each other, are amplified by the involvement of a broad set of actors who have different interests on particular aspects of the results produced by each task.

Size, variety, context and interdependencies are the factors that explain the complexity of a large project (Vidal, Marle, 2008). With regard to these factors, the focus is on the interdependencies of operational phases of a project, in particular the engineering and construction, and the corresponding roles with responsibility for their performance.

The purpose of this work is above all to understand the nature of structural problems stemming from the interdependencies of the project and the identification of management approaches to solve this problem.

The operational phases are linked to the progress of the project and by their own nature they develop in parallel, with an overlap rate that are realized on the basis of the results gradually produced by each of them. This parallel and iterative management of the phases comes from the initial presence of an uncertainty that does not allow the definition in advance of the characteristics of the product to be realized and that can be reduced only by involving several functional areas. In this way can be released various intermediate versions to share from time to time with the actors and robust decisions can be "frozen" to proceed.

Consequently, the way of coordination can be based only on direct interaction of the involved actors, which must cooperate together to correct any deviations of the project over the baseline.

After an initial summary of the interdependencies in a project, it is analyzed the interaction between the phase of detailed engineering and construction / installation: the first transmits to the second the technical documentation necessary for the proper installation of the plant components, getting back the variations developed in the construction. In this way, the configuration of the plant become final, reflecting the changes made on going in the "as built" version. These modifications can be pathological, since extensive rework correspond to a project management lack, which means an increase of costs and time the more relevant the later non-compliances are detected.

The high criticality of the interdependencies among the described operational phases and among the roles involved in them is further fed by the application of "fast tracking" approach in the temporal overlapping, especially for critical tasks, so that once initiated the upstream phase that downstream is started as soon as possible, thus reducing the duration of the project (Rossi, 1986).

Taking in reference the entire project, one of the most typical “forcing” concerns the procurement phase, when it is released a request of purchase whose characteristics derive from the knowledge and business experience of previous similar project and from the analysis of the estimated tender, almost regardless of the particular project. As a result, different data will be unreliable because of the assumptions made, until the definition is possible with the finalization of the bid after selecting the supplier and its negotiation. On the contract level, this technique allows the emission of so-called "open orders", which are based on an expected quantity and allow to prefix the terms of delivery.

The fast tracking approach on the interactions are not only necessary to retrieve delays on the timing of realization, but also to act on the expected parameters of costs, receipts and payments, and/or to consider the contingent needs of the company in general. In any case, the more thrust is the temporal overlap among the phases, the more it is required a more intensive coordination between the actors involved.

Thus, the logic of forcing of the interdependencies among phases, leading to an overlap beyond the natural one, means that the working mode in which each stage is conducted influences, in a decisive way, the other phases. This aspect leads to the closely related topic of risk management during the project progress. In fact, if the assumptions made did not occur, may increase on the one hand the probability of occurrence of unanticipated events on the other the severity of their direct and indirect impact on the interdependent phases.

However, with the trend to increasingly reduce the life cycle of the project, the leverage of the logic of fast tracking approach may induce effects heading to the failure of project management.

Considering all this issues, becomes necessary a governance system of the complexity of a large project, that takes into consideration, during the planning, the effects of interdependencies, given their importance in influencing the success of managing the entire project. It is noted that the methods of overlap increase the frequency and the number of information transferred among the phases involved; a bigger number of activities starts with incomplete information or premature ones, increasing the iterations. With all this, the management policies, in general, have not been oriented to face the effects of complexity created by having fast tracked project.

The transition from the definition of the technical characteristics of the product to the construction phase of the product, covers the most critical range time along the life cycle of the project, as its final results are predictable and more easily "manageable" .

Starting from the typical features of the engineering phase, the particular factors from the management point of view that affect the construction phase are:

- *the gradual elaboration* of technical documentation, that is defined by successive approximations through an iterative process that involves different releases, as the available information become more complete;
- *the concurrent engineering*: the various disciplines do not follow each other in a sequential manner but proceed with a similar progress level and with an overlap that allow a quickly integration in the technical specifications of the particular system component all the constraints and opportunities arising from the correlated disciplines that deal with other parts of the plant;

- the “construction driven” approach: consists in identifying the driving discipline, which documentation produced has a higher priority than the other, as it is necessary to start the first building sequences.

The optimum management of these aspects of the engineering phase leads to a high robustness of the technical specifications determined, because they contain a reduced degree of uncertainty compared to the case where the development of engineering is poorly organized and controlled. This results in minimizing the need for revisions in the engineering phase and for rework during the construction phase, as well as allowing the parallel and progressive increase of reliability and completeness of documentation and of output in general, which are then approved easily from all the roles involved. In this manner there is the link between the performance of the engineering phase and those of the construction phase.

A structural problem resulting from the parallel management of activities is the so-called "90% syndrome", which is performed when a project towards 90% of planned completion, stalls and ends with a delay of about twice the length originally estimated (Ford, Sterman, 2003).

The instruments and methods of planning and control, identified by literature research, able to manage the interactions between activities are:

- the ADePT method;
- the network representation of activities crossed with the stakeholder;
- the sequenced S-curves.

The steps taken by the ADePT methodology are considered suitable for modeling the design phase, since, in addition to identifying and minimizing interdependencies between activities, highlights the cycles of critical information that requires a focus of coordination, increasing the intensity where necessary and identifying the roles and information sources to be checked. The ADePT methodology has as a further purpose to distinguish the set of information that allow the continuity in the development of the project, without being reprocessed, from that with iterations before being sufficiently complete (Mitchell *et al.*, 2004). The data in the first group of information can be estimated and proceed with a higher priority than the other kind of information, because it does not interrupt the workflow and allowing the early start of downstream activities.

The network representation allows a logical-timing description of the activities interrelated with each other, which is cross-overs with the actors of the involved disciplines and with the information both required and produced.

The third planning and control instrument refers to the sequenced "S-curves" and is based on the principle that, in a context of concurrent engineering, it is necessary achieve certain minimum progresses between the driving activities and the downstream ones directly affected, allowing a reduction of duration and cost of the project (Rossi, 1986). Despite the problematic measuring and aggregating of the performance of different operative phases, it can be possible outline a dynamic model of the project, as a stream of interrelated progress curves, to summarize the interdependencies among different patterns. Based on the comparison of experiences in similar



projects, there are regularities in the links between the various progress curves, useful for planning the interdependencies of future projects. This model permits also to measure the downstream consequences of the deviations observed on the activities going on, so to make the estimations to complete. The values of the variations induced are extrapolated in cascade from the examination of the trend of the curves, reaching conclusions in terms of time and cost.

In order to understand the dynamics of a real project it is analyzed a case study on the design of a big infrastructure on the Italian territory. Referring to a specialist engineering activity, the geological analysis, it has been studied the critical aspect and the effect of the risks that affect the management of the activity itself and of those who follow in cascade. Therefore it is an attempt to provide an example of application of the control instruments of the interdependencies between tasks and roles.

For this initial part of the design are highlighted above all the planned steps of the development of soil tests and of the corresponding documentation produced by the gradual progress. Then, it is applied the network representation of the logic-temporal pattern with the links of each task to the various professionals involved and the necessary information to proceed with further work. Then the attention is focused on the particular interdependence between the elaboration of the geotechnical model, the final document of the geological studies, and the territory mapping in which they flow. This particular step provides an example of application of the concurrent engineering approach in the typical engineering management.

Moreover, as usually happens in large projects, also the management of soil tests are used to be forced in their natural sequence, pushing the temporal overlap of activities affecting the date of completion of the design phase. This exposes the design phase to the risk of using wrong and incoherent values with the territorial area under analysis.

With reference to the geological activities, it is used the S-curves tool for the synthetic representation of the effects arising from the occurrence of a source of uncertainty. The event following a given risk is the delay in the design phase based on soil tests, that request a realistic replanning of the progress and an assessment of the completion date.

Finally, it is kept in relation the role of the client with his view upon the progress and his ability to influence the stakeholders involved in the project.

As for performance management of the project, especially in presence of low technical skills for following the performance of specific tasks, the client tends to rely on the expertise of the general contractor specialized in the creation of a very complex project as is the case of a large infrastructure. Instead, great attention of the client is dedicated to the "political" management of the stakeholders crucial for the project success, because each of them expresses different interests, has its own influence and can be a more or less favorable.

This effect leads to a neglect of the client on controlling the project details, then for the presence of strong asymmetries of information and expertise respect to the general contractor, which does not allow him to assess the working procedures adopted. As an organizational solution of this critical project feature, this case study sees the collaboration, alongside the client, of a new role in the management environment of large engineering projects, namely the Project Management Consultant or PMC. The client relies on this figure the optimal control of project performance, thanks to its ability to "govern" the many interdependencies and to coordinate the macro network of actors.

Thus the PMC lie between the general contractor and the client, to which summarizes the status of the project along its life cycle and simplifies the decision-taking.

From the description of the activities carried out by the PMC, it is observed that the action of the PMC is concentrated in the construction phase of the project. On the one hand he performs the control of (planning, operational) activities of the general contractor which are compared with the results required by the contract, on the other hand he offers to the client the appropriate corrective actions, motivated by the indications of priorities, based on the effect that they can generate on the project.

The planning and control tools described in this paper are experienced useful in the management of the project, as they have precisely the aim of identifying the critical points of interaction between activities on which focus the coordination (ADePT method, network representation of activity/ stakeholders) and of forecasting the relations among phases on sequence, in terms of both planned and effective progress (S-Curve sequenced). However, the difficulty of analysis of the planned activities for each type of investigation discipline, as well as the unavailability of a necessary software for implementing the DSM matrix, have hindered the application of ADePT in the case study in order to identify the optimal interaction among the preliminary design tasks. Nevertheless it was possible to detect interactions among the activities followed in the soil tests, keeping start from the cross-representation of activities with the stakeholders.

From the application of the tools introduced in the case study, the result is that the cross-representation of activities and stakeholders together with the S-curves are properly aimed to identify the critical management feature and to assess the direct and indirect effect on the activities interrelated. However, if the client does not have the ability to understand the technical situation of the project, these tools are used by the general contractor, but not always the feedback that he reports to the customer are realistic and reliable.

The critical issues in managing a large project, rose in the theoretical analysis of interdependencies and then confronted with the reality of the case study, may be associated with so-called project interfaces. Downstream of the study, all the possible interfaces are summarized to provide a complete overview of the critical points to monitor. These can refers to the relationships between: accountability; activities or their results, roles and organizations, including the client, materials and resources in general.

In conclusion it can be argued that the traditional approaches to the organization of a project do not keep in evidence the critical issues arising from the presence of operational interdependencies between phases and roles. Although there is a widespread awareness of the need for integration of the engineering phase and the construction, the review of methodologies and tools for planning and monitoring the interdependencies has noticed the absence of a model of integration between engineering and construction, which also considers all the roles involved in these phases.

The path taken by this thesis provides, therefore, the need for a system of project governance, capable of:

- monitor the performance and bring out the critical issues,
- integrate and coordinate the roles and activities,
- identify the best local solution for the retrieve of any delays and / or extra costs,
- support the client and the project manager in the decision process on progress control.

Finally, this thesis wants to be an attempt to give a theoretical contribution to the studies that have been done to understand the basic logics of the organization of the particular phases of engineering and construction, which retain their validity even changing the type of project. The governance system of the issues presented can be an organizational solution, as is the role of the PMC, but if this figure on one hand has yet to be fully realized on the other is only a starting point to identify additional solutions to the technical control of the project .

The document structure is as follows: in Chapter 1 it is outlined the characteristics of a project to understand the context and nature of problems in which born the interdependencies; in Chapter 2 there is a focus on the problem of interdependence between the particular phases of engineering and construction; in chapter 3 there is the review of known methodologies to manage interdependencies; in Chapter 4 it is proposed an analysis of a case study as an example of application of the control instruments of the interdependencies between tasks and roles and as an overview of the PMC features; in Chapter 5 the results of the study are discussed, summarizing the critical issues to be monitored in the management of interdependencies, and there is a critical point of view on the PMC role. Finally, based on the analysis done in this paper there are the conclusions, with hints to the limitations of the analysis done and to the possible future studies.

# 1. Grandi progetti di ingegneria e loro complessità

Nel presente capitolo si analizza il progetto inteso come processo non ripetitivo, di cui si vuole offrire una comprensione delle caratteristiche intrinseche, per poi focalizzare l'attenzione sulla particolare problematicità delle interdipendenze. Facendo riferimento al settore dell'engineering & contracting, è opportuno pertanto mettere a fuoco innanzitutto la natura del problema e solo nei capitoli successivi introdurre le tecniche di Project Management in risposta al problema, in modo da verificare se tali tecniche rappresentano una soluzione adeguata e dove emergono le criticità. Dovendo delineare le peculiarità di un progetto, si è scelto come punto di riferimento il suo ciclo di vita, considerato nella sua interezza. Dopo un'introduzione alle diverse fasi operative di progetto, se ne analizzano i legami alla base delle interdipendenze e se ne descrive la modalità di gestione tipica dei grandi progetti.

## 1.1 Definizione, caratteristiche e fasi del ciclo di vita di un grande progetto

La precisazione del termine progetto è necessaria per ben comprendere il contesto di analisi, in quanto spesso viene confuso col risultato del processo di progettazione, che invece costituisce solo la prima delle fasi operative che portano alla realizzazione dell'opera in oggetto.

Dalle definizioni fornite dal Project Management Institute, nelle diverse versioni del PMBOK, un progetto può essere inteso secondo una duplice chiave di lettura: come organizzazione temporanea che riunisce risorse umane e non, per raggiungere un obiettivo definito, disponendo di risorse limitate; oppure, come un processo temporaneo, non ripetitivo, finalizzato alla produzione di una o più unità di un unico prodotto o servizio, le cui caratteristiche vengono elaborate progressivamente (PMI, 2004).

Un progetto comporta un cambiamento con forte contenuto innovativo, ovvero un passaggio da uno stato iniziale a uno finale, diversi tra loro, attraverso il consumo di risorse, tempo e informazioni, disponibili in quantità limitata. Queste specificità del progetto lo distinguono da un'altra tipologia di processi, cioè quelli ripetitivi, che invece sono tipicamente sistemi di produzione attraversati da flussi ripetitivi di operazioni e materiali. Avendo un contenuto innovativo di cambiamento inferiore, i processi ripetitivi presuppongono un elevato grado di standardizzazione sia dei prodotti che dei processi di produzione. A questa tipologia si conformano i sistemi manifatturieri operanti non su commessa e i sistemi distributivi di beni di

largo consumo. Queste due tipologie di processi si pongono agli estremi di una visione teorica del sistema di produzione ma, in generale, ogni realtà produttiva è caratterizzata con pesi diversi dalla compresenza di processi ripetitivi e progetti, legati tra loro. In particolare, i processi ripetitivi riguardano lo stato stazionario del sistema produttivo, invece, i processi non ripetitivi sono relativi allo stato transitorio, soprattutto quello iniziale che porta il sistema produttivo nella fase di funzionamento.

La varietà e la quantità di risorse coinvolte nel progetto, con particolare riferimento agli attori in gioco, e la dimensione dell'opera da realizzare sono i fattori principali che definiscono un progetto grande e complesso. Il focus settoriale dell'analisi sarà rivolto alle società di engineering & contracting, che si impegnano principalmente nella realizzazione di grandi progetti per clienti esterni.

Indipendentemente dall'ambito di applicazione, un grande progetto racchiude un insieme di caratteristiche universali, che discendono dalla sua definizione e vengono elencate di seguito:

- obiettivi definiti, almeno in termini funzionali, coerentemente alle esigenze espresse dal cliente;
- unicità, dato il forte contenuto innovativo e non ripetitivo;
- elaborazione progressiva, legata alle soluzioni costruttive da adottare per la realizzazione degli obiettivi funzionali;
- temporaneità della struttura dedicata al progetto;
- integrazione multi-disciplinare, derivante dalla varietà di apporti specialistici e culture delle persone coinvolte;
- disponibilità limitata di risorse, conseguente all'accettazione dei vincoli contrattuali su tempi e costi;
- incertezza, legata alla differenza dello scenario attuale rispetto a quello futuro in cui si svilupperà il progetto una volta acquisito.

Lo sviluppo di un progetto segue una sequenza logica di fasi, che sono:

- concezione;
- definizione;
- realizzazione;
- rilascio.

La fase concettuale riguarda l'impostazione del progetto, sulla base delle esigenze espresse dal cliente, volta a definire la configurazione del prodotto o servizio da fornire. In questa fase vengono coinvolte poche risorse, con una visione sistemica dell'opera e con una grande responsabilità indiretta sulle prestazioni di tempo, costo e qualità del progetto.

La fase di definizione prevede un'analisi dettagliata degli obiettivi attesi dal progetto e dei relativi piani operativi di realizzazione, mantenendo la forte influenza sui risultati di progetto.

La fase di realizzazione implica la mobilitazione delle risorse pianificate per il completamento dell'opera, secondo le caratteristiche congelate.

Infine, la fase di rilascio porta alla consegna del risultato del progetto al cliente.

Ponendo queste fasi su un asse temporale si ottiene il ciclo di vita del progetto, la cui durata è pari a quella del Project Team, che è la struttura organizzativa temporanea che comprende sia le risorse specialistiche fornite dalle funzioni aziendali permanenti sia i ruoli di coordinamento come il project manager.

In particolare, nel settore engineering & contracting la realizzazione del progetto segue due sequenze parallele di processi: la prima, di tipo operativo, comporta l'avanzamento del progetto e prevede tipicamente l'ingegneria o design, l'approvvigionamento, la costruzione e il montaggio, l'avviamento e il collaudo; la seconda riguarda il processo di pianificazione e controllo, che il PMI articola in una fase propedeutica di avvio per procedere poi con la pianificazione, l'esecuzione e il monitoraggio, il controllo e la chiusura.

Nella fase di ingegneria avviene la definizione in modo coerente e con un grado di dettaglio crescente della configurazione dell'opera da realizzare, delle specifiche tecniche dei componenti e delle relative modalità di installazione, col duplice obiettivo di avviare l'approvvigionamento dei materiali necessari e di definire le modalità di costruzione e montaggio. Questa fase si sviluppa dapprima con un approccio sistemico e poi con uno specialistico, in quanto a partire dalla definizione dei documenti tecnici da produrre per l'intero progetto e attraverso la scomposizione della configurazione globale dell'impianto nei suoi sottosistemi funzionali, si arriva progressivamente alla descrizione delle specifiche tecniche e delle modalità di integrazione per ciascun componente, grazie al coinvolgimento delle diverse discipline specialistiche. Le specifiche così elaborate alimentano la fase successiva, dal punto di vista logico e non temporale, di approvvigionamento dei materiali. Dopo un opportuno processo di selezione del fornitore e di emissione delle richieste d'acquisto, gli approvvigionamenti si concludono con la gestione dei materiali, cioè con l'insieme di attività che determina la loro disponibilità in cantiere in modo coerente col piano di costruzione e montaggio previsto. Lo sviluppo del progetto prosegue, quindi, con la massima mobilitazione delle risorse per la costruzione dell'opera prevista, mantenendo solo inizialmente la gestione per processi specialistici su specifiche aree costruttive. Il completamento della fase di costruzione, invece, avviene con un orientamento al sistema, allacciando tra loro ciascuna unità di processo, in modo da predisporre l'impianto all'avviamento e al collaudo finale.

Le singole fasi operative non si sviluppano in maniera sequenziale, come avviene nei processi ripetitivi, ma hanno un grado di sovrapposizione tra loro tale da essere realizzate sulla base dei risultati progressivamente prodotti da ciascuna di esse. Questa gestione in parallelo e iterativa delle fasi rientra nella natura propria dei progetti, che hanno un'indeterminatezza iniziale che non permette la definizione a priori delle caratteristiche del prodotto da realizzare e che può essere ridotta solo coinvolgendo diverse aree funzionali.

Per ottenere come risultato la riduzione dell'incertezza e la progressione omogenea, ad esempio nella fase di ingegneria, le discipline specialistiche procedono con un opportuno grado di sovrapposizione e vengono rilasciate diverse versioni intermedie della documentazione tecnica da condividere di volta in volta tra gli attori di progetto in modo da essere "congelate" decisioni sufficientemente robuste per poter procedere.

Quest'approccio, noto come Concurrent Engineering, rispetto alla gestione sequenziale tipica dei processi manifatturieri, porta alla riduzione del tempo necessario per emanare gli ordini di acquisto, a un minor costo del prodotto e all'aumento della facilità di costruzione/assemblaggio, facendo leva sul lavoro di squadra tra risorse specialistiche e sul coinvolgimento del cliente per meglio comprendere e concretizzare le sue esigenze (Love *et al.*, 1998). In particolare, nella fase di ingegneria, si arriva al congelamento delle caratteristiche del prodotto da realizzare includendo nella progettazione aspetti legati alla costruzione dell'opera di tipo strutturali, funzionali ed estetici, minimizzando così il rischio di rifacimenti futuri.

Come conseguenza di quest'approccio gestionale, le modalità di coordinamento non possono basarsi che sulla interazione diretta degli attori coinvolti, i quali devono collaborare al fine di correggere gli eventuali scostamenti dell'andamento del progetto rispetto al piano di realizzazione.

Questo sviluppo del progetto per approssimazioni successive diventa anche l'unica modalità di gestione perché, non avendo una configurazione predefinita, non si può attendere la completa definizione delle caratteristiche dell'opera da parte dell'ingegneria, ma si prediligono soluzioni soddisfacenti rispetto a quelle tecnicamente ottime. Il prerequisito per l'efficacia di quest'approccio è lo scambio di informazioni continuo e bidirezionale tra gli attori coinvolti, in modo che lo stato delle informazioni sia sempre aggiornato garantendo così la coerenza e la completezza dei documenti. Diventa critico, quindi, il ruolo del project engineering per il coordinamento tecnico delle interdipendenze tra discipline specialistiche e per la gestione del sistema informativo. Infatti, mentre l'ottimizzazione tecnica presuppone in genere la disponibilità di dati in ingresso completi e affidabili, l'avvio della progettazione avviene con informazioni approssimative e preliminari, basate su ipotesi sulla configurazione futura che avrà l'opera da realizzare.

Parallelamente al processo operativo, si sviluppa il processo di pianificazione e controllo, che consiste nell'applicazione di politiche, organizzazione e strumenti di pianificazione al determinato progetto in esame, facendo leva sulle conoscenze acquisite in altri progetti e sui pareri degli esperti, col fine di ottenere un piano di gestione del progetto. In particolare, definiti l'approccio e le risorse disponibili, si imposta l'architettura di progetto, ovvero si analizza il contesto di realizzazione e si determinano le opportune scelte strategiche in relazione alla prevedibilità degli scenari futuri. Quindi, si organizza il team di progetto, le cui risorse saranno tanto più dedicate alla realizzazione del determinato progetto quanto più è alta l'esigenza di flessibilità richiesta dal contesto, ovvero quanto più elevate sono la differenziazione specialistica, l'interdipendenza e l'incertezza. Quindi, individuate le prestazioni complessive del progetto a partire dai vincoli contrattuali, si elabora un piano di integrazione dei diversi processi operativi, gestionali e organizzativi tale da rispettare gli obiettivi previsti in termini di tempi e costi. In questa fase, risultano critiche le competenze del project manager che deve guidare il progetto in modo da poter rispettare le scadenze temporali e il budget disponibile, sfruttando nel momento opportuno le tecniche e gli strumenti di pianificazione a lui noti. Inoltre, è importante tenere sempre in considerazione l'aspetto fondamentale di gestione dei rischi lungo l'intero ciclo di vita del

progetto, pianificando le eventuali misure correttive laddove necessarie per un efficace controllo dell'avanzamento del progetto.

Nell'ambito della gestione dei progetti, date le caratteristiche di incertezza in cui si trova ad operare, le modalità di coordinamento non possono basarsi che sulla interazione diretta degli attori coinvolti, i quali devono collaborare al fine di correggere gli eventuali scostamenti dell'andamento del progetto rispetto al piano di realizzazione. Quindi, il modello organizzativo da seguire è quello tipicamente "organico", in cui il funzionamento delle singole parti dipende dalle altre, a differenza dei processi ripetitivi che, invece, adottano il modello "meccanicistico", basandosi sulla gestione di piani indipendenti, predefiniti e standardizzati.

Come illustrato nella figura 1 (Caron, 2009), il ciclo di vita del progetto ricopre solo una prima fase del ciclo di vita dell'opera da realizzare, la quale verrà poi messa in esercizio e quindi smantellata, con la possibilità di seguire parallelamente progetti di ammodernamento o manutenzione. Infine, ponendosi nel punto di vista del cliente, il ciclo di vita dell'opera inizia dopo una valutazione dell'investimento da effettuare. Questa prevede una prima pianificazione strategica, con l'individuazione dell'opportunità di investimento, un'analisi di fattibilità e quindi l'assegnazione del contratto per procedere poi alla realizzazione dell'impianto secondo le fasi appena descritte.

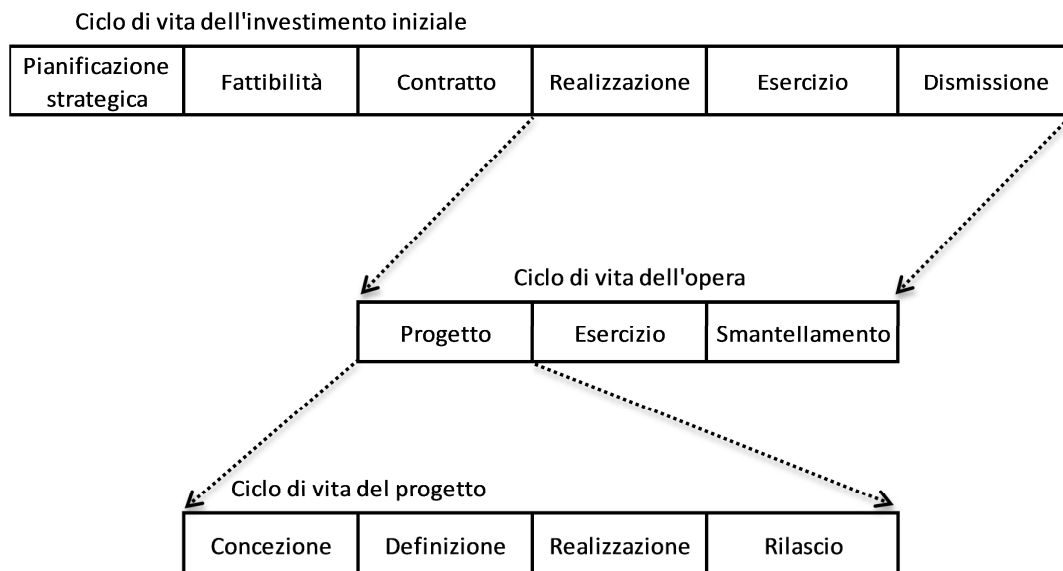


Figura 1: Ciclo di vita dell'investimento iniziale, dell'opera, del progetto



## 1.2 Legami tra fasi operative di progetto

Le fasi operative permettono l'avanzamento progressivo del progetto secondo le prestazioni pianificate grazie al coordinamento e alla gestione sincronizzata dell'insieme di relazioni che le legano tra loro per tutta la durata del progetto. Pertanto, la conoscenza delle relazioni di interdipendenza tra le fasi è indispensabile per garantire l'efficacia globale dell'intero progetto piuttosto che l'efficienza locale delle singole fasi operative, oltre a fornire una completezza di informazioni per il controllo del progetto.

Un quadro sintetico delle principali interazioni tra fasi a livello di piano generale è fornito dalla seguente figura 2 (Caron, 2009):

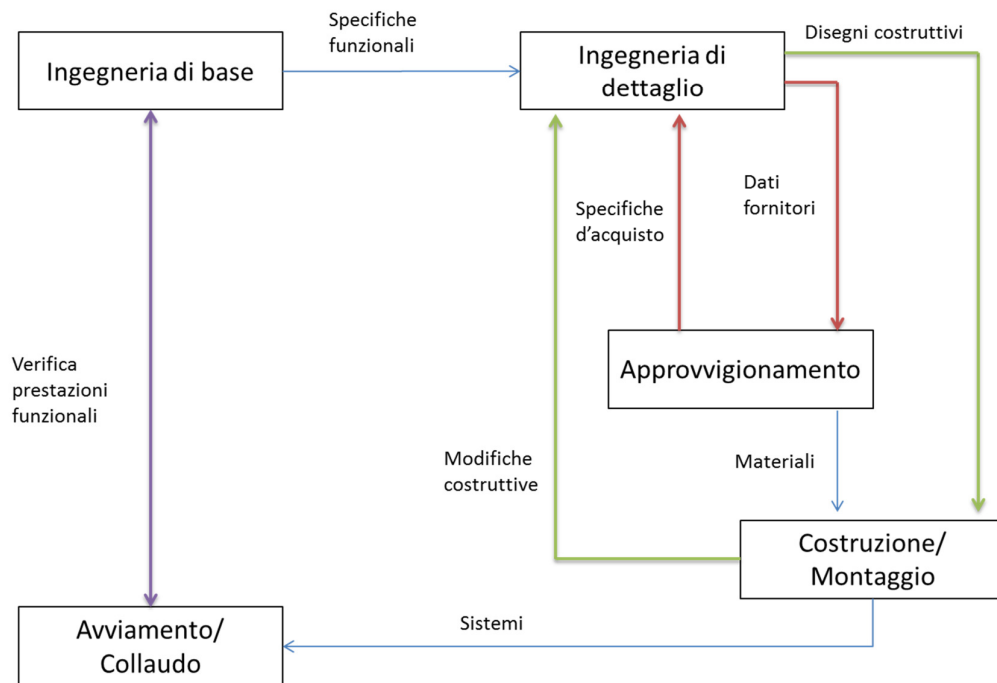


Figura 2: Interazioni tra le fasi operative del progetto

- interazione tra la fase di ingegneria di dettaglio e la fase di approvvigionamento: la prima trasmette alla seconda le specifiche funzionali dei componenti da acquistare e riceve di ritorno i dati provenienti dai fornitori. Si crea un processo iterativo e interattivo attraverso cui le caratteristiche tecniche dei componenti d'impianto vengono progressivamente dettagliate. In questo caso, le modifiche sono del tutto fisiologiche, tali da integrare vincoli e opportunità di mercato nella progettazione dei componenti. La fine di questa fase è sancita dal congelamento della documentazione tecnica, che così viene resa "esecutiva" cioè atta a definire in modo permanente ed esaustivo le modalità di fabbricazione/montaggio. E' quindi importante

considerare il timing di questo evento, che se fosse eccessivamente anticipato rischierebbe di portare a soluzioni inadeguate non potendo recepire vincoli e opportunità derivanti dai diversi attori coinvolti. Invece, se fosse eccessivamente posticipato, determinerebbe un ritardo nello sviluppo delle fasi a valle con possibile pregiudizio delle scadenze contrattuali;

- interazione tra la fase di ingegneria di dettaglio e la fase di costruzione/montaggio: la prima trasmette alla seconda la documentazione tecnica necessaria per la corretta installazione dei componenti d'impianto ricevendo di ritorno le varianti pervenute in cantiere. In questo modo, la configurazione dell'impianto assume carattere definitivo, riflettendo le modifiche introdotte in corso d'opera nella versione "as built". Queste varianti possono risultare patologiche, in quanto estesi rifacimenti di lavoro corrispondono a una carenza gestionale di conduzione del progetto che si traduce in un aggravio di costi e tempi tanto più rilevanti quanto più tardivamente le non conformità sono state rilevate;
- interazione tra la fase di ingegneria di base e la fase di avviamento/collaudato: la prima definisce la configurazione dell'impianto in grado di garantire le prestazioni a esso richieste sul piano contrattuale, da verificare poi in fase di collaudo. Qualsiasi deviazione rilevante dai livelli di prestazione attesi può richiedere una revisione delle scelte progettuali di base, a meno che non si accetti di pagare le penali associate. In questo caso, sono da escludere completamente le iterazioni che porterebbero ai massimi costi di rifacimenti.

Congiuntamente alla rappresentazione delle interazioni tipiche di un progetto si delinea un modello di avanzamento complessivo che prevede la gestione in parallelo delle fasi operative di ingegneria-approvvigionamento-costruzione. Gli andamenti di queste tre fasi si sviluppano nel tempo con un opportuno grado di sfasamento, che sarà tanto più ristretto quanto maggiore sarà la sovrapposizione tra le fasi, considerando che l'obiettivo cruciale di gestione del progetto, dal punto di vista operativo, è quello di creare un flusso continuo di lavoro che inizi dalla definizione delle specifiche e proceda con l'acquisto dei materiali necessari per consentire la costruzione dell'opera in oggetto. Anche il completamento di ciascuna fase, laddove le attività vengono ripartite tra diverse discipline specialistiche, avviene con un approccio in parallelo e con una frequenza progressivamente inferiore di iterazioni, in modo da consolidare una soluzione tecnica e limitare il più possibile il cosiddetto "effetto di trascinamento", relativo al continuo adattamento reciproco delle fasi su modifiche pervenute con la realizzazione graduale dell'opera.

### 1.3 Forzature alle logiche di interazione per le attività critiche

Considerando il progetto nel suo complesso, mentre sul piano delle precedenze logiche-naturali è indispensabile che ogni fase abbia completato esaurientemente il suo compito per sviluppare la fase successiva, sul piano delle precedenze temporali, fasi in sequenza tendono in generale a sovrapporsi temporalmente, in modo tale che una volta avviata la fase a monte quella a valle venga avviata il più presto possibile.

Si verifica spesso che i vincoli temporali di origine contrattuale portano a una vera e propria “forzatura” della sovrapposizione temporale tra fasi operative, in particolar modo per quelle critiche, in modo da ridurre la durata del progetto (figura 3; Gould, Joyce, 2009).

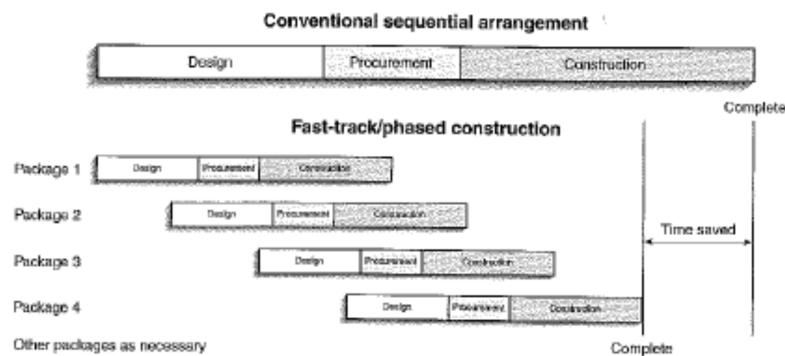


Figura 3: Compressione della data di consegna con le “forzature”

Quindi, con questa tecnica detta anche “fast tracking”, lo sviluppo in parallelo delle fasi viene ulteriormente accentuato (Rossi, 1986).

Una delle forzature tipiche in un progetto riguarda la fase di approvvigionamento, quando si emette una richiesta di offerta le cui caratteristiche derivano dal patrimonio e dall’esperienza aziendale di precedenti realizzazioni e dall’analisi del preventivo di offerta, quasi prescindendo dallo specifico progetto. Come conseguenza, diversi dati saranno scarsamente affidabili a causa delle ipotesi fatte, per cui ci si riserverà la finalizzazione della gara dopo la selezione del fornitore e la relativa negoziazione. In alcuni casi, si può persino assegnare l’ordine senza aver completato la definizione tecnica, che è rimandata a successivi momenti definiti lungo lo sviluppo del progetto, quando si programmeranno rilevazioni “dell’eseguito” e si faranno previsioni sul lavoro da eseguire. Sul piano contrattuale, questa tecnica consente l’emissione dei cosiddetti “ordini aperti”, che si basano quindi su quantitativi presunti e che permettono di prefissare i termini di consegna.

L’elaborazione progressiva della stima delle quantità necessarie, in impiantistica, è chiamata “Material Take Off (MTO)” ed è applicata su tutto quel materiale di serie il cui fabbisogno, essendo definito qualitativamente e quantitativamente col progredire dell’ingegneria di dettaglio, non può essere incluso nelle richieste di fornitura degli stessi materiali, considerando anche la difficoltà di stima dei termini di consegna e il loro peso economico sul progetto.

Le forzature sulle logiche di interazione tra attività non sono necessarie solo per porre rimedio agli eventuali ritardi sui tempi di realizzazione, ma soprattutto per intervenire sui parametri attesi di costi, incassi ed esborsi, e/o per tener conto delle contingenti esigenze più generali dell'azienda. In ogni caso, quanto più spinta è la sovrapposizione temporale tra le fasi, tanto più si rende necessaria una maggiore intensità di coordinamento tra gli attori coinvolti.

Quindi, la modalità di lavoro con cui ciascuna fase viene condotta condiziona in modo determinante le altre fasi. Un utilizzo spinto delle sovrapposizioni temporali ha in genere conseguenze negative per altre attività e sempre sui costi: esse espongono infatti al rischio di prezzi extra che verranno richiesti dal costruttore per modifiche intervenute successivamente all'ordine; può anche accadere che al momento della negoziazione l'indeterminatezza sia tale da influenzare negativamente l'ottimizzazione della fornitura.

La stessa approvazione del committente della specifica tecnica, che è sempre opportuno ottenere prima dell'ordine al costruttore, dovrà pure essere forzata nella sua sequenza ottimale, nel senso che, in caso di ritardo pregresso, il project manager dovrà valutare il rischio imprenditoriale derivante dal posticipare l'approvazione formale dopo la definizione tecnica, e quindi dopo l'ordine, contro il beneficio del mantenimento delle date contrattuali.

E' opportuno quindi che nella macro organizzazione del progetto si includa un sistema di governo e gestione delle interazioni tra le fasi, che permetta di prevedere già in sede di pianificazione la modalità ottimale di svolgimento dei lavori e di integrazione degli attori da coinvolgere per far fronte ai problemi strutturali che si presentano in un progetto. Inoltre, la gestione delle logiche di forzatura delle interdipendenze, portando a una sovrapposizione più spinta di quella naturale tra due o più fasi, è strettamente legata alla gestione del rischio durante l'avanzamento del progetto. Infatti, nel caso in cui le ipotesi effettuate non si verificassero, potrebbe aumentare da una parte la probabilità di accadimento di eventi imprevedibili dall'altra la severità del loro impatto diretto e indiretto sulle fasi interdipendenti, rendendo ulteriormente critiche per il successo del progetto le attività di individuazione e analisi dei legami strutturali tra fasi.

I principali motivi, aziendali o di progetto, per il ricorso alle forzature e le conseguenze dei relativi rischi che generano possono essere (Rossi, 1986):

- l'anticipazione di una determinata disciplina al fine di assorbire una certa disponibilità di personale, rivelata dall'esame dei carichi di lavoro dell'ente in questione. La conseguenza è che la commessa dovrà assorbire il maggior consumo di ore per la bassa produttività che questo comporta;
- il lancio anticipato della campagna acquisti per approfittare di una favorevole situazione di mercato, o per attenuare i rischi di cantiere mediante un'anticipata disponibilità di materiali: in questo caso, si dovrà valutare il rischio di costi extra da riconoscere in corso di esecuzione ai costruttori per la non completa definizione dei parametri tecnici, in raffronto ai prezzi più competitivi che si possono ottenere con un'anticipata emissione degli ordini, o, rispettivamente, con una minore possibilità di contenziosi per maggior onere con le imprese di cantiere;

- l'anticipazione delle attività che conducono alla realizzazione di un determinato evento, al cui verificarsi sia legato contrattualmente l'incasso di una rata consistente dell'importo contrattuale, per necessità finanziarie dell'azienda. La conseguenza è che la commessa dovrà assorbire la maggiorazione dei costi provocata da questo squilibrio su altre attività.

La volontà di concentrarsi sulle interdipendenze presenti in un progetto è un tentativo solo parziale di comprendere e schematizzare l'ampio concetto di complessità, che intrinsecamente caratterizza un progetto e che viene spiegata da diversi fattori, tra cui le interdipendenze hanno un'importanza maggiore (Vidal, Marle 2008). Gli altri fattori individuati in letteratura che determinano la complessità di progetto sono la dimensione, intesa come ampiezza della durata del progetto e numerosità di attività, organizzazioni coinvolte, decisioni da prendere, investitori, etc.; la varietà, intesa come diversità di risorse finanziarie, di competenze, di localizzazioni geografiche, etc.; il contesto in cui il progetto si relaziona e che include fattori legati a: competitività di mercato, innovazione, normativa. Le interdipendenze, a loro volta, si scompongono in base alla tipologia di parti messe in relazione e al livello di dettaglio di analisi, distinguendo infatti interdipendenze tra piani di progetto o tra singole fasi, tra organizzazioni diverse o tra attori di una stessa società, tra componenti di un prodotto o tra diversi output di fasi e così via. In ogni caso, l'effetto causato da questo tipo di relazioni è quello di creare variazioni non lineari nello svolgimento del progetto oltre a contribuire alla sua complessità, intesa come difficoltà di capire, prevedere e tenere sotto controllo l'andamento del progetto.

L'analisi della gestione delle attività, con particolare focus sulle interdipendenze tra di esse, comporta necessariamente la comprensione della rete di attori che vengono coinvolti o che sono responsabili per la loro esecuzione. Per quanto riguarda la fase di ingegneria, infatti, l'elaborazione progressiva della documentazione tecnica richiede un coinvolgimento tempestivo dei ruoli con le competenze necessarie per ridurre quanto più possibile la probabilità di ridefinizione delle specifiche tecniche durante la fase di costruzione. In questo contesto, diventa critica la disponibilità di tempo delle risorse specialistiche necessarie, che il project manager deve opportunamente pianificare per il determinato progetto, tenendo conto dell'obiettivo temporale da soddisfare e in sinergia con gli altri progetti in cui le risorse sono previste. Viene, quindi, penalizzata l'ottimizzazione delle specifiche tecniche di prodotto, ma diventa fondamentale l'approccio euristico al risultato.

Considerata l'elevata necessità di coordinamento e il forte impatto sulle prestazioni di progetto, soprattutto in termini di tempi e costi, l'ambito dell'analisi riguarderà l'interdipendenza tra le fasi di ingegneria e di costruzione/montaggio, con i relativi output prodotti e attori coinvolti. La conoscenza dettagliata di questo tipo di interazione è condizione necessaria per il coordinamento di progetto nel suo complesso, o di una sua parte senza perdere di vista il tutto, e quindi per predisporre le condizioni affinché si possano attuare le interazioni nei modi e nei tempi voluti senza pregiudicare le prestazioni attese.

## 2. Ingegneria e costruzione: differenze e loro relazione

Il passaggio dalla fase di definizione delle caratteristiche tecniche del prodotto da realizzare alla fase di costruzione e montaggio del prodotto stesso ricopre l'intervallo di tempo più critico lungo il ciclo di vita del progetto, in quanto i suoi esiti finali risultano più facilmente prevedibili e "governabili". Infatti, l'ingegneria ha raggiunto un elevato grado di definizione tecnica, mentre l'attività di cantiere è nella fase iniziale, quando le modalità di mobilitazione delle risorse sono ancora in parte modificabili senza variazioni di costo rilevanti.

Come mostra la figura 4 (PMI, 2004), col progredire del ciclo di vita del progetto, da una parte cresce la definizione del prodotto/processo e dall'altra si riducono i gradi di libertà disponibili per modificarne le caratteristiche. Di conseguenza, l'influenza sui risultati di progetto da parte degli stakeholders tende a diminuire, mentre il costo di eventuali azioni correttive segue un andamento crescente, per poi annullarsi col completamento dell'opera. Infatti sia gli attori che impostano la pianificazione di dettaglio del progetto che quelli relativi al contesto, grazie alla loro possibilità di agire sui parametri gestionali del progetto, ne condizionano in modo determinante le prestazioni ottenibili in fase concettuale e di definizione. Invece, le varianti in corso d'opera incidono gravemente sul progetto quanto più l'opera è prossima al rilascio.

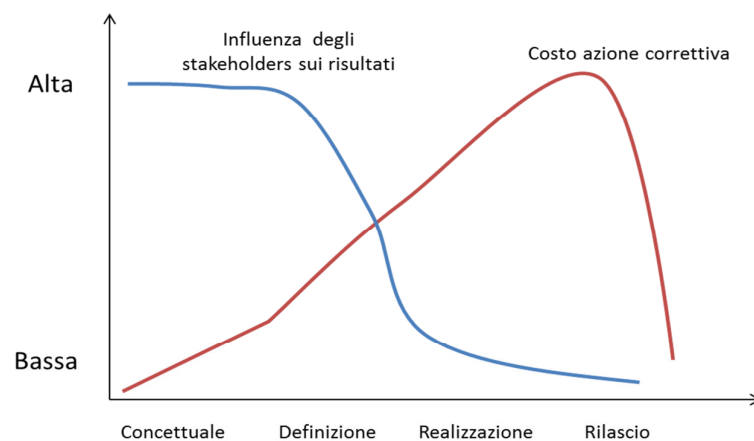


Figura 4: Andamento temporale dell'influenza sui risultati e del costo dell'azione correttiva

Parallelamente a questo passaggio tra fasi, avviene anche quello tra funzioni di una stessa organizzazione o tra organizzazioni diverse che si occupano l'una della progettazione e l'altra della costruzione. Difficilmente progetti di rilevanti dimensioni possono essere realizzati nell'ambito di

una singola organizzazione con l'affidamento del coordinamento del progetto ai soli meccanismi organizzativi interni. Questo rende necessaria l'integrazione dei ruoli di interfaccia per non interrompere il flusso di lavoro pianificato ed evitando una gestione individuale e arbitraria del passaggio di consegna tra organizzazioni (Gray, Hughes, 2001). In particolare, per ogni livello decisionale esistono delle relazioni interfunzionali a partire dalla definizione delle scelte prestazionali fino a quelle tecniche di ogni componente dell'opera da realizzare.

In figura 5 si illustrano le interazioni tra diverse entità associate a differenti gradi decisionali. Al livello superiore, il cliente e il project manager condividono le esigenze e gli obiettivi strategici che il cliente vuole raggiungere oltre a definire il contesto in cui si svilupperà il progetto. Impostata quindi la linea direttiva del progetto, vengono coinvolti gli esperti da una parte del cliente e dall'altra dell'organizzazione incaricata della realizzazione e del controllo del progetto per codificare le aspettative del cliente in requisiti funzionali e prestazionali, valutando le risorse disponibili per garantirne il raggiungimento. Il terzo livello decisionale riguarda temi operativi, in quanto i progettisti di diverse funzioni impostano le modalità di lavoro coerentemente con quanto definito ai livelli superiori. E' da questo livello che diviene cruciale l'interfaccia tra ingegneria e costruzione, i cui piani di dettaglio devono integrarsi efficientemente per ottenere i risultati pianificati. La gestione dell'intera rete di interfacce con gli stakeholder diviene così uno dei fattori critici per il raggiungimento di prestazioni di progetto di successo.

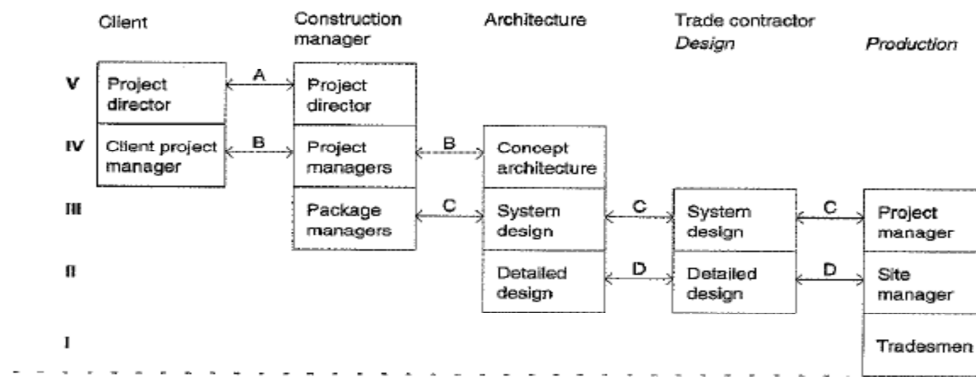


Figura 5: Livelli decisionali e relazioni tra ruoli di progetto

Infatti, quest'aspetto di gestione delle interfacce rientra tra le attività del project manager, che deve saper governare questa prima rete di attori coinvolti nel progetto, prima di tutto definendo i confini del lavoro destinato a una determinata organizzazione e individuandone chiaramente le singole responsabilità. Successivamente, dovrà coordinare l'arrivo degli input per la fase di costruzione, siano essi materiali fisici, documenti tecnici o impegni di risorse, dopo averne definito la priorità di arrivo e valutata la qualità.

La sovrapposizione dell'ingegneria con la costruzione comporta sia la necessità di integrazione dello spazio decisionale della pianificazione con tutti gli aspetti operativi delle fasi a valle sia l'adozione di un'ottica di lungo periodo soprattutto da parte degli attori con responsabilità nelle successive attività costruttive e di collaudo, coinvolti in fase di definizione funzionale e prestazionale del progetto. In questo modo si tenta di ridurre al minimo la probabilità di

rifacimenti in stadi avanzati di progetto, e quindi di ritardi e costi aggiuntivi, mantenendo la qualità a livelli soddisfacenti.

Oltre al coordinamento dei ruoli di dettaglio, è fondamentale per il successo del progetto nel complesso la gestione degli stakeholder a causa della divergenza di visioni e interessi rispetto ai risultati da produrre. Si tratta quindi di pianificare azioni volte a coinvolgere, informare, influenzare il comportamento dei singoli attori tenendo conto delle aspettative di ciascuno. La gestione contemporanea di obiettivi e attori di progetto è perciò interdipendente. Infatti, nel caso dei grandi progetti non è infrequente una significativa riconfigurazione dell'insieme dei lavori previsti in funzione delle esigenze espresse dagli attori il cui consenso sia necessario al successo del progetto. Le relazioni tra gli attori coinvolti nel progetto possono essere di diversa natura e generalmente creano un contesto tanto complesso da richiedere l'attenzione del committente ai soli aspetti contrattuali e "politici". Se da una parte i rapporti con il contraente generale, i fornitori, i partner sono regolati con i contratti, dall'altra parte il contesto rappresentato dalle istituzioni pubbliche e dai gruppi sociali richiede negoziazioni sulle autorizzazioni e sui consensi a volte tali da condizionare fortemente il progetto per non causarne il fallimento.

Rimanendo sul piano di dettaglio del progetto, si prende in esame lo stretto legame tra la fase di ingegneria e quella di costruzione/montaggio. Di seguito vengono messe in evidenza i diversi approcci con cui vengono gestite le due fasi, che trovandosi in una successione logica, devono trovare la giusta integrazione per far procedere efficientemente il progetto.

La rassegna della letteratura ha rivelato una scarsità di teorie volte alla comprensione delle dinamiche e relazioni delle fasi operative di un progetto. Infatti, come evidenzia Macmillian, non ci sono linee-guida per ben dirigere il processo interdisciplinare del design (Macmillian *et al.*, 2000), mentre Koskela approfondisce il tema sostenendo che l'assenza di un'esplicita teoria ha causato molti problemi del settore della costruzione, impedendo anche l'implementazione di innovazioni affermate in altri settori (Koskela e Vrijhoef, 2001). Infatti non solo gli strumenti di pianificazione ma anche gli approcci metodologici sono spesso derivati da concetti sviluppati soprattutto nel settore manifatturiero di tipo ripetitivo, che poco si adattano alla tipologia su commessa, se non su aspetti limitati e marginali per un progetto.

La fase di ingegneria, sia di base che di dettaglio, è frequentemente descritta come una serie di iterazioni del processo decisionale che porta alla produzione di successive versioni della documentazione tecnica, aumentando quindi il livello di dettaglio delle caratteristiche del progetto. Ciascun processo decisionale che termina con l'emissione di un documento tecnico è preceduta, a sua volta da cicli iterativi che prevedono: l'acquisizione e l'analisi delle informazioni disponibili, la loro sintesi in funzione del problema posto e la valutazione del documento elaborato, che viene così emesso. Per l'avanzamento robusto di questo processo decisionale è fondamentale l'integrazione e la tempestività del coinvolgimento degli apporti specialistici provenienti dai diversi attori della fase di design. Questo consentirà di considerare adeguatamente vincoli e opportunità che potranno emergere nelle fasi successive del progetto in modo che le decisioni prese sin dalle fasi preliminari garantiscano la robustezza necessaria e minimizzino il rischio di rifacimenti successivi in fase di costruzione.

Essendo i documenti tecnici l'output principale dell'attività di progettazione, le metodologie di pianificazione e controllo in questa fase fanno riferimento alla produzione della documentazione



tecnica necessaria per l'intero progetto. Tuttavia, la qualità di definizione delle specifiche tecniche dei componenti d'impianto è influenzata dalle esigenze in termini di tempi e costi derivanti dalla fase di costruzione. Si tratta del cosiddetto approccio "construction driven", che impone i vincoli di priorità per l'elaborazione dei documenti della fase di ingegneria. Infatti, le iterazioni necessarie per arrivare a congelare un determinato aspetto dell'impianto da realizzare dovranno avere un'estensione nel tempo limitata proporzionalmente alla priorità associata al documento da rilasciare, in modo da procedere poi all'approvvigionamento dei materiali necessari, secondo la tempistica prevista per l'avvio della costruzione.

Lo sviluppo del progetto avviene pertanto per elaborazione progressiva, com'è evidente soprattutto nella fase di ingegneria. Tuttavia, col procedere del ciclo di vita del progetto, l'aumento della disponibilità di informazioni affidabili rende l'avanzamento meno iterativo. Infatti, una volta che i documenti tecnici divengono "esecutivi", ovvero utilizzabili per fabbricare e montare i componenti d'impianto precedentemente resi disponibili, i lavori di costruzione e montaggio che su di essi si basano devono essere eseguiti correttamente fin da subito, evitando modifiche in corso d'opera che si tradurrebbero in costi e tempi aggiuntivi.

Questo introduce una caratteristica dell'ingegneria differenziante rispetto alle altre fasi di progetto, perché parallelamente all'emissione di documenti tecnici "esecutivi", c'è la progressiva riduzione dell'incertezza intrinseca al progetto, che assume valori massimi nella fase iniziale del ciclo di vita. Come mostra la figura 6 (Mitchell *et al.*, 2010), con l'avanzamento nel tempo del progetto, l'ingegneria diventa sempre più matura grazie alla convergenza graduale verso una soluzione tecnica condivisa tra le parti. Nonostante ciò rimarrà un'incertezza residua fino al completamento dell'opera, proporzionale alla quantità di lavoro rimanente lungo il ciclo di vita del progetto. Quindi, la ricerca di una soluzione quanto più condivisa tra i diversi ruoli interessati riveste un'importanza cruciale per far procedere le successive fasi, abilitando attività che permettono la realizzazione di sottosistemi di impianto con un grado di affidabilità elevato e con una ridotta necessità di rilavorazioni.

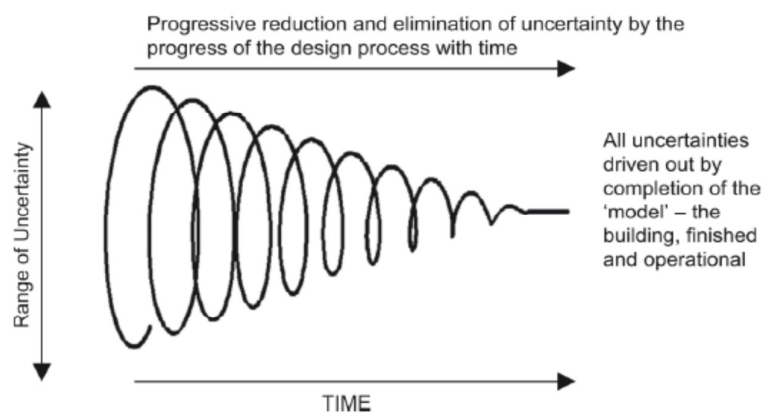


Figura 6: Andamento dell'incertezza in funzione del tempo nella fase di ingegneria

Quindi, il numero e la frequenza delle iterazioni, col procedere del ciclo di vita del progetto, devono ridursi gradualmente per non assumere il carattere patologico che causa gravi

ripercussioni negative sulle prestazioni complessive di progetto. Tuttavia ci sono diversi fattori che contribuiscono al ripetersi di iterazioni, anche in fasi di progetto avanzate. Prendendo in riferimento le parti di progetto più rilevanti, siano esse componenti o documenti, il congelamento di una decisione può essere ripetutamente prorogato quando è presente un grado di incertezza elevato per scarsa disponibilità di informazioni; le richieste del cliente non sono state ben codificate, determinando specifiche tecniche incomplete o indefinite, per le quali è richiesto un processo di verifica col cliente; il coinvolgimento degli attori è parziale oppure la divergenza dei loro interessi è tale da portare a un lungo e iterativo processo di accettazione. Tutto ciò ha conseguenze rilevanti e dirette sulla qualità di progetto, in termini di rilavorazioni necessarie per rendere l'impianto da realizzare conforme alle richieste del cliente. Infatti, c'è uno stretto legame tra le iterazioni effettuate ad esempio per la verifica con gli attori interessati su quanto realizzato e i rifacimenti di lavoro per insoddisfazione di vincoli su determinate specifiche imposti dagli stessi attori. Ogni incremento di tempo necessario per rilavorare e quindi convalidare parti d'impianto col fine di garantirne i requisiti attesi di qualità penalizza il tempo rimanente per altre attività, oltre ad aumentare i costi di progetto, a parità di termini contrattuali.

La fase di costruzione e montaggio, invece, è descritta in letteratura come una successione di singole operazioni affidate a diverse organizzazioni col rispetto delle sequenze costruttive, ovvero sequenze di lavoro tecnologicamente vincolate che determinano l'ordine con cui le imprese intervengono in ciascuna area costruttiva in cui è stato ripartito l'impianto da costruire. L'ottimizzazione di questa fase prevede che un'impresa abbia un impegno lineare e non contemporaneo su diverse aree costruttive in modo da minimizzare le interruzioni dei lavori. Ne consegue che, al termine dell'attività di una prima impresa su una determinata area costruttiva, la stessa impresa trasferisce le sue risorse sulla successiva area costruttiva mentre una seconda organizzazione continua lo sviluppo dell'altra area, e così via.

Su questa fase, più che sul design, si sono concentrati i tentativi di modellizzazione dei processi in modo sequenziale, mutuando i concetti di trasformazione di input in output, di flusso di produzione, di creazione di valore, dal settore manifatturiero ma con processi ripetitivi (Koskela, Vrijhoef, 2001).

L'adozione di questi principi di produzione nel contesto costruttivo deriva dalla volontà di riflettere i successi avuti nel settore manifatturiero con la produzione in serie e la lean production (Gould, Joyce, 2009). Ma, motivi che vanno ricondotti alle caratteristiche peculiari dei progetti non hanno reso replicabili questi concetti. Ad esempio, considerando il caso della produzione di massa, da una parte la forte incertezza sulla produzione e dall'altra la specificità/unicità del prodotto da realizzare non permettono la standardizzazione e la meccanizzazione dei processi, se non limitatamente. Inoltre, alla base di questi concetti teorici c'è l'assunzione di indipendenza delle attività, che riflette la scarsa analisi teorica del contesto progettuale fortemente caratterizzato invece da numerose interdipendenze. Infatti, la gestione delle attività in modo indipendente e sequenziale è tipica dei processi ripetitivi e, quindi, risulta poco valida nell'ambito dei progetti, dove la naturale sovrapposizione delle fasi crea una relazione imprescindibile tra gli avanzamenti delle singole attività.

Di conseguenza, questi tentativi si sono dimostrati contro-produttivi e un ostacolo all'innovazione, perché ponendosi alla base della logica di gestione della fase di costruzione, hanno portato a una sistematica frammentazione dei processi, con le relative responsabilità, e alla creazione di costi

aggiuntivi e ridotta funzionalità. Sul piano pratico, si verifica che molti problemi in fase di costruzione non sono visti o vengono ignorati, perché classificati come non importanti per le attività che creano valore; in altri casi, riguardano un'altra fase del processo e/o un altro attore, per cui seguendo il principio d'indipendenza, non vengono spese risorse per la risoluzione se non direttamente interessati. Collegato a questo effetto c'è il controllo miope della filiera e del processo costruttivo, perché ogni attore non si pone nell'ottica di valutare l'influenza del suo comportamento su altre attività o altri ruoli.

La gestione del progetto attraverso una molteplicità di piani indipendenti, in generale, causa diversi svantaggi organizzativi (Wickramatillake, 2004):

- frequenti modifiche di sviluppo dei lavori locali rispetto alla pianificazione di tempi e costi portano a una difficoltà di rilevamento e misura delle prestazioni di progetto;
- ritardi nella comunicazione di azioni correttive non permettono stime affidabili;
- diventano necessarie attività di integrazione per il coordinamento dei diversi piani e l'utilizzo di ulteriori milestone intermedi;
- bisogna avere un controllo continuo e sempre aggiornato sullo stato di avanzamento raggiunto.

## 2.1 Effetto della modalità di gestione dell'ingegneria sulla costruzione

Lo sviluppo del progetto, lungo il suo ciclo di vita, prevede una partenza basata su una visione di insieme del sistema da realizzare, approccio tipico dell'ingegneria di base, per poi procedere lungo distinti filoni specialistici attraversando le fasi non solo di ingegneria di dettaglio ma anche di approvvigionamento e montaggio. Infine si ritorna alla visione sistemica nella fase conclusiva di avviamento e collaudo dell'impianto. In questo contesto, il compito della gestione di progetto è pertanto quello di mantenere la coerenza dell'impianto nel suo complesso mentre sono in corso i diversi processi specialistici in modo da ottenere alla fine le prestazioni funzionali che rappresentano l'obiettivo della realizzazione.

In particolare per l'ingegneria, nell'intervallo in cui l'approccio è specialistico, le diverse discipline non si susseguono in maniera sequenziale ma procedono con un avanzamento simile e con un grado di sovrapposizione tale da essere in grado di integrare tempestivamente nelle specifiche tecniche del determinato componente d'impianto tutti i vincoli e le opportunità che scaturiscono dalle discipline correlate che si occupano di altre parti d'impianto. Tutto ciò rientra nella logica del "concurrent engineering" precedentemente introdotta.

Il corretto sviluppo dell'ingegneria di dettaglio presuppone che tutti i problemi riguardanti la configurazione globale del sistema siano stati esaurientemente definiti in sede di ingegneria di base, in modo tale da minimizzare i residui gradi di indeterminatezza relativi agli obiettivi e ai vincoli progettuali che costituiscono il quadro di riferimento per l'ingegneria di dettaglio. Malgrado questo, è necessario che le due fasi dell'ingegneria devono interagire tra loro in quanto

lo sviluppo dell'ingegneria di dettaglio può far emergere incongruenze o opportunità che richiedono una revisione dell'ingegneria di base. In modo analogo, l'ingegneria di dettaglio deve portare all'esauriente specificazione tecnica dell'impianto sia per quanto riguarda i componenti che le relative modalità di integrazione, evitando aree di incertezza nel successivo sviluppo delle fasi di approvvigionamento, costruzione/montaggio e avviamento. Anche in questo caso è fondamentale una stretta interazione tra ingegneria di dettaglio e le fasi di approvvigionamento e costruzione che seguono a cascata, in quanto il cantiere o i fornitori possono far emergere incongruenze o opportunità che posso portare, a loro volta, a una revisione delle scelte progettuali.

Focalizzando l'attenzione sull'interfaccia tra le fasi di ingegneria di dettaglio e costruzione, quindi le modalità di gestione dell'ingegneria hanno un'influenza decisiva nel rendere l'avanzamento effettivo delle attività di cantiere quanto più in linea rispetto a quello inizialmente pianificato, con minime variazioni in corso d'opera che possono comportare scostamenti di costi e tempi tanto più gravi quanto più si avanza nel ciclo di vita.

A partire dalle caratteristiche della fase di ingegneria, le peculiarità dal punto di vista gestionale che si riflettono poi sulla fase di costruzione sono:

- l'elaborazione progressiva,
- il concurrent engineering, e
- l'approccio "construction driven".

Nella fase di ingegneria si concentra in modo particolare l'aspetto di *elaborazione progressiva* tipica dei progetti. La documentazione tecnica che descrive sistemi e componenti viene elaborata e approvata per approssimazioni successive tramite un processo iterativo che prevede diverse emissioni, man mano che le informazioni disponibili diventano più complete.

Ciò comporta il secondo aspetto caratteristico dell'ingegneria, il *concurrent engineering*, che consiste nel coinvolgimento di diverse aree funzionali in modo che ogni revisione recepisca dalle unità specialistiche i dati e i commenti che consentono di ottenere un ulteriore grado di completamento, e quindi una nuova emissione, del documento tecnico. Quindi, si crea un sistema di interazioni tra diversi ruoli specialistici che reciprocamente si scambiano informazioni utili alla definizione dei documenti tecnici di cui sono responsabili.

Questi aspetti dell'ingegneria sono strettamente legati all'approccio "*construction driven*", in quanto comporta la definizione delle priorità con cui devono essere elaborati i documenti tecnici necessari ad avviare le prime sequenze costruttive pianificate per la realizzazione delle parti di impianto secondo i tempi richiesti dalla fase di realizzazione. Infatti la pianificazione generale di progetto impone le milestone principali a partire dai vincoli contrattuali definiti dal cliente prima per la fase di collaudo e poi per quella di costruzione, che influenza il programma di progettazione seguendo un approccio di tempificazione a ritroso.

In questo contesto tipico della fase di ingegneria si configura una rete di relazioni tra gli specialisti delle diverse discipline ingegneristiche che elaborano la documentazione di propria competenza integrando le scelte progettuali sui diversi aspetti del progetto da realizzare. In questo modo ogni ruolo ha una visione più ampia del progetto e riesce ad anticipare i vincoli e le opportunità

progettuali che si possono manifestare con le fasi successive. In particolare, si identifica la disciplina trainante, i cui rilasci intermedi permettono l'avanzamento di altre discipline, in quanto informazioni anche approssimative generate a monte sono da subito utili per l'impostazione delle attività che seguono.

La figura 7 descrive il tipico modo di procedere dell'ingegneria, in particolare riguardo l'elaborazione di due documenti: le specifiche di un componente d'impianto e il layout dell'impianto stesso. I due processi di progettazione evolvono per approssimazioni successive e sono tra loro interdipendenti, in quanto le caratteristiche del componente influenzano la configurazione del layout, che a sua volta ne influenza la collocazione. Inoltre, ad ogni nuova versione dei documenti corrisponde un interscambio informativo tra gli specialisti incaricati della loro elaborazione, poiché la disponibilità di dati sempre più precisi sulle caratteristiche del componente consente una definizione sempre più dettagliata del layout.

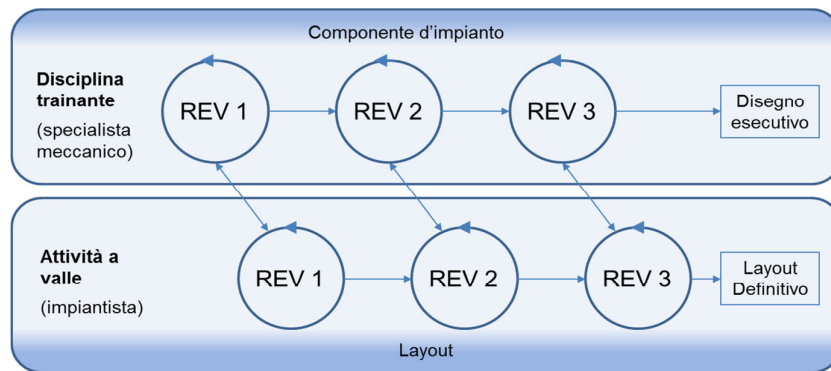


Figura 7: Sviluppo dell'ingegneria per approssimazioni successive e per interazione tra gli specialisti coinvolti

La gestione ottimale di questi aspetti della fase di ingegneria consente di ottenere come risultato un'elevata robustezza delle specifiche tecniche elaborate, perché contengono un grado di indeterminazione progressivamente ridotto. Ne conseguono la minimizzazione delle necessità di revisione nella stessa fase di ingegneria e di rilavorazione durante la fase di costruzione, oltre a permettere il parallelo e progressivo aumento di completezza e affidabilità della documentazione prodotta e delle parti di progetto costruite, che vengono così approvate facilmente da tutti i ruoli interessati.

Quindi, tenendo conto delle differenze tra fasi di progetto e delle loro interdipendenze, c'è la necessità di creare un modello valido sia teoricamente che praticamente, che abbia come obiettivo generale l'integrazione delle fasi e l'efficace passaggio di consegne in modo da definire un grado di sovrapposizione ottimale rispetto alle caratteristiche locali di lavoro.

# 3. Metodologie e strumenti di analisi delle interdipendenze

Nel presente capitolo vengono dapprima descritti gli effetti rilevanti sulle prestazioni del progetto come conseguenza dell'adozione delle logiche di gestione basate sulla sovrapposizione tra discipline specialistiche, come il "concurrent engineering" o le forzature, prendendo in riferimento il legame tra la fase di ingegneria e quella di costruzione. A fronte della problematica descritta nel precedente capitolo e del suo impatto sul progetto, vengono così introdotti diversi tentativi di modellizzazione delle interazioni tra fasi, ponendo l'attenzione sulla metodologia "ADePT", di cui si descrivono i passi fondamentali e i risultati in termini di programmazione del progetto. Successivamente, si presenta un modello di rappresentazione della sequenza logico-temporale delle attività relazionata ai diversi attori coinvolti e alle informazioni in ingresso e in uscita. Come terza e ultima metodologia vengono introdotte le "curve ad S", strumento di sintesi per la pianificazione e il controllo delle interdipendenze tra ingegneria e costruzione, in particolare dal punto di vista dell'avanzamento fisico delle due fasi. Infine, vengono messe in evidenza le "regolarità" che si riscontrano nei legami tra gli avanzamenti delle fasi operative di un grande progetto di ingegneria.

## 3.1 Descrizione dell'impatto delle interdipendenze e delle sovrapposizioni tra fasi sulle prestazioni di progetto

La consegna al cliente in un tempo sempre più ristretto nel settore delle grandi opere è ritenuto un fattore competitivo di successo per l'acquisizione di una commessa, determinando un forte impatto così sul profitto e sul vantaggio competitivo di una società di engineering & contracting (Ford, Sterman, 2003). Per ridurre il ciclo di vita del progetto si fa sempre più leva sulla sovrapposizione delle fasi e delle attività grazie alle logiche di forzatura delle interazioni. Ma alcune conseguenze indotte potrebbero determinare il fallimento della gestione del progetto, perché ne aumentano la complessità organizzativa e procedurale. Si osserva che i metodi di sovrapposizione aumentano la frequenza e il numero di informazioni trasferite tra le fasi coinvolte; un maggior numero di attività iniziano con informazioni incomplete o premature, aumentando le iterazioni. Di fronte a tutto ciò, le politiche manageriali, in generale, non sono

state orientate a fronteggiare gli effetti dell'aumento di complessità creato col ricorso spinto alle forzature.

Un problema strutturale che deriva dalla sovrapposizione di fasi è la cosiddetta "sindrome del 90%", causa di notevoli fallimenti nel rispetto della pianificazione di progetto (Ford, Sterman, 2003). Questo effetto si ha quando un progetto, col tendere al 90% di completamento seguendo la tempistica pianificata, entra in stallo e finisce con un ritardo di circa due volte la durata stimata originariamente. Ciò è dovuto al ritardato riconoscimento della necessità di rilavorazioni nelle fasi di definizione e progettazione, che, se trascurate in precedenza, emergono inevitabilmente quanto più si procede lungo il ciclo di vita del progetto. Questo problema è anche correlato col passaggio da una visione specialistica a una sistemica, col progredire della fase di costruzione, quando si predispongono le singole parti d'impianto a una verifica di sistema per l'avviamento e per i collaudi finali, da cui possono emergere errori non rilevati prima. Quindi si crea l'anello iterativo tra la fase di costruzione, che è nello stadio prossimo al completamento e che permette l'inizio dei primi test di collaudo, e la fase di ingegneria.

Il grado di sovrapposizione tra queste fasi può essere espresso dalla frazione di lavoro che può essere svolto in rapporto all'output rilasciato dalla fase a monte.

Ford e Sterman nell'ambito dell'analisi di un progetto volta a valutare gli effetti della sindrome del 90% offrono un esempio di stima, da parte di esperti, del grado di sovrapposizione tra la definizione delle caratteristiche del prodotto da realizzare e la fase di progettazione, mettendo in evidenza l'andamento non lineare di questa relazione.

Nella figura 8 (adattamento da Ford, Sterman, 2003) viene rappresentata, su scala standardizzata, la relazione tra la quantità di informazioni che devono essere rese disponibili per avviare la fase di progettazione e il grado di completezza delle specifiche del prodotto da realizzare definite sulla base delle aspettative del cliente.

L'andamento risultante dalla combinazione dei valori delle variabili è stato stimato attraverso delle interviste ai manager delle fasi coinvolte e poi standardizzato per renderlo confrontabile con le diverse stime. La relazione tra i due parametri infatti differisce in base al ruolo intervistato e la maggior divergenza di opinioni si osserva tra il marketing manager e il progettista: l'intervallo AB, indica per un dato livello di definizione del prodotto in termini di specifiche funzionali la differenza percentuale di informazioni complete su cui basare la progettazione. Viceversa, si può individuare il grado differenziale di definizione del prodotto per raggiungere un determinato sviluppo della progettazione, come evidenziato ad esempio dall'intervallo CD.

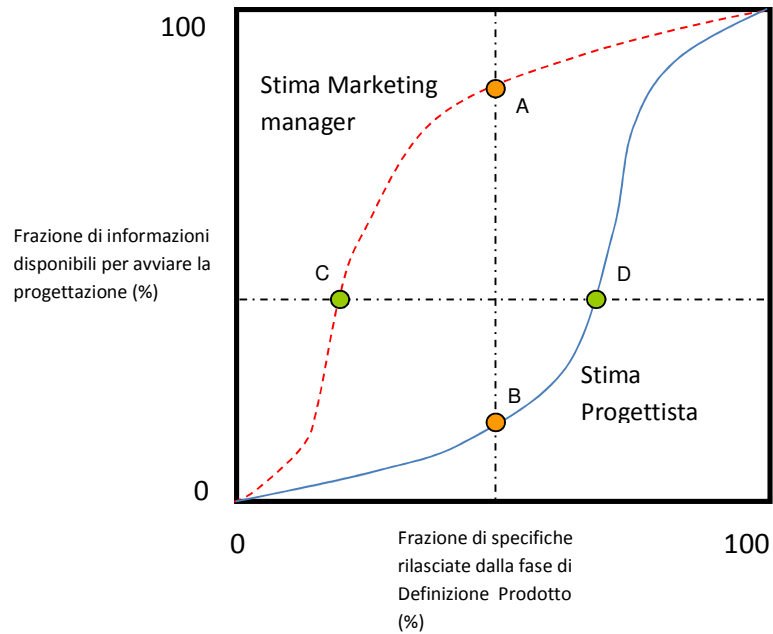


Figura 8: Stime della relazione tra avvio dell'ingegneria e livello di definizione delle specifiche del prodotto

Con la figura 8 si vuol mettere in evidenza la divergenza di visione tra ruoli di fasi successive: per il marketing manager la progettazione può iniziare molto presto, con informazioni stimate e approssimative; il progettista attende invece un discreto avanzamento nella definizione delle specifiche di prodotto per poter avviare la progettazione. Questa discordanza di approcci è alla base di potenziali conflitti nell'organizzazione, che si riflettono poi in ritardi nell'esecuzione del progetto.

Gli stessi autori osservano che, in generale, le attività potrebbero richiedere delle revisioni perché: sono state svolte in modo incorretto; le informazioni e il lavoro su cui si basano contengono errori o hanno subito variazioni in itinere o erano al momento indisponibili. La stessa funzione di qualità incaricata della verifica dei corretti requisiti formali e sostanziali dell'operato è imperfetta e può approvare erroneamente attività che richiedono poi rifacimenti, che assumono una gravità tanto maggiore quanto più sono visibili al cliente.

Diversi autori individuano la necessità di governare queste interazioni e propongono modelli per ottimizzarne il numero, la lunghezza, la frequenza e il momento in cui vanno affrontate. Allo stesso tempo riconoscono che l'eccessivo ricorso alle forzature va contro questi tentativi di gestione delle interazioni.

Ford e Sterman analizzano l'effetto delle sovrapposizioni tra fasi su: la durata del progetto, l'impegno di lavoro e gli errori rimanenti al completamento del progetto.

Loro osservano che una riduzione della sovrapposizione delle fasi aumenta la durata del progetto in quanto le fasi a valle ritardano il loro avvio anche se la fase a monte ha reso disponibili gli input sufficienti. Invece, un aumento della sovrapposizione riduce la durata complessiva di progetto, ma con rendimenti decrescenti: come mostra la figura 9 (Ford, Sterman, 2003), rispetto al caso base,



un aumento del 50% di sovrapposizione riduce la durata del 22%, mentre un ulteriore aumento del 50% di sovrapposizione taglia la durata solo di un altro 6%.

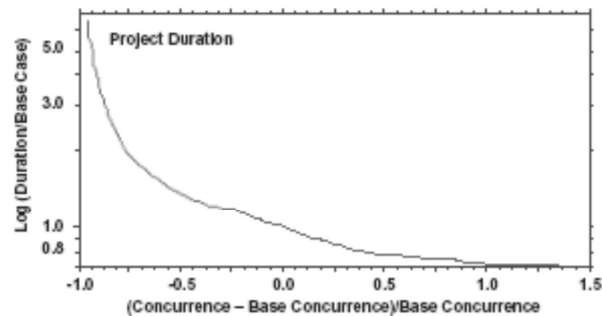


Figura 9: Andamento della durata del progetto in relazione al grado di sovrapposizione tra fasi

Per quanto riguarda l'effort di lavoro richiesto complessivamente dal progetto, viene utilizzato come indicatore il rapporto tra attività completate e il loro numero totale previsto nel progetto, che rappresenta anche una proxy del costo del progetto. Il modello include nel caso base anche la porzione di attività da ripetere a causa delle iterazioni. Dall'analisi condotta si ottiene un risultato interessante, che viene illustrato in figura 10 (Ford, Sterman, 2003): l'aumento della sovrapposizione riduce lo sforzo di lavoro richiesto e di conseguenza i costi di progetto. In questo caso, l'aumento dei rifacimenti di lavoro conseguenti al ricorso delle forzature viene più che bilanciato da un altro effetto meno intuitivo, che consiste nell'aumento del raggio dell'interazione tra le fasi che vengono coinvolte, in quanto si rimanda la soluzione non solo all'attività dove si è rilevata la necessità di revisione ma anche a quella che ne ha generata la causa, che solitamente si colloca a monte della fase di ingegneria.

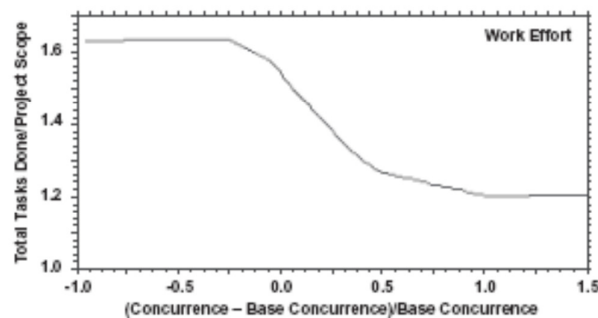


Figura 10: Andamento dell'effort di lavoro in relazione al grado di sovrapposizione tra fasi

Tuttavia, il caso particolare di necessità di rilavorazioni rilevate in fase di costruzione comporta il rischio di aumentare la durata del progetto, compromettendo l'efficacia della sovrapposizione

delle fasi. Questa analisi è svolta nell'ambito di uno studio sull'impatto delle revisioni, riparazioni e rilavorazioni sulle prestazioni globali di progetto (Friedrich *et al.*, 1987).

Focalizzando lo studio sulla realizzazione di opere commerciali nel settore delle centrali nucleari, gli autori tentano di modellizzare l'avanzamento complessivo di progetto assumendo diversi valori di un coefficiente di rilavorazione. L'obiettivo è quello di valutare come le condizioni di specifiche attività e le loro interdipendenze con quelle di fasi diverse si riflettono sul progresso del progetto. I ritardi e gli aumenti di costo che risultano nei progetti in analisi possono essere molto grandi anche se l'impatto diretto sulle rilavorazioni da parte di una specifica attività sembra essere di piccola entità e accettabile. Tuttavia, gli effetti cumulativi e di interazione tra attività amplificano il peggioramento delle prestazioni complessive di progetto. In particolare, considerando tre scenari diversi sul grado di aumento della necessità di rilavorazioni in un progetto (basso, medio, alto), si verificano scostamenti sempre più evidenti tra andamento pianificato e quello raggiunto. Ad esempio, nel caso del minor aumento di rilavorazioni, come si evince nella figura 11 (Friedrich *et al.*, 1987), ad un livello di avanzamento pari al 60% del progetto, il tempo necessario per il completamento è stimato due volte superiore a quanto pianificato inizialmente. Col procedere del ciclo di vita, l'impatto delle rilavorazioni sulla durata di progetto si riduce proporzionalmente alla quota di lavoro rimanente, assumendo valore nullo quando il progetto è completato.

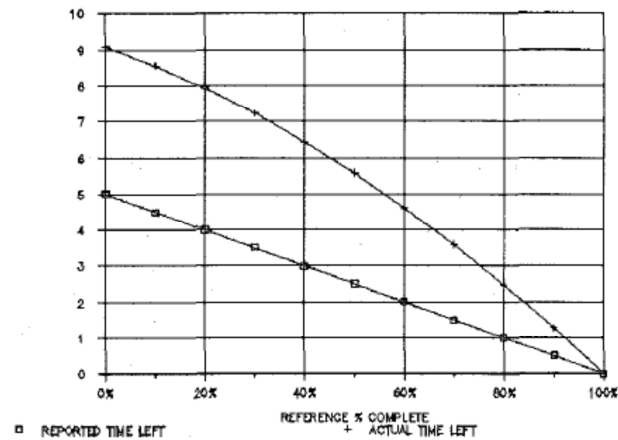


Figura 11: Stima del tempo necessario vs pianificato per il completamento del progetto

Quindi, in un'ottica orientata al controllo del progetto, diviene fondamentale la capacità di far emergere le criticità dove e appena si manifestano, per governarne l'effetto cumulativo che ne potrebbe scaturire e valutare le conseguenze su tempi, costi e qualità.

Terzo impatto dell'applicazione delle forzature fa riferimento alla qualità di progetto, misurata in termini di errori rimanenti al completamento dell'opera. Si osserva che la qualità subisce un peggioramento riguardo al rispetto dei requisiti espressi dal cliente e alle prestazioni del prodotto realizzato. Dall'analisi della figura 12 (Ford, Sterman, 2003), emerge che un aumento della sovrapposizione del 50% comporta un incremento del 34% degli errori rilasciati al termine del progetto, intesi come difetti di produzione e incoerenza con le specifiche richieste. Allo stesso

tempo, il ricorso alle forzature ritarda la rilevazione e la correzione degli errori, aumentando la probabilità che un'attività rilasci output che richiedono rifacimenti.

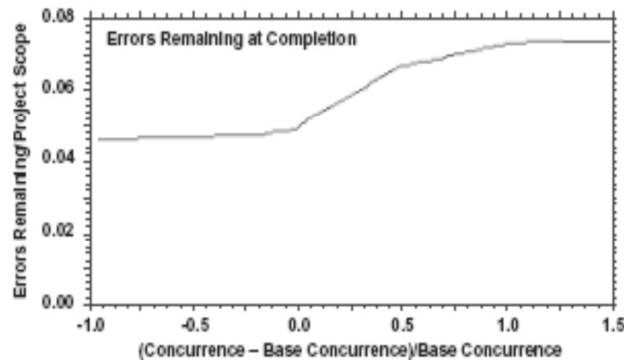


Figura 12: Andamento degli errori rimanenti al completamento del progetto in relazione al grado di sovrapposizione tra fasi

Gli effetti dell'applicazione delle forzature concretizzano, quindi, il tradizionale trade-off tra costi, durata e qualità di progetto. Essendo questa una decisione di impostazione della gestione progettuale, nelle attività di start-up e in fase di pianificazione sarà utile al project manager considerare l'applicazione degli strumenti sviluppati per ottimizzare le interazioni tra fasi.

### 3.2 Analisi di dettaglio delle interazioni cicliche tra fasi

E' solo a partire dagli anni '70 e dagli Stati Uniti che si diffondono i primi studi volti a modellizzare i processi di pianificazione, relativi a particolari ambiti progettuali, in modo da descrivere e analizzare come il cosiddetto "design management" faciliti il coordinamento del progetto e ne assicuri il controllo, garantendo il rispetto del budget pianificato.

Si sono succeduti così diversi tentativi di cogliere le caratteristiche peculiari delle fasi di progetto, con un grado di dettaglio crescente, rimanendo però focalizzati sulla gestione delle singole fasi e ponendo in secondo piano il loro legame con le altre. Infatti, dall'analisi della letteratura, emerge che tradizionalmente per la pianificazione della fase di ingegneria si sono ampiamente adottati i metodi consolidati per la fase di costruzione. Quest'ultima ha avuto una priorità superiore rispetto alle altre fasi nell'ambito della pianificazione di progetto, perché ritenuta inizialmente la più critica per il suo successo, data l'elevata mobilitazione di risorse e il conseguente forte impatto sui costi e sulla necessità di coordinamento. Ciò spiega il motivo per cui la fase di ingegneria ha avuto scarsa attenzione, posta invece per il rispetto dei tempi definiti per la costruzione. Tuttavia, attualmente, si è riconosciuta l'importanza della progettazione nel determinare l'efficienza della

costruzione, la cui qualità dipende dalle soluzioni individuate in fase di design. Inoltre, è diffusa la consapevolezza dell'assenza di un modello per l'integrazione della fase di ingegneria con quella di costruzione (Faniran *et al.*, 2001).

Gli strumenti di pianificazione della costruzione, come i diagrammi a barre e le tecniche reticolari, si sono dimostrati inappropriati nel modellizzare un processo iterativo com'è quello dell'ingegneria di progetto (Austin *et al.*, 1999 a). Ciò è dovuto alla modalità di misurazione dell'avanzamento che, seguendo le tecniche tipiche della pianificazione della costruzione, viene monitorato sulla base del completamento sequenziale dei disegni di progetto e di altri output della fase di ingegneria, ma le stesse tecniche non modellizzano la disponibilità e il percorso ciclico di informazioni, le quali sono considerate l'elemento chiave per il progresso della progettazione. Inoltre, questi strumenti applicati all'ingegneria comportano calcoli molto onerosi e hanno molta difficoltà nel cogliere le connessioni logiche e di informazioni in progetti complessi.

Per superare queste limitazioni, fu sviluppata una nuova metodologia, nota col nome ADePT, a cui poi si è associata l'applicazione informatica per facilitarne l'implementazione. Ideato da Newton nel 1995, il metodo ADePT è un tentativo di modellizzazione del processo di progettazione, che ne rappresenta le attività necessarie e i relativi flussi informativi, col fine di gestire le interazioni in fase di pianificazione. Da queste attività, identificate attraverso un processo di scomposizione gerarchica della fase di ingegneria, deriva la produzione, diretta o indiretta, degli output del design (calcoli, schemi di progetto e specifiche), invece le informazioni richieste sono gli input al modello. Come schematizzato nella figura 13 (Austin *et al.*, 1999 a), le attività vengono prima classificate sulla base di opportuni criteri di valutazione delle informazioni richieste e poi messe in relazione tra loro attraverso la costruzione di una matrice di dipendenza (Dependency Structure Matrix). L'elaborazione della matrice porta come risultato l'identificazione delle interazioni tra le attività del processo di progettazione e la loro riallocazione nell'ordine ottimale di esecuzione tale da minimizzare le interazioni. Si definisce così il programma di gestione della progettazione, che subisce un'ultima revisione per integrare nella fase di ingegneria i programmi di approvvigionamento e di costruzione.

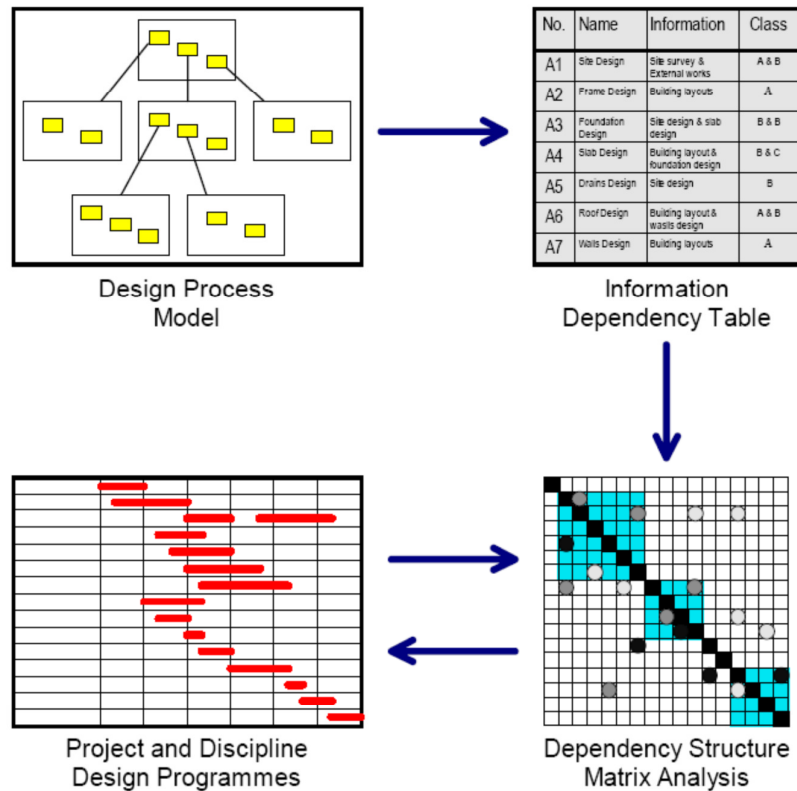


Figura 13: Schema dei passi della metodologia ADePT

La metodologia ADePT rappresenta l'evoluzione e l'amplificazione della tecnica "IDEFO (Integrated Computer-Aided Manufacturing Definition)", proposta inizialmente da Sanvido & Norton negli Stati Uniti intorno agli anni '70 come applicazione nel settore manifatturiero e sviluppata in seguito da Austin e Baldwin, portando così alla versione modificata "IDEFOv" (Austin *et al.*, 1999 b). Questa tecnica utilizza i diagrammi di flusso per creare un modello rappresentativo della fase di progettazione, adattabile in maniera versatile a un'ampia tipologia di progetti, con l'obiettivo originario di facilitare la comunicazione tra le risorse e aumentarne la produttività.

Seguendo un approccio top-down e un orientamento al flusso di informazioni, il primo passo prevede la disaggregazione della fase di design nelle principali discipline specialistiche coinvolte (ingegneria civile, meccanica, elettrica, strutturale...), e per ognuna di esse vengono individuati i sistemi, i sotto-sistemi e i componenti che rientrano sotto la loro competenza. Infine, si scompone il secondo livello gerarchico in attività, che possono essere associate a ciascun componente o a un gruppo di componenti omogenei.

La logica intrinseca di sviluppo di ciascuna fase operativa del progetto porta a definire una sequenza tipica con cui il lavoro da svolgere viene progressivamente affrontato. Per esempio, la sequenza con cui l'ingegneria produce gli elaborati tecnici procede dal generale al particolare, invece la logica dei lavori in cantiere procede dal basso verso l'alto. Ciascuna fase di progetto dispone tuttavia anche di gradi di libertà nello stabilire la priorità con cui il lavoro deve essere sviluppato. Infatti, questo è il caso della scelta delle aree di impianto per le quali è opportuno

definire prioritariamente il layout di dettaglio in modo da rendere possibile l'avvio dei lavori in cantiere, lavori condizionati a loro volta dalla disponibilità di materiali e documentazione tecnica. E' necessario quindi che ciascuna fase del progetto completi prima di tutto le attività di propria competenza che consentono l'avvio e l'avanzamento della fase a valle, adottando soluzioni sufficientemente robuste da assorbire i successivi adattamenti. Ad esempio, in impiantistica, si verifica l'esigenza di installare con priorità maggiore gli elementi portanti della struttura, rimandando l'installazione degli elementi accessori per anticipare il più possibile l'installazione dei componenti d'impianto gravanti sulla struttura stessa.

Coerentemente a questo proposito, la metodologia ADePT privilegia la descrizione di cosa è necessario per svolgere un'attività, invece di come realizzarne il risultato, considerando anche le informazioni richieste per la progettazione da parte di fonti esterne, come gli enti regolatori, il cliente, gli enti locali. In questo modo, un progettista può risalire alla fonte responsabile della produzione di una determinata informazione e valutarne la disponibilità. L'output ha invece una funzione fondamentale nell'identificare le attività da considerare con priorità maggiore per permettere l'avanzamento di fasi eseguite in parallelo.

Per ogni attività selezionata, viene utilizzata una notazione che prevede tre tipologie di input per una determinata attività di progettazione (figura 14; Austin *et al.*, 1999 b):

- dalla sinistra entrano i dati relativi alla specifica disciplina coinvolta nell'attività;
- dall'alto arriva il flusso di informazioni derivante da altre discipline;
- dal basso entrano i requisiti espressi dalle fonti esterne all'organizzazione.

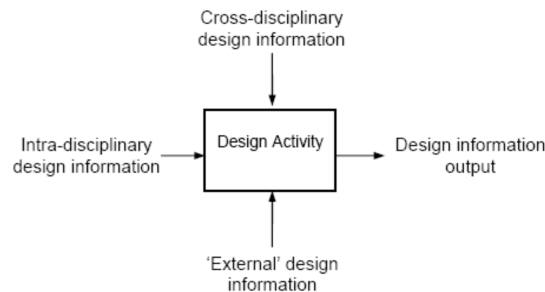


Figura 14. Notazione IDEF0v

Questa rappresentazione, oltre ad indicare le interdipendenze tra discipline diverse, permette di definire il livello di dipendenza di un'attività in relazione a ogni informazione richiesta, da cui partire per programmare l'intero processo di progettazione. Infatti le attività vengono classificate secondo una scala qualitativa di tre valori (A-B-C), valutando tre fattori che sono: l'intensità della dipendenza, la sensibilità dell'attività al cambiamento dell'informazione, e la facilità con cui l'informazione può essere stimata. Questo sistema di valutazione, nonostante risente della soggettività di chi esprime il giudizio, consente, poi, di eliminare dalle interazioni tra attività quelle con basso grado di dipendenza perché possono essere svolte con parametri facilmente stimabili (Austin *et al.*, 2000).

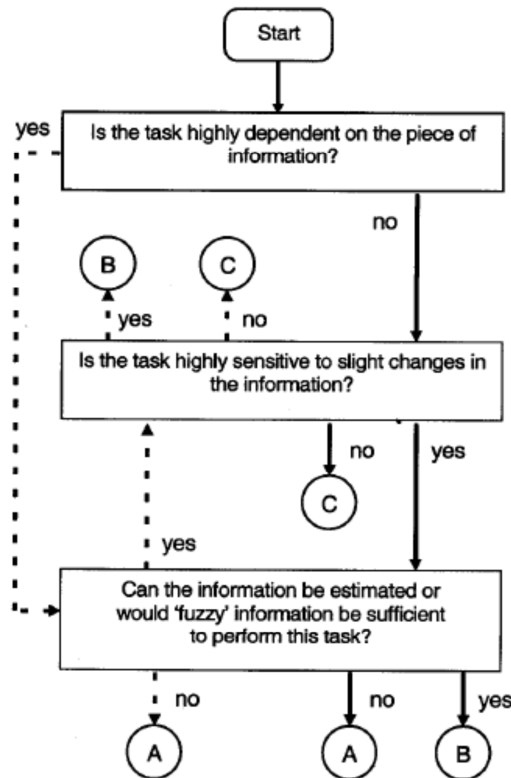


Figura 15: Sistema di decisione per classificare le attività nel metodo ADePT

Questo processo, rappresentato schematicamente in figura 15 (Austin *et al.*, 2000), permette di creare una tabella riassuntiva dove vengono elencate le attività e, per ognuna di esse, di riportare il grado di dipendenza in relazione con le altre attività.

Il secondo passo della metodologia ADePT consiste nell'associare l'elenco delle attività individuate precedentemente, a parità del livello di scomposizione della fase di ingegneria, a una matrice di dipendenza o "DSM", riportando nella riga e nella colonna di intestazione la stessa successione delle attività. Si assume così che le attività vengano svolte nell'ordine riportato nella matrice (Austin *et al.*, 2000).

Contrassegnando le attività che dipendono da informazioni prodotte da altre, la matrice permette di individuare le interazioni nella fase di progettazione. Infatti, al di sotto della diagonale della matrice ci sono le attività che per iniziare devono attendere il rilascio delle informazioni necessarie da parte di attività precedenti; mentre, al di sopra della diagonale sono presenti le attività che richiedono input che dovranno essere prodotti successivamente, ma che possono essere stimati e poi verificati quando disponibili. In questo modo si mettono in evidenza i cicli iterativi di informazioni.

Attraverso l'impiego di applicazioni informatiche, si procede a semplificare le interazioni, ottimizzandone il numero e l'ampiezza delle attività coinvolte. Le attività subiranno una riallocazione all'interno della matrice, in modo da aumentare la disponibilità delle informazioni e ridurre la necessità di effettuare stime. Seguendo l'esempio illustrato in figura 16 (Austin *et al.*, 2000), avvicinando alla diagonale della matrice le attività che interagiscono tra loro, si ottiene la

riduzione del raggio dei cicli iterativi, coinvolgendo così un minor numero di attività in intervalli di tempo distinti e ridotti.

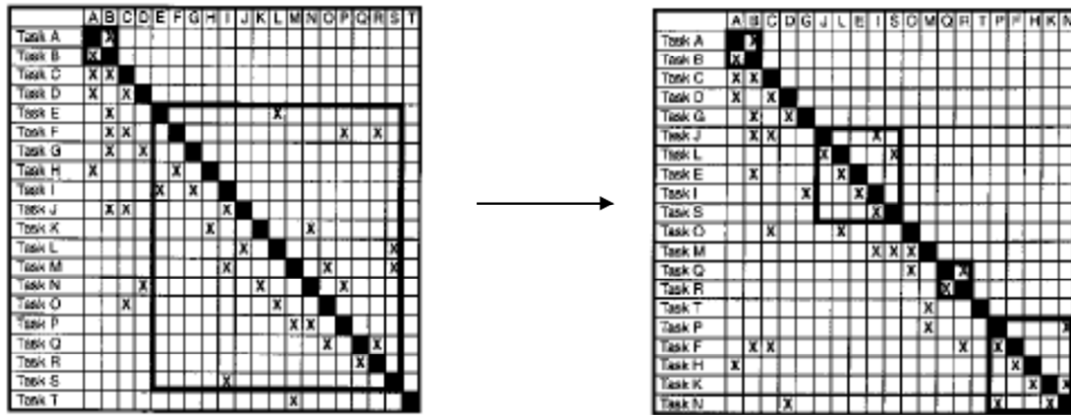


Figura 16: Esempio di riorganizzazione delle attività con la matrice DSM

Attualmente, ci sono diversi approcci che si possono seguire per ottenere la sequenza ottima delle attività: ad esempio, si può ricorrere a una tecnica basata sull'algebra Booleana che grazie al codice binario riesce a contrassegnare le attività interrelate. Alternativamente si può utilizzare un algoritmo che segue l'approccio euristico per semplificare le interazioni. I vari software differiscono, oltre per il sistema operativo che li supporta, per il numero di attività che riescono a considerare nell'elaborazione della matrice finale e per il livello di dettaglio, ma in generale hanno l'obiettivo di ottimizzare la durata della fase di progettazione o il costo, quest'ultimo stimato in base alla durata delle attività. Tuttavia, un'area di miglioramento di questi software rimane l'onerosità dei calcoli che la matrice deve affrontare, comportando una limitazione sul grado di dettaglio delle informazioni e delle attività considerate.

L'analisi con la matrice DSM è ritenuta dall'autore Austin adatta a modellizzare la fase di progettazione, poiché, oltre a individuare e minimizzare le interdipendenze tra attività, mette in evidenza i cicli di informazioni critiche che richiedono una focalizzazione del coordinamento: da una parte se ne aumenta l'intensità laddove necessario, dall'altra si identificano i ruoli e le fonti di informazioni da controllare. Questo modello permette anche di valutare gli effetti delle variazioni dell'ordine con cui vengono svolte le attività. Predisporre, quindi, la base per la programmazione della fase di ingegneria. Infatti, una volta definito il numero minimo di interazioni, le attività coinvolte nei cicli informativi possono essere svolte in un'ottica di concurrent engineering, in modo da gestire in parallelo sia il coordinamento che la progettazione.

L'ultimo passo della metodologia prevede l'integrazione del piano di approvvigionamento e di costruzione attraverso l'inclusione nel modello delle attività abilitanti le fasi successive alla progettazione, come ad esempio quelle relative alla gara di offerta, riportandone le informazioni vincolanti (ad esempio, data e periodo di offerta). Il processo di pianificazione, si conclude con un'ultima programmazione delle attività, conseguente all'integrazione tra progettazione e fasi a valle.



La metodologia ADePT ha come ulteriore scopo quello di distinguere l'insieme di informazioni che permettono la continuità nello sviluppo del progetto senza essere riprocessate da un altro insieme di informazioni che invece richiedono iterazioni prima di essere sufficientemente complete (Mitchell *et al.*, 2004). I dati appartenenti al primo gruppo possono essere stimati e procedono con una priorità più alta rispetto all'altra tipologia di informazioni, in quanto non interrompono il flusso di lavoro, ma permettono l'avvio anticipato delle attività a valle. Ad esempio, considerando il passaggio tra l'ingegneria di dettaglio e l'approvvigionamento, in riferimento ai materiali fungibili tipicamente acquistati in grande quantità, si privilegiano le informazioni che consentono di procedere alla selezione del fornitore fin dalla fase iniziale del progetto, anche se sulla base di stime ancora approssimative, utilizzando lo strumento dell'ordine aperto. La definizione delle quantità necessarie segue invece un processo iterativo, in quanto man mano che la documentazione tecnica elaborata dall'ingegneria di dettaglio descrive la configurazione dell'impianto da realizzare, la stima dei fabbisogni verrà progressivamente precisata e comunicata al fornitore (Material Take Off).

Seguendo il punto di vista del flusso informativo tra fasi, ulteriori sforzi metodologici sono stati indirizzati nella modellizzazione della relazione di interfaccia tra la fase di progettazione e quella di costruzione, considerando l'impatto delle decisioni ingegneristiche sulle prestazioni delle attività costruttive (Faniran *et al.*, 2001).

Data la scarsa considerazione di strumenti di integrazione relativi a questo passaggio di fasi, gli autori propongono la creazione di un modello quantitativo di analisi del processo decisionale in grado di riflettere le caratteristiche dinamiche derivanti dalle iterazioni. Da una parte, le decisioni di progettazione vengono rappresentate sotto forma di variabili strutturate, che includono gli aspetti quantitativi e qualitativi del prodotto da realizzare. Dall'altra parte, le prestazioni della fase di costruzione sono modellizzate come una variabile che agglomera i molteplici effetti che ogni decisione di progetto può avere, non solo in termini di costo, tempo e qualità, ma anche considerando l'impatto su ambiente e sicurezza. In questo modo, gli autori cercano di avere una visione complessiva delle prestazioni di progetto, ma rinnovano la necessità di definire un indice adeguato di aggregazione degli effetti, che in altri studi sono stati sempre trattati singolarmente.

Il modello può essere espresso sotto forma di due funzioni analitiche:

- le prestazioni del processo di costruzione dipendono dalle decisioni di progettazione;
- le decisioni di progettazione, considerate anch'esse come una variabile dipendente, sono legate alle variabili interne al processo di ingegneria, ai feedback derivanti dalla fase di costruzione, alle richieste del cliente, ai requisiti di progetto, ai vincoli legislativi, etc.

Anche se il modello prevede la natura ciclica del passaggio tra le due fasi e considera la loro stretta dipendenza, fornisce solo una base di partenza per approfondire ulteriormente il tema trattato, indicando le direttive principali per analisi future.

Infatti, rimane la necessità di creare un modello di integrazione tra la progettazione e la fase successiva di costruzione, che rappresenti le dinamiche tra attività e la relazione nell'elaborazione dei loro output, avendo come ulteriore punto di riferimento la rete di attori coinvolti nelle corrispondenti sequenze di attività.

### 3.3 Esempio di una modalità di rappresentazione di dettaglio delle interdipendenze tra attività e stakeholders

Una volta identificate le attività critiche cui riservare una particolare attenzione nel coordinamento e nel monitoraggio delle interdipendenze con altre parti di progetto, si adotta una visione più dettagliata e articolata per descrivere l'elaborazione progressiva di parti della documentazione tecnica prodotta nella fase di ingegneria. Anche se il supporto informatico può trattare una grande quantità di informazioni, la necessità di effettuare in modo agevole l'analisi dei risultati di elaborazione e lo stesso aggiornamento periodico consigliano di prendere in considerazione un ridotto insieme di attività. Come strumento per esaminare le relazioni funzionali all'interno dell'ingegneria ci si serve delle tecniche reticolari, che permettono una chiara schematizzazione dei legami tra diverse attività determinanti per l'avanzamento della progettazione. Tuttavia, per quanto spinta, nella pratica la programmazione reticolare difficilmente riesce a rappresentare tutte le attività e le interazioni esistenti tra loro.

L'analisi segue l'esempio proposto dall'autore Rossi riguardante una determinata attività di progettazione all'interno dell'ingegneria meccanica e in particolare l'elaborazione di una specifica relativa al gruppo elettropompa principale di un impianto (Rossi, 1986). I tipi di legami impiegati per correlare le attività considerate sono quelli ottimali in funzione delle modalità più usuali di sviluppo della disciplina in questione. Questo non esclude che, entro certi limiti, non se ne possano impiegare di diverso tipo al variare degli obiettivi.

Prima dell'analisi esemplificativa delle relazioni funzionali espresse dal reticolo, è utile una breve descrizione dei vari tipi di vincoli di precedenza logico-temporale che si possono considerare nella programmazione effettuata con questi metodi, dato che rappresentano il diverso modo di interrelare fra di loro le attività. Le principali tipologie sono:

- legame completamento-inizio (finish to start), per indicare che una certa attività non può iniziare se non alla data di completamento più ritardata delle attività ad esse correlate e che le precedono;
- legame inizio-inizio (start to start), per indicare che una certa attività può iniziare alla stessa data di inizio di un'altra;
- legame fine-fine (finish to finish), per indicare che una certa attività non può completarsi prima della fine di un'altra;
- legame secondo un vincolo percentuale, per indicare che una certa attività è subordinata, o per inizio o per fine, al raggiungimento di una certa percentuale di avanzamento temporale di un'altra attività scelta come trainante;
- legame di ritardo di inizio, per intendere che l'inizio di una determinata attività può avvenire solo dopo un periodo di tempo predeterminato dalla fine della precedente.

La figura 17 (Rossi, 1986) rappresenta graficamente la sequenza logico-temporale delle attività di cui si occupa un progettista meccanico per la definizione delle specifiche tecniche di una parte d'impianto, l'elettropompa. Quindi, sull'asse delle ascisse si svolge la sequenza di attività mentre sull'asse delle ordinate si posizionano gli attori delle discipline coinvolte da questo processo di definizione tecnica. Inoltre, vengono messi in evidenza i documenti e le informazioni in ingresso a ciascuna attività e le funzioni di destinazione dei diversi elaborati progressivamente prodotti con l'avanzamento della progettazione.

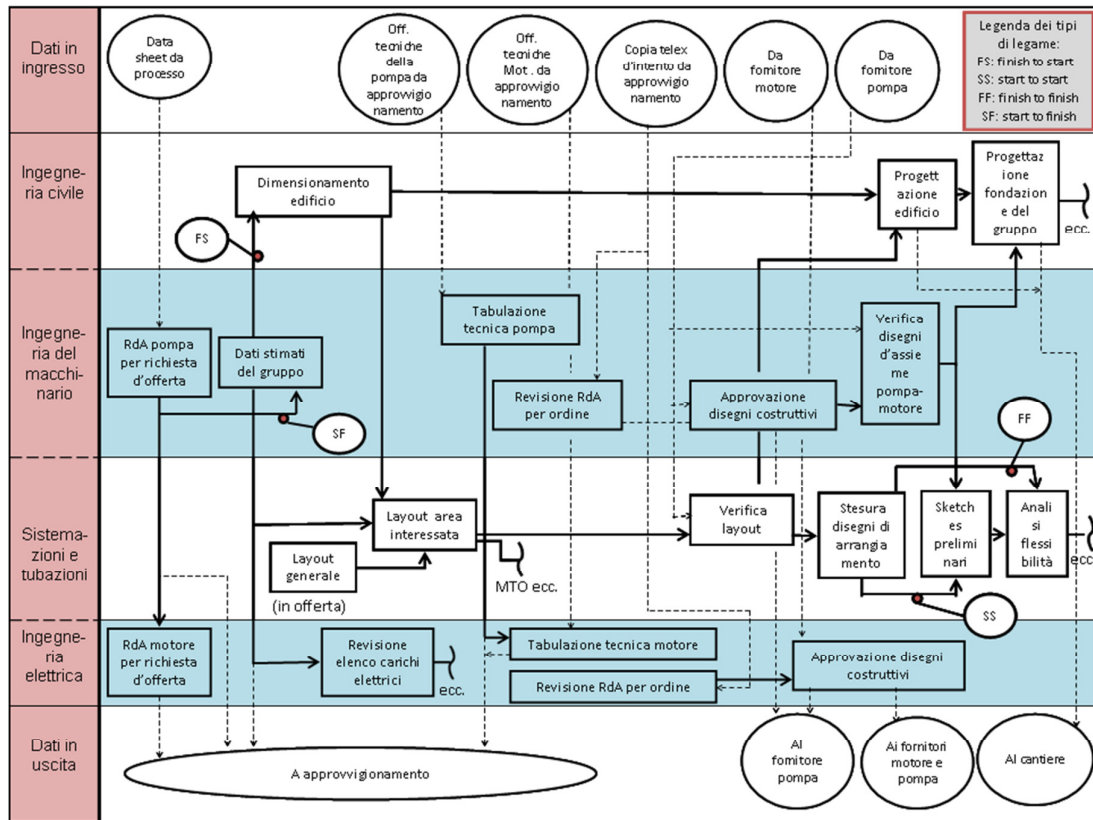


Figura 17: Esempio di interdependenze nell'elaborazione di un documento tecnico di un'elettropompa

Lo specialista di ingegneria meccanica incaricato parte dal foglio dati (o data sheet) compilato dal processista con i requisiti ai quali la pompa deve rispondere per svolgere la funzione nell'ambito del sistema di processo al quale appartiene. Ne completa i dati con il calcolo preliminare dei parametri caratteristici e con la specificazione del tipo di pompa richiesto e dei materiali di costruzione più consoni al servizio previsto. La specifica di acquisto così elaborata viene trasmessa alla funzione acquisti per l'approvvigionamento, e quindi per l'emissione di una richiesta di offerta verso i potenziali fornitori.

In seguito, il progettista interviene nuovamente, su sollecitazione della stessa funzione acquisti, per effettuare la tabulazione tecnica, che consiste nel valutare le caratteristiche tecniche dei vari

modelli commerciali offerti dai fornitori individuati, con l'obiettivo di selezionare quello che meglio risponde alle necessità della pompa richiesta.

Dal reticolo si può vedere come lo specialista debba fornire, al gruppo disciplinare dell'ingegneria che si occupa di Sistemazioni e Tubazioni, le informazioni sulla macchina nei vari gradi di approssimazione crescente invece di attendere l'informazione definitiva, il che richiederebbe troppo tempo. Prima vengono trasmessi i dati stimati per la definizione del layout dell'area interessata, poi i dati tecnici del modello di catalogo del fornitore selezionato, e infine le informazioni effettive di disegno d'assieme del gruppo di componenti in cui si colloca l'elemento d'impianto, da lui approvato. Questo perché lo specialista meccanico deve essere reso partecipe dell'obiettivo prioritario di sbloccare per tempo, ad esempio, la definizione degli ingombri dell'edificio nel quale è situata la pompa, oppure, in un altro caso, dell'urgenza di definire i carichi elettrici dell'impianto.

Quindi, è necessaria una certa forzatura alla logica ottimale di interazione, come quella di far progettare l'edificio sulla base di uno studio di sistemazione condotto con delle informazioni non del tutto affidabili, per consentire il raggiungimento della data di completamento che, da un esame costi-benefici, risulti vantaggiosa rispetto alla maggiorazione del costo dell'edificio stesso.

Questo processo di elaborazione progressiva di un documento tecnico in realtà richiede ulteriori attività che rendono nella pratica le interrelazioni funzionali ancora più complesse e numerose rispetto a quanto esemplificato. Ad esempio sono da considerare anche: le approvazioni del committente, le attività di allineamento delle offerte, l'eventuale approvazione della funzione qualità, la presenza nell'edificio di altre apparecchiature.

### **3.4 Analisi di sintesi delle interazioni tra fasi**

In un sistema di attività molto interrelate, multidisciplinare e caratterizzato da continue retroazioni, quale è l'esecuzione di un progetto, non si può pianificare l'inizio di un'attività, sia essa elementare o una macro attività, dopo il completamento di quelle che le precedono, pena la loro esecuzione in serie e non in parallelo, e quindi con pregiudizio dei tempi complessivi. Né si può considerare che l'attività inizi insieme alle altre e si sviluppi in contemporaneo, pena la loro esecuzione a bassa efficienza e, al limite, impedimento reciproco a proseguire.

E' necessario che si siano raggiunti determinati avanzamenti nelle attività a monte, quest'ultima detta anche "trainante" in quanto condiziona direttamente l'attività in questione, in modo da poter iniziare l'attività stessa. Non solo, ma è necessario che l'attività trainante, o l'insieme delle attività condizionanti, abbiano raggiunto un livello minimo di avanzamento e l'abbiano conseguito, in una visione dinamica, in modo tale che l'attività a valle possa svilupparsi in maniera

economica. Infatti, nell'ambito dell'ingegneria, l'orientamento al progetto prevede che la disciplina trainante, coinvolgendo anticipatamente gli attori interessati, effettui un rilascio "intermedio" della soluzione proposta con l'obiettivo di ricevere ulteriori indicazioni su vincoli e opportunità da parte degli altri attori, consentendo così l'elaborazione progressiva di una soluzione robusta, per la quale sia limitato il rischio di dover procedere a modifiche sostanziali di quanto è stato già congelato.

Quindi, durante questo periodo di definizione e congelamento, siccome le attività vengono svolte in parallelo secondo la logica del concurrent engineering, le differenti discipline ingegneristiche dovranno seguire un avanzamento simile tra loro seppur con valori diversi, affinché gli elaborati tecnici che ne conseguono siano attendibili e omogenei. In quest'ambito, i fattori che influenzano le relazioni che legano fra loro le curve di avanzamento sono la riduzione dei tempi, ottenuta con l'anticipazione dell'inizio delle attività critiche, e la non sufficiente affidabilità dei dati di base, conseguente alla forzatura delle relazioni funzionali che, invece, in una logica sequenziale di attività, sarebbe stato necessario rispettare. A tutto ciò si fa fronte con la sinergia dei gruppi disciplinari, il coordinamento e il processo di controllo (Rossi, 1986).

### 3.4.1 Avanzamento fisico del progetto

Prima di tutto, però, è necessario definire cos'è l'avanzamento fisico di un progetto o di una sua fase. Una definizione generale di avanzamento fisico percentuale consiste nel rapporto fra quantità di lavoro eseguito alla data di riferimento e quantità totale omogenea di lavoro richiesta dall'intero progetto, anch'essa nella data attuale di stima.

La previsione finale, per definizione, può cambiare positivamente o negativamente lungo tutta la durata della commessa; di conseguenza le percentuali di avanzamento possono, nel tempo, non essere più confrontabili con le precedenti. La valutazione dell'avanzamento privilegia quindi metodi a definizione continua, in quanto recepiscono le diverse previsioni; mentre, sono di scarsa utilità le metodologie che si logorano nella ricerca di un parametro che vorrebbe essere obiettivo e inequivocabile. L'affidabilità è invece da ricercare nella qualità di una serie di analisi soggettive, di ipotesi, di riferimenti a dati statistici, come avviene solitamente in luogo di preventivazione.

Inoltre, è molto problematico rendere omogenee le misure di lavoro eseguito e quello totale previsto, poiché la quantità e la varietà delle attività coinvolte in un progetto sono difficilmente riconducibili a un unico parametro quantitativo. Infatti, mentre la fase di ingegneria è monitorata sulla base dell'elaborazione progressiva dei documenti tecnici, utilizzando delle milestone intermedie a cui associare una percentuale di completamento, la fase di costruzione/montaggio prevede diversi approcci a seconda che la valutazione sia sul consumo di risorse o sulla produzione di output. Infatti, a differenza dell'ingegneria, l'avanzamento della costruzione può basarsi sul calcolo delle quantità fisiche realizzate, prendendo in considerazione però solo singole attività per le quali sia definibile un unico parametro sintetico di prestazione di tipo fisico. Per superare la scarsa generalità della misurazione, si può ricorrere alternativamente al calcolo dell'equivalente in ore standard delle quantità fisiche realizzate oppure al calcolo delle ore-uomo effettive spese nell'esecuzione di un'attività. Con la prima alternativa, che richiede la disponibilità

dei valori di resa standard, si riesce a confrontare l'avanzamento di attività differenti, cioè che non sono riconducibili a un unico parametro fisico di prestazione, e si ottiene una misura indipendente dalle variazioni contingenti della produttività del lavoro. La seconda alternativa assume che l'avanzamento del progetto sia proporzionale alla quantità di lavoro speso e risulta da una parte più agevole nell'impiego in quanto non ricorre a rese standard, ma dall'altra approssimativa poiché non tiene conto dei possibili effetti legati alla produttività del lavoro.

La soluzione a cui si ricorre spesso è l'utilizzo della quantità delle ore effettivamente spese, che però può indurre due tipologie di errori: da una parte la produttività del lavoro può risultare inferiore a quella attesa, e dall'altra varianti in corso d'opera possono costringere al rifacimento del lavoro eseguito. Tutto ciò potrebbe comportare una sovrastima delle ore-uomo utilizzate, a parità di produzione.

Quindi, la valutazione di avanzamento fisico globale per un progetto complesso, che comprende diverse fasi operative e coinvolge molteplici risorse, risulta estremamente sfidante. Un approccio percorribile è quello di assegnare un peso percentuale ad ogni frazione di lavoro omogeneo nel contenuto, detta "Work Package", ed utilizzare per ognuno di esse il criterio di valutazione più opportuno. Una semplificazione consiste nel considerare solo i Work Package che appartengono al cammino critico, in quanto l'avanzamento complessivo del progetto potrebbe nascondere un ritardo sul cammino critico e quindi un possibile ritardo di completamento.

### 3.4.2 Metodi di misurazione dell'avanzamento e "curve ad S"

La misurazione dell'avanzamento di progetto rientra in un programma più complesso che riguarda la pianificazione e il controllo di tempi e costi sulla base di valori obiettivi e realistici. Infatti, è divenuto fondamentale, dal punto di vista gestionale delle commesse, identificare tempestivamente l'esigenza di opportune azioni correttive e, dal punto di vista contrattuale, stabilire ad esempio lo stato di avanzamento dei lavori in contraddittorio tra committente e contraente in modo da valutare i ricavi maturati da quest'ultimo. Il motivo di queste indagini supplementari va ricercato nel fatto che le situazioni di avanzamento di tipo "tradizionale", tipicamente fatte solo aggiornando i documenti, mostrano che di solito il progetto fino al 60-70% di avanzamento si può completare nei tempi contrattuali e nei costi stabiliti dal budget. Solo in seguito emergeranno gli scostamenti negativi, prima timidamente e poi in tutta la loro gravità, quando invece le loro premesse esistevano già dalle fasi iniziali. Quest'effetto ricorrente nella pratica risulta coerente alla "sindrome del 90%" teorizzata dagli autori Ford e Sterman.

Quindi, si ripropone la criticità della pianificazione e del controllo del passaggio tra la fase di definizione ingegneristica e l'applicazione in fase di costruzione delle modalità di lavoro stabilite.

A supporto di questo tipo di analisi è stata introdotta a partire dagli anni '70, negli Stati Uniti, la metodologia "earned value" volta a valutare in un determinato istante temporale sia l'efficienza sia l'efficacia nella gestione del progetto, misurando rispettivamente la differenza tra costi preventivati e quelli a consuntivo, a parità di produzione, e la differenza tra quantità pianificate e

quelle effettive prodotte, a parità di costo. Questo metodo è quello richiesto contrattualmente dai committenti statunitensi di impianti complessi, non solo a livello pubblico ma anche privato, come sistema di reporting mensile per la certificazione dei pagamenti, che così riflettono la migliore stima a finire.

Quindi, si osserva che l'attenzione dei committenti si sta drasticamente spostando dai documenti ai metodi di controllo, cioè dagli aspetti legati al contratto a quelli gestionali del progetto, a testimonianza dell'importanza data alla capacità di previsione del contraente generale (Rossi, 1986). Infatti, questa influisce sul mantenimento degli obiettivi del progetto e quindi sul rispetto del contratto, che interessa sia al contraente generale sia al committente. Quest'ultimo, in particolare, vuole sempre più intervenire in corso d'opera e non alla fine dei lavori, per acquisire l'impianto come quello che via via è opportuno che si vada tecnicamente definendo e non come quello prestabilito in maniera più o meno approssimativo al momento dell'offerta.

Nel caso di attività relativamente semplici, il cui tasso di avanzamento nel tempo può essere assunto costante, l'avanzamento cumulato segue un andamento tipicamente lineare e viene rappresentato in diagrammi spazio-tempo. Invece, il caso di progetti complessi, quale è quello trattato, che coinvolgono attività estremamente differenziate, viene gestito ricorrendo alle cosiddette "curve ad S".

Empiricamente si è riscontrata la somiglianza del processo di avanzamento del progetto con la curva ad S, che è un modello generalmente utilizzato per la rappresentazione di processi di crescita di vario tipo (biologica, demografica, ...). Il tasso di avanzamento non viene considerato sempre costante, ma segue una fase di accelerazione iniziale e una di decelerazione finale. Dato che l'avanzamento del progetto è correlato all'impiego di risorse, attraverso la produttività, anche l'andamento dell'impiego cumulato delle risorse può essere descritto con una curva ad S. Infatti, considerando l'intero ciclo di vita del progetto, nelle prime fasi la quantità di risorse coinvolte cresce progressivamente, per poi assestarsi su valori pressoché costanti e generalmente elevati nella fase centrale, e diminuire nella fase di decelerazione conclusiva, in cui vengono apportate le ultime finiture al lavoro. Analiticamente, l'andamento cumulato dell'impiego delle risorse è ottenuto integrando il profilo temporale del tasso di impiego delle risorse nel tempo, a partire dall'istante di avvio del progetto. Il profilo generalmente raggiunge il massimo in corrispondenza della fase centrale di costruzione/montaggio, che richiede un'intensa mobilitazione di risorse concentrata in un periodo di tempo limitato.

Grazie alle sue caratteristiche, le curve ad S sono uno strumento utile sia per la pianificazione che per il controllo del progetto: mediante un'analisi incrementale è possibile infatti prevedere il carico di lavoro richiesto in ogni periodo permettendo, quindi, già nella fase preliminare di impostazione del progetto un'opportuna definizione di un programma temporale di impiego/fabbisogno di risorse, andamento correlato anche all'assorbimento di risorse finanziarie. Durante la successiva fase esecutiva sarà poi necessario confrontare continuamente l'impiego effettivo di risorse con quanto preventivato in fase di pianificazione, per individuare eventuali scostamenti e riprogrammare il fabbisogno di risorse per il completamento del progetto. Qualora i tassi di avanzamento non fossero realistici occorre ovviamente prevedere un'estensione della durata del progetto. Il processo di pianificazione è ulteriormente facilitato ricorrendo alla

standardizzazione, per confrontare non solo progetti diversi appartenenti alla stessa tipologia, ma anche le differenti fasi di uno stesso progetto. In questo modo, si riescono a verificare condizioni macro di progetto come la compatibilità del tasso di impiego delle risorse oppure il tasso di avanzamento con i vincoli contrattuali, imponendo limiti anche sul piano dei costi.

### 3.4.3 Relazione tra fasi di progetto

Un problema molto frequente in impiantistica, e non facilmente risolvibile con gli strumenti disponibili (ad esempio le tecniche reticolari), è quello della programmazione interrelata di dettaglio, ovvero la programmazione in successione logica elementare e senza soluzione di continuità, delle attività di ingegneria-approvvigionamento-costruzione per una sola disciplina estratta dall'insieme. Una programmazione analitica di casi che prevedono una sovrapposizione delle diverse fasi, anche se effettuata con l'impiego molto spinto della programmazione reticolare del tipo PERT/CPM, è sicuramente destinata a rimanere un inutile esercizio sulla carta (Forrester, 1961).

In questo contesto, il sistema progetto è descrivibile come un fascio di curve di avanzamento tra loro interrelate, come illustrato nella figura 18 (Rossi, 1986).

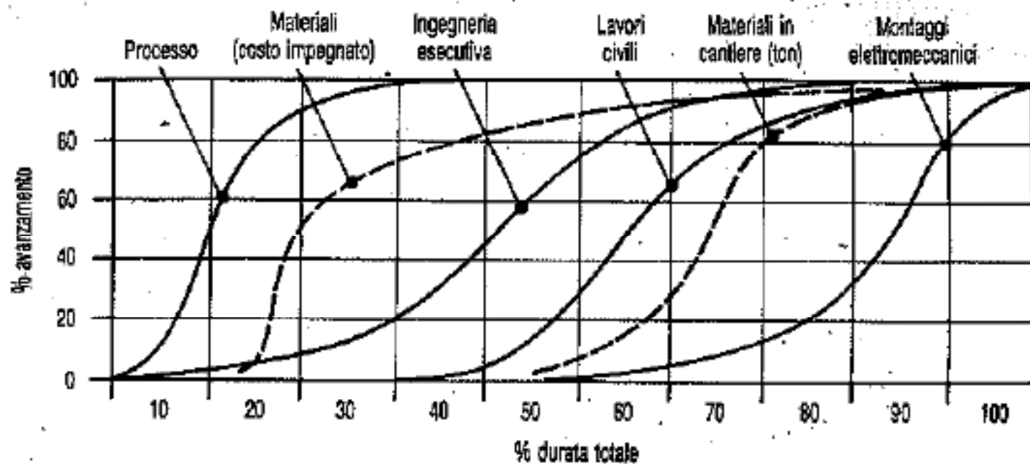


Figura 18: Progetto come fascio di curve di avanzamento

L'insieme di queste curve, che costituisce il modello dinamico di progetto, è caratterizzato da relazioni causa-effetto fra le attività, relazioni sequenziali ed effetti di variazione esponenziale degli scostamenti. Questo modello induce un tipo di analisi che prende in considerazione il modo



in cui una variabile si correla alle altre invece dell'andamento in assoluto della singola variabile. Quindi, è uno strumento efficace per sintetizzare le interdipendenze tra diversi andamenti, in quanto l'avanzamento di ciascuna fase influenza quello della fase immediatamente a valle. Sul piano analitico, siccome gli avanzamenti delle fasi possono essere misurati con criteri diversi, si ricorre a una standardizzazione in modo da renderli confrontabili ed evidenziare così i legami tra le curve. Premesso ciò, grazie all'accumularsi nel tempo di esperienze relative a progetti simili, possono emergere delle regolarità, ovvero legami ricorrenti fra le diverse curve di avanzamento. L'identificazione di queste regolarità contribuisce alla creazione di un patrimonio informativo prezioso per la pianificazione di progetti futuri.

Prendendo in considerazione il caso particolare dei grandi progetti nel settore dell'engineering & contracting, le caratteristiche tipiche che emergono sono illustrate in figura 19 (Caron, 2009) e vengono elencate di seguito:

- l'avanzamento dell'approvvigionamento, in termini di valore impegnato, anticipa in modo significativo l'avanzamento dell'ingegneria di dettaglio e in modo ancora più rilevante l'avanzamento della fase di costruzione;
- l'avvio del cantiere avviene in corrispondenza di un avanzamento di circa il 40% dell'approvvigionamento e di circa il 10% dell'ingegneria, di cui ha priorità maggiore l'ingegneria dei lavori civili propedeutica alla creazione dell'ambiente di lavoro;
- l'arrivo a regime dei processi di montaggio elettro-meccanico, avvenuti i lavori civili, richiede un avanzamento di circa l'80% dell'ingegneria di dettaglio;
- il ritardo di risposta, ovvero la differenza temporale, tra la curva di avanzamento di costruzione/montaggio e quella dell'ingegneria di dettaglio è pari almeno al 30% della durata del progetto. In altre parole, l'ingegneria di dettaglio è in anticipo rispetto alla fase di costruzione, in quanto quest'ultima dipende dalla prima;
- mentre la curva di avanzamento del montaggio arriva rapidamente al completamento dei lavori, le curve di approvvigionamento e ingegneria proseguono nella parte conclusiva del progetto con un andamento asintotico, ovvero con tassi di avanzamento ridotti, in quanto accompagnano lo sviluppo dei lavori in cantiere, determinando il cosiddetto "effetto di trascinamento". Ciò è una conseguenza delle iterazioni tra le prime fasi e la costruzione, come avviene nel caso esemplare della preparazione della documentazione "as built". Un trascinamento della fase di costruzione/montaggio sarebbe invece indice di scarsa efficienza dell'ingegneria di dettaglio oppure di un ritardo nella consegna dei materiali in cantiere.

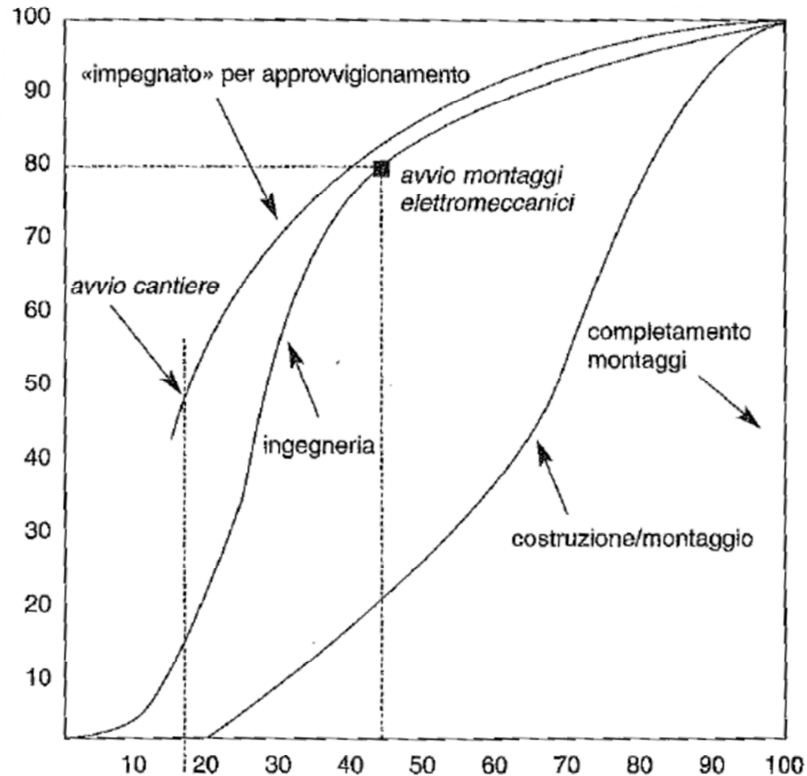


Figura 19: Sequenza di curve di avanzamento di ingegneria, approvvigionamento, costruzione

Il modello presentato è anche necessario per misurare a valle le conseguenze delle deviazioni riscontrate sulle attività in corso, quindi per effettuare le previsioni a finire. I valori delle variazioni indotte vengono estrapolati dall'esame in cascata dell'andamento delle curve, arrivando a conclusioni in termini di tempo e costo, a condizione che i sistemi di misura dei rispettivi avanzamenti siano basati su un sistema obiettivo di valutazione delle prestazioni, ovvero che i parametri su cui sono costruite le curve siano significativi.

Il project manager è continuamente coinvolto in questo genere di valutazioni di effetti correlati, probabilmente senza che abbia coscienza di seguire un proprio modello, cercando di irrigidire a valle le deviazioni misurate in corso di esecuzione, talvolta per sensazione o meglio per esperienza, sulle curve dominanti. Nell'ambito del controllo di progetto, è necessario anche quantificare con metodi obiettivi queste sensazioni, ed estrapolarne in ricaduta gli effetti, in modo da costruire un processo decisionale tendente a riequilibrare il progetto rispetto agli obiettivi pianificati.

# 4. Caso di studio: un grande progetto in Italia

L'adozione di corretti approcci gestionali e organizzativi nella conduzione di progetti complessi presuppone una comprensione della natura intrinseca del progetto, inteso come processo realizzativo non ripetitivo.

Nei capitoli precedenti si sono analizzate prima le caratteristiche e le problematiche di ciascuna fase operativa di un tipico progetto sviluppato da una società di engineering & contracting. Poi, ponendo l'attenzione sull'interdipendenza tra ingegneria e costruzione, si sono analizzati i problemi che ne derivano e gli approcci gestionali che si rendono necessari per governare l'interazione tra le fasi.

Le metodologie precedentemente introdotte vengono, di seguito applicate a un caso reale riguardante la realizzazione di una grande infrastruttura sul territorio italiano. Su questa base, sarà possibile identificare alcuni problemi caratteristici dei progetti nel settore engineering & contracting e quindi valutare l'efficacia delle metodologie proposte. L'analisi considera una delle attività maggiormente critiche sul piano delle interdipendenze e le modalità di gestione tipiche per la risoluzione di tali criticità. Quindi, si propone una valutazione delle conseguenze sulla fase progettuale e sul progetto nel suo complesso. Infine, si mette in relazione il ruolo del committente con la sua visione dell'avanzamento dei lavori e la capacità<sup>1</sup> di influenzare gli stakeholders coinvolti nel progetto. La presenza di asimmetrie informative e di competenze del committente rispetto a chi realizza il progetto fa scaturire l'esigenza di introdurre il ruolo del Project Management Consultant, capace di far emergere le criticità di progetto e sintetizzarne lo stato di avanzamento.

Il punto di vista adottato nel condurre l'analisi del caso di studio è quello del contraente generale (o main contractor), ovvero l'azienda leader di un sistema complesso di organizzazioni (subcontractor), che avendo vinto la gara di appalto, stipula con il committente il contratto di fornitura per la realizzazione del progetto.

I dati e le valutazioni specifiche riportate nel presente caso di studio derivano dall'esperienza di una società internazionale di costruzione operante nel settore dei grandi progetti di ingegneria.

## 4.1 Descrizione delle sequenze di attività presenti nella realizzazione di un'infrastruttura

Prima di individuare le risposte di Project Management ai problemi gestionali osservati nel caso di studio, è opportuno ricostruire le fasi di un progetto relativo alla realizzazione di una grande infrastruttura, come può essere una diga, una rete ferroviaria, un ponte, focalizzando l'attenzione sulle attività legate alla progettazione.

- Definizione dei requisiti dell'opera
- Acquisizione/assegnazione del contratto
- Progettazione preliminare
- Progettazione definitiva
- Progettazione esecutiva
- Costruzione
- Commissioning
- Manutenzione
- Dismissione

Ai fine dell'analisi non si considera la fase pre-contrattuale del progetto, in cui, a seguito della definizione dei requisiti e di una gara di appalto, è stato identificato il contraente generale incaricato della realizzazione dell'opera. La proposta di progetto è stata approvata dal cliente sulla base di impegni di costo, tempo e soluzioni di massima per la realizzazione dell'infrastruttura. La progettazione preliminare e la progettazione definitiva sono le fasi deputate a trasformare le soluzioni di massima in progetti ingegneristicamente ed economicamente dettagliati oltre che sostenibili.

Sulla base di esperienze precedenti relative a opere simili è possibile identificare il cammino critico del progetto, cioè quella sequenza di attività lungo la quale ogni ritardo si ripercuote sulla data di completamento finale. Esempi di attività tipicamente collocate sul cammino critico di progetti di questo tipo e propedeutiche all'avvio della progettazione sono:

- le indagini topografiche: per lo studio dell'andamento del terreno;
- le indagini geognostiche: per lo studio della composizione del sottosuolo;
- le indagini catastali: per lo studio della proprietà dei terreni interessati all'opera;
- le indagini archeologiche: per lo studio dell'importanza storica del territorio;
- le indagini ambientali: per lo studio naturalistico del territorio.

## 4.2 Focus su attività geognostica: incrocio stakeholders/reticolo attività/input

Nell'analisi del caso di studio, viene posta l'attenzione su una delle attività presenti sul cammino critico del progetto, le indagini geognostiche. L'importanza di quest'attività deriva dal ruolo giocato rispetto all'intera fase di progettazione, in quanto può determinarne la fattibilità o meno nel proseguire con la realizzazione di una grande infrastruttura.

Per questa parte iniziale della fase di progettazione si vogliono mettere in evidenza prima di tutto i passi previsti per lo sviluppo delle indagini geognostiche e la corrispondente documentazione prodotta con l'avanzamento progressivo. Quindi, si vuol fornire una mappatura logica del tipo reticolare che incrocia ogni attività con le diverse figure professionali coinvolte e le informazioni necessarie per poter proseguire con le attività successive.

Il ruolo delle indagini geognostiche è decisivo, così come riconosciuto dalla vigente normativa in campo nazionale ed internazionale, poiché esse consentono di pervenire ad una conoscenza approfondita e diretta del sottosuolo, valutandone così le caratteristiche geologiche e geotecniche grazie alla caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni che lo costituiscono. In particolare, i sondaggi geognostici hanno lo scopo di fornire i dati e le informazioni necessarie per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce ad un livello di approfondimento adeguato alle necessità del progetto. Per caratterizzazione geotecnica si intende l'elaborazione dell'insieme di informazioni e dati ricavati dalle indagini svolte sul terreno col fine di fornire un'adeguata descrizione ed un'affidabile valutazione dei valori dei parametri geotecnici, considerati nella loro disposizione nel sottosuolo, da impiegare nei calcoli di progetto. Tale condizione è indispensabile per una progettazione il più possibile sicura ed affidabile, al riparo da eventuali imprevisti legati alla natura geologica dei terreni.

Nella pratica si distinguono due categorie di indagini geognostiche:

- indagini dirette o in sito, quando si utilizzano attrezzature che permettono di raccogliere materiale dal sottosuolo;
- indagini indirette o in laboratorio, quando si utilizzano attrezzature che rimanendo in superficie analizzano la composizione del sottosuolo.

Entrambe le tipologie di indagini vengono svolte all'interno di un processo più ampio e complesso che prevede i seguenti passi:

- 1) Studio del territorio: si prende cognizione del terreno su cui si vuol edificare l'infrastruttura prevista dal progetto a partire da attività di sopralluogo e dall'esperienza pregressa della società incaricata dell'esecuzione del progetto congiuntamente a studi pubblici relativi a indagini sulle opere principali con caratteristiche simili a quella in oggetto. In particolare, per lo studio del territorio un documento pubblico utile per far emergere vincoli e criticità è il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che, grazie alla sua funzione conoscitiva, ha l'obiettivo prioritario di ridurre il rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo, in

modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti, valutando ad esempio la pericolosità e il rischio connessi alle frane. Un'altra fonte di vincoli importante deriva dal riscontro avuto dai diversi stakeholders coinvolti organizzando la cosiddetta "Conferenza dei Servizi", dopo aver ricevuto l'approvazione del progetto da parte del cliente. Quest'incontro organizzato dalla stessa società di costruzione prevede la partecipazione dei principali portatori di interessi sul progetto, come gli enti territoriali per la difesa dell'ambiente o gli enti pubblici locali, che possono richiedere modifiche al progetto proposto al cliente determinando ulteriori limitazioni.

- 2) Elaborazione Piano Indagini: si definiscono la quantità e la tipologia di indagini da effettuare in funzione delle specificità locali, soprattutto per quanto riguarda le indagini dirette. Il piano delle indagini riflette anche l'analisi dei rischi geologici sull'area interessata, che viene eseguita in fase di assegnazione del contratto di progetto. Una volta pianificate le diverse indagini previste, vengono quantificate dal punto di vista economico dall'Ufficio Contabilità per richiedere l'approvazione del Piano Indagini da parte del committente.
- 3) Esecuzione delle indagini in sito e in laboratorio: svolte in parallelo e genericamente affidate a enti specializzati esterni per diminuirne l'impatto economico, presuppongono la completezza e l'omogeneità dei dati, che diminuiscono all'aumentare della complessità delle indagini. Le potenziali società esterne che possono fornire le diverse indagini vengono individuate attraverso uno studio di mercato effettuato internamente alla società che deve realizzare il progetto. In particolare, per le indagini in sito che sono programmate dettagliatamente, viene effettuata una gara interna fissando sia la quantità che i prezzi unitari delle risorse impiegate nei sondaggi, anche se può essere prevista un'estensione della durata del contratto in base alla rilevanza dei risultati ottenuti. Invece, le indagini in laboratorio non possono essere definite a priori per l'indeterminatezza dei risultati che possono raggiungere. Ne deriva una difficoltà contrattuale con il subfornitore, selezionato sulla base di una determinata qualità delle indagini da ottenere. Quindi, non potendo stimare una durata standard per le indagini in laboratorio, si imposta la gara fissando i prezzi unitari delle risorse da impiegare nelle analisi per poi selezionare il fornitore in funzione della disponibilità di risorse richieste per seguire le indagini in laboratorio e del tempo richiesto.
- 4) Controllo indagini: il progettista provvede a verificare la correttezza dei risultati progressivamente ottenuti dalle indagini sia in sito che in laboratorio, ad esempio valutando la coerenza della composizione del suolo tra i campioni analizzati in laboratorio e quelli estratti in profondità. Le attività di controllo sono decisive per il proseguimento delle indagini geognostiche in quanto possono comportare la necessità di integrare il Piano Indagini con ulteriori sondaggi del sottosuolo o con un aumento del dettaglio delle indagini già effettuate per rilevare o chiarire criticità inizialmente manifestate in maniera poco chiara. Tutto ciò ha evidenti impatti sulle prestazioni di tempo e costo del progetto, oltre a richiedere aggiustamenti contrattuali coi fornitori delle diverse indagini. Non è raro, soprattutto in Italia, il caso in cui un progetto si blocca su queste attività retroattive, che possono innescare le reazioni imprevedute di stakeholders sensibili alle modifiche del suolo.
- 5) Caratterizzazione geotecnica: a partire dai risultati delle indagini, dopo un opportuno controllo, il progettista procede con l'elaborazione dei dati ricavati con l'obiettivo di

preparare una descrizione e una valutazione del sottosuolo da confrontare poi con gli esperti delle discipline affini. In particolare, vengono effettuate statistiche e rappresentazioni grafiche sui valori dei parametri geotecnici nell'ordine con cui si distribuiscono nel sottosuolo; vengono estrapolati e sintetizzati i dati necessari e prioritari per procedere con la progettazione, affiancati da una valutazione della loro attendibilità. Queste informazioni verranno poi raccolte nel modello geotecnico, che costituisce uno degli input per la mappatura del territorio interessato dall'infrastruttura. Inoltre, il geologo con questa attività contribuisce ad alimentare il processo di valutazione dei rischi di progetto per l'importanza che hanno nell'identificare le cause di potenziali eventi, prima che questi determinano impatti rilevanti sul progetto.

- 6) Correlazione stratigrafica: il progettista supportato da ruoli con competenze attinenti alle attività geognostiche utilizza le procedure e le metodologie attraverso le quali si dimostra la corrispondenza temporale di parti geograficamente separate di una o più unità geologiche, grazie ai parametri sintetici derivanti dalla caratterizzazione geotecnica. Esistono vari tipi di correlazione stratigrafica, secondo le proprietà e le caratteristiche che vengono esaminate (caratteri litologici, contenuto fossilifero, paleomagnetismo, ecc.). Le diverse modalità di correlazione stratigrafica sono il mezzo con cui si tenta di approssimare la cronocorrelazione, cioè le relazioni temporali delle successioni sedimentarie. Con l'insieme di analisi e informazioni raccolte si crea un modello geotecnico rappresentativo dell'intera area di interesse, da cui partire per la successiva attività di dimensionamento delle opere.

Infine, lo specialista delle indagini geognostiche collabora con gli esperti di topografia, di archeologia e di sicurezza e ambiente per ottenere una visione complessiva dell'area in analisi, elaborando congiuntamente la mappatura del territorio. Questa documentazione fornisce la base per il dimensionamento dell'infrastruttura, rilasciandone i primi disegni approssimativi per le attività di cantiere e permettendo così l'avvio ad esempio delle fondazioni. Parallelamente, con un determinato sfasamento temporale, viene supportata l'attività di quantificazione economica della progettazione che finora si è venuta definendo, in relazione alla qualità dei progressivi risultati prodotti dalle indagini geognostiche. L'esito della valutazione economica, se non richiede revisioni del dimensionamento dell'opera dopo lo scambio informativo con gli addetti alla costruzione, viene sottoposto all'approvazione del cliente per convalidare questa fase di progettazione.

L'onerosità del lavoro comportato dall'analisi delle attività previste per ogni tipologia di indagine, oltre all'indisponibilità di un software necessario per l'elaborazione della matrice DSM, hanno ostacolato l'applicazione del metodo ADePT per individuare le interazioni ottimali tra le attività di progettazione preliminare. Nonostante ciò è possibile riscontrare le interazioni tra le attività seguite nelle indagini geognostiche, a partire dalla rappresentazione incrociata delle attività con gli stakeholder di dettaglio.

Ricorrendo a una stima della durata delle attività appena elencate, si possono costruire le sequenze logico-temporali per rappresentare le interdipendenze tra le attività e i ruoli coinvolti. Vengono anche riportate le informazioni in ingresso e in uscita rispetto alle attività. Le informazioni in ingresso alle attività si possono considerare documenti definiti ed esterni all'attività di geognostica, rispetto alle quali però hanno un contenuto vincolante. Invece, i documenti in uscita devono seguire un percorso di definizione del contenuto oppure si tratta di

richieste di approvazione del committente che permettono di procedere formalmente con le attività.

Per semplificare la rappresentazione grafica, nell'intero reticolo in figura 20 si fa ricorso principalmente ai legami FS (finish to start) per indicare che l'inizio di una certa attività avviene dopo la fine della/e attività che la precedono; l'unica eccezione è l'attività di controllo che è legata con un vincolo percentuale alle indagini in sito e in laboratorio, per poter sovrapporre le verifiche sui risultati delle indagini stesse, supponendo che possano iniziare dopo circa il 10% di avanzamento delle indagini in sito, quindi dopo una settimana, e mantenendo questa differenza anche rispetto alla conclusione delle indagini. Inoltre, vengono messe in evidenza le principali informazioni in ingresso alle attività e quelle trasmesse alle altre funzioni aziendali, considerando anche gli scambi informativi col committente.

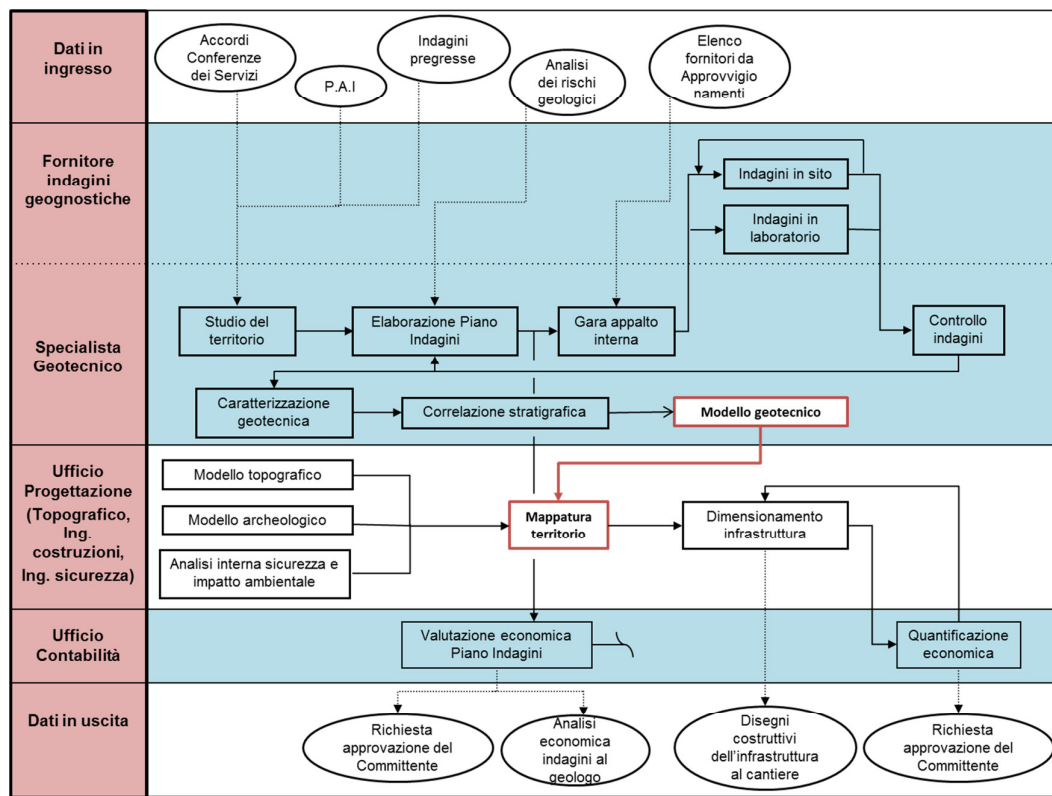


Figura 20: Rappresentazione delle interdipendenze del caso di studio

I punti decisionali maggiormente critici che coinvolgono le indagini geognostiche fanno riferimento al contesto in cui è prevista la costruzione dell'infrastruttura. Ne è un esempio la decisione che riguarda la tipologia e la densità delle indagini da effettuare lungo una determinata galleria scavata nel sottosuolo, sulla base dello studio del territorio. Queste scelte comportano una valutazione del costo delle indagini per chilometro di galleria che, in base al tipo di infrastruttura, possono estendersi anche su grandi distanze rispetto al sito costruttivo.



Soprattutto le opere in sotterraneo richiedono un costo elevato e un alto impatto sul territorio perché è alto il rischio di incontrare falde acquifere nel percorso di perforazione. Quindi, apportando delle modifiche al suolo diventa importante la considerazione dell'impatto ambientale sia come vincolo in ingresso allo studio del territorio che come valutazione interna degli specialisti dell'Ufficio Progettazione.

Inoltre, l'attività di elaborazione del Piano Indagini risente della scarsità di normativa e di modelli di riferimento per indirizzare la scelta della corretta tipologia di indagini per l'area interessata. Quindi, all'alternativa di svolgere indagini geognostiche lungo tutto il tracciato di interesse, spesso si risolve effettuando poche indagini compromettendo la qualità e la completezza dei dati su cui basare la progettazione. Questa bassa qualità dei dati rallenta anche il processo di elaborazione del Modello geotecnico, perché non include una rappresentazione affidabile del territorio dal punto di vista geotecnico.

Un altro esempio di difficoltà che deve fronteggiare l'attività di geognostica deriva dalla impossibilità di accesso ad aree franabili, come ad esempio avviene nei pressi dei fiumi: in questo caso, si ricorre ad indagini indirette, che però rendono poco esaustiva la caratterizzazione del sottosuolo.

In generale, l'approccio seguito da un progettista che si basa sulle indagini geognostiche per determinare la fattibilità dell'infrastruttura da realizzare è orientato ad ottenere un bilanciamento delle esigenze di sicurezza e qualità dell'opera con le necessità di tempo e costo correlate alle diverse tipologie di indagini. L'esempio introdotto sulla scarsità dei dati disponibili per effettuare valutazioni affidabili sul sottosuolo viene risolto dai progettisti aumentando il fattore di sicurezza nel dimensionamento dell'infrastruttura, comportando così una sovrastima dei parametri e quindi un aumento del costo di realizzazione dell'infrastruttura. Tuttavia, è necessario che le indagini vengano effettuate con campioni affidabili e significativi in relazione all'area interessata. Laddove non vengono realizzate indagini del sottosuolo, oltre ad avere un atteggiamento prudentiale, è fondamentale basarsi su ipotesi quanto più realistiche rispetto al tipo di terreno presente.

Questo caso di studio fornisce un esempio di applicazione della tecnica del concurrent engineering e delle logiche di forzature delle interdipendenze tra attività e rispettivi ruoli coinvolti. A differenza di un sistema sequenziale, in un progetto complesso le diverse discipline specialistiche della fase di progettazione procedono con un avanzamento simile tra loro e in parallelo, per la necessità di integrare tempestivamente le rispettive scelte progettuali nella documentazione tecnica. Questa modalità di gestione del progetto si basa sull'elaborazione progressiva dei documenti tecnici prioritari, di cui vengono rilasciate versioni intermedie prima dell'approvazione di quella definitiva, e sulla stretta collaborazione delle diverse funzioni aziendali.

Definita prioritaria l'elaborazione della mappatura del territorio per avviare il dimensionamento dell'infrastruttura e quindi la sua realizzazione, dalla rappresentazione delle attività si può vedere come questo documento richieda il coinvolgimento contemporaneo di diverse discipline. Infatti, le indagini geognostiche svolte dallo specialista di geotecnica procedono in parallelo con gli studi topografici, con le valutazioni sull'impatto ambientale e con le indagini archeologiche.

Ciascun documento tecnico confluyente nella mappatura del territorio segue un processo iterativo di elaborazione progressiva che porta al congelamento dei parametri tecnici individuati nelle

rispettive analisi. Infatti, focalizzando l'attenzione sul legame tra il modello geotecnico e la mappatura del territorio (figura 21), il geotecnico rilascia all'Ufficio Progettazione versioni del modello geotecnico con un contenuto progressivamente completo a seguito della definizione della caratterizzazione geotecnica, che a sua volta recepisce le iterazioni sui risultati delle indagini geognostiche. Quindi, la geognostica si configura come disciplina trainante per la definizione della mappatura del territorio effettuata dall'Ufficio Progettazione.

I fattori che contribuiscono al rilascio di ulteriori versioni del modello geotecnico e di conseguenza della mappatura del territorio sono sia la significatività delle statistiche e dei parametri rappresentativi del sottosuolo elaborati con la caratterizzazione geotecnica sia l'affidabilità dei risultati delle indagini geognostiche approvata con le relative attività di controllo. Quanto più sono affidabili i dati contenuti nel modello geotecnico tanto più velocemente si arriva al congelamento della mappatura del territorio sugli aspetti relativi alle attività di geognostica. Tuttavia, si possono manifestare revisioni del modello geotecnico anche sulla base dei progressivi risultati avuti dalle discipline svolte parallelamente alle indagini geognostiche, anch'essi confluenti nella mappatura del territorio. Si rende necessario quindi lo scambio di informazioni bidirezionale tra i ruoli responsabili delle diverse discipline, i quali devono essere coinvolti tempestivamente in modo da ridurre le iterazioni sulla definizione dei rispettivi documenti tecnici. In questo modo, l'integrazione dei vincoli progettuali derivanti dalle diverse discipline e l'aumento contemporaneo del grado di completezza dei dati tecnici consentono di trasmettere alle attività a valle un basso livello di incertezza. Questo approccio permette così un avanzamento robusto della progettazione, capace di assorbire le eventuali variazioni manifestate successivamente.

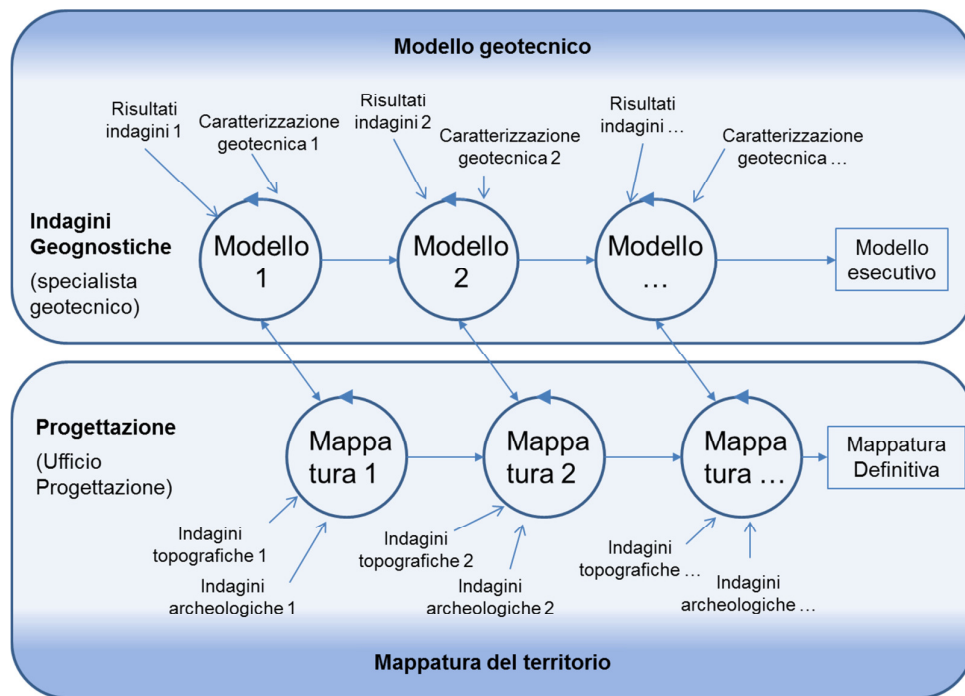


Figura 21: Interdipendenza tra modello geotecnico e mappatura del territorio

La stessa gestione in parallelo viene applicata all'attività di dimensionamento dell'infrastruttura eseguita dall'esperto di ingegneria delle costruzioni nel reparto progettazione, che rilascia ai costruttori i primi disegni costruttivi per raggiungere poi la versione definitiva o "as built" una volta avviata la costruzione. Deriva infatti dal cantiere la necessità di integrare i disegni costruttivi con le modifiche pervenute realizzando l'infrastruttura. Entrambi i ruoli del progettista e del costruttore interagiscono poi con l'Ufficio Contabilità per integrare le scelte dei componenti con i vincoli economici.

Quindi, il reparto Progettazione nell'attività di dimensionamento rilascia progressive approssimazioni dei disegni dell'infrastruttura sia al reparto Contabilità che ai ruoli incaricati della fase di costruzione e in particolare dei lavori civili, prima attività per l'avvio del cantiere, che possono richiedere revisioni e integrazioni di specifiche tecniche prima di considerarle definitive.

Grazie alle tecniche di programmazione applicate all'intero progetto e quindi alla fase di progettazione, si definisce il cammino critico delle attività e, in relazione alle interdipendenze che le coinvolgono, su di esse vengono impiegati gli approcci gestionali che portano alla forzatura delle relazioni tra attività critiche coerentemente con le capacità di chi dovrà realizzarle.

Spingendo la sovrapposizione delle attività poste sul cammino critico, l'adozione delle logiche di forzatura permette di recuperare tempo sulla loro esecuzione. E' il caso che si ottiene forzando la sovrapposizione tra il periodo di tempo di realizzazione delle indagini geognostiche e della caratterizzazione geotecnica, che così può iniziare in anticipo con dati approssimativi ma permettendo una compressione della data di completamento delle attività geognostiche. Nello stesso modo, si cerca l'approvazione del committente su una prima elaborazione del Piano Indagini, quando le indagini sono solo parzialmente definite in modo da proseguire con le attività successive per l'avvio delle indagini stesse, senza attendere la completa definizione del Piano. La descrizione delle conseguenze di queste forzature viene affrontata successivamente in sede di analisi delle cause di ritardo e extracosto.

Seguiti i passi previsti per la programmazione temporale del progetto e considerando l'insieme dei vincoli esistenti tra le attività sia di tipo logico che di tipo preferenziale come quelli derivanti dalle forzature, si può utilizzare il diagramma di Gantt per sintetizzare la distribuzione nel tempo delle attività, anche se non esplicita le relazioni di precedenza tra di esse. Per la costruzione del diagramma di Gantt riportato in figura 22, si è fatto riferimento alla stima delle durate riportate nella tabella sottostante.

Nome Attività	Durata (settimane)	Predecessori
Studio del territorio	4	
Elaborazione Piano Indagini	1	1
Gara appalto interna	1	2
Indagini in sito	12	3
Indagini in laboratorio	12	3
Controllo indagini	14	4;5
Caratterizzazione geotecnica	3	6
Correlazione stratigrafica	2	7
Dimensionamento infrastruttura	8	8
Quantificazione economica	3	9

Tabella: Stima della durata delle attività critiche

Le attività rappresentate nel diagramma sono quelle appartenenti al cammino critico, considerando anche le indagini eventualmente esternalizzate per mettere in evidenza la durata complessiva delle indagini geognostiche e della parte di progettazione che le riguarda direttamente. Queste attività vengono rappresentate da una barra di lunghezza proporzionale alla durata stimata, usando come unità di misura la settimana, e disposte lungo l'asse orizzontale indicante il tempo. Si è privilegiato quindi l'immediatezza grafica propria dei diagrammi di Gantt per la comprensione del progetto. Nel presente caso di studio, a valle dell'applicazione delle modalità di gestione descritte, risulta una stima della durata delle attività geognostiche di 22 settimane, mentre la parte di progettazione che coinvolge il geologo con i risultati delle indagini geognostiche da lui approvati ricopre una durata complessiva di 32 settimane, pari a 8 mesi.

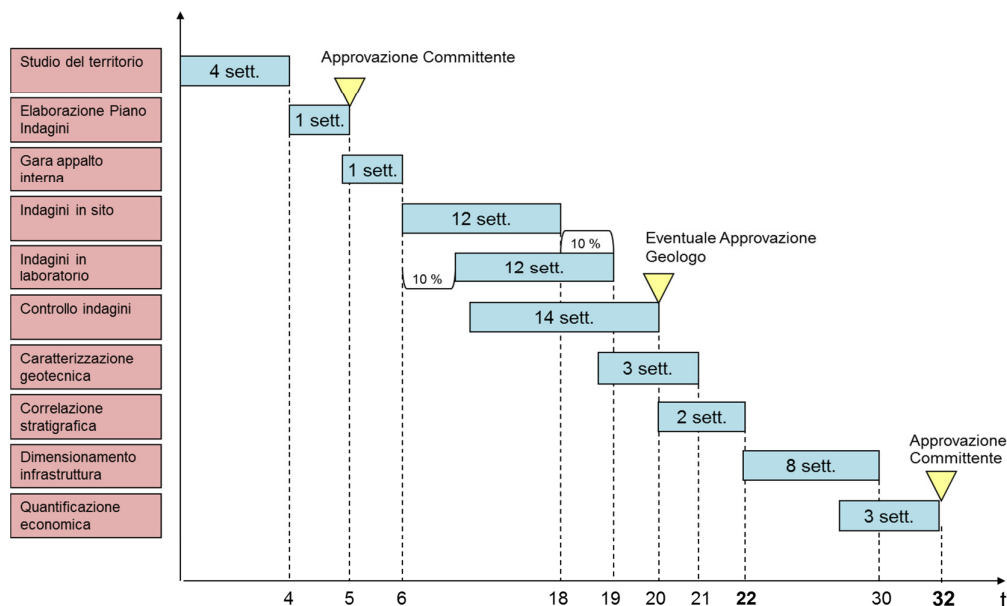


Figura 22: Diagramma di Gantt

### 4.3 Descrizione delle cause di ritardo/extracosto e degli effetti diretti e indiretti sulla fase di progettazione

L'elevata criticità delle indagini geognostiche deriva dalla loro collocazione nel ciclo di vita del progetto, essendo un'attività del cammino critico che abilita la progettazione e determina la fattibilità del progetto stesso. Ciò comporta che la manifestazione di un ritardo o un extracosto in questa fase si ripercuote sulle prestazioni complessive di progetto, minacciandone anche il fallimento.

Le sorgenti di incertezza che possono colpire le indagini geognostiche, come avviene tipicamente per un progetto, vengono classificate in interne ed esterne. Il primo tipo riguarda elementi interni della società incaricata di realizzare l'infrastruttura; il secondo tipo si riferisce agli elementi del contesto di progetto, generalmente meno controllabili di quelli interni. Durante la fase preliminare del progetto ogni sorgente di incertezza, anche se individuata, può apparire assolutamente neutra e soltanto in fase di avanzamento delle indagini geognostiche può innescare una catena di eventi che possono portare a minacce o opportunità rilevanti per l'infrastruttura da costruire, divenendo così una causa di rischio. Oltretutto, una stessa minaccia o opportunità potrebbe generarsi anche da diverse cause.

Una delle principali sorgenti di incertezza interne che riguardano l'organizzazione e l'operatività del contraente generale coinvolge la parte delle indagini in sito e in laboratorio, nel momento in cui si considerano concluse, perché le successive attività di geognostica o altre discipline specialistiche svolte in parallelo possono manifestare incoerenze dei dati o introdurre nuove informazioni di percorso, che quindi richiedono l'approfondimento delle indagini effettuate o l'estensione ad altre aree territoriali che possono essere influenzate dall'infrastruttura. Questo comporterebbe una necessità ulteriore di tempo e di costo per le indagini, che di conseguenza potrebbero far sospendere le attività in corso, causando infine un ritardo sull'avvio della progettazione e un aumento dei costi di progetto.

Collegato a questo tipo di rischio, un'altra possibile sorgente di incertezza deriva dalla scarsa considerazione del fenomeno di liquefazione delle sabbie che può portare ad eventi catastrofici se l'area interessata non viene valutata correttamente. La liquefazione delle sabbie avviene quando un suolo di tipo sabbioso passa improvvisamente da uno stato solido a uno fluido, o assume la consistenza di un liquido pesante, come il fango. Questa sorgente d'incertezza influenza direttamente tutta la fase di progettazione dell'infrastruttura e in particolar modo la valutazione dei carichi dell'infrastruttura che può sopportare il suolo. Infatti, tecnicamente questo fenomeno durante la fase di carico, a causa delle sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, può portare a un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la tensione soprastante, annullando la resistenza del suolo. In pratica, si può osservare che gli edifici costruiti al di sopra di un terreno soggetto a tale fenomeno subiscono affondamenti e ribaltamenti, in quanto il terreno non è più in grado di opporre resistenza alla spinta proveniente dall'alto. Pertanto, parallelamente alla considerazione del fenomeno di liquefazione delle sabbie è fondamentale la valutazione del rischio sismico che interessa l'area circostante

l'infrastruttura. Qui emerge il contributo derivante dagli specialisti di altre discipline come il sismologo e il geologo. Nella prassi delle indagini geognostiche in laboratorio si analizzano campioni del suolo congelati con azoto liquido, che vengono sottoposti a test, ad esempio di resistenza, quindi scongelati e provati con i carichi come se fossero in natura. Lungo questo processo, la sottostima dei tempi e la non valutazione degli imprevisti possono comportare, in fase di verifica e controllo, una revisione delle analisi prodotte per inaffidabilità dei dati in relazione ai parametri di sicurezza da rispettare. Questo si traduce in un ritardo nell'avanzamento delle indagini geognostiche e quindi della progettazione. Allo stesso modo, valutazioni del rischio sismico possono comportare rallentamenti nell'esecuzione delle attività di geognostica, causando indirettamente ritardi di progettazione.

Il ricorso alle logiche di forzature nelle interazioni tra attività critiche si lega strettamente alla gestione del rischio di progetto. Infatti, come è tipico dei grandi progetti di ingegneria, anche nella gestione delle indagini geognostiche si ricorre alle forzature, spingendo la sovrapposizione delle attività che influenzano la data di completamento della fase di progettazione. In particolar modo, con l'obiettivo di ridurre il tempo di elaborazione della documentazione tecnica relativa alle indagini del sottosuolo ed eventualmente recuperare ritardi cumulati nelle attività precedenti, si "forza" la sovrapposizione temporale tra le indagini, soprattutto di quelle in laboratorio, e la caratterizzazione geotecnica. L'inizio di quest'ultima attività, infatti, viene anticipato notevolmente senza attendere i risultati completi delle indagini sia in sito che in laboratorio, utilizzando informazioni sul sottosuolo derivanti da analisi passate che così permettono la stima dei parametri geotecnici principali. Ciò espone la fase di progettazione al rischio di utilizzare valori errati e incoerenti con l'area territoriale in analisi. Per la salvaguardia di questo rischio si ricorre a un confronto dei risultati delle indagini una volta completate: nel caso in cui sia necessario una revisione delle indagini, l'applicazione della forzatura causa sia diseconomie per il doppio costo di verifica sia ritardi nell'avanzamento che così viene rallentato.

Un'ulteriore forzatura si verifica tipicamente quando è richiesta l'approvazione del committente del Piano Indagini, che è opportuno ottenere prima di procedere alla gara per l'affidamento a società esterne dell'esecuzione delle indagini in sito e in laboratorio. Infatti, la sequenza ottimale di gestione prevede che l'autorizzazione del committente venga richiesta quando le specifiche delle indagini siano definite completamente nel corrispondente Piano. L'applicazione della logica delle forzature prevede invece che il project manager valuti il rischio di anticipare gli accordi coi possibili fornitori per avere la definizione tecnica delle indagini, sottoponendo all'approvazione del committente solo una parte dei documenti prioritari del Piano Indagini, che sarà elaborato ed integrato progressivamente.

Dalla parte delle sorgenti di incertezza esterne si collocano quelle fonti di tipo politico, economico, sociali, ambientali che possono essere previste ma sono difficilmente gestibili, come ad esempio le condizioni avverse del sito.

Una delle sorgenti di incertezza, di tipo politico, su cui porre maggiore attenzione per l'agevole realizzazione di un'infrastruttura e, in particolar modo, per effettuare le indagini geognostiche riguarda l'ottenimento delle autorizzazioni di accesso ai latifondi da parte dei rispettivi proprietari terrieri. Questo è un possibile problema logistico che può presentarsi nelle attività di geognostica, soprattutto laddove l'area territoriale di interesse per le analisi è estesa, e può richiedere il

coinvolgimento di numerose entità sia pubbliche che private. Il rischio si può concretizzare nel mancato o ritardato permesso per accedere ed ispezionare il sottosuolo, con impatti rilevanti sull'intero progetto, compromettendone la fattibilità. In modo simile, si possono verificare cause di ritardo nelle attività geognostiche nel momento in cui la Conferenza dei Servizi o l'entità incaricata della valutazione ambientale, essendo quest'ultima realizzata in fase preliminare con dati approssimativi, possono manifestare la necessità di integrazione o di revisione del progetto su aspetti legati all'impatto ambientale comportato dalle indagini in profondità sul territorio ospitante l'infrastruttura.

Un rischio di tipo economico, che si verifica in contesti critici sia per la condizione macroeconomica che per lo stato di salute della singola organizzazione, deriva dalla difficoltà nei pagamenti da parte del committente secondo le scadenze previste dal contratto. Questi casi, col perdurare nel tempo, oltre a far insorgere un clima conflittuale tra le parti, possono portare al blocco dell'avanzamento dei lavori e quindi a richieste di indennizzo da parte del contraente generale e di tutti i fornitori in gioco, che devono far fronte ai costi vivi sostenuti e al mancato guadagno atteso. Data la gravità di queste situazioni, il committente interessato alla realizzazione del progetto tende a risolvere l'impegno di risorse utilizzate e pianificate fino alla data di completamento offrendo altre opportunità di lavoro alle stesse organizzazioni per bilanciare le perdite avute con la stagnazione del progetto. Un'altra soluzione frequentemente utilizzata è il ridimensionamento dello "scope of work", cioè la modifica o la riduzione delle attività di progetto, in corso e future, per ottenere con sicurezza un risparmio di costo e un anticipo della data di completamento. Questa soluzione comporta necessariamente una revisione o una ripetizione delle indagini geognostiche per la presenza di nuovi input vincolanti o meno, e quindi una ripianificazione dell'avanzamento futuro dell'intero progetto.

Dal punto di vista del controllo del progetto, la fase di ingegneria è monitorata sulla base dell'elaborazione progressiva dei documenti tecnici, utilizzando dei milestone intermedi a cui associare una percentuale di completamento. Quindi, attribuendo un peso a ciascun documento rispetto all'insieme degli elaborati da produrre nella progettazione, si può ottenere una misura dell'avanzamento fisico raggiunto. Se si associa anche un importo medio ad ogni documento, si ricava l'avanzamento contabile nella data di riferimento. Per l'attività geognostica si può ricorrere alle curve ad S come strumento di rappresentazione sintetica degli effetti derivanti dal manifestarsi di una sorgente di incertezza. Con lo scopo di valutare l'impatto di un ritardo nell'avanzamento delle attività di geognostica, si considera il caso in cui i parametri stimati durante la caratterizzazione geotecnica, avviata in anticipo rispetto alla sequenza ottimale, non sono coerenti con i risultati ottenuti dalle indagini geognostiche in seguito effettuate. Come mostra la figura 23, il manifestarsi di questo rischio comporta un ritardo nella progettazione basata sulle indagini geognostiche, rendendo necessario una ripianificazione realistica dell'avanzamento per mantenere la data di completamento prevista.

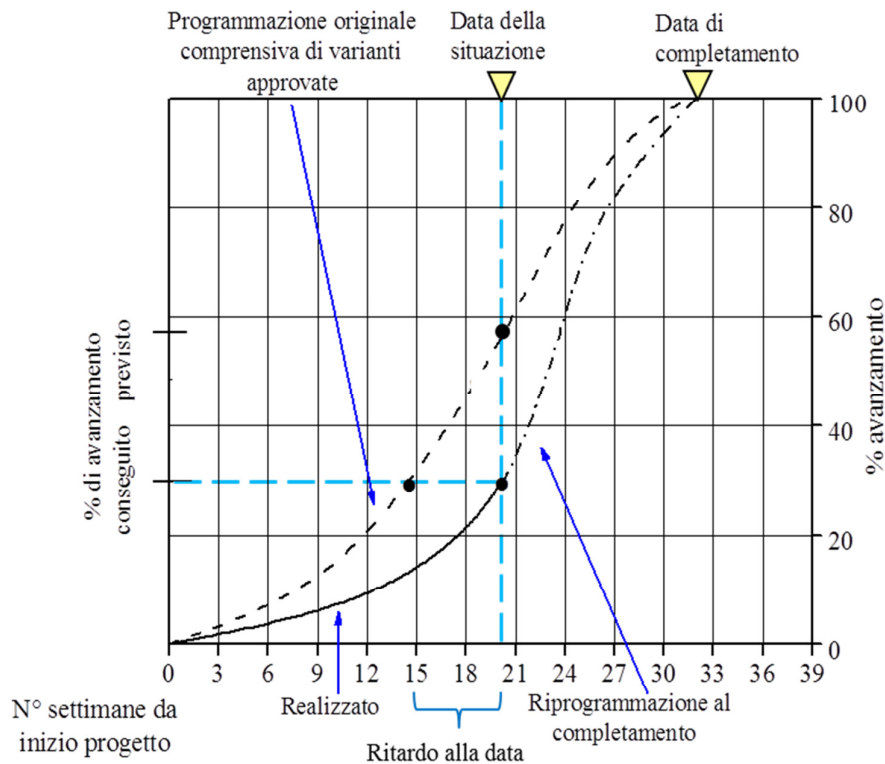


Figura 23: Curva di avanzamento del progetto pianificato e conseguito

Applicando la procedura appena descritta per le indagini geognostiche all'insieme di attività previste nella fase di progettazione, si può monitorare l'avanzamento dell'intero progetto per trarre conclusioni sulle prestazioni complessive, a partire dal modello dinamico del fascio di andamenti delle fasi. Poiché la misura delle prestazioni varia se si considera la fase di approvvigionamento o quella di costruzione, si può ipotizzare di assegnare un peso percentuale ad ogni attività delle rispettive fasi ed utilizzare per ognuno di esse il criterio di valutazione più opportuno. Il controllo dell'avanzamento consiste allora nell'indagine dei motivi di differenza fra avanzamento previsto e avanzamento conseguito al fine di individuare le azioni correttive che consentiranno di seguire il ramo della curva ad S ripianificata che porterà alla stessa data di completamento.

Un'ulteriore analisi con questo strumento è la valutazione dell'effetto del ritardo registrato in fase di progettazione sulle successive fasi di approvvigionamento dei materiali e di costruzione, in relazione alla severità dell'impatto del rischio. Si potrà vedere, quindi, l'effetto a cascata di un ritardo in fase di ingegneria sulle fasi da essa dipendenti.



## 4.5 Visione dell'avanzamento dei lavori per il committente e sua capacità di influenzare gli stakeholders

Rispetto alle criticità e ai rischi che sono emersi nella trattazione del caso di studio, il committente si pone in una posizione di vertice del progetto nel complesso ed ha interesse in primo luogo al rispetto delle condizioni contrattuali definite con gli attori principali di progetto. In secondo luogo, il committente potrebbe valutare gli effetti indotti dal progetto su scala più ampia, ad esempio in termini di sviluppo dell'area locale e di consenso della popolazione nei riguardi dell'infrastruttura.

Per quanto riguarda l'interesse nella gestione e nel risultato del progetto, soprattutto laddove ha una scarsa competenza tecnica nel seguire le prestazioni di attività specifiche, il committente tende ad affidarsi all'esperienza del contraente generale specializzato nella realizzazione di un progetto molto complesso come è il caso di una grande infrastruttura. Anche in base alla tipologia contrattuale con cui stabilisce il rapporto di fornitura col contraente generale, il committente assume un comportamento più attivo, come nel caso di un contratto rimborsabile, o più passivo, come avviene col contratto a importo fisso o "lump-sum". Quindi, mentre col contratto rimborsabile il committente si impegna in una costante verifica del lavoro eseguito dal contraente generale, col contratto lump-sum si limita a una verifica della corrispondenza dell'infrastruttura realizzata con i vincoli contrattuali.

In ogni caso, forte attenzione del committente è rivolta alla gestione degli stakeholders, in quanto l'insieme dei ruoli direttamente o indirettamente interessati al progetto può costituire una delle sorgenti principali di rischio, sia in termini di minaccia che di opportunità. La gestione di questo aspetto "politico" di progetto è determinante per il suo successo, in quanto ogni stakeholder esprime interessi diversi, ha una propria capacità di influenza e può assumere un atteggiamento più o meno favorevole. Ad esempio, si pensi all'importanza del committente data all'organizzazione della Conferenza di Servizi, in cui si riuniscono enti come l'ARPA e la Provincia in difesa degli aspetti ambientali oppure la Soprintendenza ai Beni Culturali ed architettonici e l'Autorità di Bacino per valutare gli aspetti geografici e territoriali. Il parere di questi enti può determinare la fattibilità del progetto, anche se è un giudizio che può risentire delle scarse competenze degli enti stessi.

Quindi, sempre più spesso si verifica che il committente considera come sua principale attività il coinvolgimento degli attori più vincolanti per il progetto, su cui solo il suo potere negoziale può far approvare anche informalmente la fattibilità. Ciò comporta un maggiore disinteresse del committente sul controllo dell'avanzamento dettagliato del progetto, come conseguenza della presenza di forti asimmetrie informative e di competenze rispetto al contraente generale, che non gli consentono di valutare le procedure di lavoro adottate. Come soluzione organizzativa di questa criticità nella gestione del progetto, il presente caso di studio ha visto la collaborazione, al fianco del committente, di un nuovo ruolo nel panorama della gestione dei grandi progetti di ingegneria, ovvero il Project Management Consultant o PMC. Il committente affida a questa figura il controllo delle prestazioni di progetto ottimali, grazie alle sue capacità di governo delle molteplici interdipendenze e di coordinamento della macro rete di attori. Il PMC si inserisce così tra il

contraente generale e il committente, a cui deve rendere comprensibile lo stato del progetto lungo il suo ciclo di vita.

## **4.2 Contesto contrattuale e tipologie di relazione con la committenza, in cui si inserisce il ruolo del PMC**

L'analisi della gestione del progetto richiede una fase preliminare di valutazione dei possibili approcci con cui realizzare il progetto, in termini di organizzazioni da coinvolgere per la progettazione e per la costruzione, e dei corrispondenti legami contrattuali necessari per identificare le responsabilità delle singole organizzazioni nei confronti del proprio ambito di lavoro.

In questo modo, una prima identificazione degli stakeholder coinvolti nel progetto discende dalla scelta da parte del Committente del modello organizzativo a cui affidare la realizzazione del progetto (Gould, Joyce, 2009). Questa scelta è guidata dall'obiettivo di creare delle relazioni contrattuali tali da ripartire tra gli attori i rischi legati alla gestione del progetto nel miglior modo possibile. Le alternative dei modelli organizzativi derivano dalla possibilità di affidare la progettazione e la costruzione a un'unica organizzazione o a entità diverse, che garantiscano al committente il rispetto delle prestazioni complessive di progetto.

In generale, nel settore dell'engineering & contracting, il committente è interessato ad ottenere un progetto con: consegna nei tempi previsti, spesa quanto più coincidente al budget disponibile, e caratteristiche tecniche conformi alle specifiche funzionali richieste.

Il primo strumento di pianificazione e controllo con cui il committente può far rispettare le proprie esigenze è il contratto. Infatti, col contratto un fornitore s'impegna legalmente a fornire a un acquirente i prodotti o servizi con le specifiche richieste, a fronte di un corrispettivo definito anch'esso contrattualmente.

Con scopo introduttivo, vengono descritte le principali tipologie di contratto utilizzate nel settore dell'engineering & contracting, che sono:

- lump-sum
- a prezzi unitari
- rimborsabile

Il contratto "lump-sum" consiste nello stabilire l'intero compenso da corrispondere al fornitore, in modo che il prezzo totale delle future attività da svolgere sia prefissato e omnicomprensivo. In questo caso, il committente si limita a una verifica della corrispondenza dell'output fornito con i vincoli contrattuali. Questi in genere sono oggetto di una lunga negoziazione in quanto è interesse soprattutto del fornitore evitare possibili superamenti dei costi di progetto di cui non potrebbe rivalersi sul cliente, ma che potrebbero determinare richieste di indennizzo verso il cliente e

quindi possibili interferenze col corretto sviluppo del progetto. Quindi, il cliente da una parte è interessato ad evitare il venir meno della redditività del contratto per il fornitore dall'altra è protetto da problemi di asimmetria informativa o di competenze che non gli permetterebbero di valutare le procedure di lavoro adottate dal fornitore.

Il contratto "a prezzi unitari" prevede che siano concordati preventivamente i prezzi unitari delle risorse impiegate nel progetto ma non il prezzo totale che verrà definito a consuntivo sulla base del volume complessivo di risorse utilizzate. In questo modo, il rischio di stima dei costi unitari è a carico dell'esecutore del progetto, invece eventuali variazioni rispetto alla stima della quantità di risorse necessarie sono a carico del committente.

Il contratto "rimborsabile" prevede la copertura a consuntivo da parte del committente delle spese sostenute dall'esecutore del progetto, che in alcune varianti contrattuali può ottenere anche un margine prefissato. Questo tipo di accordo richiede una costante verifica da parte del cliente del lavoro fatto dal fornitore. Come emerge, il contratto è anche uno strumento di ripartizione dei rischi legati alla realizzazione del progetto tra gli attori coinvolti. Col contratto rimborsabile i rischi di stima sia della quantità di risorse necessarie che dei relativi costi unitari sono assegnati al committente

Anche se il contratto tende in generale a garantire che il fornitore fornisca una prestazione coerente con gli obiettivi del cliente, le diverse tipologie di contratto possono prevedere l'applicazione di incentivi legati al raggiungimento di obiettivi prefissati per esempio di tempo e/o costo.

Le strategie di base che tradizionalmente possono essere adottate dal committente per ottenere gli obiettivi appena descritti sono tre:

- progettazione/offerta/costruzione;
- progettazione/costruzione;
- construction management.

Col fine di ben comprendere il contesto in cui si è realizzato il progetto dell'infrastruttura trattata nel caso di studio, ciascuna strategia verrà presentata di seguito con i relativi vantaggi e svantaggi che comportano.

Prima di tutto è necessario chiarire il ruolo del committente, che si colloca al vertice di ciascun modello organizzativo. Il committente è colui che emette una richiesta di offerta per la realizzazione del progetto, organizzando una gara di appalto di tipo pubblico o privata. Al termine della gara, che coinvolge diversi potenziali contractor, il committente assume la responsabilità della gestione del contratto stipulato con l'azienda che si è aggiudicata la commessa. Tale responsabilità, valida per l'intero ciclo di vita del progetto, qualifica il committente come interlocutore diretto del committente, o del principale contractor nel caso di un insieme di appaltatori, fino al completamento del progetto stesso.

#### 4.2.1 Progettazione/Offerta/Costruzione

Il primo modello organizzativo prevede la netta separazione tra la fase di progettazione e quella di costruzione, che vengono così affidate a due società diverse. Questo modello è divenuto popolare coll'approssimarsi del nuovo millennio in risposta alla crescente specializzazione delle società di engineering & contracting ed è divenuto l'approccio predominante come conseguenza della progressiva frammentazione del processo di realizzazione di un progetto sempre più complesso. In figura 24 (Gould, Joyce, 2009) è illustrato l'approccio descritto di seguito.

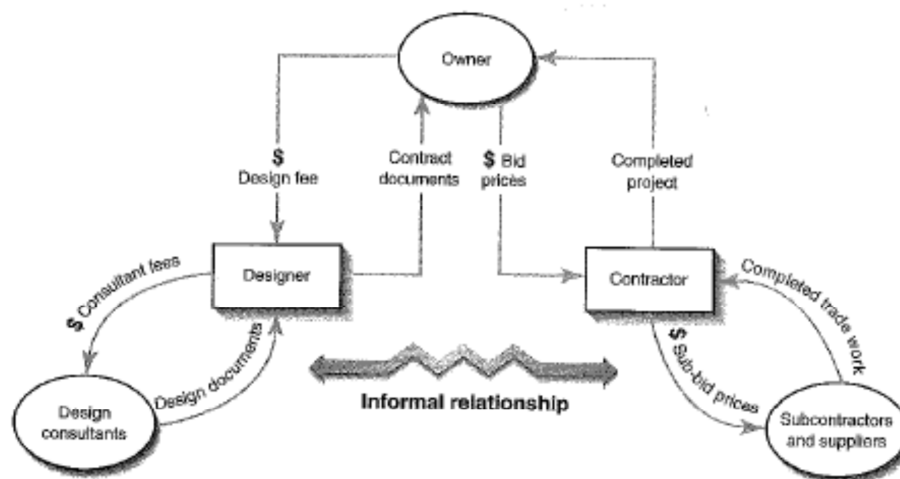


Figura 24: Approccio Progettazione/Offerta/Costruzione

Il committente affida la progettazione a una società di ingegneria, che predispone l'architettura di progetto con la relativa documentazione tecnica, a partire dai documenti di contratto. Alla società di ingegneria viene corrisposta solitamente una tariffa che può essere misurata come percentuale del costo stimato di costruzione o come soluzione unica omnicomprensiva, oppure viene stipulato un contratto rimborsabile.

Una volta predisposti i documenti rilevanti di progetto, il committente può avviare una gara di appalto o negoziare con uno specifico contraente, per offrire un contratto omnicomprensivo relativo alle attività di costruzione. In ogni caso, il committente riesce a imporre delle condizioni contrattuali competitive a suo favore. Il contraente selezionato sarà così responsabile della costruzione e del completamento dell'opera secondo le specifiche contrattuali. Talvolta, quando il contraente non dispone delle risorse necessarie per svolgere le attività costruttive in casa, i progetti prevedono la cooperazione di imprese diverse, delle quali si vuole utilizzare sinergicamente le risorse e le specifiche esperienze. Quindi il contraente principale si impegna a individuare dei subcontractors, ma la responsabilità sulla costruzione rimane sua.

Durante la fase di costruzione, il committente può chiedere ausilio al cosiddetto "architect" del mondo anglosassone, per amministrare il contratto nel caso in cui non riesce a farlo

internamente. La gestione del contratto consiste nel monitorare la qualità dei lavori, seguire le modifiche di ordine, certificare i pagamenti al contractor e assicurare la conformità rispetto alle specifiche contrattuali.

Questa modalità di lavoro, essendosi consolidata nel tempo, permette di definire chiaramente i ruoli e le responsabilità dei diversi attori, riducendo così il livello di rischio a proprio carico. Protegge in particolar modo il committente in quanto i rischi legati alla costruzione sono allocati all'impresa costruttrice, grazie al contratto lump-sum, che gli permette così di conoscere fin da subito il costo della costruzione e di partecipare meno attivamente alla gestione del contratto.

Tuttavia, ci sono degli svantaggi derivanti dalla separazione delle attività di progettazione da quelle di costruzione, che infatti sono caratterizzate da scarsa integrazione. Ciò comporta la definizione di specifiche tecniche che difficilmente riflettono i vincoli e le opportunità che possono emergere in fase di costruzione e che solitamente comportano un aumento dei costi di realizzazione. Il committente può aggirare questo problema, inserendo nel team di progetto fin dall'inizio delle figure professionali focalizzate sulle tematiche di costruzione. Inoltre, questo modello si distanzia dall'approccio basato sul concurrent engineering, in quanto riduce la sovrapposizione tra l'ingegneria e la costruzione, che invece è necessario spingere al massimo in un contesto progettuale vincolato a determinate tempistiche contrattuali. Infine, si crea facilmente un ambiente conflittuale tra i diversi ruoli coinvolti come conseguenza di una gestione indipendente del proprio lavoro che non facilita la collaborazione e l'interazione tra le parti. Questo è particolarmente influente quando si presentano condizioni non previste dal contratto, che ognuna delle parti tende ad aggravare a proprio favore e a discapito del committente. Quindi, questo tipo di organizzazione progettuale dipende molto dalla qualità dei documenti originati, che dovrebbero riuscire ad anticipare in fase di redazione le possibili variazioni in itinere.

#### **4.2.2 Progettazione/Costruzione**

La seconda modalità di organizzazione prevede un unico punto di contatto per il committente, che affida sia la progettazione che la costruzione ad una sola società, che sarà responsabile per l'intero ciclo di vita del progetto, anche se può ricorrere a sub contractors e/o consulenti (figura 25; Gould, Joyce, 2009). Si tratta di un approccio frequentemente usato nell'ambito di progetti industriali di tipo energetico, come la costruzione di una raffineria o di una centrale elettrica.

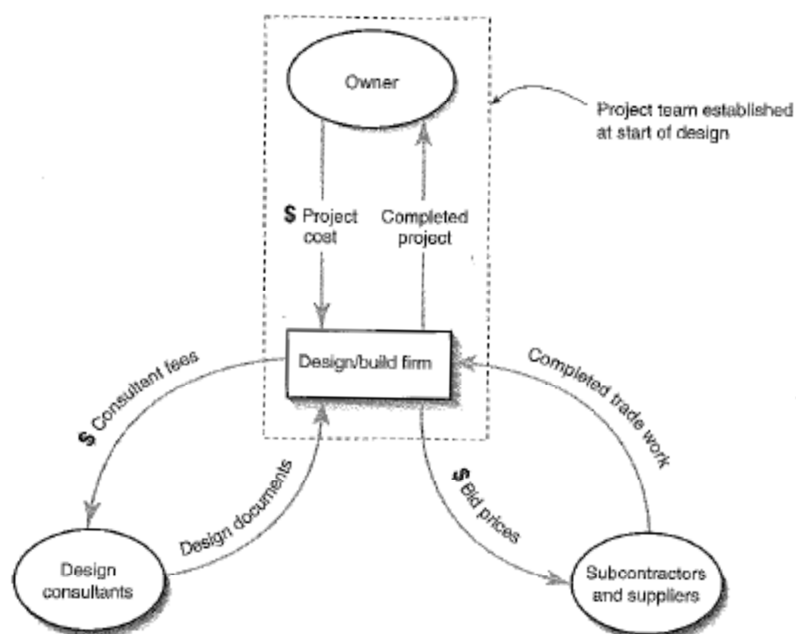


Figura 25: Approccio Progettazione/Costruzione

Un committente può preferire questo modello per avere un'unica interfaccia di comunicazione per seguire l'intero progetto, che può essere realizzato dalla società incaricata in un tempo ristretto grazie alla possibilità di applicare le tecniche di fast-tracking. Infatti, dal punto di vista della società contraente, la gestione del progetto viene facilitata grazie allo scambio di informazioni più veloce e alla stretta collaborazione di progettisti e costruttori. Quindi, rappresenta una soluzione di massima integrazione delle fasi di progetto, le quali richiedono un coordinamento da parte del committente relativamente inferiore rispetto ad altre modalità di organizzazione.

Dalla parte degli svantaggi, si colloca la scarsa applicabilità del contatto di tipo fisso alla relazione tra committente e contraente, perché quest'ultimo, essendo individuato prima della progettazione, potrebbe veicolare i lavori in cantiere in modo da rispettare il budget stabilito prematuramente, ma a discapito della qualità costruttiva per non sacrificare i propri profitti. Inoltre, se il progetto è gestito in maniera "fast-tracked", il committente non conosce il prezzo finale dell'opera se non quando una parte significativa viene completata. Infine, quest'approccio penalizza il monitoraggio e il controllo del progetto, poiché la società di progettazione e costruzione non produce documentazione, se non per scopi interni, volta a valutare la conformità delle prestazioni delle attività costruttive rispetto a quanto specificato nella fase di ingegneria. Di conseguenza, il contraente generale ha uno scarso incentivo a migliorare la qualità oltre il livello definito contrattualmente senza che il committente sostenga un costo aggiuntivo, che alla fine lo induce ad assumere un ruolo attivo e propositivo nei confronti del controllo di progetto.

### 4.2.3 Construction Project Management

La terza tipologia di macro organizzazione del progetto (figura 26; Gould, Joyce, 2009) consiste nel coinvolgere, oltre alla società di progettazione, una di “gestione della costruzione”, di diversa natura, prima dell’avvio delle attività di cantiere che verranno poi assegnate a una specifica società di costruzione.

In questo modo, il committente riesce ad integrare la progettazione con le esigenze della costruzione, affiancando ai progettisti un’altra società di ingegneria o una di consulenza o una di costruzione, in un periodo del ciclo di vita più vicino alla fase di definizione tecnica o a quella di approvvigionamento a seconda dell’esperienza e delle capacità del team di progetto impostato dal project manager.

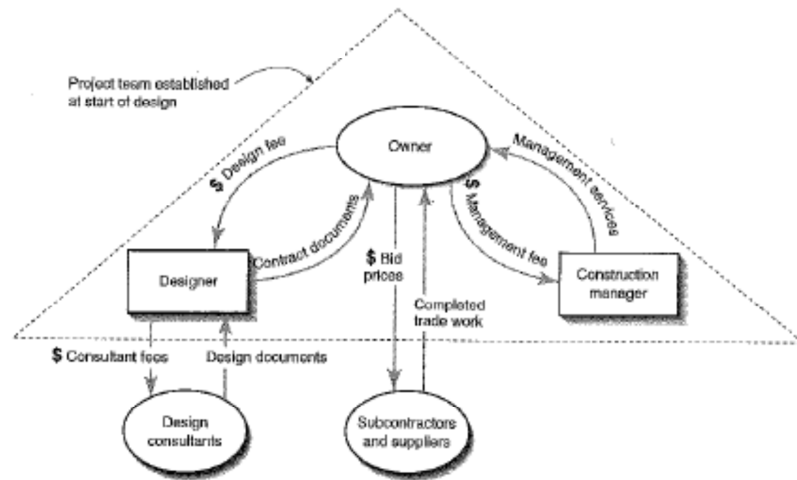


Figura 26: Approccio Construction Project Management

Questa modalità di organizzazione permette al committente di preparare la gara per l'affidamento dei lavori di costruzione con un grado di definizione delle specifiche tecniche elevato e affidabile, perché si basa su una forte collaborazione tra progettisti e esperti di costruzione. Ciò permette di anticipare vincoli e opportunità che si potranno presentare in fase di costruzione e di svolgere correttamente le attività di progettazione, approvvigionamento e costruzione in parallelo. Grazie a dei contratti basati sulle prestazioni di progetto, le società inizialmente coinvolte sono incentivate a ottenere risultati di “best-practices” relativamente a tempi e costi. Allo stesso tempo, il committente si garantisce il prezzo più competitivo per la fase di costruzione.

Il requisito fondamentale per l'ottenimento dei vantaggi appena descritti è un clima di collaborazione e flessibilità condiviso tra tutti i ruoli in gioco. E' necessaria soprattutto la disponibilità del committente a partecipare alle decisioni di progetto, più frequentemente di altri approcci, evitando di creare un sistema burocratico di procedure. Anche la gestione basata sul

concurrent-engineering è rischiosa se il coordinamento delle diverse società è scarso e se il loro coinvolgimento non avviene fin dalle fasi iniziali di sviluppo delle specifiche tecniche.

#### 4.2.4 Il ruolo del PMC nel modello di gestione del progetto

Il caso di studio trattato rappresenta il primo esempio di introduzione del ruolo del PMC (Project Management Consultant ) nel contesto italiano. Data la sua innovatività, le sue caratteristiche come figura professionale sono in formazione e adattamento alle specificità della gestione dei progetti in Italia. Tuttavia, raffrontando le esperienze di operatori italiani su progetti realizzati all'estero si possono rilevare e descrivere gli aspetti basilari in comune, riguardo all'organizzazione interna e alle competenze opportunamente adattate alle esigenze del mercato.

Nella realizzazione dell'infrastruttura oggetto di analisi, ma in generale nei grandi progetti di ingegneria, il Committente opera con scarsa simmetria di informazioni e competenze nei confronti del Contraente generale. Sempre più spesso, infatti, si trova a dover negoziare proposte di varianti al progetto derivanti da criticità ad alto contenuto tecnico, delle quali riesce con difficoltà a cogliere le cause originatrici, i rischi e gli impatti futuri su costi, tempi e qualità.

Proprio da questa evidente asimmetria, si è manifestata l'esigenza di affiancare uno specialista capace di produrre analisi specifiche e di interpretare gli eventi di commessa per conto del Committente. Il PMC per sua natura risponde a queste richieste fornendo una struttura di pronto intervento in grado di far emergere criticità e rischi e di trasferirli in maniera sintetica ed analitica al Committente agevolandone la presa di decisioni. Inoltre le analisi forniscono robusti strumenti per le fasi negoziali in caso di varianti in corso d'opera.

Rispetto ai modelli organizzativi presentati in fase introduttiva, nel presente caso di studio la configurazione in cui si è introdotto il PMC è quella che prevede l'affidamento sia della progettazione che della costruzione dell'infrastruttura a un'unica società, come illustrato in figura 27.

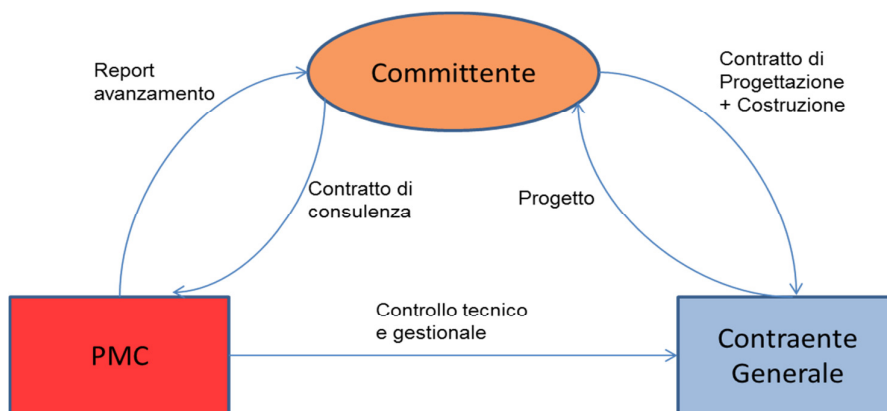


Figura 27: Approccio Progettazione/Costruzione con PMC



In questo scenario, vengono mantenuti i vantaggi del committente descritti per quest'approccio, mentre gli svantaggi vengono limitati fortemente grazie alla presenza del PMC. Infatti, da una parte l'integrazione di progettazione e costruzione permette l'efficienza nell'esecuzione delle fasi e l'applicazione di tecniche di compressione dei tempi, come le forzature all'interazione delle attività. Dall'altra parte, la mancata capacità di monitoraggio del committente sulle prestazioni del contraente generale viene compensata dalle competenze tecniche e gestionali del PMC. Infatti, la documentazione non prodotta (o prodotta poco realisticamente) dal contraente generale per le verifiche di conformità e per la valutazione dell'avanzamento di progetto viene elaborata (anche) dal PMC. Una volta che le criticità di dettaglio del progetto sono rese comprensibili al committente in termini di impatto sulle prestazioni complessive di progetto, sarà sua responsabilità implementare le azioni correttive eventualmente proposte dal PMC nei confronti del contraente generale. Con l'obiettivo di rendere trasparente lo stato del progetto al committente, il PMC ha adottato un piano di controlli diretti sulle attività e sulle risorse del contraente generale, ha proposto stime a finire realistiche sui tempi di realizzazione, ha verificato le ipotesi alla base dell'analisi dei rischi redatta dal contraente generale. Tuttavia, il PMC subisce ancora una forte limitazione sulle scelte tecniche che può suggerire al committente, anche se sono presenti evidenti margini di miglioramento. Ad esempio, il PMC, avendo generalmente esperienza anche in ambito realizzativo, potrebbe ritenere conveniente una determinata modalità di esecuzione dei lavori diversa rispetto a quella impiegata dal contraente generale.

#### *4.2.4.1 Descrizione attività svolte*

La figura del PMC, nella maggior parte dei casi e come avvenuto per la progettazione dell'infrastruttura oggetto di studio, interviene laddove il committente non è nelle condizioni di valutare i legami tecnico/economici del progetto. Il committente, quindi, chiede aiuto a dei professionisti, che possano intervenire a partire dalle attività iniziali di organizzazione della gara e stesura del contratto fino alle fasi di commissioning dell'opera.

Il PMC può svolgere un ruolo importante in tutte le fasi di progetto, principalmente nelle seguenti fasi di:

- gara, in cui può
  - identificare i contraenti generali,
  - svolgere due-diligence industriale dei contraenti generali,
  - confrontare i potenziali fornitori attraverso griglie di valutazione oggettive,
  - analizzare la competitività dei potenziali fornitori,
  - elaborare scenari di rischi e opportunità;
  
- progettazione (preliminare, definitiva, esecutiva), in cui può
  - analizzare lo stato di salute della commessa,
  - anticipare le criticità,
  - recuperare la marginalità,

- produrre reportistica efficace,
  - supportare le negoziazioni da varianti con analisi specifiche,
  - elaborare piani di recupero;
- costruzione, in cui può
    - controllare l'avanzamento fisico ed economico,
    - bilanciare i carichi di lavoro,
    - analizzare l'allocazione delle risorse,
    - controllare l'approvvigionamento.

Il contributo del PMC nelle differenti fasi del progetto è di diversa natura così come il rapporto effort/risultati ha una variabilità significativa. Infatti gli interventi del PMC nelle fasi iniziali della commessa (es. progettazione preliminare, definitiva) consistono nel presentare al committente i rischi che il contraente generale sta includendo nel progetto (es. raggiungere velocemente una milestone di pagamento). Interventi nella fase realizzativa del progetto, invece, in cui il PMC è chiamato a garantire il controllo dei lavori, sono caratterizzati da grande effort e "solo" contenimento delle inefficienze che si traducono spesso in extracosti ed allungamenti del tempo di progetto. Il diagramma già proposto inizialmente, e di seguito riportato in figura 28, mette in evidenza quali sono le fasi in cui l'intervento del PMC ha maggior influenza sui risultati e il minor costo di implementazione. Inoltre si evidenzia anche l'effort del PMC nelle diverse fasi progettuali.

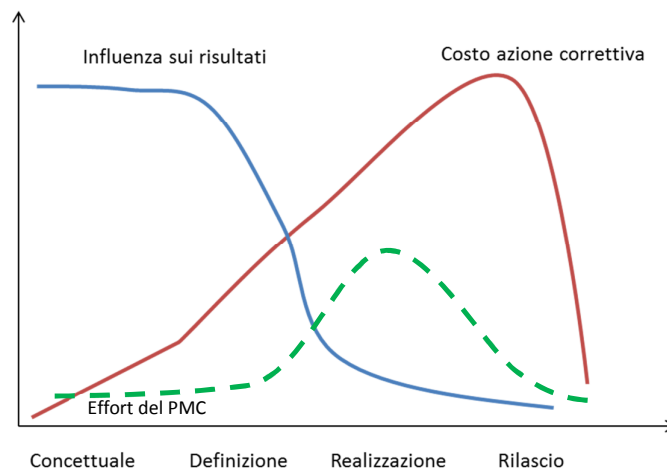


Figura 28: Effort del PMC nel ciclo di vita del progetto

L'azione di supporto del PMC si sviluppa sia nel controllo delle attività (progettuali, operative) del contraente generale, che vengono confrontate con le prestazioni richieste dal contratto, sia nel proporre al committente le opportune azioni correttive, motivate con le indicazioni della priorità in relazione all'effetto che esse possono generare sul progetto nel suo insieme.

Il PMC a differenza del contraente generale ha la capacità di costruire una dettagliata analisi dei rischi di progetto che copre anche l'asimmetria informativa tra contraente generale e

committente stimolando così una maggiore trasparenza tra gli attori. Svolge quindi una funzione di controllo di tipo proattivo e propositivo sull'intero progetto, che può concludersi con l'implementazione delle azioni correttive in corso di progetto, su decisione e responsabilità del committente.

La comunicazione (generalmente sviluppata in documenti informativi) è diretta al committente ma è volta a spingere il committente stesso a intraprendere azioni incisive per reindirizzare il progetto e mantenerlo nel corridoio di sicurezza (economica) programmata. Il punto di forza del PMC è proprio la capacità di identificare e segnalare modifiche di "rotta" del progetto per ottenere migliori risultati sul piano economico e temporale. Chiaramente, la sua applicabilità è tanto più efficace quanto prima entra in gioco, in quanto col procedere del ciclo di vita del progetto diminuisce la capacità di influire sui risultati complessivi. Infatti, il valore aggiunto apportato dal PMC è molto alto se la fase in cui è coinvolto è pre-costruttiva: ad esempio, grazie a una corretta impostazione del processo di ingegneria e di procurement e ad alcuni accorgimenti organizzativi può ridurre alcuni vizi che tipicamente causano ritardi e costi; ma il PMC può essere chiamato ad operare anche se l'esecuzione del progetto è avviata.

In generale, il PMC è fondamentale per la riduzione dei rischi legati al progetto, garantendo al committente un'attenta osservazione del rispetto delle condizioni contrattuali, garantendo anche un'adeguata preparazione nelle analisi industriali qualora il committente ritenesse opportuno avviare procedure di litigation nei confronti del contraente generale nel caso in cui quest'ultimo non generi prestazioni sufficienti.

#### *4.2.4.2 Mercato attuale e prospettive future*

I clienti a cui si rivolge il PMC sono quei committenti che avendo elevata disponibilità di risorse finanziarie, pianificano grandi progetti di investimento, ma necessitano di capacità di controllo tecnico e gestionale. Sempre di più il committente ha al suo interno risorse orientate a governare l'investimento, a dialogare con le pubbliche amministrazioni, interagire, in generale con gli enti che sono "colpiti" dall'opera. Si pensi ad esempio alla costruzione di un ponte, di una diga, di un grande elettrodotto o di un rigassificatore, e di quanto sia importante gestire le comunità locali per evitare che rendano difficile l'attuazione del progetto (oggi in Italia l'esempio più significativo è la costruzione della TAV in val di Susa).

Quest'esigenza si è manifestata originariamente nel Regno Unito, per poi coinvolgere tutto il mondo anglosassone, dove si è pienamente consolidata nella gestione delle grandi opere, sia pubbliche che private. Attualmente la richiesta dei servizi di PMC proviene anche dal Medio Oriente, comprendendo sia l'area araba che quella nord-africana, e dall'Estremo Oriente, la cui domanda è trascinata dall'enorme portata di investimenti effettuati in queste aree. Per quanto riguarda l'Italia, sono attualmente rare le opere che hanno visto la partecipazione del PMC al fianco del committente e quando previsto, non sempre si tratta di un'entità completamente indipendente.

La relazione col cliente viene formalizzata in un contratto di tipo rimborsabile, a differenza del rapporto tra committente e Contraente generale, che tipicamente è gestito con un contratto

lump-sum. Per l'acquisizione di un contratto da PMC sono richieste referenze in lavori da EPC (Engineering, Procurement, Construction), ma ciò che è necessario sono le competenze gestionali in ambito progettuale.

#### *4.2.4.3 Organizzazione e competenze*

L'erogazione di servizi di PMC sono una grande opportunità per differenziare il business in società che tradizionalmente operano come contraenti generali nel settore EPC, proponendo sul mercato la forte capacità di controllo di un grande progetto, a supporto del committente. Questo processo non è comunque semplice poiché la profonda competenza tecnica rischia di offuscare una visione gestionale di alto livello. Inoltre le aziende che tipicamente svolgono il ruolo di contraente generale sono organizzate per funzioni e discipline trovandosi così in difficoltà nel produrre analisi trasversali con una visione di progetto più ampia.

Dal punto di vista organizzativo, il PMC prevede una struttura speculare a quella del contraente generale, ma ricoprendo solo i livelli più alti, che coinvolgono il project manager e i responsabili delle diverse discipline, che a loro volta possono avvalersi di specialisti in base alle particolari necessità di lavoro. Tra i fattori di successo per l'assegnazione del contratto rientra quindi la qualità delle risorse rese disponibili per un determinato progetto, e per ciascuna delle quali il committente valuta: l'esperienza pregressa nel settore di riferimento, la conoscenza di opere simili, la fedeltà alla società di appartenenza, e tutte le caratteristiche culturali che rendono il PMC omogeneo al contraente generale. Il committente ricerca l'eccellenza dal PMC, in modo da potersi fidare, dando invece minore rilevanza alla remunerazione richiesta, perché la presenza di un ottimo PMC è spesso una garanzia di successo del progetto.

# 5. Risultato

In questo capitolo si offre una visione complessiva dei punti critici da monitorare nelle interdipendenze tra attività, ovvero i cosiddetti eventi di interfaccia tra ruoli organizzativi, fasi di progetto, discipline di dettaglio o parti di prodotto interconnesse tra loro. Inoltre, si presentano le considerazioni raccolte tra gli operatori di questo settore in relazione all'utilità della figura del PMC nel mercato italiano, proponendo una visione critica delle posizioni di chi opera come PMC, di chi richiede i suoi servizi e di chi subisce la sua presenza "in cantiere".

## 5.1 Il management delle interfacce di progetto e necessità di coordinamento

Malgrado i progressi compiuti con l'esperienza di decenni, nella collocazione organizzativa del project manager, e la disponibilità di sistemi e di procedure di pianificazione e di controllo sempre più potenti e sempre più familiari agli utilizzatori, molto si può ancora migliorare nel governo del progetto e, in particolare, delle interdipendenze (Archibald, 2004).

Spesso la conflittualità tra i diversi ruoli è eccessiva, il project manager è accettato con troppe riserve, i sistemi di pianificazione e di controllo sono poco sfruttati e i progetti non sono pianificati e controllati con l'efficacia che sarebbe invece possibile.

Per superare queste difficoltà di project management è necessario introdurre, o rafforzare se già presente, un sistema di gestione delle interfacce di progetto. L'idea fondamentale del management delle interfacce di progetto è la presenza di una struttura di governo complessivo di progetto capace di controllare gli eventi di passaggio tra ruoli organizzativi, fasi di progetto, discipline di dettaglio o parti di prodotto interconnesse tra loro.

Secondo l'esperienza osservata, il management delle interfacce di progetto consente di:

- definire meglio i ruoli e le responsabilità:
  - migliore comprensione dell'utilità del project manager e accettazione più convinta di tale ruolo,
  - chiarimento dei ruoli e delle responsabilità dei singoli specialisti e dei coordinatori per le singole funzioni,

- riduzione dei conflitti fra il project manager, i functional project leader, i capi funzione e i singoli specialisti;
- migliorare la pianificazione e il controllo del progetto:
  - disponibilità di buoni punti di connessione fra i livelli di schedulazione e fra i sottoprogetti e i loro piani,
  - identificazione migliore del grado di dettaglio per ciascun livello di schedulazione
  - accettazione più convinta e uso più diffuso dei sistemi di pianificazione e di controllo;
- rinsaldare i legami fra i membri del team, con vantaggio per il lavoro comune:
  - migliore lavoro in team, grazie all'identificazione dei punti d'interazione fra i compiti assegnati alle singole funzioni,
  - riconoscimento della validità del lavoro in team, attraverso l'identificazione comune dei principali punti d'interfaccia per il progetto.

In una struttura orientata al progetto, da una parte il project manager pianifica, programma e controlla gli eventi di interfaccia del progetto, dall'altra i responsabili di funzione coinvolti coordinano i compiti fra questi eventi. Si tratta dell'esplicitazione e della formalizzazione del modo in cui il project manager e i functional project leaders si dividono le responsabilità di progetto e del modo in cui essi collaborano gli uni con gli altri, nella generalità dei progetti. Ad esempio, grazie ai cosiddetti "accordi di interfaccia" nelle procedure progettuali, specialmente nei grandi progetti impiantistici, si stabiliscono le regole fondamentali per il rapporto fra il committente, il project manager, l'impresa capocommessa e i principali appaltatori. Sotto tale aspetto, il termine "interfaccia" si riferisce ai rapporti organizzativi correnti fra gli attori di progetto. Ma questo termine si può riferire anche all'interazione fra altre parti di progetto.

Una prima distinzione delle interfacce prevede quelle di prodotto e quelle di progetto. Le interfacce di prodotto riguardano specificamente ciò che le attività di progetto producono e si distinguono a loro volta in interfacce di prestazione, costituite fra i sottosistemi o i componenti del prodotto, e in interfacce fisiche, che coinvolgono le parti di prodotto interconnesse fra loro. Le interfacce di progetto riguardano invece il processo con il quale si producono quei risultati e si suddividono in:

- interfacce di passaggio di responsabilità: intervengono quando si completa un certo compito e il suo risultato viene trasmesso ad un altro membro del team di progetto, o ad un'altra organizzazione, per l'esecuzione di ulteriori lavori. Rientra in questo caso, ad esempio, la specifica tecnica per una certa fornitura che viene trasmessa dall'ingegneria agli acquisti.
- Interfacce di precedenza: intervengono quando i risultati di un'attività sono necessari per l'inizio di un'altra attività. Ad esempio, le fondamenta vanno completate prima che gli impianti di processo possano essere installati.
- Interfacce di management: riguardano decisioni, approvazioni e altre azioni di management che influiscono sulle altre interfacce di progetto, su attività specifiche o sul progetto nel

complesso. E' il caso di un'approvazione da parte di un dirigente relativamente a un contratto per lo sviluppo d'un sistema software necessario al progetto.

- Interfacce verso il cliente: riguardano azioni simili alle interfacce di management ma che coinvolgono il committente, come ad esempio, l'approvazione da parte del cliente dell'impostazione generale di un progetto di sviluppo software.
- Interfacce d'informazione: riguardano informazioni o dati elaborati in un'attività e necessari ad uno a più altre attività. Ad esempio, il passaggio d'informazioni sulle condizioni del suolo, raccolte in campo dal geologo e necessarie agli ingegneri che progettano le fondamenta di un nuovo edificio.
- Interfacce di materiale: riguardano attrezzature, impianti, forniture e altri elementi fisici che vanno resi disponibili in un determinato luogo, per far procedere i lavori. Ad esempio, lo spostamento da un luogo a un altro di una gru di portata sufficiente a sollevare un certo macchinario.

Ciascun tipo di interfaccia di progetto può essere rappresentato da eventi d'interfaccia, che indicano un'azione, in una certa data (prevista, programmata o effettiva). La grande diversità delle interfacce di progetto determina quindi l'importanza della capacità di governarle e di integrarle per raggiungere il successo del sistema progetto. I più importanti eventi d'interfaccia vengono infatti indicati nel piano generale e nella schedulazione generale di progetto, mentre tutti gli eventi d'interfaccia vengono indicati nei piani di dettaglio (ad esempio quello reticolare).

Inoltre, occorre considerare che le interdipendenze di progetto possono avere un carattere statico o dinamico se cambiano o meno le loro caratteristiche in base all'avanzamento seguito dal progetto (Cleland, King, 1988). Ad esempio, la relazione tra ingegneria e costruzione è di tipo statico perché l'influenza reciproca rimane invariata anche se il progetto cambia in termini di modalità di lavoro con cui vengono svolte. Invece la relazione con gli stakeholder è di tipo dinamico in quanto i loro interessi sono legati a come si svolge il progetto. Ne deriva che le interfacce dinamiche richiedono in genere una maggiore attenzione dal punto di vista del controllo, che viene gestito con attività di monitoring (report, review point, ...) per valutare lo stato dell'evento associato e previsto. Anche se la natura dinamica richiede un controllo continuo, le interfacce di tipo statico non hanno minore importanza in quanto determinano le relazioni di base su cui costruire la gestione dell'intero progetto.

La conoscenza delle interdipendenze e dei problemi strutturali che ne derivano permette di impostare il progetto in modo da prevedere le tecniche più adeguate per garantire l'efficienza e l'efficacia della gestione dell'intero progetto.

La criticità delle interfacce di progetto e di conseguenza del sistema che le governa si accresce dal momento in cui vengono adottate logiche di forzatura alle interazioni delle attività critiche. Infatti, la spinta sovrapposizione delle attività che ne deriva, anche se da una parte induce una riduzione della durata di progetto, dall'altra porta a una necessità di intensificare il coordinamento e l'integrazione dei ruoli per produrre soluzioni condivise e con basso grado di indeterminazione. In particolare, dal punto di vista dell'incertezza, l'integrazione delle scelte progettuali delle diverse discipline coinvolte permette di definire le caratteristiche del progetto in modo robusto ma la

forzatura nell'avvio anticipato di fasi e attività comporta un maggior peso dell'affidabilità delle ipotesi su cui si basa l'anticipo stesso. L'applicazione di forzature al progetto comporta quindi anche la necessità sia di verificare le ipotesi di avanzamento dei lavori sia di controllare costantemente gli effetti diretti e indiretti delle prestazioni di un'attività su quelle delle attività che seguono a cascata.

Gli strumenti di pianificazione e controllo descritti in questo lavoro hanno proprio lo scopo di individuare i punti critici di interazione tra attività su cui focalizzare l'attenzione e il coordinamento (metodo ADePT, rappresentazione reticolare attività/stakeholder) e di prevedere le relazioni di fasi successive, in termini di avanzamento sia pianificato che realizzato (Curve ad S sequenziate).

Il metodo ADePT permette l'ottimizzazione delle interazioni tra attività ma è specifico della progettazione e risente dell'onerosità dei calcoli matriciali. Questo strumento è efficace anche nell'individuare le attività e le informazioni prioritarie per anticipare gli approvvigionamenti e la costruzione. Inoltre, grazie all'identificazione delle interazioni tra attività indica le aree in cui intensificare il coordinamento. Tuttavia, la difficoltà di analisi delle attività previste per ogni tipologia di indagine, oltre all'indisponibilità di un software necessario per l'elaborazione della matrice DSM, hanno ostacolato l'applicazione del metodo ADePT nel caso di studio per individuare le interazioni ottimali tra le attività di progettazione preliminare. Nonostante ciò è stato possibile riscontrare le interazioni nell'ambito delle indagini geognostiche, a partire dalla rappresentazione incrociata delle attività con gli stakeholder di dettaglio.

La rappresentazione delle relazioni tra la sequenza logico-temporale di attività e gli attori coinvolti per la loro esecuzione si è dimostrata efficace nell'ottenimento di una visione complessiva dell'elaborazione della documentazione tecnica in fase di progettazione. Nel caso particolare dell'interdipendenza tra la mappatura del territorio e il modello geotecnico, si possono monitorare i rilasci intermedi verso ruoli di altre fasi, necessari per anticiparne l'avvio. Questo strumento si pone anche come base su cui valutare quali attività porre in parallelo e dove apportare le forzature.

Se il metodo ADePT e la rappresentazione incrociata di attività e stakeholders permettono un'analisi di dettaglio del progetto, le "curve ad S" sono uno strumento di pianificazione e controllo che sintetizzano lo stato del progetto in termini di prestazioni di tempo e costo. Con questo strumento si può creare un modello dinamico del progetto, riportando in sequenza e con l'opportuno grado di sovrapposizione gli andamenti delle fasi operative. Oltre a poter individuare le regolarità che si presentano nei progetti di engineering & contracting, il modello presentato è fondamentale per sintetizzare a valle le conseguenze delle deviazioni riscontrate sulle attività in corso e quindi per effettuare le previsioni a finire. In particolare, le curve ad S sequenziate permettono di definire le regolari interdipendenze che si manifestano tra gli andamenti delle fasi operative di un progetto:

- l'avanzamento dell'approvvigionamento, in termini di valore impegnato, anticipa in modo significativo l'avanzamento dell'ingegneria di dettaglio e in modo ancora più rilevante l'avanzamento della fase di costruzione;



- l'avvio del cantiere avviene in corrispondenza di un avanzamento di circa il 40% dell'approvvigionamento e di circa il 10% dell'ingegneria, di cui ha priorità maggiore l'ingegneria dei lavori civili in quanto propedeutica alla creazione dell'ambiente di lavoro;
- l'arrivo a regime dei processi di montaggio elettro-meccanico, avvenuti i lavori civili, richiede un avanzamento di circa l'80% dell'ingegneria di dettaglio;
- il ritardo di risposta, ovvero la differenza temporale, tra la curva di avanzamento di costruzione/montaggio e quella dell'ingegneria di dettaglio è pari almeno al 30% della durata del progetto. In altre parole, l'ingegneria di dettaglio è in anticipo rispetto alla fase di costruzione, in quanto quest'ultima dipende dalla prima;
- mentre la curva di avanzamento del montaggio arriva rapidamente al completamento dei lavori, le curve di approvvigionamento e ingegneria proseguono nella parte conclusiva del progetto con un andamento asintotico, ovvero con tassi di avanzamento ridotti, in quanto accompagnano lo sviluppo dei lavori in cantiere, determinando il cosiddetto "effetto di trascinamento". Ciò è una conseguenza delle iterazioni tra le prime fasi e la costruzione, come avviene nel caso esemplare della preparazione della documentazione "as built". Un trascinamento della fase di costruzione/montaggio sarebbe invece indice di scarsa efficienza dell'ingegneria di dettaglio oppure di un ritardo nella consegna dei materiali in cantiere.

Quindi, le prestazioni di progetto, essendo legate alla gestione delle diverse interfacce, richiedono una chiara definizione delle responsabilità dei ruoli in modo che ci sia un riferimento univoco nel caso si verifichi uno scostamento dell'avanzamento realizzato rispetto a quello pianificato. Il ruolo del PMC rappresenta una soluzione anche su questo punto di vista, grazie alla sua capacità di presentare una configurazione di progetto completa e chiara. La sua esperienza nella gestione di progetti complessi gli permette anche di associare correttamente le prestazioni di determinate attività ai ruoli con le competenze adatte a svolgerle.

#### 4.3.4 Discussione sull'efficacia del ruolo del PMC

Nel caso di studio affrontato in questa sede si è osservata l'utilità del PMC nel rendere comprensibile al committente la situazione in cui progressivamente si veniva a trovare il progetto. Quindi, il committente si è ritenuto soddisfatto del suo operato nonostante le limitazioni delle scelte tecniche che poteva implementare.

Tuttavia, la piena efficacia del PMC si manifesta laddove può avere una visibilità completa sui processi del contraente generale e sulla sua struttura interna, per conoscere le criticità su tempi, costi e qualità di realizzazione. Pertanto, la condizione necessaria per creare l'utilità del PMC in un

determinato contesto progettuale è l'esistenza della cultura di Project Management tra gli attori coinvolti, in particolare per il committente e il contraente generale, oltre che per il PMC. Ne consegue la possibilità di lavorare in un clima di fiducia e di collaborazione che permette: al PMC di avere trasparenza sui processi interni del contraente generale; al cliente di applicare i consigli provenienti dal PMC; e al contraente generale di rispettare i termini contrattuali, grazie a una pianificazione più realistica e integrata e all'implementazione delle soluzioni proposte dal PMC su problemi locali. Inoltre, si ridurranno i rischi di ritardo, di extra-costi e di sicurezza lungo l'intero ciclo di vita del progetto.

In particolare, prendendo in esame la situazione italiana, dove manca una larga diffusione e comprensione della cultura del Project Management, il contraente generale cambierebbe l'ottica di gestione del progetto, attualmente incentrata sul recupero dei costi strategicamente sottostimati in fase di offerta per l'aggiudicazione della gara e sulla piena autonomia nell'operare secondo il proprio piano, a favore di un dialogo costruttivo col PMC, del rispetto dei tempi pianificati, del miglioramento della qualità, e di una minore variazione del costo finale dell'opera rispetto a quanto preventivato.

Un'ulteriore condizione per l'efficacia del controllo è l'indipendenza del ruolo del PMC rispetto al contraente generale, perché in sua assenza nascerebbero conflitti d'interessi tra le parti.

Infine, è necessaria anche l'incentivazione del PMC nel proporre soluzioni correttive, per creare una figura forte vicina al committente, riconoscendogli la responsabilità sulle conseguenze delle azioni proposte, senza creare una sovra-strutturazione delle procedure che porterebbe solo a un costo aggiuntivo per il committente e a rallentamenti per il contraente generale.

Una visione molto critica nei confronti dell'efficacia del PMC si riscontra in un'analisi empirica condotta su un insieme di grandi progetti internazionali, in diversi settori (Merrow, 2011). La conduzione del progetto con l'ausilio del PMC non dimostra avere risultati sostanzialmente differenti dal caso in cui questo ruolo non è presente, rispetto ai quali è più alta la probabilità di fallimento! Il rispetto della tempistica e la qualità dei lavori hanno risultati medi, ma dal punto di vista dei costi si ottengono prestazioni insoddisfacenti, raggiungendo un extra budget del 40%. Le diseconomie create dal PMC si manifestano soprattutto laddove è presente un contratto di tipo lump-sum. L'autore trova una motivazione a questi effetti nello scetticismo con cui viene accolto il PMC da parte degli altri contraenti coinvolti nel progetto. Si crea, quindi, un clima di sfiducia derivante dall'elevato potere del PMC nel decidere le sorti del progetto, grazie alla vicinanza al committente. Infatti, i contraenti credono che il PMC tenda ad impostare una modalità lavorativa quanto più vicina e conforme alle sue procedure interne, riuscendo anche a denigrare l'operato degli altri contraenti. In conclusione, l'autore dell'analisi col fine di migliorare l'efficacia della figura del PMC consiglia di: includerlo nella struttura organizzativa del committente, che ha la responsabilità suprema; non coinvolgere il PMC nell'esecuzione dei lavori, rendendo chiari i confini delle sue decisioni nei confronti di tutti i contraenti; ricercare per questo ruolo una società di engineering & contracting di secondo livello, ricordando che è necessario che fornisca le sue capacità per dare supporto al cliente e ai contraenti, e non per gestire il progetto.

## Conclusioni

Lo scopo di questa tesi è quello di comprendere la natura delle relazioni tra le fasi di un grande progetto di ingegneria in modo da poter individuare le criticità di gestione e valutare gli impatti derivanti dalle interdipendenze esistenti. Di conseguenza possono essere identificati gli approcci gestionali capaci di governare i problemi strutturali che ne derivano.

Una prima focalizzazione è sulle fasi operative, di cui in seguito si analizzano l'ingegneria e la costruzione. La divergenza delle caratteristiche intrinseche di queste fasi rende l'integrazione dei punti di contatto, detti anche interfacce, un aspetto fondamentale per la corretta gestione del progetto nel complesso. Infatti, in un'ottica di gestione in parallelo delle fasi, la conoscenza delle interdipendenze e delle relazioni causa-effetto permette di pianificare nel dettaglio le azioni volte a governare gli impatti che un'attività di una fase può avere su quelle che seguono a cascata. Inoltre, le interdipendenze operative tra le fasi comportano l'identificazione dei ruoli da coinvolgere per poter integrare le competenze specialistiche in ogni risultato prodotto dalla determinata fase, in modo da trasmettere a valle soluzioni robuste, condivise e con un basso grado di indeterminazione.

Con particolare riferimento all'interdipendenza tra la fase di ingegneria e quella di costruzione, le criticità gestionali da governare riguardano: l'elaborazione progressiva, l'interfunzionalità e l'approccio "construction driven".

La documentazione tecnica elaborata per approssimazioni successive comporta un processo iterativo di adattamento delle esigenze manifestate dagli attori delle diverse discipline specialistiche. Quindi, il coinvolgimento delle diverse aree funzionali deve essere tempestivo per aumentare il grado di definizione del progetto e contemporaneamente ridurre l'incertezza. Inoltre, si crea la necessità di intensificare il coordinamento delle interazioni tra diversi ruoli che reciprocamente si scambiano informazioni utili alla definizione dei documenti tecnici di cui sono responsabili. La pianificazione del legame tra ingegneria e costruzione prevede anche la definizione delle priorità con cui devono essere elaborati i documenti tecnici necessari ad avviare quelle attività di cantiere legate alle prime scadenze fissate dal cliente.

La criticità di questo insieme di informazioni diventa tanto più rilevante per la pianificazione di progetto quanto maggiore è il ricorso a logiche di forzature delle interazioni tra fasi. Comportando un aumento della sovrapposizione tra fasi, e in particolare delle attività critiche, accresce anche l'importanza della gestione del rischio.

Prendendo in riferimento l'intero progetto, una delle principali forzature riguarda gli approvvigionamenti. Gli ordini dei materiali da approvvigionare (ordini aperti) saranno lanciati in anticipo per approfittare di prezzi competitivi disponibili sul mercato o per attenuare i rischi di cantiere mediante un'anticipata disponibilità di materiali. Tuttavia, questi ordini detti "aperti" sono basati su stime ipotetiche dei fabbisogni che se non si verificano compromettono le previsioni sia sui tempi che sui costi non solo della fase di approvvigionamento ma anche della progettazione e della costruzione, come conseguenza delle interdipendenze esistenti tra loro.

Infatti, si dovrà valutare il rischio di costi extra da riconoscere in corso di esecuzione ai costruttori per la non completa definizione dei parametri tecnici.

Altre motivazioni riscontrate nel lavoro di tesi per l'applicazione delle forzature sono:

- l'anticipazione di una determinata disciplina al fine di assorbire una certa disponibilità di personale, che può portare a una diminuzione della produttività delle risorse e quindi a un maggior consumo di ore;
- l'anticipazione delle attività che conducono alla realizzazione di un determinato evento, al cui verificarsi sia legato contrattualmente l'incasso di una rata consistente dell'importo contrattuale, per necessità finanziarie dell'azienda. La conseguenza è che la commessa dovrà assorbire la maggiorazione dei costi provocata da questo squilibrio su altre attività.

Quindi, le forzature sulle attività critiche permettono la riduzione della durata del progetto, ma i vantaggi in termini sia di tempo che di costo devono essere pesati con l'eventuale incremento della probabilità di accadimento dei rischi di progetto. Col fine di ottimizzare la gestione del progetto, anche l'attività di identificazione di nuove sorgenti di incertezza diventa cruciale, così come l'identificazione delle corrispondenti responsabilità dei ruoli sulle prestazioni di progetto. In questo modo il controllo delle criticità viene facilitato grazie alla rapida implementazione delle azioni correttive in presenza di un eventuale scostamento dell'avanzamento realizzato da quello pianificato.

Gli strumenti presentati per gestire le interdipendenze di progetto vengono applicati a un caso di studio relativo a un grande progetto di ingegneria, da cui si rileva che la rappresentazione incrociata di attività e stakeholders congiuntamente alle curve ad S sono efficaci nell'individuare le criticità gestionali e nel valutare gli effetti diretti e indiretti sulle attività interrelate. Tuttavia, se il committente non ha la capacità di comprendere lo stato tecnico del progetto, questi strumenti vengono utilizzati dal contraente generale, che non sempre riporta valutazioni al committente realistiche e affidabili. La soluzione che si presenta a valle dei risultati avuti nel caso di studio è l'introduzione del ruolo del PMC come sistema di governo del progetto al fianco del committente. Come manifestato nel caso di studio e dall'esperienza di diversi esperti del settore, la piena efficacia di questa nuova figura è ancora da raggiungere in Italia, dove soprattutto non esiste una completa diffusione e comprensione della cultura di Project Management.

Le criticità nella gestione di un grande progetto emerse nell'analisi teorica delle interdipendenze e confrontate poi con la realtà del caso di studio, possono essere associate alle cosiddette interfacce di progetto. A valle dello studio affrontato vengono riepilogate per offrire una visione complessiva dei punti critici da monitorare. Questi possono fare riferimento alle relazioni tra: responsabilità; attività o loro risultati; ruoli o organizzazioni, tra cui il committente; materiali e risorse in generale.

Inoltre, si osserva come le prestazioni di progetto, essendo legate alle diverse interfacce, richiedono una chiara definizione delle responsabilità dei ruoli in modo che ci sia un riferimento univoco nel caso si verifichi uno scostamento dell'avanzamento realizzato rispetto a quello pianificato. Il ruolo del PMC rappresenta una soluzione anche su questo punto di vista, grazie alla sua capacità di presentare una configurazione di progetto completa e chiara. La sua esperienza

nella gestione di progetti complessi gli permette anche di associare correttamente le prestazioni di determinate attività ai ruoli con le competenze adatte a svolgerle.

In conclusione si può affermare che i tradizionali approcci all'organizzazione di una commessa non fanno emergere con chiarezza e trasparenza le criticità operative derivanti dalla presenza delle interdipendenze tra fasi e ruoli. Anche se è diffusa la consapevolezza della necessità di integrazione della fase di ingegneria e quella di costruzione, la rassegna delle metodologie e degli strumenti di pianificazione e controllo delle interdipendenze ha rilevato l'assenza di un modello di integrazione tra ingegneria e costruzione, che consideri anche l'insieme dei ruoli coinvolti in queste fasi.

Il percorso seguito con questa tesi mette, quindi, in evidenza la necessità di un sistema di governo del progetto capace di:

- monitorare le prestazioni e far emergere le criticità di progetto,
- integrare e coordinare sia le attività che i ruoli,
- identificare la migliore soluzione locale per il recupero di eventuali ritardi e/o extra costi,
- supportare il committente e il project manager nel prendere decisioni sul controllo dell'avanzamento.

Infine, con questa tesi si cercherà di apportare un contributo teorico ai lavori che sono già stati svolti nel ricostruire le logiche fondamentali di organizzazione delle particolari fasi di ingegneria e costruzione, le quali mantengono la loro validità anche al mutare della tipologia di progetto. Il sistema di governo delle problematiche presentate può essere una soluzione organizzativa, quale è il ruolo del PMC, ma se questa figura da una parte deve ancora realizzarsi pienamente dall'altra è solo un punto di partenza per individuare ulteriori soluzioni per il controllo tecnico del progetto.

A fronte della necessità di un sistema completo di governo delle interdipendenze di progetto, le limitazioni e le difficoltà di analisi si sono riscontrate in primo luogo nella scarsa trattazione della tematica delle interdipendenze tra fasi e ruoli di progetto nell'ambito letterario. Altresì, la forte innovatività del ruolo del PMC ha portato alla sola possibilità di interviste mirate agli esperti del settore engineering & contracting, con l'esperienza "in campo" sia da PMC che come suo interlocutore. Si è avvertita addirittura una confusione sul significato del termine PMC. Per quanto riguarda il caso di studio, invece, il tentativo ambito di applicazione delle metodologie introdotte, quali ad esempio l'ADePT, non si è potuto concretizzare totalmente a causa dell'onerosità del lavoro che sarebbe stato necessario per avere una visione completa e dettagliata delle attività del progetto trattato.

# BIBLIOGRAFIA

Archibald R. D. (2004), *“Project Management: la Gestione di Progetti e Programmi Complessi”*, FrancoAngeli

Austin S., Baldwin A., Li B., Waskett P. (1999 a), *“Analytical Design Planning Technique (ADePT): Programming the Building Design Process”*

Austin S., Baldwin A., Li B., Waskett P. (1999 b), *“Analytical Design Planning Technique (ADePT): a Model of the Detailed Building Design Process”*

Austin S., Baldwin A., Li B., Waskett P. (2000), *“Analytical Design Planning Technique (ADePT): a Dependency Structure Matrix Tool to Schedule the Building Design Process”*

Caron F. (2009), *“Gestione dei Grandi Progetti di Ingegneria: il Project Management in Azione”*, Isedi

Cleland D. I., King W. R. (1988), *“Project Management Handbook”*, Van Nostrand Reinhold

Faniran O. O., Love P. E. D., Treloar G., Anumba C. J. (2001), *“Methodological Issues in Design-Construction Integration”*

Ford D. N., Sterman J. D. (2003), *“Overcoming the 90% Syndrome: Iteration Management in Concurrent Development Projects”*

Forrester J. W. (1961), *“Industrial Dynamics”*, MIT Press

Friedrich D. R., ASCE M., Daly J. P., Dick W. G. (1987), *“Revisions, Repairs, and Rework on Large Projects”*

Gould F., Joyce N. (2009), *“Construction Project Management”*, Pearson Education

Gray C., Hughes W. (2001), *“Building Design Management”*, Butterworth Heinemann

Hendrickson C., Au T. (1989), *“Project Management for Construction”*, William J. Hall

Koskela L., Vrijhoef R. (2000), *“The Prevalent Theory of Construction is a Hindrance for Innovation”*

Love P. E. D., Gunasekaran A., Li H. (1998), *“Concurrent Engineering: a Strategy for Procuring Construction Projects”*

Morrow E. W. (2011), *“Industrial Megaprojects: Concepts, Strategies, and Practices for Success”*, Wiley

Mitchell A., Canter M., Hoxley M. (2004), *“Planning the Detailed Design Stage of Construction Projects and the Interface with Procurement”*

Mitchell A., Frame I., Coday A. (2010), *"A Conceptual Framework of the Interface between the Design and Construction Processes"*

National Audit Office, Department for Culture, Media and Sport (2007), *"The budget for the London 2012 Olympic and Paralympic Games"*

National Audit Office, Department for Culture, Media and Sport (Feb., 2011), *"Preparations for the London 2012 Olympic and Paralympic Games: Progress report February 2011"*

Project Management Institute (2004), *"A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)"*, Project Management Institute

Rossi G. (1986), *"Project Management: le Tecniche di Gestione dei Progetti"*, Isedi

Vidal L. A., Marle F. (2008), *"Understanding Project Complexity: Implications on Project Management"*

Vrijhoef R., Koskela L., Howell G. (2001), *"Understanding Construction Supply Chains: an Alternative Interpretation"*

Wickramatillake C. D. (2004), *"Co-ordinating Multi-plans within a Large Scale Project"*

# APPENDICE

## A) Intervista a:

- direttore tecnico Franco Bocchetto, *Parsons Corp. – Divisione italiana*
- specialista geognostica Luigi Caravani, *Parsons Corp. – Divisione italiana*

**Obiettivo:** Descrizione costruzione infrastruttura italiana, su cui basare il caso di studio

### Argomenti:

- Identificazione del reticolo di attività per svolgere le indagini geognostiche, con relativi input (informativi/contrattuali/..) e output (ovvero input per altre funzioni), e loro relazioni con gli stakeholders;
- Valutare la complessità del reticolo, aggiungendo ricircoli, branch, approvazioni, etc;
- Analisi delle attività con Gantt e curva a S;
- Descrizione delle cause di ritardo/extracosto;
- Analisi modalità di gestione/valutazione di un ritardo nei lavori di geognostica;
- Analisi di gestione delle modifiche di lavoro a seguito di un cambiamento delle specifiche di progettazione
- Analisi impatto diretto e indiretto di un ritardo sul processo di progettazione, mettendo in evidenza le interazioni tra attività;
- Analisi del processo di integrazione di diversi piani di dettaglio;
- Valutare l'utilizzo di approssimazioni e ipotesi sulla progettazione;
- Descrizione dell'impatto sulle prestazioni finali di progetto.



## B) Intervista a: coordinatore tecnico John Donatelli, *ex Parsons Corp.*

Obiettivo: Coordinamento tecnico delle attività di progetto

Argomenti:

- Introduzione all'analisi di progetto
- *Introduction to the project analysis*
  - Quali sono le competenze necessarie per il coordinamento tecnico delle attività di progetto?
  - *Which are the core competence to coordinate technically the activities of a project?*
  - E' un ruolo di coordinamento orizzontale tra le diverse fasi di progetto? Quali sono gli attori a cui si rivolge?
  - *It's a role of horizontal coordination among the different phases of project? Who are the actors of reference?*
  - Che livello di analisi delle attività viene seguito (informazioni a livello macro su un'attività?)
  - *Which is the level of analysis followed? The activity information belong to a macro level?*
  - I lavori sono gestiti sulla base di una pianificazione delle attività stabilita a monte del progetto?
  - *The works needed are managed on the basis of a top-down schedule? Or the planning begin from the duration of the activities?*
  - Quali sono gli strumenti di pianificazione delle attività più diffusi in relazione al grado di comprensione di chi li deve leggere?
  - *Which are the planning instruments most used for the activities level? It's like a standard use or there is a choice related to the user comprehension?*
- Analisi delle interdipendenze tra fasi di progetto
- *Analysis of the interdependencies among the project phases*
  - Come vengono gestite le interdipendenze di attività/attori di diversi processi operativi previsti in un progetto? C'è un modello di analisi delle interferenze tra processi?
  - *How are managed the interdependencies of phases/actors of different operative processes scheduled in a project? There is an analysis model of this relationships?*
  - Che grado di indipendenza c'è tra le macro fasi di progetto? Ci sono regolarità nei progetti di ingegneria?
  - *How much independently run the macro phases of the project? Are there some standard overlapping in the engineering projects?*

- Chi si occupa della comunicazione con i diversi attori delle diverse fasi? C'è un modo per rendere flessibili le interdipendenze e non creare una struttura rigida?
- *Who managed the communication among actors or directors of the different phases? There is a way that make the interdependencies flexible and not a rigid structure?*
- Analisi dei ritardi
- *Delays analysis*
  - Esiste un sistema di gestione dei ritardi che preveda l'identificazione della/e causa/e, la valutazione degli impatti temporali/economici sulle attività a valle, l'identificazione delle soluzioni correttive in relazione alla causa?
  - *Does it exist a system of delays management that include the identification of the causes, the assessment of the temporal and economic effects on the following activities, the identification of a reaction strategy?*
  - Come viene gestito il trade-off tra l'impatto temporale e quello economico di un ritardo o di una sua soluzione?
  - *How is managed the trade-off between the temporal impact and the economic one of a delay or of its solution?*
  - Quali sono i ritardi più prevedibili?
  - *Which are the most predictable delays?*
  - Nella pianificazione della durata delle attività viene previsto un tempo di recupero per ritardi (quelli molto probabili)? C'è quindi un sovradimensionamento sistematico della durata?
  - *In the activity duration planning is included a make up time for delays (the most predictable ones)? Hence, is it practice the duration oversizing?*
  - Sono previsti dei meccanismi di identificazione delle responsabilità di un ritardo e quindi dei meccanismi sanzionatori?
  - *Are used identification mechanisms of the responsibilities of a specific delay and then sanction measures for them?*
  - Vengono previste le cause di forza maggiore (esogene) che possono rallentare/bloccare i lavori lungo l'intera durata del progetto e come vengono gestite?
  - *Are foreseen external causes that slow down or stop the works along the entire project life time and how they are managed?*
  - Come si concilia l'approccio iterativo della progettazione con quello sequenziale della costruzione? Esiste una soglia di avanzamento della progettazione alla quale si può avviare sicuramente l'approvvigionamento di materiali e altre risorse per la costruzione?
  - *How is coordinated and combined the iterative approach of the design with the sequential one of the construction? Does it exist a level of the design progress for which can start without uncertainty the procurement of the materials and other resources for the construction?*
  - Come vengono gestiti i ritardi dovuti all'ottenimento delle autorizzazioni necessarie, le quali devono seguire diversi livelli burocratici nella pubblica amministrazione? Parallelo con organizzazione anglosassone

- *How are managed the delays due to the achievement of the authorizations needed to begin works, that have to follow different bureaucratic levels in the public administration? Link to the American/English organization*
- Se ci sono problemi con un fornitore strategico/specialista che ne prevedono la sostituzione, che procedura si segue (una nuova gara di appalto?) e qual è l'impatto sui tempi/qualità della progettazione? Parallelo con organizzazione anglosassone
- *If there are problems with a strategic/specialized supplier that will be changed, which is the procedure followed (a new bid?) and what is the impact on the duration/quality of the design? Link to the American/English organization*
- Un ritardo in fase di progettazione che impatto ha sull'organizzazione del lavoro e sulla mobilitazione delle risorse per le attività a valle (risorse che seguono dei tempi di lavoro definiti contrattualmente), ed, infine, sui cash flow di progetto? Ad esempio, da una parte le risorse umane sono costi fissi da sostenere comunque, dall'altra parte, il mancato inizio dei lavori non genera i flussi finanziari previsti nel periodo.
- *Which is the impact of a delay in the design phase on the work organization and the resources use scheduled for the following activities (there are resources that have working time contractually defined), and, finally, on the project cash flow? For example, on a side the human resources are fixed costs also if they don't work, on the other side, the missed start of the works doesn't generate the scheduled cash flows of the period.*
- Che tempi ci sono tra la rilevazione del ritardo, comunicazione al responsabile, e implementazione dell'azione correttiva? Parallelo con organizzazione anglosassone.
- *How much time is needed from the identification of the delay occurred, the communication to the responsible, and the implementation of the corrective action? Link to the American/English organization*

## C) Intervista a: ing. Giuliani, *Foster Wheeler International Corp.*

Obiettivo: Analisi del PMC (ruolo, mercato, organizzazione) dal punto di vista di un PMC

Argomenti:

- **Mercato**

- Quali sono i motivi per cui è nata la figura del PMC?
- Perché il committente chiede aiuto al PMC?
- In quali fasi il PMC è chiamato a dare supporto (stesura del contratto, gestione del progetto, supporto tecnico per il progetto, gestione della costruzione, supporto tecnico per la costruzione, gestione per il commissioning, supporto tecnico per il commissioning). Può essere contattato anche se il progetto è avviato?
- Il PMC potrebbe essere chiamato anche per la gestione del progetto una volta realizzato?
- In quali aree geografiche è più sviluppata la figura del PMC e quali sono le prospettive future?
- Perché in Italia non si sente parlare di PMC per alcune grandi opere (Expo Milano, TAV, Piano Nucleare pre-Fukushima, ...)
- A che tipologia di clienti si rivolge? Contraenti Generali o Committenti? Se Committenti, di che tipo sono? (entità finanziarie, istituzioni pubbliche, ecc.)
- Quali sono le caratteristiche dei clienti potenziali a cui può rivolgersi un PMC, in termini di dimensione/ settore/.. ?
- Com'è percepita una società che abitualmente svolge il ruolo di Contraente generale e che offre anche i servizi da PMC?
- Esistono società che nascono specializzate nel fornire solo servizi da PMC?

- **Servizi**

- Quanto è richiesto il supporto tecnico e quanto quello gestionale per il committente?
- E' difficile per FW erogare servizi PMC in settori che non sono affini a quelli di FW stessa?
- Quali sono i fattori che determinano la scelta di un PMC rispetto a un altro? Quindi, quali sono le leve strategiche per conquistare un committente?
- In cosa si concretizza il valore aggiunto apportato al committente in termini di prestazioni di progetto? Ci sono anche vantaggi per il cliente che però non vengono percepiti?
- E' più vantaggioso specializzarsi sulle competenze tecniche oppure avere anche competenze gestionali?

- Come variano i fatturati, i rischi, gli investimenti e i margini per commesse da Contraente generale a PMC?

- **Organizzazione**

- FW ha storicamente svolto attività di Contraente generale. Qual è il modello di business di un PMC (organizzazione/competenze/ servizi offerti...) e quali sono le differenze significative rispetto all'organizzazione di un Contraente generale?
- Quali sono gli strumenti utilizzati per individuare le criticità di progetto?
- Generalmente i contratti come regolano il comportamento del PMC? Come opera il PMC? In casa del Contraente generale, in casa del Committente o a casa propria?
- Come viene gestita la relazione col committente se questi non ha le competenze specifiche per valutare nel dettaglio le criticità tecniche del progetto?
- Come viene disciplinato il caso in cui la stessa società sia allo stesso tempo PMC in un progetto e GC in un altro progetto che può avere delle correlazioni col primo o viceversa?
- Che grado di conoscenza del progetto e che potere decisionale ha il PMC?
- Il PMC è tenuto solo a valutare l'andamento dei lavori o può anche intervenire?
- Ci sono realtà in cui il PMC ha incarichi operativi e può intervenire sulle scelte del Contraente generale?

- **Altre**

- Quali sono i punti di debolezza di un PMC nell'assegnazione di commesse e, in particolare, quali resistenze trova in Italia?
- Il PMC può avere il duplice effetto positivo per il cliente e per il CG nel rispetto del contratto (scope of work, specifiche di prodotto...), evitando quindi l'insorgere di claims?

## D) Intervista a: ing. Iperiti, *Techint Group*

Obiettivo: Analisi del PMC, dal punto di vista del Contraente generale

Argomenti:

- **Organizzazione**

- Che influenza ha il PMC sulla gestione di un progetto da parte del Contraente generale? (aspetti positivi e negativi) Progetti con/senza la presenza del PMC hanno struttura organizzativa diversa?
- Il PMC incide maggiormente sulla struttura di ingegneria/operation o sulla struttura di Project Management/project execution
- Il Contraente generale riesce a sfruttare le competenze del PMC a proprio vantaggio? Se sì, come? Se no, perché? Ad esempio, la presenza del PMC può essere vista come opportunità per il CG per dimostrare le sue capacità tecniche a un committente poco competente?
- Il PMC "impone" modalità di lavoro diverse da quelle consolidate del Contraente generale? Come vengono gestite queste variazioni in itinere?

- **Performance**

- Come variano le marginalità del Contraente generale con l'introduzione del PMC?
- C'è una maggiore attenzione al rispetto delle condizioni contrattuali?
- La presenza del PMC ha un impatto sulla valorizzazione dei rischi operativi/gestionali/organizzativi da parte del Contraente generale? Aumenta la stima delle contingenze/rischi o diminuisce?
- Da quando il PMC diventa visibile al CG? (condivisione contratto/capitolato, request for information, Request for quotation, gara, progettazione preliminare, progettazione definitiva, progettazione esecutiva, costruzione, commissioning, manutenzione)
- Esiste un tema di diversa reattività (velocità di analizzare e produrre rapporti) tra PMC, CG e Committente?
- Come è percepita dal mercato una società che offre anche servizi da PMC?

- **Relazione**

- Ci sono difficoltà nel rapporto PMC-Contraente generale generate da temi di comunicazione? (linguaggi diversi, cultura diversa, processi del Contraente generale non conosciuti, ecc.
- Il PMC ha generalmente un rapporto diretto con il Contraente generale o passa sempre attraverso il Committente? Come è generalmente impostato il rapporto tra i tre attori (PMC, CG, Committente)
- Quale visibilità viene data al PMC dei processi interni al Contraente generale?
- Come è cambiato il ruolo del Committente con la presenza del PMC?

- **Altri**

- Vedendo il PMC come un supervisore dei lavori, la sua presenza non si traduce in uno stimolo al miglioramento per il GC sia per aumentare le asimmetrie informative sia per dimostrare un miglior rispetto dei vincoli contrattuali, ottenendo quindi marginalità più alte?
- Considerando l'attività del PMC come uno dei servizi di una società di ingegneria e costruzioni, il GC potrebbe stabilire delle relazioni commerciali favorevoli per delle forniture straordinarie se il contesto lavorativo lo rende necessario? Ad esempio, se le risorse umane mobilitate dal GC sono in sovraccarico in un determinato periodo, potrebbero esserci dei contratti col PMC a condizioni favorevoli rispetto a quelle di mercato per attingere alle sue risorse, che così diventano un buffer di sicurezza.

## E) Analisi dell'andamento del budget delle Olimpiadi di Londra 2012

<b>Financial Sources</b>	<b>£ million</b>	<b>London Olympic Games 2012</b>		
National Lottery				
1) Proceeds from designated Olympic lottery games – from the Olympic Lottery Distribution Fund	750			
2) Spending by the sports lottery distributors	340			
3) General lottery proceeds – from the National Lottery Distribution Fund	410			
		<b>feb-05</b> (£ million)	<b>mar-07</b> (£ million)	<b>dic-10</b> (£ million)
National Lottery total	1.500	1.500	2.175	2.175
Greater London Authority – council tax precept		625	625	625
London Development Agency		250	550	250
<b>Total public sector funding package</b>		<b>2.375</b>	<b>3.350</b>	<b>3.050</b>
Exchequer funding		<b>1.044</b>	5975	6248
Total public funding available		<b>3.419</b>	<b>9.325</b>	<b>9.298</b>
Private sector Budget		<b>738</b>	<b>165</b>	
Public Budget necessary		<b>3.298</b>		
<b>Total Estimated Budget for whole project</b>		4036	9.325	9298



## ***RINGRAZIAMENTI***

La stesura del presente documento di tesi, redatto ai fini della laurea magistrale in Ingegneria Gestionale, ha visto la partecipazione e il supporto di numerose persone , che desidero ringraziare tutte, a partire dalla mia famiglia e gli amici, che mi hanno motivato nel raggiungimento di questa importante tappa, fino agli esperti del mondo accademico e aziendale per il loro apporto contenutistico. Un grazie particolare va a Martina che ha contribuito soprattutto alla resa estetica del documento e alle continue revisioni grammaticali.