



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA GESTIONALE**

MODELLO INTEGRATO DI PIANIFICAZIONE E CONTROLLO PER LO SVILUPPO DI NUOVI PROGETTI

Relatore

Chiar.mo Prof. Alberto Regattieri

Presentata da

Enrico Daolio

Correlatore

Davide Rompianesi

Sessione marzo 2026

Anno Accademico 2025/2026



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA GESTIONALE**

MODELLO INTEGRATO DI PIANIFICAZIONE E CONTROLLO PER LO SVILUPPO DI NUOVI PROGETTI

Relatore

Chiar.mo Prof. Alberto Regattieri

Presentata da

Enrico Daolio

Correlatore

Davide Rompianesi

Sessione marzo 2026

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

Introduzione.....	1
Capitolo 1: Metodologie e strumenti di Project Management	3
1.1 Introduzione al Project Management	3
1.2 Complessità dei progetti di sviluppo prodotto	4
1.2.1 Complessità tecnica.....	4
1.2.2 Complessità organizzativa	5
1.2.3 Complessità temporale e pressione sul time-to-market	5
1.2.4 Complessità normativa e certificativa.....	5
1.2.5 Incertezza commerciale e variabilità della domanda	5
1.3 Visione end-to-end del progetto	6
1.4 Pianificazione temporale: diagramma di Gantt.....	7
1.5 Critical Path Method e gestione delle dipendenze	8
1.6 Milestone, modello Stage-Gate e Start of Production (SOP).....	10
1.6.1 Le milestone come punti di controllo	10
1.6.2 Il modello Stage-Gate	11
1.6.3 Start of Production (SOP)	11
1.6.4 Criticità nella gestione delle milestone	12
1.6.5 Integrazione tra milestone e pianificazione temporale	12
1.7 Gestione dei progetti in assenza di un Project Manager	12
1.7.1 Struttura funzionale e coordinamento distribuito.....	13
1.7.2 Rischi organizzativi.....	13
1.7.3 Il ruolo implicito di coordinamento	13
1.7.4 Impatti sulla performance di progetto	14
1.7.5 Evoluzione possibile del modello organizzativo	14
1.8 Collegamento con il caso studio	14
Capitolo 2: Contesto aziendale e organizzativo	16
2.1 Presentazione dell'azienda.....	16
2.2 Gamma prodotti	17
2.2.1 Sollevatori telescopici rotativi (RTH).....	17
2.2.2 Sollevatori telescopici fissi (TH)	18
2.2.3 Sollevatori telescopici <i>heavy duty</i> (HTH).....	19
2.2.4 Sollevatori telescopici fissi agricoli (HTA).....	20

2.3	Struttura organizzativa e ruoli coinvolti nei progetti	21
2.4	Tipologia di progetti di sviluppo prodotto	23
2.5	Modalità attuali di coordinamento inter-funzionale.....	24
2.6	Considerazioni di sintesi	24
Capitolo 3: Analisi del modello di gestione dei progetti (AS-IS).....		26
3.1	Obiettivo, perimetro e metodologia dell'analisi AS-IS.....	26
3.1.1	Perimetro dell'analisi	26
3.1.2	Fonti informative e approccio metodologico	26
3.1.3	Logica di lettura dell'AS-IS	27
3.2	Il modello attuale di gestione progetto (AS-IS)	27
3.2.1	Pianificazione iniziale e assenza di una baseline formalizzata	27
3.2.2	Pianificazione per funzione e integrazione parziale delle dipendenze	28
3.2.3	Governance del progetto e riunioni interfunzionali	29
3.2.4	Gestione delle modifiche tecniche e stabilizzazione del prodotto	30
3.2.5	Integrazione normativa e gestione delle milestone critiche	31
3.2.6	Controllo economico e monitoraggio del costo macchina.....	32
3.2.7	Sintesi del modello AS-IS	33
3.3	Evidenze dai casi studio	34
3.3.1	Il progetto TH 4.15/19 S/SP.....	34
3.3.2	Il progetto THA 3,5.7/9 (gamma agricola)	35
3.3.3	Confronto tra i casi e conferma del modello AS-IS	36
3.4	Criticità AS-IS e implicazioni per il modello migliorativo.....	36
Capitolo 4: Modello TO-BE di pianificazione e controllo dei progetti		38
4.1	Modello TO-BE di pianificazione integrata end-to-end	38
4.1.1	Formalizzazione delle macro-fasi (Stage-Gate).....	39
4.1.2	Work Breakdown Structure	43
4.1.3	Gantt master unico e integrazione delle dipendenze.....	45
4.1.4	Definizione della baseline e gestione delle variazioni di piano	47
4.1.5	Applicazione integrata del modello TO-BE al progetto TH 3.6 E.....	48
4.2	Analisi temporale del progetto TH 3.6 E mediante CPM	49
4.2.1	Costruzione della rete logica del progetto.....	50
4.2.2	Determinazione del percorso critico	51
4.2.3	Rappresentazione del diagramma reticolare	52

4.2.4 Simulazione degli scostamenti e analisi di sensitività	53
4.3 Modello strutturato di gestione delle modifiche tecniche	55
4.3.1 Limiti del modello AS-IS nella gestione delle modifiche tecniche	56
4.3.2 Modello decisionale per la gestione preventiva delle modifiche tecniche.....	58
4.3.3 Indice di Impatto della Modifica Tecnica (IMT)	59
4.3.4 Simulazione applicata al progetto TH 3.6 E – Caso reale impianto di raffreddamento....	61
4.4 Introduzione di un Project Progress Index (PPI) integrato	63
4.4.1 Limiti degli strumenti di controllo considerati singolarmente.....	63
4.4.2 Formalizzazione matematica del Project Progress Index (PPI).....	64
4.4.3 Applicazione numerica del PPI al progetto TH 3.6 E (scenario baseline e scenario con MT)	67
4.4.4 Analisi di sensitività del PPI rispetto ai pesi strategici	71
4.4.5 Limiti metodologici del Project Progress Index	73
4.5 Strutturazione dei momenti di coordinamento progettuale.....	74
4.6 Integrazione degli strumenti e coerenza sistemica del modello TO-BE.....	76
Capitolo 5: Confronto tra modello AS-IS e modello TO-BE.....	78
5.1 Logica e criteri del confronto.....	78
5.2 Confronto strutturale tra modello AS-IS e modello TO-BE	79
5.3 Implicazioni sulla gestione temporale del progetto	79
5.4 Gestione delle modifiche tecniche	80
5.5 Sistema di monitoraggio dell'avanzamento del progetto.....	80
5.6 Coordinamento e governance del progetto	81
5.7 Valutazione dell'impatto economico dell'implementazione del modello TO-BE	81
5.7.1 Costi di implementazione del modello TO-BE.....	82
5.7.2 Costi operativi del modello per progetto.....	83
5.7.3 Benefici economici attesi	84
5.7.4 Valutazione economica complessiva e ROI	84
5.7.5 Analisi di sensibilità della valutazione economica	84
5.8 Limiti del modello proposto e possibili sviluppi futuri.....	85
Conclusioni.....	87
Riferimenti.....	89

Introduzione

I progetti di sviluppo prodotto rappresentano uno dei processi più complessi e strategicamente rilevanti per le imprese manifatturiere. L'introduzione di nuovi prodotti o l'evoluzione di gamme esistenti richiede infatti il coordinamento simultaneo di numerose attività tecniche, produttive, normative ed economiche, che coinvolgono diverse funzioni aziendali e devono essere gestite nel rispetto di vincoli temporali e competitivi sempre più stringenti.

In questo contesto, la capacità di pianificare e controllare efficacemente i progetti di sviluppo prodotto assume un ruolo centrale per garantire il rispetto delle milestone di mercato, contenere i costi industriali e ridurre il rischio di modifiche tardive nelle fasi avanzate del ciclo di sviluppo. La crescente complessità tecnologica dei prodotti, l'intensificazione delle normative tecniche e l'aumento della pressione sul time-to-market rendono tuttavia sempre più necessario adottare strumenti strutturati di project management in grado di supportare il coordinamento tra le diverse funzioni coinvolte nel progetto.

Nonostante ciò, in molti contesti industriali la gestione dei progetti di sviluppo prodotto si basa ancora su meccanismi operativi fortemente dipendenti dall'esperienza dei team e dal coordinamento interfunzionale informale, piuttosto che su modelli formalizzati di pianificazione integrata e controllo sistemico del progetto. Questa impostazione può risultare efficace nel gestire le attività operative quotidiane, ma può limitare la capacità di anticipare l'impatto di criticità tecniche o modifiche progettuali sullo sviluppo complessivo del prodotto.

Il presente lavoro di tesi si inserisce in questo contesto e ha l'obiettivo di analizzare e migliorare le modalità di pianificazione e controllo dei progetti di sviluppo prodotto all'interno di un'azienda manifatturiera operante nel settore delle macchine industriali. In particolare, l'attenzione è rivolta ai progetti caratterizzati da elevata complessità tecnica e normativa, nei quali la presenza di modifiche tecniche durante le fasi di validazione e industrializzazione può influenzare significativamente la durata complessiva del progetto e il costo finale del prodotto.

La ricerca è stata sviluppata attraverso un approccio articolato in tre fasi principali.

1. È stato definito un quadro teorico di riferimento relativo ai principali strumenti di project management applicabili ai progetti di sviluppo prodotto, con particolare attenzione alla pianificazione temporale, alla modellazione delle dipendenze tra attività e ai sistemi di monitoraggio dell'avanzamento progettuale.
2. È stata condotta un'analisi della situazione attuale (AS-IS) relativa alla gestione dei progetti all'interno dell'organizzazione oggetto di studio Magni Telescopic Handlers. Tale analisi è stata sviluppata attraverso l'esame di due progetti recenti di sviluppo prodotto, che hanno consentito di ricostruire il modello gestionale adottato dall'azienda e di evidenziarne le principali caratteristiche operative e criticità.
3. Sulla base delle evidenze emerse dall'analisi AS-IS è stato quindi sviluppato un modello migliorativo di gestione dei progetti (modello TO-BE), finalizzato a introdurre strumenti integrati di pianificazione e controllo. Il modello proposto combina diversi strumenti metodologici consolidati nella letteratura del Project Management, tra cui la strutturazione del progetto mediante Work Breakdown Structure, la pianificazione integrata tramite Gantt master, la formalizzazione delle macro-fasi secondo una logica stage-gate e l'analisi delle dipendenze temporali attraverso il Critical Path Method. Accanto a tali strumenti, il lavoro introduce anche alcuni elementi metodologici di supporto decisionale sviluppati nell'ambito della ricerca, in particolare viene proposto un Indice di **Impatto della Modifica Tecnica**

(IMT), finalizzato a valutare in modo sintetico gli effetti temporali ed economici delle modifiche progettuali, e un **Project Progress Index (PPI)**, concepito come indicatore sintetico dello stato di avanzamento del progetto che integra dimensione temporale, economica e grado di completamento delle milestone principali. Il modello TO-BE è stato applicato al progetto di sviluppo del modello elettrico TH 3.6 E, al fine di verificare la coerenza operativa degli strumenti proposti e di analizzare in modo quantitativo le principali vulnerabilità temporali ed economiche del progetto.

La parte finale del lavoro è dedicata al confronto tra il modello AS-IS e il modello TO-BE, con l'obiettivo di valutare i benefici derivanti dall'introduzione di strumenti più strutturati di pianificazione e controllo. In particolare, il confronto analizza le implicazioni del nuovo modello sulla gestione temporale del progetto, sulla gestione delle modifiche tecniche, sul sistema di monitoraggio dell'avanzamento e sul coordinamento interfunzionale tra le diverse aree aziendali. Viene inoltre proposta una valutazione economica dell'implementazione del modello TO-BE, stimando in modo cautelativo i benefici potenziali derivanti da una maggiore capacità di anticipare l'impatto delle modifiche tecniche ad alto impatto durante lo sviluppo del prodotto.

La struttura della presente tesi è riportata di seguito.

Il Capitolo 1 introduce il quadro teorico di riferimento relativo alla gestione dei progetti e agli strumenti di pianificazione e controllo utilizzati nel project management.

Il Capitolo 2 presenta il contesto aziendale nel quale si inserisce il lavoro di ricerca, descrivendo l'organizzazione oggetto di studio, le caratteristiche principali dei prodotti del portafoglio aziendale e le funzioni aziendali coinvolte nei progetti.

Il Capitolo 3 analizza il modello attuale di gestione dei progetti nell'organizzazione oggetto di studio (AS-IS).

Il Capitolo 4 presenta il modello migliorativo proposto (TO-BE) e ne applica gli strumenti al caso del progetto TH 3.6 E.

Il Capitolo 5 sviluppa il confronto tra i due modelli e propone una valutazione dell'impatto economico dell'introduzione degli strumenti di pianificazione e controllo proposti.

Capitolo 1: Metodologie e strumenti di Project Management

Il Project Management rappresenta oggi uno degli strumenti fondamentali per la gestione di progetti complessi, in particolare nei contesti industriali caratterizzati da elevata integrazione tra attività tecniche, normative ed economiche. Nei processi di sviluppo prodotto, la pianificazione e il controllo delle attività consentono di coordinare le diverse funzioni aziendali coinvolte, ridurre i rischi di ritardi e migliorare la prevedibilità dei risultati. (Archibald, 2004)

Negli ultimi decenni sono stati sviluppati diversi modelli e strumenti metodologici finalizzati a supportare la pianificazione e il monitoraggio dei progetti. Tra questi assumono particolare rilevanza strumenti quali la Work Breakdown Structure (WBS), i diagrammi di Gantt e le tecniche di analisi reticolare, tra cui il Critical Path Method (CPM). Tali strumenti consentono di rappresentare in modo strutturato le attività di progetto, le relazioni di precedenza tra le diverse fasi e i vincoli temporali che ne determinano la durata complessiva.

Il presente capitolo introduce i principali concetti teorici e metodologici che costituiscono il riferimento per le analisi sviluppate nei capitoli successivi. In particolare, verranno descritti gli strumenti di pianificazione e controllo del progetto che saranno successivamente utilizzati per analizzare il modello organizzativo attualmente adottato (AS-IS) e per costruire il modello migliorativo proposto (TO-BE).

1.1 Introduzione al Project Management

Il contesto competitivo in cui operano le imprese manifatturiere è oggi caratterizzato da una crescente complessità tecnico-organizzativa, da pressioni continue su costi e tempi e da un'accelerazione dell'innovazione. Globalizzazione, aspettative più elevate dei clienti e riduzione dei cicli di vita dei prodotti hanno spostato l'attenzione dalla sola efficienza operativa alla capacità di governare **iniziative di cambiamento** in modo strutturato e coordinato.

In tale scenario, il Project Management assume un ruolo centrale come disciplina a supporto della pianificazione e del controllo di iniziative complesse e temporanee. Secondo la definizione del Project Management Institute (Project Management Institute, 2021), un progetto è uno “sforzo temporaneo intrapreso per creare un prodotto, servizio o risultato unico”, evidenziando la presenza di un arco temporale definito e la specificità dell'output generato. A differenza dei processi operativi, che si basano su ripetitività e standardizzazione, un progetto è caratterizzato da maggiore incertezza iniziale e richiede un coordinamento interfunzionale lungo tutto il proprio ciclo di vita.

Il Project Management può essere inteso come l'applicazione di conoscenze, strumenti e tecniche finalizzate a trasformare obiettivi in risultati misurabili, garantendo coerenza tra tempi, risorse e vincoli. Nei contesti industriali, tale funzione non si esaurisce nella programmazione delle attività: comprende anche il governo delle interdipendenze tra funzioni e la gestione dei trade-off che emergono durante lo sviluppo. Decisioni assunte in una fase possono infatti propagare effetti sulle successive, influenzando approvvigionamenti, industrializzazione, costi e scadenze. (Project Management Institute, 2021)

Nei progetti di sviluppo prodotto, questo aspetto è particolarmente rilevante perché la realizzazione del risultato dipende dal contributo coordinato di funzioni diverse – ad esempio ufficio tecnico, acquisti, produzione, qualità e omologazioni – che operano con logiche e priorità differenti. In assenza

di una visione integrata, il rischio è che la gestione proceda per ottimizzazioni locali e interventi correttivi successivi, con difficoltà nel mantenere un allineamento stabile rispetto al piano iniziale.

Un ulteriore elemento di complessità nei macchinari industriali è rappresentato dai vincoli normativi e certificativi, che introducono attività spesso non comprimibili e dipendenti anche da attori esterni. In questo senso, il Project Management non costituisce soltanto una pratica tecnica di pianificazione, ma un meccanismo organizzativo di governo del progetto: rende esplicite le dipendenze, supporta decisioni coerenti con gli obiettivi e contribuisce alla tracciabilità degli scostamenti rispetto a una baseline condivisa.

In prospettiva strategica, i progetti rappresentano inoltre il principale strumento attraverso cui l'impresa implementa le proprie traiettorie di innovazione: lo sviluppo di nuove gamme, l'adozione di tecnologie emergenti o l'ingresso in segmenti di mercato differenti richiedono la capacità di tradurre obiettivi competitivi in percorsi operativi controllabili. Di conseguenza, l'efficacia del Project Management incide direttamente sulla competitività aziendale, non solo in termini di rispetto delle scadenze, ma anche di sostenibilità economica e stabilità del processo di sviluppo.

1.2 Complessità dei progetti di sviluppo prodotto

I progetti di sviluppo prodotto in ambito industriale presentano un livello di complessità significativamente superiore rispetto a iniziative di natura ripetitiva o puramente esecutiva. Tale complessità deriva dall'interazione simultanea di variabili tecniche, organizzative, temporali, normative ed economiche, che evolvono nel corso del progetto e richiedono un coordinamento continuo tra le diverse funzioni aziendali. (Magnacca, 2023)

A differenza dei processi operativi standardizzati, lo sviluppo di un nuovo prodotto è caratterizzato da un elevato grado di incertezza iniziale. Le specifiche possono evolvere durante il percorso progettuale, alcune soluzioni tecniche vengono validate solo in fase prototipale e le decisioni prese nelle fasi iniziali possono produrre effetti rilevanti nelle fasi successive. Questa dinamica rende necessario considerare il progetto come un sistema integrato, in cui le attività non possono essere analizzate isolatamente ma devono essere lette nel quadro delle loro interdipendenze.

1.2.1 Complessità tecnica

Dal punto di vista tecnico, lo sviluppo prodotto implica la progettazione e l'integrazione di molteplici componenti e sottosistemi, spesso appartenenti a domini tecnologici differenti. Il percorso progettuale comprende normalmente attività di progettazione preliminare e dettagliata, realizzazione del prototipo, validazione funzionale e verifiche di sicurezza, fino alle attività di testing e certificazione. (Russo & Panizzolo, 2010)

In questo contesto, le modifiche tecniche rappresentano una dinamica fisiologica del processo di sviluppo. Le criticità individuate durante i test o le analisi prototipali possono richiedere revisioni progettuali che, a loro volta, influenzano altri elementi del sistema. In letteratura questo fenomeno è noto come *change propagation*, ovvero la propagazione delle modifiche tecniche lungo le interdipendenze tra componenti, processi e attività di progetto. La gestione di tali dinamiche richiede quindi strumenti di pianificazione e coordinamento in grado di anticipare e controllare gli effetti delle variazioni.

1.2.2 Complessità organizzativa

Accanto alla dimensione tecnica, i progetti di sviluppo prodotto sono caratterizzati da una significativa complessità organizzativa. In ambito industriale, infatti, lo sviluppo coinvolge simultaneamente numerose funzioni aziendali – tra cui progettazione, acquisti, produzione, qualità, logistica, omologazioni e commerciale – ciascuna responsabile di specifiche attività e decisioni.

Il coordinamento tra queste funzioni è reso ancora più complesso dal fatto che le risorse non sono sempre dedicate esclusivamente al progetto, ma operano spesso in contesti multi-progetto. Ciò può generare conflitti di priorità, sovrapposizioni di carico e rallentamenti decisionali. In assenza di meccanismi di coordinamento formalizzati, la gestione delle interdipendenze tende quindi ad avvenire attraverso interazioni informali e riunioni periodiche, con il rischio di una visione frammentata dell'avanzamento complessivo.

1.2.3 Complessità temporale e pressione sul time-to-market

Nel settore industriale, il fattore tempo rappresenta una variabile competitiva di primaria importanza. Anticipare l'introduzione di un nuovo prodotto sul mercato può consentire di intercettare opportunità commerciali, rispondere tempestivamente alle mosse dei concorrenti o rispettare finestre di lancio strategiche.

Tuttavia, la riduzione dei tempi di sviluppo comporta inevitabilmente un aumento della pressione sul sistema progettuale. La compressione delle fasi di analisi, test o validazione può amplificare il rischio di modifiche tardive, rilavorazioni e incremento dei costi indiretti. Il progetto si trova quindi a operare in un equilibrio delicato tra velocità di sviluppo e robustezza tecnica del prodotto. (Magnacca, 2023)

1.2.4 Complessità normativa e certificativa

Un ulteriore elemento di complessità nei progetti di sviluppo prodotto industriale riguarda il rispetto dei requisiti normativi e certificativi. Macchinari e attrezzature devono infatti soddisfare specifiche direttive di sicurezza, standard tecnici e requisiti di conformità, spesso verificati attraverso procedure di testing e omologazione.

Queste attività introducono vincoli temporali e procedurali che non sono sempre completamente controllabili dall'azienda, soprattutto quando intervengono enti certificatori esterni. Eventuali ritardi nelle verifiche o nella documentazione possono quindi influenzare direttamente la pianificazione del progetto e condizionare l'avvio delle fasi successive. (Project Management Institute, 2021)

1.2.5 Incertezza commerciale e variabilità della domanda

Infine, lo sviluppo prodotto può essere influenzato da una significativa incertezza commerciale. In alcune situazioni il progetto viene avviato prima che siano disponibili previsioni di vendita consolidate o ordini già acquisiti, rendendo più complessa la valutazione economica delle scelte progettuali.

Questa condizione può generare tensioni tra la necessità di investire nello sviluppo e la sostenibilità economica del progetto. Le decisioni tecniche devono quindi essere valutate anche in relazione ai loro effetti sui costi industriali, sul prezzo di vendita e sulla competitività del prodotto sul mercato. (Magnacca, 2023)

Nel complesso, la complessità dei progetti di sviluppo prodotto non deriva da un singolo fattore, ma dall'interazione di queste dimensioni. Comprendere tali dinamiche rappresenta un passaggio fondamentale per analizzare in modo critico i modelli di gestione adottati nelle organizzazioni industriali e per individuare possibili evoluzioni verso approcci più integrati e strutturati. (Russo & Panizzolo, 2010)

1.3 Visione end-to-end del progetto

Nei progetti di sviluppo prodotto in ambito industriale, uno degli elementi più critici per il successo complessivo è l'adozione di una visione end-to-end del processo progettuale, ovvero una lettura integrata dell'intero ciclo di vita del progetto, dalla fase iniziale di concezione fino all'avvio della produzione seriale e alla commercializzazione del prodotto.

Nelle organizzazioni strutturate secondo logiche funzionali tradizionali, le attività di progetto tendono a essere suddivise per competenze e responsabilità: progettazione, industrializzazione, approvvigionamenti, qualità, produzione e commerciale operano ciascuna all'interno del proprio ambito decisionale. Questa specializzazione consente di sviluppare elevate competenze tecniche all'interno delle singole funzioni, ma può comportare una perdita di visione sistemica del progetto nel suo complesso. In tali contesti esiste il rischio che ogni area ottimizzi il proprio sotto-processo senza considerare pienamente le conseguenze sulle fasi successive del ciclo di sviluppo.

La prospettiva end-to-end si basa invece sull'idea che il progetto debba essere interpretato come un sistema integrato di attività interdipendenti (Project Management Institute, 2021). Il raggiungimento dell'obiettivo finale non dipende infatti dalla semplice esecuzione sequenziale delle singole attività, ma dalla coerenza complessiva delle decisioni prese lungo l'intero percorso di sviluppo. Ciò implica una maggiore attenzione alle relazioni tra le fasi del progetto e alla capacità di anticipare gli effetti delle scelte progettuali su processi, costi e tempistiche.

Nel contesto industriale, il ciclo di vita di un progetto di sviluppo prodotto può essere descritto come una sequenza di macro-fasi che comprende tipicamente la definizione dei requisiti, la progettazione tecnica, la realizzazione e validazione del prototipo, l'industrializzazione del prodotto, le attività di omologazione e certificazione, la fase di pre-serie e infine l'avvio della produzione seriale (Magnacca, 2023). Ciascuna di queste fasi è caratterizzata da obiettivi specifici e da un diverso livello di incertezza: nelle fasi iniziali prevalgono le decisioni di natura progettuale, mentre nelle fasi successive diventano sempre più rilevanti gli aspetti produttivi, economici e normativi.

Una gestione efficace richiede che tali fasi non vengano considerate come compartimenti indipendenti, ma come elementi di un unico sistema decisionale. Le scelte effettuate nelle prime fasi del progetto possono infatti generare effetti significativi nelle fasi successive. Ad esempio, una modifica tecnica introdotta durante la fase di prototipazione può richiedere aggiornamenti della distinta base, revisioni degli approvvigionamenti, nuove verifiche di conformità o interventi sui processi produttivi, con conseguenze dirette sui tempi e sui costi del progetto.

La visione end-to-end implica quindi un costante allineamento tra sviluppo tecnico, vincoli industriali e obiettivi di mercato. Questo richiede un'interazione continua tra le principali funzioni coinvolte nel progetto, tra cui ufficio tecnico, tecnologie di produzione, acquisti, qualità, pianificazione e area commerciale (Russo & Panizzolo, 2010). Solo attraverso un dialogo strutturato tra queste competenze è possibile garantire che le soluzioni progettuali risultino effettivamente industrializzabili, economicamente sostenibili e coerenti con i requisiti normativi e di mercato.

L'adozione di una prospettiva integrata è inoltre strettamente legata alla presenza di meccanismi di coordinamento in grado di mantenere una lettura complessiva dell'avanzamento del progetto. Tali meccanismi possono assumere forme diverse a seconda dell'organizzazione, ma hanno in comune l'obiettivo di rendere visibili le interdipendenze tra le attività e di supportare decisioni coerenti con gli obiettivi globali del progetto (Project Management Institute, 2021).

In assenza di questa visione sistemica, il progetto tende a essere gestito attraverso interventi reattivi e aggiustamenti successivi, con una prevalenza della gestione delle urgenze rispetto alla pianificazione strutturata. Al contrario, un approccio end-to-end consente di anticipare le criticità, migliorare il coordinamento tra le funzioni e ridurre il rischio di modifiche tardive con impatti economici e temporali rilevanti.

La capacità di adottare una visione integrata del progetto rappresenta quindi un presupposto fondamentale per l'introduzione di strumenti di pianificazione e controllo più strutturati, quali la definizione di una baseline temporale condivisa, la modellazione delle dipendenze tra attività e l'identificazione delle sequenze critiche del progetto. Questi strumenti, che verranno approfonditi nei paragrafi successivi, consentono di trasformare la gestione del progetto da una logica prevalentemente descrittiva a una logica analitica e predittiva.

1.4 Pianificazione temporale: diagramma di Gantt

La pianificazione temporale rappresenta uno degli elementi centrali del Project Management. Dopo aver definito l'ambito del progetto e aver scomposto il lavoro in attività attraverso la Work Breakdown Structure (WBS), è necessario collocare tali attività nel tempo, definendone la durata, la sequenza e le relazioni di dipendenza. (Archibald, 2004)

Uno degli strumenti più diffusi per la rappresentazione grafica della pianificazione temporale è il diagramma di Gantt, introdotto all'inizio del XX secolo da Henry L. Gantt (Gantt, 1919). Questo strumento consente di visualizzare le attività di progetto lungo un asse temporale, rendendo immediatamente comprensibili la sequenza operativa e le relazioni tra le diverse fasi di lavoro.

In un diagramma di Gantt, ogni attività è rappresentata mediante una barra orizzontale la cui lunghezza è proporzionale alla durata prevista. L'asse orizzontale rappresenta il tempo (espresso in giorni, settimane o mesi), mentre l'asse verticale riporta l'elenco delle attività che compongono il progetto. La rappresentazione permette quindi di identificare con chiarezza:

- la data di inizio e di fine delle attività;
- la loro durata prevista;
- eventuali sovrapposizioni tra fasi diverse;
- la presenza di milestone o eventi chiave del progetto.

Attraverso questa struttura grafica, il diagramma di Gantt consente di tradurre una struttura logica di progetto in una rappresentazione temporale facilmente interpretabile. In particolare, nei progetti di sviluppo prodotto industriale, il Gantt costituisce uno strumento fondamentale per coordinare attività che coinvolgono funzioni aziendali differenti, quali progettazione, acquisti, produzione, qualità e omologazioni (Headvisor, s.d.; Rebiere, 2018).

Oltre alla funzione di pianificazione iniziale, il Gantt svolge anche un ruolo importante nel monitoraggio dell'avanzamento del progetto (Project Management Institute, 2021). Mediante aggiornamenti periodici è possibile confrontare lo stato pianificato con quello effettivamente

realizzato, evidenziando eventuali scostamenti rispetto alla baseline temporale definita in fase di pianificazione. Questo confronto consente di individuare tempestivamente ritardi o criticità e di adottare eventuali azioni correttive.

Dal punto di vista metodologico, un diagramma di Gantt efficace si basa su tre elementi fondamentali:

- l'identificazione delle attività di progetto;
- la stima della durata di ciascuna attività;
- la definizione delle relazioni di precedenza tra le attività.

Quest'ultimo aspetto è particolarmente rilevante nei progetti complessi, poiché molte attività non possono essere considerate indipendenti tra loro. La pianificazione deve quindi tener conto delle interdipendenze esistenti tra le diverse fasi di lavoro, evitando sequenze irrealistiche o sovrapposizioni non sostenibili.

Nonostante la sua ampia diffusione, il diagramma di Gantt presenta anche alcuni limiti. In particolare, esso fornisce una rappresentazione temporale delle attività, ma non sempre evidenzia in modo immediato quali siano le sequenze realmente critiche per la durata complessiva del progetto. Nei progetti caratterizzati da numerose attività e da un elevato numero di dipendenze, il Gantt può inoltre diventare complesso da interpretare se non accompagnato da strumenti analitici aggiuntivi.

Per questo motivo, nella gestione dei progetti complessi il diagramma di Gantt viene spesso integrato con tecniche di analisi reticolare che consentono di identificare il percorso critico del progetto e di valutare con maggiore precisione i margini temporali disponibili. Tra queste tecniche, una delle più diffuse è il Critical Path Method (CPM), che verrà approfondito nel paragrafo successivo.

1.5 Critical Path Method e gestione delle dipendenze

La rappresentazione temporale fornita dal diagramma di Gantt costituisce uno strumento efficace per visualizzare la sequenza delle attività di progetto. Tuttavia, nei progetti complessi questa rappresentazione non è sempre sufficiente per comprendere quali attività determinino realmente la durata complessiva del progetto. Per questo motivo, la pianificazione temporale viene spesso integrata con tecniche di analisi reticolare che consentono di modellare in modo esplicito le relazioni di dipendenza tra le attività.

Una delle metodologie più diffuse a questo scopo è il **Critical Path Method (CPM)**, sviluppato negli anni Cinquanta per supportare la pianificazione e il controllo di progetti complessi. Il principio alla base del metodo consiste nell'identificare la sequenza di attività che determina la durata minima complessiva del progetto, nota come **percorso critico** (Cue, Management, 2023; Antill & Woodhead, 1991).

Il percorso critico è costituito da una catena di attività interdipendenti che non presentano margine temporale disponibile: un ritardo in una qualsiasi di esse comporta inevitabilmente uno slittamento della data finale del progetto. L'individuazione di tale sequenza consente quindi di identificare le attività che richiedono maggiore attenzione e monitoraggio durante l'esecuzione.

Relazioni di dipendenza tra attività

Alla base dell'analisi CPM vi è la definizione delle relazioni di dipendenza tra le attività. Nei progetti industriali, infatti, le attività raramente possono essere considerate indipendenti: l'avvio o il completamento di una fase è spesso vincolato al risultato di una fase precedente.

Le principali tipologie di relazione utilizzate nella pianificazione dei progetti sono:

- **Finish-to-Start (FS)**: un'attività può iniziare solo dopo il completamento della precedente;
- **Start-to-Start (SS)**: due attività possono iniziare in parallelo o con uno scostamento temporale definito;
- **Finish-to-Finish (FF)**: due attività devono terminare contemporaneamente o in stretta relazione temporale;
- **Start-to-Finish (SF)**: relazione meno frequente, in cui la conclusione di un'attività dipende dall'avvio di un'altra.

Nel contesto dello sviluppo prodotto industriale, le relazioni di tipo *Finish-to-Start* sono generalmente le più diffuse, poiché molte fasi del progetto dipendono dal completamento delle attività precedenti. Ad esempio, l'industrializzazione di un componente può essere avviata solo dopo il congelamento della configurazione tecnica, mentre alcune attività di certificazione richiedono la disponibilità del prototipo definitivo.

Calcolo delle date temporali

Una volta definita la rete delle attività e delle loro dipendenze, il metodo CPM consente di calcolare le possibili collocazioni temporali di ciascuna attività all'interno del progetto. In particolare, per ogni attività vengono determinate quattro grandezze fondamentali:

- **Early Start (ES)**: la data più precoce in cui l'attività può iniziare;
- **Early Finish (EF)**: la data più precoce in cui l'attività può terminare;
- **Late Start (LS)**: la data più tardiva in cui l'attività può iniziare senza ritardare il progetto;
- **Late Finish (LF)**: la data più tardiva in cui l'attività può terminare senza compromettere la scadenza finale.

La differenza tra le date più tardive e quelle più precoci rappresenta il **marginale temporale disponibile**, definito *float* o *slack*. Le attività che presentano margine nullo appartengono al percorso critico.

L'analisi di tali parametri permette di comprendere non solo la sequenza delle attività critiche, ma anche il grado di flessibilità presente nelle altre parti del progetto.

Utilità del CPM nei progetti industriali

L'applicazione del Critical Path Method nei progetti di sviluppo prodotto consente di ottenere diversi benefici operativi. In particolare, l'analisi del percorso critico permette di:

- individuare le attività che determinano la durata complessiva del progetto;
- assegnare priorità alle attività realmente critiche;
- valutare l'impatto temporale di eventuali ritardi o modifiche tecniche;
- migliorare la capacità di previsione delle tempistiche complessive.

Nei contesti industriali caratterizzati da forte interdipendenza tra progettazione, approvvigionamenti, testing e omologazioni, la conoscenza del percorso critico rappresenta uno strumento fondamentale per supportare le decisioni operative (Antill & Woodhead, 1991).

Limiti del metodo

Nonostante la sua utilità, il CPM presenta alcuni limiti quando applicato a progetti caratterizzati da elevata incertezza tecnica. Il metodo presuppone infatti che le durate delle attività siano note e relativamente stabili, mentre nei progetti di sviluppo prodotto sono frequenti iterazioni progettuali, revisioni della distinta base e modifiche tecniche emerse durante le attività di test o validazione.

In tali contesti il percorso critico può modificarsi nel corso del progetto, rendendo necessario aggiornare periodicamente la pianificazione e ricalcolare la rete delle dipendenze (Project Management Institute, 2021). Il CPM deve quindi essere considerato uno strumento dinamico di analisi e supporto decisionale, piuttosto che una rappresentazione statica del piano iniziale.

L'integrazione tra diagramma di Gantt e analisi del percorso critico consente in questo modo di passare da una semplice rappresentazione cronologica delle attività a una comprensione più profonda delle relazioni causali che determinano l'evoluzione temporale del progetto.

1.6 Milestone, modello Stage-Gate e Start of Production (SOP)

Nei progetti di sviluppo prodotto industriale, la sola pianificazione temporale non è sufficiente a garantire un controllo efficace dell'avanzamento del progetto. Oltre alla definizione delle attività e delle loro dipendenze temporali, è necessario introdurre momenti formali di verifica che consentano di valutare lo stato di avanzamento, confermare il raggiungimento dei risultati intermedi e autorizzare il passaggio alle fasi successive dello sviluppo. (Capaldo & Capone, 2022)

In questo contesto assumono particolare rilevanza tre concetti fondamentali: **milestone**, **modello Stage-Gate** e **Start of Production (SOP)**. Tali strumenti consentono di trasformare il progetto da una semplice sequenza di attività operative a un percorso strutturato di decisioni, nel quale l'avanzamento è scandito da punti di controllo e da momenti formali di valutazione.

1.6.1 Le milestone come punti di controllo

Una **milestone** rappresenta un evento significativo nel ciclo di vita del progetto. A differenza delle attività operative, essa non possiede una durata propria, ma è associata al completamento di un deliverable o al raggiungimento di un obiettivo rilevante (Capaldo & Capone, 2022).

Nel contesto dello sviluppo prodotto industriale, esempi tipici di milestone includono il congelamento della distinta base (BOM freeze), il completamento del prototipo, il superamento dei test funzionali, l'ottenimento delle certificazioni normative e l'avvio della produzione.

Le milestone svolgono diverse funzioni nel processo di gestione del progetto. In primo luogo rappresentano strumenti di **controllo dell'avanzamento**, poiché permettono di verificare se le attività previste siano state completate secondo i requisiti stabiliti. In secondo luogo favoriscono l'**allineamento organizzativo** tra le diverse funzioni coinvolte, costituendo momenti di confronto e verifica condivisa. Infine, svolgono un ruolo di **supporto decisionale**, consentendo al management di confermare la prosecuzione del progetto o di introdurre eventuali azioni correttive.

In assenza di milestone formalizzate, il rischio è che il progetto proceda in modo progressivo ma privo di verifiche strutturate, rendendo più difficile individuare tempestivamente eventuali criticità.

1.6.2 Il modello Stage-Gate

Il modello **Stage-Gate**, sviluppato da Robert G. Cooper, rappresenta un'evoluzione strutturata del concetto di milestone e introduce una logica decisionale più formalizzata nella gestione dello sviluppo prodotto (Cooper & Kleinschmidt, 1993).

Secondo questo approccio, il progetto viene suddiviso in una sequenza di **stage**, ovvero fasi operative nelle quali vengono svolte attività tecniche e organizzative, separate da **gate**, che rappresentano punti decisionali nei quali viene valutato lo stato del progetto e stabilito se procedere con la fase successiva (Cooper & Kleinschmidt, 1993).

Durante ciascun gate il management può assumere diverse decisioni, tra cui proseguire con il progetto, richiedere revisioni o approfondimenti, sospendere temporaneamente le attività o interrompere lo sviluppo qualora non risultino soddisfatti i requisiti previsti.

Nei progetti di sviluppo prodotto industriale, il modello Stage-Gate può essere articolato in diverse fasi, che generalmente includono una fase iniziale di analisi e definizione dei requisiti, una fase di progettazione tecnica, una fase di prototipazione e validazione e una fase finale di industrializzazione e preparazione alla produzione.

L'adozione di questa struttura consente di ridurre il rischio di investire risorse significative in progetti non sufficientemente maturi, di rendere più esplicite le responsabilità decisionali e di introdurre criteri più oggettivi per la valutazione dell'avanzamento del progetto.

Nella pratica industriale, tuttavia, il modello Stage-Gate viene spesso applicato in modo parziale o informale: i momenti decisionali esistono, ma non sempre sono formalizzati attraverso procedure e criteri strutturati.

1.6.3 Start of Production (SOP)

Lo **Start of Production (SOP)** rappresenta una delle milestone più rilevanti nei progetti di sviluppo prodotto industriale, poiché coincide con l'avvio della produzione seriale.

Il raggiungimento della SOP implica che il progetto tecnico sia completato, che la distinta base sia stata definitivamente stabilizzata, che le attrezzature produttive siano disponibili e che le certificazioni normative richieste siano state ottenute. Inoltre, il processo produttivo deve essere stato validato e i costi industriali devono risultare consolidati.

La SOP non costituisce semplicemente una data di calendario, ma rappresenta un punto di convergenza tra diverse funzioni aziendali, tra cui area tecnica, produzione, qualità, supply chain e area commerciale. Il raggiungimento di questa milestone richiede quindi un elevato livello di coordinamento interfunzionale.

Un avvio della produzione non adeguatamente preparato può generare rilavorazioni, costi aggiuntivi, ritardi nelle consegne e insoddisfazione del cliente. Per questo motivo, nei contesti industriali più strutturati la SOP è generalmente preceduta da una fase di **pre-serie**, durante la quale vengono

verificati i flussi logistici, le sequenze di montaggio, i tempi ciclo e la stabilità qualitativa del processo produttivo.

1.6.4 Criticità nella gestione delle milestone

Nonostante l'importanza teorica delle milestone e dei gate decisionali, nella pratica industriale emergono frequentemente alcune criticità. In molti contesti le milestone sono riconosciute a livello operativo ma non sempre formalizzate all'interno di un sistema di pianificazione strutturato. Inoltre, i passaggi tra le diverse fasi del progetto possono avvenire anche in assenza di una verifica completa dei requisiti previsti.

Ulteriori criticità possono derivare da pressioni commerciali o temporali che anticipano decisioni tecniche non pienamente consolidate, oppure dalla mancanza di criteri oggettivi per dichiarare formalmente conclusa una fase del progetto.

Queste dinamiche possono generare uno scostamento tra pianificazione teorica e avanzamento reale, aumentando il rischio di concentrare criticità e rilavorazioni nelle fasi finali dello sviluppo.

1.6.5 Integrazione tra milestone e pianificazione temporale

Per garantire un controllo efficace del progetto, le milestone devono essere integrate all'interno della pianificazione temporale e collegate alle attività del diagramma di Gantt e alla rete delle dipendenze tra attività.

Il collegamento tra milestone, pianificazione temporale e analisi del percorso critico consente di monitorare l'impatto di eventuali ritardi sugli eventi chiave del progetto, di individuare anticipatamente possibili criticità e di mantenere un allineamento coerente tra obiettivi tecnici, vincoli temporali e scadenze commerciali.

La combinazione tra **pianificazione temporale (Gantt)**, **analisi delle dipendenze (CPM)** e **struttura decisionale (Stage-Gate)** costituisce quindi uno degli elementi fondamentali di un sistema di Project Management strutturato nei contesti industriali.

1.7 Gestione dei progetti in assenza di un Project Manager

Non tutte le organizzazioni industriali adottano un modello di gestione dei progetti formalmente strutturato con una figura di Project Manager dedicata. In molte realtà manifatturiere, specialmente caratterizzate da una forte cultura tecnica e da una struttura organizzativa funzionale tradizionale, la gestione dei progetti avviene attraverso un coordinamento distribuito tra i responsabili delle diverse funzioni aziendali. (Archibald, 2004)

In tali contesti, il progetto non è governato da un'unica figura con responsabilità complessiva su tempi, costi e obiettivi, ma viene gestito attraverso meccanismi di coordinamento informale. Il monitoraggio dell'avanzamento si basa frequentemente su riunioni interfunzionali periodiche, scambi diretti tra responsabili di reparto e verifiche parziali dello stato delle attività. Le eventuali criticità vengono affrontate prevalentemente attraverso interventi correttivi successivi, piuttosto che mediante strumenti strutturati di pianificazione e controllo. (Capaldo & Capone, 2022)

1.7.1 Struttura funzionale e coordinamento distribuito

La struttura organizzativa funzionale prevede che ciascun reparto mantenga la responsabilità delle proprie attività operative. Nel caso dello sviluppo prodotto industriale, ciò significa che le diverse fasi del progetto sono presidiate da funzioni specialistiche: l'ufficio tecnico si occupa della progettazione e delle modifiche tecniche, gli acquisti gestiscono la relazione con i fornitori e la definizione dei costi di approvvigionamento, la produzione governa le attività di industrializzazione e assemblaggio, mentre qualità e omologazioni presidiano le attività di validazione e conformità normativa.

In assenza di un Project Manager formalmente designato, il coordinamento tra queste funzioni avviene in modo trasversale, attraverso il confronto diretto tra responsabili e la condivisione periodica dello stato delle attività (Caccamese & Martinati, 2018).

Questo modello organizzativo presenta alcuni vantaggi. In primo luogo consente di valorizzare la competenza tecnica distribuita all'interno delle singole funzioni e garantisce una chiara responsabilità operativa sui diversi ambiti di attività. Inoltre, la relativa autonomia decisionale dei reparti può favorire una certa flessibilità nella gestione delle criticità tecniche.

Tuttavia, accanto a questi elementi positivi, emergono anche alcune criticità legate alla mancanza di una visione complessiva del progetto.

1.7.2 Rischi organizzativi

L'assenza di una figura centrale di coordinamento può generare diverse problematiche nella gestione del progetto. In primo luogo, ogni funzione tende naturalmente a ottimizzare il proprio sotto-processo operativo, senza necessariamente disporre di una visione completa dell'impatto delle decisioni sulle fasi successive dello sviluppo (Russo & Panizzolo, 2010).

Un ulteriore rischio riguarda il presidio delle tempistiche complessive. Le scadenze vengono spesso monitorate a livello di singola funzione, ma non sempre esiste un controllo sistemico sull'intero percorso temporale del progetto e sulle interdipendenze tra attività.

Inoltre, alcune criticità possono emergere solo nelle fasi più avanzate dello sviluppo, ad esempio in prossimità della pre-serie o dell'avvio della produzione, quando i margini di intervento risultano ormai ridotti.

In contesti caratterizzati da gestione multi-progetto, la condivisione delle risorse tra iniziative diverse può inoltre generare conflitti di priorità e rallentamenti difficili da individuare in anticipo. A ciò si aggiunge il fatto che molte decisioni operative, pur essendo prese nel corso del progetto, non sempre vengono formalizzate o documentate in modo strutturato, rendendo più complessa la ricostruzione delle cause di eventuali scostamenti.

1.7.3 Il ruolo implicito di coordinamento

Anche in assenza di un Project Manager formalmente nominato, nella pratica organizzativa emerge spesso una figura che svolge un ruolo di coordinamento "di fatto". Questa persona si occupa generalmente di raccogliere informazioni dalle diverse funzioni coinvolte, monitorare lo stato di avanzamento delle attività, segnalare eventuali criticità e facilitare la comunicazione tra i diversi attori del progetto (Caccamese & Martinati, 2018).

Tale ruolo, tuttavia, non sempre è accompagnato da un'autorità decisionale formale o da una responsabilità esplicita rispetto agli obiettivi complessivi di tempo e costo. Inoltre, la mancanza di strumenti strutturati di pianificazione può limitare la capacità di analizzare in modo sistematico le interdipendenze tra attività.

Ne deriva una situazione organizzativa in cui il coordinamento esiste, ma non è pienamente istituzionalizzato né supportato da strumenti formali di gestione del progetto.

1.7.4 Impatti sulla performance di progetto

Dal punto di vista delle performance, la gestione dei progetti in assenza di un Project Manager può comportare una maggiore dipendenza dall'esperienza individuale dei responsabili coinvolti e una maggiore esposizione a rischi non anticipati.

In particolare, può risultare più difficile misurare in modo sistematico lo scostamento rispetto alla pianificazione iniziale e mantenere una tracciabilità chiara delle decisioni tecniche ed economiche assunte durante lo sviluppo.

In progetti caratterizzati da elevata innovazione tecnica, forte pressione temporale, vincoli normativi stringenti e variabilità della domanda, l'assenza di un coordinamento formalizzato può amplificare la complessità intrinseca del progetto e rendere più difficile il mantenimento di un allineamento stabile tra le diverse funzioni coinvolte.

1.7.5 Evoluzione possibile del modello organizzativo

L'introduzione di logiche di Project Management non implica necessariamente la creazione immediata di una nuova struttura gerarchica o l'inserimento di una figura dedicata di Project Manager.

In molti contesti industriali l'evoluzione verso una gestione più strutturata dei progetti avviene in modo progressivo, attraverso la formalizzazione di alcuni elementi chiave del processo decisionale e di pianificazione. Tra questi rientrano, ad esempio, la definizione esplicita delle milestone di progetto, l'introduzione di strumenti di pianificazione condivisi, la chiarificazione delle responsabilità nelle diverse fasi dello sviluppo e una maggiore tracciabilità delle modifiche tecniche. (Caccamese & Martinati, 2018)

In questo senso, la transizione verso un modello di gestione più strutturato può essere compatibile con una struttura organizzativa funzionale esistente e rappresentare un primo passo verso una maggiore integrazione tra pianificazione tecnica, controllo temporale e valutazione economica del progetto.

1.8 Collegamento con il caso studio

I concetti teorici illustrati nei paragrafi precedenti – dalla gestione della complessità nei progetti di sviluppo prodotto alla pianificazione temporale, dall'analisi del percorso critico fino alle dinamiche organizzative tipiche dei contesti privi di un Project Manager formalmente nominato – trovano concreta applicazione nei progetti industriali oggetto del presente lavoro.

Il contesto analizzato è caratterizzato dallo sviluppo simultaneo di più modelli appartenenti alla stessa famiglia di prodotto, con una forte interdipendenza tra le diverse funzioni coinvolte nel processo di sviluppo. In particolare, le attività di progettazione tecnica, approvvigionamento dei componenti,

industrializzazione e omologazione normativa risultano strettamente collegate e spesso si sviluppano in parallelo lungo l'arco temporale del progetto.

Inoltre, come frequentemente accade nei progetti di sviluppo prodotto industriale, il processo progettuale è caratterizzato dalla presenza di modifiche tecniche introdotte durante le fasi di prototipazione e validazione. Tali modifiche possono propagarsi lungo la distinta base del prodotto e influenzare non solo la configurazione tecnica finale, ma anche i costi industriali e la pianificazione temporale delle attività successive.

Il contesto organizzativo presenta inoltre una forte pressione temporale legata alle scadenze commerciali e alle milestone di lancio dei nuovi modelli, in un ambiente multi-progetto nel quale le risorse tecniche e operative risultano condivise tra diverse iniziative di sviluppo.

In questo scenario emergono chiaramente le dinamiche descritte nei paragrafi precedenti: la necessità di coordinamento interfunzionale continuo, la dipendenza delle fasi successive da milestone critiche quali le prove di validazione e le attività di omologazione, nonché l'impatto delle decisioni tecniche sulla configurazione economica e temporale complessiva del progetto.

L'analisi del caso studio consentirà quindi di osservare come tali dinamiche si manifestino concretamente all'interno dell'organizzazione. In particolare verrà esaminato il modo in cui la pianificazione temporale viene impostata, come vengono gestite le dipendenze tra attività e come vengono monitorati costi, avanzamento e scostamenti rispetto agli obiettivi iniziali. Sarà inoltre analizzato il processo attraverso cui vengono affrontate le criticità tecniche emergenti durante la fase prototipale e come si articolano le responsabilità decisionali in un contesto organizzativo privo di una figura di Project Manager formalmente designata.

L'analisi prenderà in considerazione diversi progetti di sviluppo appartenenti alla stessa piattaforma di prodotto, caratterizzati da differenti livelli di innovazione tecnica e complessità normativa. Questo consentirà di evidenziare come la struttura organizzativa e gli strumenti di pianificazione adottati influenzino l'andamento del progetto, la gestione delle modifiche tecniche e il raggiungimento delle principali milestone di sviluppo.

L'obiettivo dell'analisi non è soltanto descrittivo, ma anche interpretativo. Attraverso l'osservazione dell'assetto attuale di gestione dei progetti (modello **AS-IS**), sarà infatti possibile individuare sia i punti di forza del sistema organizzativo esistente sia alcune aree di miglioramento, ponendo le basi per la definizione di una proposta evolutiva del modello di gestione dei progetti di sviluppo prodotto che verrà presentata nei capitoli successivi.

Capitolo 2: Contesto aziendale e organizzativo

Dopo aver introdotto nel Capitolo 1 i principali concetti teorici relativi al Project Management e agli strumenti di pianificazione e controllo dei progetti, il presente capitolo descrive il contesto aziendale nel quale si inserisce l'analisi sviluppata in questo lavoro.

L'obiettivo è fornire una comprensione del contesto organizzativo e operativo in cui vengono gestiti i progetti di sviluppo prodotto, evidenziando le caratteristiche dell'azienda, la struttura organizzativa e le modalità di coordinamento tra le diverse funzioni coinvolte. La descrizione dell'organizzazione e dei processi interni consente infatti di comprendere le dinamiche operative che influenzano la pianificazione e la gestione delle attività progettuali.

In particolare, verranno analizzati il ruolo delle principali funzioni aziendali nello sviluppo del prodotto, la tipologia dei progetti affrontati e le modalità attualmente adottate per il coordinamento inter-funzionale. Questa analisi costituisce il presupposto per l'esame del modello di gestione dei progetti attualmente in uso (modello **AS-IS**), che verrà approfondito nel capitolo successivo e rappresenta il punto di partenza per la proposta di evoluzione metodologica sviluppata nella seconda parte della tesi.

2.1 Presentazione dell'azienda

Magni Telescopic Handlers opera nel settore metalmeccanico ed è specializzata nella progettazione e assemblaggio di sollevatori telescopici destinati a impieghi industriali, edili e logistici. Tali macchine consentono operazioni di sollevamento e movimentazione di carichi a elevate altezze di lavoro e sono caratterizzate da un elevato contenuto tecnologico e normativo.

Le origini dell'azienda risalgono all'attività della famiglia Magni nel settore delle macchine per il sollevamento, avviata negli anni Cinquanta e sviluppatasi nel corso dei decenni attraverso la progettazione di soluzioni innovative. Un passaggio chiave è rappresentato dall'introduzione, negli anni Ottanta, dei primi sollevatori telescopici progettati in Europa, che ha contribuito a consolidare un patrimonio di competenze tecniche tuttora alla base dell'attività aziendale.

Nel 2013 nasce ufficialmente Magni Telescopic Handlers, fondata da Riccardo Magni insieme ai figli, con l'obiettivo di sviluppare una nuova generazione di sollevatori telescopici ad alte prestazioni, conformi agli standard tecnici e normativi emergenti. La produzione viene avviata nello stabilimento di Castelfranco Emilia, che nel tempo è stato oggetto di un importante piano di espansione, culminato nella realizzazione di un nuovo headquarter produttivo caratterizzato da elevata automazione e criteri di sostenibilità ambientale.

Negli anni successivi, l'azienda ha ampliato rapidamente la propria gamma di prodotti e rafforzato la propria presenza sui mercati internazionali, affermandosi come uno dei principali player nel segmento dei sollevatori telescopici rotativi. L'elevata complessità dei prodotti, l'alto grado di personalizzazione e la necessità di rispettare stringenti requisiti normativi rendono i progetti di sviluppo particolarmente articolati e fortemente dipendenti da un efficace coordinamento inter-funzionale.

Attualmente Magni opera a livello globale, con una rete di filiali, rappresentanze estere e una struttura logistica dedicata al mercato nordamericano. Una quota rilevante della produzione è destinata all'export, fattore che contribuisce ulteriormente ad aumentare la complessità dei progetti di sviluppo

prodotto, in termini di pianificazione, omologazione e gestione delle tempistiche di lancio. (Magnith, s.d.).

2.2 Gamma prodotti

L'azienda opera nel settore dei sollevatori telescopici ad alte prestazioni, con una gamma articolata su più famiglie progettate per coprire differenti esigenze operative nei settori di costruzioni, industria e noleggio professionale.

La distintività della gamma risiede nell'elevato livello di specializzazione tecnica e nell'ampiezza dei range di portata e altezza coperti, elementi che differenziano l'offerta aziendale rispetto a molti competitor.

2.2.1 Sollevatori telescopici rotativi (RTH)

La famiglia RTH rappresenta il segmento tecnologicamente più avanzato della gamma, è utilizzato maggiormente in ristrutturazioni, manutenzione e movimentazione di materiali da costruzione, ma anche per interventi su strade, viadotti, aree verdi e boschive.

Caratteristiche distintive:

- Torretta rotante a 360°;
- Elevata versatilità;
- Stabilizzatori scissors.

La presenza della rotazione continua e la maggiore complessità strutturale rendono questi modelli particolarmente configurabili e caratterizzati da un numero elevato di componenti opzionali associabili.



Figura 2.2.1: RTH8.51 sollevatore telescopico rotativo

Fonte: (Magnith, s.d.)

La gamma dei rotativi è attualmente composta da 21 modelli che si distinguono per la differente altezza raggiungibile (varia tra 18 e 51 metri) e peso massimo sopportabile (varia tra 6 e 13 tonnellate). Ulteriori distinzioni riguardano la motorizzazione e la tipologia di stabilizzatore che può essere a forbice (scissors) o pivotante (solo per le macchine di minori dimensioni).



Figura 2.2.1.1: Stabilizzatori pivotanti

Fonte (Magnith, s.d.)



Figura 2.2.1.2: Stabilizzatori scissors

Fonte: (Magnith, s.d.)

Gli stabilizzatori di tipo scissors, grazie ad una maggiore area di stabilizzazione, consentono maggiore potenza di carico e maggiore altezza di sollevamento.

2.2.2 Sollevatori telescopici fissi (TH)

La famiglia TH comprende sollevatori telescopici a torretta fissa, destinati principalmente ad applicazioni cantieristiche tradizionali quali ristrutturazioni, grandi eventi, concerti e impiantistica civile o industriale.

Caratteristiche principali:

- Torretta non rotante;
- Struttura compatta;
- Elevata maneggevolezza;
- Stabilizzatori pivotanti anteriori.

La gamma dei fissi è attualmente composta da 17 modelli che si distinguono per la differente altezza raggiungibile (varia tra 6 e 24 metri) e peso massimo sopportabile (varia tra 3 e 7 tonnellate).



Figura 2.2.2 TH3,5.7 sollevatore telescopico fisso

Fonte: (Magnith, s.d.)



Figura 2.2.2.1: TH6.20 sollevatore telescopico fisso

Fonte: (Magnith, s.d.)

2.2.3 Sollevatori telescopici *heavy duty* (HTH)

La famiglia HTH è dedicata alle applicazioni ad altissima capacità di carico.

Caratteristiche principali:

- Struttura rinforzata;
- Elevata portata;
- Configurazioni orientate ad ambiti industriali o infrastrutturali complessi.

I modelli HTH coprono portate superiori rispetto alle famiglie TH e RTH, collocandosi nel segmento *heavy lifting* del mercato, per sostenere pesi elevati si possono spingere ad altezze minori.

La gamma è attualmente composta da 9 modelli che si distinguono per la differente altezza raggiungibile (varia tra 10 e 14 metri) e le elevate portate sostenibili (variano tra 10 e 50 tonnellate).



Figura 2.2.3: HTH35.12 sollevatore telescopico fisso heavy duty

Fonte: (Magnith, s.d.)

2.2.4 Sollevatori telescopici fissi agricoli (HTA)

Accanto alle tre famiglie consolidate citate, l'azienda ha avviato lo sviluppo di una nuova linea destinata al settore agricolo (HTA).

Dal punto di vista tecnico, i modelli HTA presentano caratteristiche progettuali differenti rispetto ai sollevatori per edilizia, con configurazioni e accessori dedicati al contesto agricolo.

Sebbene la linea sia in fase di sviluppo/introduzione, essa comporta già un ampliamento del perimetro gestionale implicando nuovi codici materiali, nuovi accessori dedicati e differenze nella domanda. L'introduzione della linea HTA rappresenta quindi un ulteriore elemento di complessità potenziale per il sistema di pianificazione accessori e kit.

La gamma dei fissi HTA è attualmente composta da 8 modelli che si distinguono per la differente altezza raggiungibile (varia tra 6 e 10 metri) e peso massimo sopportabile (varia tra 3 e 5 tonnellate).



Figura 2.2.4: THA3.6 sollevatore telescopico fisso agricolo

Fonte: (Magnith, s.d.)

2.3 Struttura organizzativa e ruoli coinvolti nei progetti

L'organizzazione aziendale è strutturata secondo un modello funzionale, nel quale le diverse funzioni contribuiscono allo sviluppo del prodotto in base alle proprie competenze specifiche. Nei progetti di sviluppo prodotto non è prevista una figura di Project Manager dedicata; il coordinamento delle attività avviene attraverso l'interazione tra i responsabili delle funzioni coinvolte e mediante riunioni inter-funzionali periodiche.

Questa struttura favorisce un'elevata specializzazione tecnica, ma richiede un efficace coordinamento tra le funzioni, in particolare nelle fasi di pianificazione e sviluppo dei progetti, caratterizzate da forti interdipendenze temporali.

Al fine di fornire una lettura coerente del processo di sviluppo prodotto, le funzioni aziendali coinvolte nei progetti vengono presentate secondo una sequenza che segue l'avanzamento temporale del progetto, dalla fase di progettazione fino alla Start of Production. Questa scelta metodologica consente di mettere in evidenza le interdipendenze tra le attività e il contributo delle singole funzioni al rispetto delle tempistiche di progetto.

Progettazione – Ufficio Tecnico

La funzione di Progettazione, svolta dall'Ufficio Tecnico, è responsabile dell'ideazione del prodotto e della realizzazione dei modelli tridimensionali e dei disegni bidimensionali dei componenti. L'Ufficio Tecnico definisce le soluzioni tecniche e gestisce le modifiche progettuali che possono emergere nel corso del progetto, sia in fase di sviluppo sia a seguito delle attività di test e validazione.

Le decisioni progettuali incidono in modo diretto sulle attività delle funzioni a valle, rendendo il rilascio della documentazione tecnica e il congelamento delle scelte progettuali elementi critici per il rispetto delle tempistiche di progetto. Eventuali ritardi o modifiche tardive in questa fase possono generare impatti significativi sulle tempistiche complessive del progetto, soprattutto in prossimità della Start of Production.

Tecnologie di Produzione – Tempi e Metodi

L'Ufficio Tecnologie di Produzione, che include le attività di Tempi e Metodi, si occupa del controllo dei modelli 3D, dell'estrazione della distinta base (BOM) e del caricamento delle informazioni tecniche nei sistemi informativi aziendali. La funzione contribuisce inoltre alla gestione di eventuali modifiche tecniche, in particolare nella fase di prototipazione, e alla definizione dei libri di montaggio per le diverse postazioni produttive.

Il ruolo di questa funzione è fondamentale per garantire la coerenza tra progettazione e produzione e per supportare l'industrializzazione del prodotto in vista dell'avvio della produzione seriale.

Prototipi

L'area Prototipi è responsabile della realizzazione dei prototipi di macchina e delle attività di test funzionale e di validazione preliminare. I prototipi rappresentano un passaggio fondamentale per verificare le soluzioni progettuali e individuare eventuali criticità prima dell'industrializzazione.

Le tempistiche di costruzione e validazione dei prototipi incidono direttamente sulla pianificazione del progetto, in quanto condizionano l'avanzamento delle attività di omologazione, qualità e preparazione alla produzione.

Qualità

La funzione Qualità interviene in modo trasversale lungo il progetto, con attività orientate alla prevenzione dei rischi di processo e di prodotto. Tra le principali attività rientrano la definizione delle analisi PFMEA, dei piani di controllo e il supporto alle attività di validazione pre-SOP.

Il coinvolgimento tempestivo della Qualità è fondamentale per ridurre il rischio di non conformità e rilavorazioni durante l'avvio della produzione seriale.

Compliance e Omologation

La funzione Compliance e Omologation garantisce che il prodotto soddisfi i requisiti normativi applicabili nei diversi mercati di destinazione. Le attività comprendono l'analisi normativa, la pianificazione e l'esecuzione delle prove richieste e l'ottenimento delle certificazioni necessarie.

Considerata l'elevata incidenza dell'export, le attività di omologazione rappresentano un vincolo temporale rilevante per il progetto. La disponibilità del prototipo e la stabilità delle soluzioni progettuali sono prerequisiti fondamentali per il completamento di queste attività nei tempi previsti.

Pianificazione

La funzione Pianificazione è responsabile della pianificazione della produzione di macchine, accessori e kit opzionali attraverso sistemi MRP. Il piano di produzione viene definito sulla base delle previsioni di vendita o dello storico aziendale, tenendo conto delle capacità produttive e dei vincoli di approvvigionamento.

Nel contesto dei progetti di sviluppo prodotto, la pianificazione rappresenta un elemento chiave per il rispetto delle tempistiche, in quanto consente di allineare le attività di sviluppo con le esigenze produttive e commerciali.

Ufficio Acquisti e Gestione Materiali

L'Ufficio Acquisti assegna un fornitore a ciascun codice della distinta base, valutando criteri quali la qualità del prodotto, l'affidabilità del servizio e i tempi di consegna. La Gestione Materiali supporta tali attività attraverso il sollecito dei fornitori e la definizione di piani di consegna coerenti con il piano di produzione, in particolare per i componenti critici.

La gestione dei materiali e dei componenti a lungo lead time rappresenta uno dei principali vincoli temporali nei progetti di sviluppo prodotto e richiede un costante coordinamento con le funzioni tecniche e di pianificazione.

Logistica

La funzione Logistica si occupa dello stoccaggio dei materiali e delle attività di picking a supporto della produzione. L'azienda opera prevalentemente secondo una logica make-to-stock, fattore che rende particolarmente rilevante il coordinamento tra pianificazione, approvvigionamenti e produzione.

Produzione

La Produzione è organizzata su più linee di assemblaggio, che includono una linea principale per l'assemblaggio progressivo della macchina, linee dedicate al pre-montaggio e all'assemblaggio dei bracci, nonché aree destinate alle attività di collaudo, finitura e taratura finale. È inoltre presente un'area dedicata alla prototipazione per lo sviluppo di nuovi modelli.

Le attività produttive sono strettamente legate al rispetto delle tempistiche di progetto, in particolare nelle fasi di pre-SOP e avvio della produzione seriale, dove eventuali criticità possono generare ritardi e rilavorazioni.

Ufficio Commerciale e Marketing

L'Ufficio Commerciale, articolato in back office e rete di vendita internazionale, fornisce input rilevanti in termini di requisiti di mercato, configurazioni richieste e tempistiche di consegna. Le informazioni provenienti dal mercato influenzano le priorità di progetto e richiedono un continuo allineamento con le funzioni tecniche e produttive.

Considerazioni di sintesi

La struttura organizzativa descritta evidenzia una forte competenza tecnica distribuita tra le diverse funzioni aziendali, ciascuna delle quali contribuisce in modo significativo allo sviluppo del prodotto. Tuttavia, l'assenza di una pianificazione temporale formalizzata e di una figura di coordinamento dedicata rende complessa la gestione delle interdipendenze tra le attività.

Questi elementi costituiscono il punto di partenza per l'analisi del modello di gestione attuale (AS-IS), oggetto del capitolo successivo.

2.4 Tipologia di progetti di sviluppo prodotto

I progetti di sviluppo prodotto affrontati dall'azienda presentano caratteristiche eterogenee, ma possono essere ricondotti ad alcune macro-tipologie ricorrenti. Essi comprendono lo sviluppo di nuovi modelli di sollevatori telescopici, l'introduzione di nuove famiglie di prodotto, l'evoluzione tecnica di modelli esistenti e l'adeguamento dei prodotti a requisiti normativi o di mercato.

Anche nei casi in cui il progetto non riguardi lo sviluppo di un prodotto completamente nuovo, ma una variante o un aggiornamento di un modello esistente, la complessità rimane elevata. Le modifiche progettuali possono infatti interessare componenti strutturali, impianti idraulici ed elettrici, sistemi di sicurezza e software di controllo, con impatti significativi sulle attività di industrializzazione, approvvigionamento e validazione del prodotto.

Un ulteriore elemento di complessità nei progetti di sviluppo prodotto è rappresentato dall'ingresso dell'azienda in nuovi segmenti di mercato. Negli ultimi anni l'azienda ha infatti avviato lo sviluppo di soluzioni destinate al settore agricolo e, più recentemente, ha intrapreso il primo progetto di sollevatore telescopico a trazione elettrica. L'accesso a nuovi mercati comporta la necessità di acquisire competenze tecniche e normative non ancora pienamente consolidate all'interno dell'organizzazione, oltre a dover gestire requisiti di prodotto differenti rispetto a quelli tradizionali.

In particolare, i progetti legati a nuove tecnologie, come l'elettificazione del prodotto, presentano un livello di incertezza più elevato nelle fasi iniziali di sviluppo. Ciò si traduce in un maggiore numero di iterazioni progettuali, in una più intensa collaborazione tra le funzioni coinvolte e in una maggiore difficoltà nella stima accurata delle tempistiche di progetto, soprattutto nelle fasi pre-SOP.

Un'ulteriore criticità è rappresentata dal fatto che tali progetti vengono spesso sviluppati in parallelo con iniziative più mature, condividendo risorse tecniche e produttive. Questa condizione rende particolarmente complessa la gestione delle priorità e aumenta il rischio di sovrapposizioni e ritardi, soprattutto in assenza di una pianificazione temporale strutturata e condivisa.

In questo contesto, la gestione efficace delle tempistiche di progetto, e in particolare delle attività che precedono l'avvio della produzione seriale, assume un ruolo centrale per garantire il rispetto delle date di lancio e la continuità operativa della produzione. Tali caratteristiche rendono i progetti di sviluppo prodotto un ambito particolarmente adatto all'applicazione di strumenti di Project Management orientati alla pianificazione, al coordinamento inter-funzionale e al controllo dell'avanzamento.

2.5 Modalità attuali di coordinamento inter-funzionale

Il coordinamento dei progetti di sviluppo prodotto avviene attualmente attraverso un modello prevalentemente basato sulla collaborazione tra le funzioni aziendali e su momenti strutturati di confronto inter-funzionale. In particolare, è prevista una riunione settimanale alla quale partecipano i responsabili delle principali funzioni coinvolte nei progetti.

Durante tali riunioni viene discusso lo stato di avanzamento dei progetti in corso, con un focus sulle criticità operative, sui vincoli temporali e sulle azioni necessarie per garantire il rispetto delle tempistiche. Il confronto è supportato da presentazioni in formato PowerPoint, generalmente organizzate per funzione, nelle quali ciascun ente espone le problematiche di propria competenza.

Ad esempio, le funzioni di pianificazione, acquisti e gestione materiali evidenziano lo stato degli approvvigionamenti e le date previste di arrivo dei componenti critici, mentre l'Ufficio Tecnico aggiorna sulle modifiche progettuali in corso e sulle attività di sviluppo ancora aperte. Analogamente, le funzioni di qualità, prototipi e omologazione riportano l'avanzamento delle attività di test, validazione e certificazione.

Questo approccio favorisce la condivisione delle informazioni e il confronto diretto tra le funzioni, consentendo di individuare tempestivamente le problematiche emergenti. Tuttavia, il modello risulta prevalentemente orientato alla gestione delle criticità già manifestate, con una limitata formalizzazione della pianificazione temporale complessiva del progetto.

In assenza di strumenti strutturati di pianificazione end-to-end, quali diagrammi di Gantt condivisi e formalizzati, la valutazione dell'impatto delle singole criticità sulle milestone di progetto e sulla data di Start of Production risulta complessa e fortemente dipendente dall'esperienza dei singoli responsabili.

Di conseguenza, il coordinamento inter-funzionale assume spesso un carattere reattivo, rendendo difficile anticipare gli effetti delle decisioni prese nelle fasi iniziali del progetto sulle attività a valle. Questi elementi evidenziano i limiti del modello attuale e costituiscono la base per l'analisi del modello di gestione AS-IS sviluppata nel capitolo successivo.

2.6 Considerazioni di sintesi

Il contesto aziendale descritto nei paragrafi precedenti evidenzia come i progetti di sviluppo prodotto in Magni siano caratterizzati da un'elevata complessità tecnica e organizzativa. L'ampiezza della

gamma di prodotto, l'elevato livello di personalizzazione, la presenza di stringenti requisiti normativi e l'ingresso in nuovi segmenti di mercato contribuiscono ad aumentare il numero di interdipendenze tra le funzioni coinvolte nei progetti.

La struttura organizzativa di tipo funzionale consente di valorizzare le competenze specialistiche dei singoli enti, ma rende particolarmente critico il coordinamento delle attività, soprattutto nelle fasi che precedono l'avvio della produzione seriale. In assenza di una figura di Project Management dedicata e di strumenti strutturati di pianificazione temporale, la gestione delle tempistiche di progetto risulta fortemente dipendente dall'esperienza dei singoli responsabili e dal confronto inter-funzionale.

Le modalità attuali di coordinamento, basate principalmente su riunioni periodiche e sulla gestione delle criticità emergenti, favoriscono la condivisione delle informazioni ma presentano limiti nella capacità di fornire una visione complessiva e preventiva dell'andamento del progetto. In tale contesto, risulta complesso valutare in anticipo l'impatto delle decisioni operative sulle milestone di progetto e sulla data di Start of Production.

Alla luce di queste considerazioni, emerge la necessità di analizzare in modo strutturato il modello di gestione dei progetti attualmente adottato (AS-IS), al fine di individuarne punti di forza e criticità e di definire le basi per la proposta di un modello evolutivo (TO-BE), oggetto dei capitoli successivi.

Capitolo 3: Analisi del modello di gestione dei progetti (AS-IS)

3.1 Obiettivo, perimetro e metodologia dell'analisi AS-IS

Il presente capitolo è dedicato all'analisi della situazione attuale (AS-IS) relativa alla gestione dei progetti di sviluppo prodotto all'interno dell'azienda oggetto di studio. L'obiettivo è ricostruire il modello gestionale effettivamente adottato nei progetti recenti, mettendone in luce le logiche di pianificazione, le modalità di coordinamento tra le funzioni, gli strumenti utilizzati e le principali criticità emerse nel corso dello sviluppo.

L'analisi AS-IS rappresenta una fase preliminare fondamentale rispetto alla definizione del modello TO-BE. Solo attraverso una ricostruzione oggettiva dello stato attuale è infatti possibile comprendere quali elementi del sistema risultino efficaci e quali, invece, evidenzino margini di miglioramento. L'attenzione sarà pertanto rivolta al funzionamento complessivo del sistema di gestione progetto, osservato nelle sue componenti temporali, organizzative, tecniche ed economiche.

3.1.1 Perimetro dell'analisi

L'analisi si concentra su due progetti di sviluppo prodotto avviati nel corso del 2025: il progetto TH 4.15/19 (versioni S e SP) e il progetto THA 3,5.7/9 relativo alla gamma agricola. La scelta di tali casi studio è motivata dalla loro rilevanza strategica e dalla disponibilità di documentazione strutturata che ne consente una ricostruzione approfondita.

Il primo progetto si colloca all'interno di una gamma consolidata e ha avuto come obiettivo principale l'ottimizzazione tecnica ed economica di un prodotto già presente sul mercato. Il secondo, invece, rappresenta un'iniziativa di ingresso in un nuovo segmento applicativo e assume quindi una valenza strategica più ampia, caratterizzata da un maggiore livello di incertezza.

Entrambi i progetti hanno evidenziato un numero significativo di modifiche tecniche introdotte in fase avanzata di sviluppo che hanno generato impatti concreti su tempistiche, costi industriali e organizzazione interna. Essi risultano pertanto rappresentativi del modello gestionale attualmente adottato e consentono di osservare il funzionamento reale del processo di sviluppo prodotto in condizioni di pressione temporale, vincoli normativi e obiettivi economici sfidanti.

L'analisi non ha lo scopo di valutare la correttezza delle scelte progettuali adottate, bensì di comprendere come il sistema di gestione reagisca alla complessità e agli imprevisti, e in che misura tali dinamiche siano riconducibili a caratteristiche strutturali del modello organizzativo.

3.1.2 Fonti informative e approccio metodologico

L'analisi è stata condotta sulla base della documentazione interna disponibile, comprendente report di avanzamento, presentazioni utilizzate nelle riunioni interfunzionali, Gantt relativi alle attività di omologazione e post-produzione, nonché analisi economiche associate alle modifiche tecniche introdotte nel corso dello sviluppo. A tali fonti si sono affiancati confronti diretti con i responsabili delle funzioni coinvolte, utili a chiarire le dinamiche decisionali e le modalità operative effettivamente adottate.

L'approccio metodologico è di tipo qualitativo-analitico e si fonda sull'osservazione trasversale di quattro dimensioni principali: la dimensione temporale, relativa alla pianificazione e alla gestione delle milestone; la dimensione organizzativa, legata ai meccanismi di coordinamento e distribuzione

delle responsabilità; la dimensione tecnica, con particolare riferimento alla gestione dei prototipi e delle modifiche; e infine la dimensione economica, con attenzione all'evoluzione del costo macchina e agli impatti derivanti dalle varianti progettuali.

Le informazioni raccolte hanno consentito di individuare pattern ricorrenti nel modo di gestire i progetti.

3.1.3 Logica di lettura dell'AS-IS

L'analisi dell'AS-IS viene presentata come una ricostruzione del modello gestionale sottostante, non come una cronologia dettagliata dei due progetti considerati. I casi studio vengono utilizzati come evidenze empiriche per comprendere il grado di formalizzazione della pianificazione, il livello di integrazione tra le funzioni e le modalità con cui vengono gestiti gli scostamenti rispetto agli obiettivi di progetto.

Particolare attenzione sarà dedicata alla gestione delle modifiche tecniche, all'interazione tra percorso tecnico e percorso normativo e alla capacità del sistema di anticipare o assorbire le criticità emergenti durante lo sviluppo.

Le evidenze emerse costituiranno la base per la definizione dei requisiti del modello TO-BE, sviluppato nel capitolo successivo con l'obiettivo di introdurre strumenti integrati di pianificazione, gestione delle dipendenze e monitoraggio dell'avanzamento.

3.2 Il modello attuale di gestione progetto (AS-IS)

La gestione del progetto si fonda su una forte competenza tecnica distribuita tra le funzioni aziendali e su un coordinamento continuo garantito da incontri periodici interfunzionali. Il sistema risulta orientato alla risoluzione progressiva delle criticità e all'allineamento costante tra sviluppo tecnico, industrializzazione e obiettivi commerciali. Tuttavia, l'analisi evidenzia come tale impostazione sia prevalentemente operativa e adattiva, più che strutturata attorno a strumenti formalizzati di pianificazione integrata e controllo sistemico.

L'assenza di una formalizzazione esplicita non implica inefficacia del modello; al contrario, i progetti analizzati dimostrano una buona capacità di risposta alle problematiche emergenti. Ciò che emerge, tuttavia, è una gestione fortemente basata sull'esperienza e sul coordinamento informale, nella quale la pianificazione viene progressivamente aggiornata in funzione degli eventi, piuttosto che governata da una baseline inizialmente definita e monitorata nel tempo (Project Management Institute, 2021).

Per comprendere in modo più approfondito le caratteristiche del modello AS-IS, è opportuno analizzarne separatamente alcune dimensioni fondamentali, a partire dalla pianificazione iniziale.

3.2.1 Pianificazione iniziale e assenza di una baseline formalizzata

Nei progetti analizzati non emerge la presenza di una baseline di progetto formalmente definita e condivisa tra tutte le funzioni coinvolte. L'avvio delle attività avviene sulla base di obiettivi strategici e commerciali, quali il rilancio competitivo di una gamma o l'ingresso in un nuovo segmento di mercato, ma senza che sia sempre esplicitata una data di avvio ufficiale o un piano end-to-end congelato nelle sue principali milestone.

Le tappe fondamentali del progetto, come la realizzazione del prototipo, l'esecuzione delle prove normative, l'avvio della pre-serie o la Start of Production, risultano chiaramente identificate nel corso dello sviluppo. Tuttavia, tali milestone emergono progressivamente dalle pianificazioni funzionali e dai report settimanali, più che da un documento unico di piano progetto che ne rappresenti in modo integrato la sequenza e le interdipendenze.

In assenza di una baseline formalizzata, l'aggiornamento delle date e delle attività avviene in modo incrementale, in risposta alle criticità tecniche o ai vincoli esterni che si manifestano durante il percorso. Lo scostamento temporale viene quindi gestito principalmente attraverso la **riplanificazione operativa** e la compressione delle fasi successive, piuttosto che attraverso un confronto strutturato tra pianificato e consuntivo.

Questa impostazione comporta due conseguenze rilevanti: da un lato, garantisce flessibilità e capacità di adattamento, permettendo di assorbire modifiche tecniche e imprevisti, dall'altro, rende più complessa la misurazione oggettiva dell'avanzamento complessivo del progetto e la valutazione preventiva del rischio di slittamento delle milestone critiche, in particolare quando sono coinvolti vincoli normativi o consegne cliente.

La pianificazione si configura dunque come un processo dinamico e progressivo, fortemente influenzato dalle competenze delle singole funzioni e dal coordinamento interfunzionale, ma privo di un riferimento temporale congelato che consenta un monitoraggio degli scostamenti lungo l'intero ciclo di vita del progetto.

3.2.2 Pianificazione per funzione e integrazione parziale delle dipendenze

L'analisi della documentazione e delle modalità operative evidenzia una pianificazione strutturata prevalentemente per funzione aziendale. Ciascun ente coinvolto nello sviluppo del prodotto presidia il proprio insieme di attività sulla base delle competenze specialistiche maturate nel tempo.

Le attività vengono monitorate attraverso report periodici nei quali ogni funzione aggiorna lo stato di avanzamento delle proprie iniziative, segnala criticità e indica le milestone di competenza. Questo sistema garantisce un controllo dettagliato a livello locale, con una chiara attribuzione delle responsabilità operative.

Non emerge tuttavia la presenza di una Work Breakdown Structure (WBS) formalmente definita e condivisa come riferimento comune dell'intero progetto. Le attività risultano distribuite tra i reparti secondo una logica funzionale, piuttosto che ricondotte a una scomposizione gerarchica unitaria del progetto, nella quale siano esplicitate le relazioni tra deliverable e fasi. Analogamente, non risulta adottata una rappresentazione reticolare del progetto che consenta di modellare formalmente le dipendenze tra attività e di identificare un percorso critico. Le milestone comuni costituiscono punti di riferimento condivisi, ma non sono sempre inserite in un modello unico che renda immediatamente visibile come il ritardo di una determinata attività possa propagarsi sull'intero sistema.

La pianificazione per funzione adottata garantisce flessibilità e valorizza l'autonomia tecnica delle singole aree, ma determina un'integrazione parziale delle dipendenze progettuali. Il controllo dell'intero percorso è affidato principalmente alla capacità di sintesi dei responsabili e alla qualità del coordinamento interfunzionale, piuttosto che a una modellazione strutturata del flusso complessivo.

3.2.3 Governance del progetto e riunioni interfunzionali

Il coordinamento dei progetti di sviluppo prodotto è affidato a un incontro periodico interfunzionale istituito con l'obiettivo di ottimizzare la comunicazione tra i diversi enti e garantire il monitoraggio dello stato di avanzamento delle varie attività.

A tali riunioni partecipano rappresentanti delle principali funzioni aziendali coinvolte nel ciclo di vita del prodotto, tra cui Acquisti, Pianificazione e gestione materiali, Produzione, Finitura, Logistica, Tecnologie di Produzione, Qualità, Ufficio Tecnico, Marketing, Commerciale e Compliance. Il gruppo di lavoro può essere esteso, in funzione delle criticità emergenti, a ulteriori figure tecniche specialistiche, configurandosi come un tavolo di coordinamento trasversale e dinamico.

Gli obiettivi dichiarati di tali incontri comprendono l'allineamento tra prodotto, processo e mercato, il raggiungimento della Start of Production alla data target, la conformità normativa, il controllo dei costi, la qualità di prodotto e di processo e la condivisione delle previsioni di vendita.

Dal punto di vista operativo, il monitoraggio avviene attraverso la presentazione periodica di report strutturati per funzione, generalmente predisposti sotto forma di presentazione condivisa aggiornata settimanalmente dai diversi reparti. In tali documenti vengono riportati lo stato delle attività, le bonifiche in corso, le criticità aperte e le decisioni da assumere. Le informazioni vengono discusse collegialmente durante la riunione e le eventuali azioni correttive vengono assegnate ai responsabili competenti.

Non risulta formalizzata una figura di Project Manager con responsabilità end-to-end su tempi, costi e deliverable. La governance si configura pertanto come un modello di responsabilità distribuita, nel quale l'integrazione tra le funzioni è garantita principalmente dal confronto diretto e dalla collaborazione tra i responsabili.

Questo assetto presenta alcuni punti di forza, tra cui l'elevata trasparenza informativa, la rapidità decisionale e la capacità di affrontare tempestivamente le criticità emergenti. Tuttavia, il controllo dell'avanzamento rimane prevalentemente basato su aggiornamenti qualitativi e discussione collegiale, più che su un sistema strutturato di indicatori quantitativi sintetici o su una rappresentazione integrata delle dipendenze progettuali.

Inoltre, molte criticità tendono a emergere direttamente durante la riunione stessa, rendendo talvolta necessario un successivo approfondimento tecnico prima di poter assumere decisioni definitive. Il monitoraggio si configura quindi come un processo continuo di allineamento interfunzionale, efficace sul piano operativo ma non pienamente supportato da strumenti di pianificazione e controllo predittivo dell'intero ciclo di vita del progetto.

Il processo di coordinamento interfunzionale descritto può essere rappresentato sinteticamente come riportato nella figura seguente.

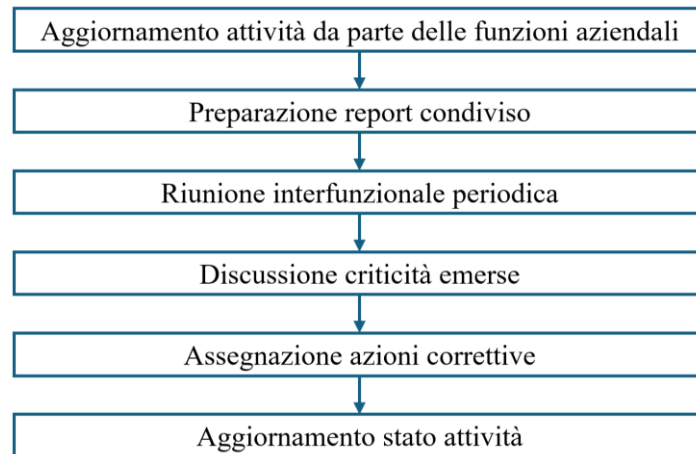


Figura 3.2.3: Diagramma di flusso del processo di coordinamento interfunzionale nel modello AS-IS

Fonte: elaborazione propria

La figura evidenzia come il coordinamento del progetto si basi su un flusso ciclico di aggiornamento, confronto e riallineamento operativo fra le diverse funzioni aziendali, più che su un sistema formalizzato di pianificazione integrata e controllo predittivo.

3.2.4 Gestione delle modifiche tecniche e stabilizzazione del prodotto

Un elemento ricorrente nei progetti analizzati è l'introduzione progressiva di modifiche tecniche durante le fasi avanzate dello sviluppo, in particolare in corrispondenza della prototipazione, delle prove funzionali e dell'ingresso in linea. Le criticità emergono frequentemente durante i test dinamici o nelle prime fasi di assemblaggio e vengono affrontate attraverso interventi correttivi successivi.

Le modifiche tecniche non risultano inserite in un sistema strutturato di tracciamento lungo l'intero ciclo di vita del progetto, né classificate secondo criteri preventivi di impatto o priorità. Esse vengono generalmente identificate nel momento in cui il problema si manifesta operativamente e vengono gestite tramite attività di bonifica assegnate ai reparti competenti.

Il monitoraggio delle modifiche a elevato impatto avviene principalmente nelle riunioni, dove vengono discusse le problematiche emerse, individuate le soluzioni tecniche e definite le azioni correttive. L'impatto economico delle varianti viene consolidato successivamente, attraverso l'aggiornamento del costo macchina e l'analisi delle eventuali rottamazioni, rilavorazioni o aggiornamenti di distinta base. Questo approccio consente di intervenire rapidamente sulle criticità ma il controllo risulta prevalentemente consuntivo: l'effetto delle modifiche sui tempi e sui costi viene valutato a posteriori, quando le conseguenze si sono già materializzate.

La sovrapposizione tra fase di sviluppo tecnico e fase di industrializzazione costituisce un ulteriore elemento caratterizzante del modello AS-IS. In diversi casi, la stabilizzazione del prodotto avviene in parallelo alla preparazione della linea o alla pianificazione della produzione, generando una compressione temporale e un incremento del rischio di rilavorazioni.

L'assenza di una classificazione preventiva delle modifiche, ad esempio in funzione del loro impatto su tempi, costi o milestone critiche, rende complessa la valutazione anticipata delle conseguenze sistemiche. Le varianti vengono integrate progressivamente nel progetto, ma la loro influenza sull'equilibrio complessivo emerge solo attraverso l'esperienza e il confronto collegiale.

La gestione delle modifiche tecniche rappresenta pertanto uno degli snodi centrali del modello attuale: da un lato testimonia una forte capacità di adattamento e problem solving, dall'altro evidenzia la mancanza di strumenti di prevenzione e di misurazione anticipata dell'impatto progettuale.

La logica con cui le modifiche tecniche che emergono in riunione vengono gestite nel modello AS-IS può essere sintetizzata nel diagramma di flusso riportato di seguito.



Figura 3.2.4: Diagramma di flusso del processo di gestione delle modifiche tecniche nel modello AS-IS

Fonte: elaborazione propria

Il diagramma mette in evidenza come la valutazione dell'impatto delle modifiche avvenga prevalentemente dopo la sua implementazione operativa, confermando la natura reattiva del modello attuale.

3.2.5 Integrazione normativa e gestione delle milestone critiche

I progetti di sviluppo prodotto analizzati sono caratterizzati da un significativo livello di complessità normativa. Le attività di omologazione e certificazione, come le prove di sicurezza strutturale, validazioni funzionali e test richiesti dagli enti competenti, rappresentano passaggi obbligatori per l'ingresso in produzione e per la commercializzazione del prodotto.

Tali attività risultano pianificate e monitorate in modo puntuale dalle funzioni responsabili, che predispongono Gantt specifici (un esempio specifico relativo a testing e omologazione viene riportato di seguito) e aggiornano periodicamente lo stato di avanzamento delle prove. Le date delle validazioni normative costituiscono milestone chiaramente identificate e condivise nelle riunioni interfunzionali.

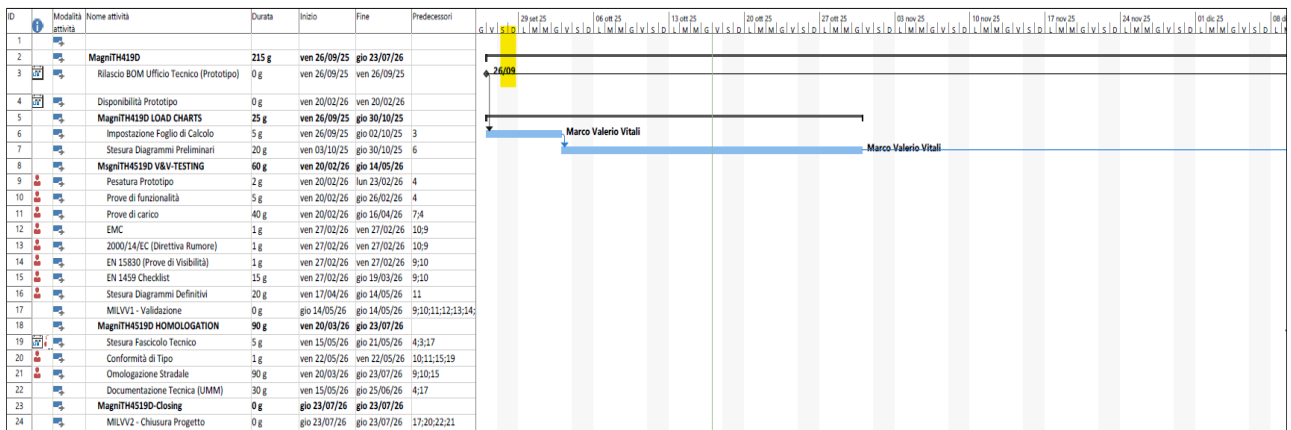


Figura 3.2.5: Esempio diagramma di Gantt del progetto considerato per l'AS-IS

Fonte: file aziendale

Tuttavia, l'integrazione tra il percorso normativo e il percorso tecnico-produttivo non appare sempre formalizzata all'interno di un'unica rappresentazione progettuale. Le prove costituiscono di fatto vincoli bloccanti per alcune modifiche o per l'avanzamento verso la pre-serie e la SOP, ma tali dipendenze non risultano modellate attraverso uno strumento integrato che ne espliciti l'impatto sul cronoprogramma complessivo.

In assenza di una rappresentazione reticolare delle attività, il ruolo delle milestone normative emerge prevalentemente attraverso l'esperienza dei responsabili, piuttosto che attraverso un'analisi preventiva delle possibili propagazioni di ritardo. Il superamento di una prova costituisce una condizione necessaria per l'avvio di determinate attività successive, ma la criticità di tale relazione non è sempre formalizzata in termini di percorso critico.

Questa configurazione comporta che eventuali slittamenti delle validazioni possano generare effetti a catena sulle fasi di industrializzazione e produzione, senza che sia immediatamente disponibile uno strumento in grado di quantificare in modo strutturato l'impatto temporale complessivo.

La gestione normativa nel modello AS-IS risulta dunque accurata dal punto di vista tecnico e procedurale, ma non pienamente integrata in un sistema di pianificazione che consenta di visualizzare con chiarezza il peso delle milestone critiche sull'intero progetto.

3.2.6 Controllo economico e monitoraggio del costo macchina

Il controllo economico dei progetti di sviluppo prodotto è prevalentemente incentrato sull'evoluzione del costo industriale della macchina e sull'impatto delle modifiche tecniche introdotte nel corso dello sviluppo. Le analisi economiche vengono presentate periodicamente nelle riunioni interfunzionali, con particolare attenzione alle variazioni della distinta base e agli effetti delle bonifiche post-prototipo.

L'aggiornamento del costo macchina avviene in modo progressivo, a seguito dell'introduzione di modifiche tecniche o della sostituzione di componenti. In diversi casi, l'impatto economico è riconducibile a rottamazioni di materiale già prodotto o acquistato, a rilavorazioni e a variazioni di fornitura conseguenti a decisioni tecniche maturate in fase avanzata.

Le decisioni tecniche vengono adottate in risposta a esigenze funzionali, qualitative o normative, mentre la quantificazione del loro impatto viene consolidata successivamente attraverso

l'aggiornamento dei costi industriali. Non emerge un sistema strutturato di stima preventiva dell'effetto economico potenziale delle modifiche prima della loro implementazione.

Inoltre, il controllo economico non risulta integrato con la pianificazione temporale del progetto. Tempi, modifiche e costi vengono monitorati attraverso strumenti e sezioni di report distinti, senza una rappresentazione unitaria che consenta di valutare nell'insieme l'evoluzione dell'avanzamento e l'assorbimento di risorse (di seguito riportato un esempio di tabella di aggiornamento periodico dei costi macchina, che permette di confrontare le variazioni nel tempo del costo industriale).

			COSTO MACCHINA			
MODELLO	CODICE	NUOVI PN	OTTOBRE 2025	DICEMBRE 2025	GENNAIO 2026	DELTA %
TH 4.19 SP - D7/D	134226.RMAGNI	107	74.337,00 €	73.639,66 €	73.651 €	0,015%
TH 4.15 SP - D7/D	137397.RMAGNI			72.190,69 €	72.202 €	0,016%
TH 4.19 SP - D7/D - Carraro	134226.RMAGNI	108	73.307,00 €	72.275,00 €	72.275 €	0,000%
TH 4.19 S - D5/D	135581.RMAGNI	114	71.986,00 €	71.184,06 €	71.195 €	0,016%
TH 4.15 S - D5/D	135660.RMAGNI	108	71.344,00 €	70.542,29 €	70.554 €	0,016%

Tabella 3.2.6: Confronto dei costi macchina per modello

Fonte: file aziendali

La gestione del costo macchina risulta quindi accurata dal punto di vista analitico, ma non pienamente collegata a un sistema integrato di controllo dell'intero ciclo di vita del progetto.

3.2.7 Sintesi del modello AS-IS

Il modello si fonda prevalentemente su strumenti di coordinamento qualitativo e su pianificazioni funzionali separate, senza una piena integrazione delle dipendenze in un'unica rappresentazione progettuale. La baseline temporale non risulta formalmente congelata, le modifiche tecniche vengono valutate principalmente in modo consuntivo e il controllo economico procede in parallelo alla stabilizzazione tecnica.

Il monitoraggio dell'avanzamento si basa quindi su aggiornamenti periodici e discussioni collegiali, ma non su un indicatore sintetico univoco che consenta di rappresentare in modo immediato lo stato complessivo del progetto rispetto agli obiettivi iniziali.

Tale configurazione non compromette l'efficacia operativa nel breve periodo, ma evidenzia margini di miglioramento in termini di integrazione, tracciabilità e misurabilità sistemica.

3.3 Evidenze dai casi studio

3.3.1 Il progetto TH 4.15/19 S/SP

Il progetto TH 4.15/19 S/SP costituisce un caso particolarmente significativo per osservare in modo concreto le dinamiche del modello AS-IS descritto nel paragrafo precedente. L'iniziativa nasce con l'obiettivo di rilanciare una macchina derivata da una gamma esistente sul mercato, attraverso una revisione tecnica orientata alla riduzione del costo industriale e al miglioramento della competitività.

Dal punto di vista della pianificazione, le milestone principali sono assemblaggio del prototipo, ulteriori iterazioni prototipali, avvio della pre-serie e Start of Production, e risultano chiaramente identificate nei report settimanali. Tuttavia, tali riferimenti temporali emergono da documenti funzionali distinti (slide di reparto, Gantt specifici per omologazione o post-produzione) e non da un piano integrato unico che renda esplicite le interdipendenze tra attività tecniche, normative e produttive.

La fase prototipale ha generato un numero rilevante di bonifiche tecniche, riguardanti componenti idraulici, sistemi di accumulo e problematiche di rumorosità. Le modifiche sono emerse progressivamente durante le prove e le prime fasi di assemblaggio, determinando aggiornamenti successivi della distinta base. In un caso specifico, la rottamazione di materiale reso obsoleto da modifiche tardive ha generato un impatto economico superiore a 10.000 euro, riducendo il beneficio atteso dalla revisione costi iniziale.

Tale dinamica evidenzia la gestione delle modifiche tecniche descritta precedentemente.

Un ulteriore elemento significativo riguarda la commessa del cliente Finanzauto. La consegna, inizialmente prevista per fine gennaio 2026, è stata successivamente riprogrammata a fine febbraio 2026, a seguito delle criticità emerse in fase prototipale e delle attività di post-produzione necessarie alla stabilizzazione del prodotto. Nelle settimane precedenti alla nuova scadenza è stato elaborato un Gantt dedicato alle attività di finitura e bonifica, con l'obiettivo di comprimere le tempistiche residue, riportato di seguito.

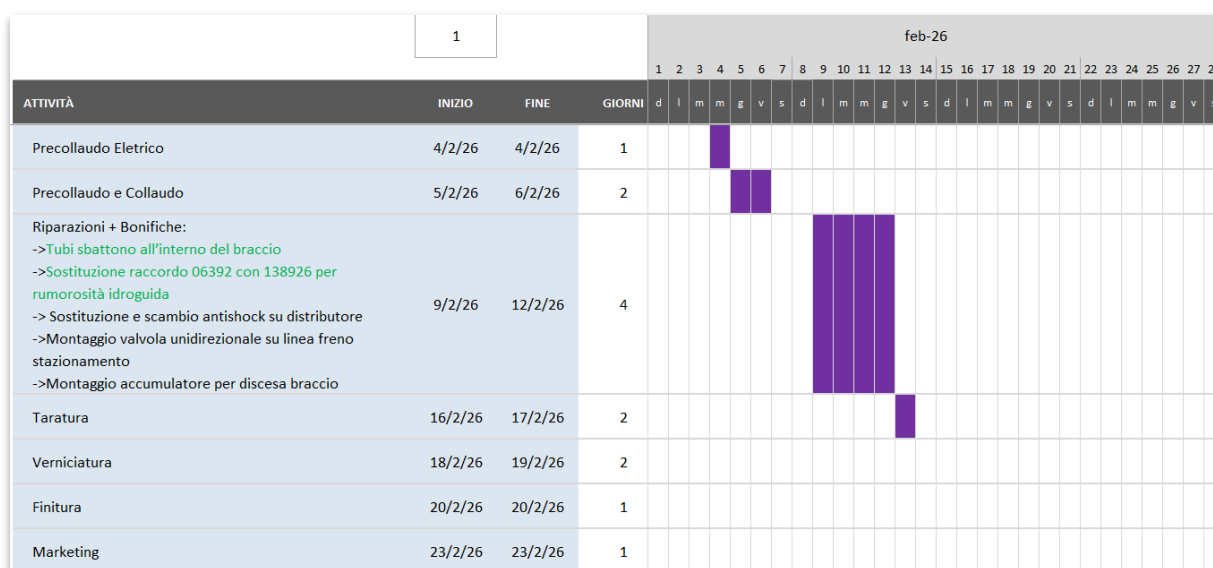


Figura 3.3.1 Pianificazione temporale delle attività di riparazione, collaudo e finitura

Fonte: file aziendali

La pianificazione, in questo caso, si configura come strumento di recupero e riallineamento rispetto a una criticità già manifestata, più che come meccanismo predittivo di controllo.

Nel complesso, il caso TH 4.15/19 evidenzia un sistema di monitoraggio operativo efficace nella risoluzione delle problematiche tecniche, ma caratterizzato da una limitata integrazione preventiva tra dimensione tecnica, temporale ed economica. L'assenza di una rappresentazione strutturata delle dipendenze rende meno immediata la valutazione dell'impatto delle modifiche sul percorso complessivo verso la produzione.

3.3.2 Il progetto THA 3,5.7/9 (gamma agricola)

Il progetto THA 3,5.7/9 si colloca in un contesto strategico differente, in quanto rappresenta un'iniziativa di ingresso in un segmento di mercato meno consolidato per l'azienda. Il livello di incertezza tecnica e commerciale risulta pertanto superiore rispetto a un aggiornamento di gamma, pur mantenendo modalità gestionali coerenti con il modello AS-IS descritto.

Le milestone principali comprendono il completamento dei prototipi con relative bonifiche, la validazione della distinta base, la pre-serie e la Start of Production. Anche in questo caso, i riferimenti temporali risultano distribuiti tra report funzionali e Gantt di reparto, senza una modellazione unitaria delle dipendenze tra progettazione, omologazione e industrializzazione.

Un elemento centrale del progetto è rappresentato dalle prove normative ROPS e FOPS, la cui ripianificazione a metà febbraio 2026 ha introdotto un vincolo diretto sul percorso di sviluppo. Alcune modifiche strutturali, come i rialzi cabina, risultano implementabili in via definitiva solo dopo il superamento delle prove, configurando una dipendenza tecnica bloccante. L'impatto temporale di tale relazione viene gestito attraverso monitoraggio interfunzionale, ma non risulta formalizzato in una rappresentazione reticolare del progetto.

La fase prototipale ha generato numerose attività di bonifica, tra cui interventi su sterzo, unificazione del vano motore e sistemi di frenatura. Parallelamente, sono emerse criticità legate alla qualità di componenti forniti da terzi, come deformazioni di serbatoi rotoformati, tolleranze non conformi su convogliatori aria e problematiche di saldatura su semigusci strutturali. Tali situazioni hanno richiesto rilavorazioni, verifiche presso fornitori e aggiornamenti di processo, determinando una sovrapposizione tra stabilizzazione tecnica e industrializzazione.

Ulteriori evidenze riguardano la producibilità. In fase di pre-serie è stata riscontrata una significativa difficoltà nel serraggio a 450 Nm dei distanziali cabina, a causa di limitazioni ergonomiche e operative. L'analisi della criticità è avvenuta quando le modifiche strutturali risultavano già definite, evidenziando una limitata integrazione preventiva tra progettazione e valutazione di processo.

Dal punto di vista economico, il costo macchina ha mostrato variazioni progressive tra marzo 2025 e gennaio 2026, con incrementi percentualmente contenuti ma indicativi di un'evoluzione tecnica ancora in corso in fase avanzata. Anche in questo caso, l'aggiornamento economico accompagna l'introduzione delle modifiche, configurando una gestione incrementale più che predittiva.

Il progetto THA conferma quindi le caratteristiche del modello AS-IS: elevata competenza tecnica, forte coordinamento interfunzionale e capacità reattiva nella gestione delle criticità, a fronte di una pianificazione integrata limitata e di un'assenza di strumenti strutturati per la modellazione preventiva delle dipendenze e del percorso critico.

3.3.3 Confronto tra i casi e conferma del modello AS-IS

Il confronto tra i progetti TH 4.15/19 S/SP e THA 3,5.7/9 evidenzia come, pur in presenza di contesti strategici differenti, le modalità di gestione risultino riconducibili a un medesimo impianto organizzativo.

Nel caso TH 4.15/19, inserito in una gamma consolidata, la complessità si manifesta prevalentemente nella fase prototipale, dove le modifiche tecniche successive generano impatti economici diretti e determinano slittamenti di milestone commerciali, come nel caso della consegna Finanzauto. Il rischio principale è quindi legato alla propagazione delle modifiche su costi e tempi di consegna.

Nel progetto THA 3,5.7/9, invece, la criticità assume una natura diversa: il vincolo normativo (prove ROPS/FOPS) e l'ingresso in un nuovo segmento di mercato introducono un livello più elevato di incertezza tecnica e commerciale. Le milestone normative diventano punti di blocco del percorso industriale e le attività di bonifica si sovrappongono alla preparazione della pre-serie, aumentando il rischio di compressione temporale.

Nonostante tali differenze, entrambi i progetti presentano elementi strutturali comuni:

- pianificazione distribuita per funzione e non ancorata a una baseline integrata condivisa;
- gestione delle dipendenze tramite coordinamento interfunzionale, senza modellazione esplicita del percorso critico;
- introduzione progressiva di modifiche tecniche con valutazione economica prevalentemente consuntiva;
- monitoraggio basato su aggiornamenti periodici, privo di un indicatore sintetico univoco dell'avanzamento complessivo.

La natura del rischio varia (economico-operativo nel TH 4.15/19, normativo-strategico nel THA), ma la struttura gestionale sottostante rimane invariata.

Il confronto conferma quindi che le criticità osservate non sono riconducibili a specifiche scelte progettuali o alla complessità intrinseca del singolo prodotto, bensì a caratteristiche sistemiche del modello organizzativo adottato. Tale evidenza rafforza la necessità di introdurre strumenti di pianificazione integrata e di controllo predittivo delle dipendenze, che consentano di governare progetti con livelli di complessità differenti mantenendo coerenza metodologica e tracciabilità degli scostamenti.

3.4 Criticità AS-IS e implicazioni per il modello migliorativo

L'analisi del modello AS-IS e il confronto tra i casi studio evidenziano un sistema gestionale solido dal punto di vista tecnico-operativo, caratterizzato da elevata competenza interna, forte coordinamento interfunzionale e capacità di reazione tempestiva alle criticità emergenti. I progetti analizzati dimostrano che l'organizzazione è in grado di adattarsi a vincoli normativi, gestire modifiche tecniche anche significative e raggiungere gli obiettivi industriali previsti.

Tuttavia, tale efficacia appare sostenuta prevalentemente da esperienza, collaborazione e monitoraggio continuo, più che da un impianto strutturato di pianificazione integrata e controllo predittivo. Le criticità emerse non riguardano singole scelte progettuali, ma configurano elementi ricorrenti e sistemici del modello organizzativo adottato.

Le evidenze raccolte consentono di ricondurre tali criticità a quattro ambiti principali.

Assenza di baseline integrata

Le milestone risultano chiaramente identificate, ma non ancorate a un piano end-to-end formalmente congelato. Ne deriva una limitata tracciabilità degli scostamenti temporali e una difficoltà nel misurare in modo oggettivo la deriva cumulativa delle modifiche intervenute nel tempo.

Integrazione parziale delle dipendenze progettuali

La pianificazione per funzione garantisce specializzazione e chiarezza operativa, ma non rende esplicite in modo sistematico le relazioni critiche tra sviluppo tecnico, validazioni normative, industrializzazione e consegne cliente. L'assenza di una modellazione strutturata delle dipendenze riduce la capacità di individuare preventivamente il percorso critico e di valutare l'impatto propagativo dei ritardi.

Gestione prevalentemente reattiva delle modifiche tecniche

Le varianti emergono durante le fasi prototipali o di industrializzazione e vengono risolte con efficacia operativa; tuttavia, la valutazione economica e temporale avviene principalmente in modalità consuntiva. Questo limita la possibilità di anticipare gli effetti sistemici delle decisioni tecniche e di supportare scelte basate su scenari alternativi.

Assenza di un indicatore sintetico di avanzamento

Il monitoraggio si basa su report dettagliati e aggiornamenti periodici, ma non su una misura univoca e integrata dello stato complessivo del progetto. La mancanza di un indicatore sintetico rende più complesso confrontare in modo immediato pianificato e realizzato lungo l'intero ciclo di vita.

Tali elementi non compromettono la capacità dell'organizzazione di completare i progetti, ma evidenziano un limite strutturale nella dimensione predittiva e sistemica del controllo. In un contesto caratterizzato da crescente complessità normativa, pressione sul time-to-market e sviluppo di nuove gamme tecnologicamente innovative, tale limite può amplificare il rischio di slittamenti, rilavorazioni e dispersione di margine.

Alla luce di queste considerazioni, emerge la necessità di un modello migliorativo che:

- formalizzi una baseline temporale condivisa e misurabile;
- espliciti le dipendenze tra attività mediante strumenti reticolari e analisi del percorso critico;
- integri la gestione delle modifiche tecniche con una valutazione preventiva degli impatti su tempi e costi;
- introduca un indicatore sintetico di avanzamento capace di rappresentare in modo oggettivo lo stato del progetto.

Il capitolo successivo sarà dedicato alla definizione del modello TO-BE, con l'obiettivo di integrare pianificazione, controllo delle dipendenze e monitoraggio percentuale dell'avanzamento in un sistema coerente e applicabile ai progetti ad alta complessità tecnologica e normativa, come il TH 3.6 E elettrico.

Capitolo 4: Modello TO-BE di pianificazione e controllo dei progetti

Il presente capitolo introduce un modello migliorativo di pianificazione e controllo dei progetti di sviluppo prodotto (modello TO-BE), finalizzato a rendere più esplicite le interdipendenze tra attività, migliorare la capacità di analisi temporale del progetto e supportare il processo decisionale nelle situazioni caratterizzate da elevata complessità tecnica.

Il modello proposto viene applicato al progetto di sviluppo del modello **TH 3.6 E**, che rappresenta un caso particolarmente significativo per l'analisi. La macchina in oggetto costituisce infatti il **primo modello completamente elettrico sviluppato dall'azienda**, introducendo elementi di innovazione tecnologica e organizzativa che differiscono in modo sostanziale rispetto ai modelli tradizionali con motorizzazione endotermica. L'ingresso nel segmento delle macchine elettriche comporta infatti la necessità di affrontare un contesto tecnico e normativo in parte nuovo per l'organizzazione, con implicazioni rilevanti sia in fase di progettazione sia nelle successive fasi di validazione e industrializzazione.

Uno degli aspetti più critici riguarda in particolare la **gestione del sistema batteria**, elemento centrale della configurazione tecnica della macchina elettrica. L'integrazione tra veicolo e batteria introduce nuove responsabilità in termini di sicurezza, validazione funzionale e conformità normativa, che devono essere considerate sia nelle attività di progettazione sia nei processi di omologazione del prodotto. Parallelamente, l'introduzione della batteria comporta anche implicazioni operative significative nelle fasi di assemblaggio e gestione logistica del prototipo e delle prime unità di produzione.

Oltre agli aspetti tecnici, il progetto presenta infatti una serie di implicazioni operative che coinvolgono diverse aree aziendali. Tra queste rientrano le verifiche normative legate alla sicurezza del sistema elettrico, la gestione dell'assemblaggio della batteria in produzione, la definizione di nuove procedure di controllo qualità e le attività logistiche associate al trasporto e allo stoccaggio della macchina equipaggiata con batteria. Inoltre, la presenza di componenti ad alta tensione rende necessaria l'introduzione di **specifici programmi di formazione per il personale**, finalizzati a garantire che gli operatori coinvolti nelle attività di prototipazione, test e assemblaggio possiedano le competenze necessarie per operare in sicurezza.

Queste caratteristiche rendono il progetto TH 3.6 E un contesto particolarmente adatto per l'applicazione del modello TO-BE. La presenza di numerose interdipendenze tra attività tecniche, normative, produttive e organizzative consente infatti di evidenziare con maggiore chiarezza i benefici derivanti dall'introduzione di strumenti strutturati di pianificazione e controllo del progetto.

Nei paragrafi successivi verrà quindi presentata la configurazione del modello TO-BE e la sua applicazione al progetto TH 3.6 E, introducendo progressivamente gli strumenti utilizzati per la pianificazione integrata del progetto, l'analisi delle dipendenze temporali e il monitoraggio dell'avanzamento delle attività.

4.1 Modello TO-BE di pianificazione integrata end-to-end

Il primo elemento del modello TO-BE riguarda la formalizzazione esplicita delle macro-fasi di progetto secondo una logica progressiva di maturazione del prodotto. Le attività e le durate utilizzate per l'applicazione degli strumenti di pianificazione sono state ricostruite a partire dalle informazioni

operative emerse nell'analisi AS-IS, riorganizzandole secondo una logica integrata coerente con il modello TO-BE proposto.

Nel modello AS-IS le fasi di sviluppo, quali progettazione, prototipazione, validazione, omologazione, industrializzazione e definizione economica, risultano chiaramente riconosciute a livello operativo, ma non sempre strutturate come stadi formalmente delimitati da criteri oggettivi di ingresso e uscita. Il passaggio tra una fase e l'altra avviene prevalentemente per avanzamento cronologico o per coordinamento informale tra le diverse funzioni aziendali.

Il modello TO-BE propone l'introduzione di una pianificazione integrata end-to-end, nella quale il progetto viene rappresentato come un sistema strutturato di fasi, deliverable e attività interdipendenti. L'obiettivo è rendere esplicite le relazioni tra le diverse componenti del progetto e fornire una base per l'applicazione degli strumenti di pianificazione e controllo introdotti nei paragrafi successivi.

In questa prospettiva, la struttura del modello TO-BE si fonda su due elementi principali: la formalizzazione delle macro-fasi di sviluppo secondo una logica **Stage-Gate** e la costruzione di una **Work Breakdown Structure (WBS)** orientata ai deliverable. Questi strumenti consentono di collegare in modo coerente la maturazione tecnica del prodotto alla pianificazione temporale e alla definizione delle attività operative del progetto.

I paragrafi successivi descrivono nel dettaglio tali strumenti e ne presentano l'applicazione al progetto **TH 3.6 E**, che verrà utilizzato come caso di riferimento per lo sviluppo del modello di pianificazione integrata.

4.1.1 Formalizzazione delle macro-fasi (Stage-Gate)

Il modello TO-BE introduce una configurazione **Stage-Gate**, nella quale il ciclo di sviluppo viene articolato in macro-fasi sequenziali (stage), ciascuna associata a un determinato livello di maturità tecnica del prodotto. Il passaggio da una fase alla successiva è subordinato al superamento di specifici punti decisionali (gate), nei quali viene verificato il raggiungimento dei requisiti minimi necessari per procedere allo stadio successivo (Cooper & Kleinschmidt, 1993).

Questa impostazione consente di distinguere con maggiore chiarezza tra l'avanzamento operativo delle attività e il consolidamento effettivo del prodotto lungo il processo di sviluppo.

Nel modello proposto le principali macro-fasi del processo di sviluppo prodotto sono:

1. definizione dei requisiti e progettazione preliminare;
2. sviluppo e validazione prototipale;
3. testing e omologazione normativa;
4. congelamento definitivo della configurazione tecnica (freeze BOM);
5. approvvigionamento strutturato e definizione economica del prodotto.

A ciascuna di queste fasi è associato un **gate decisionale**, che rappresenta un momento formale di verifica del progetto. Durante tali momenti vengono analizzati lo stato di avanzamento delle attività, la coerenza tecnica delle soluzioni progettuali e la sostenibilità economica del prodotto, al fine di autorizzare il proseguimento dello sviluppo.

La Tabella seguente sintetizza la struttura Stage-Gate del modello TO-BE.

Gate	Momento di controllo	Deliverable richiesto
Gate 1 – Validazione requisiti	Approvazione del concept tecnico e dei requisiti principali	Specifiche preliminari del prodotto
Gate 2 – Validazione prototipo	Verifica funzionale del prototipo e stabilizzazione delle principali soluzioni tecniche	Report di validazione prototipale
Gate 3 – Validazione tecnica e normativa	Completamento delle attività di testing e omologazione	Certificazioni e report di prova
Gate 4 – Freeze configurazione	Delibera definitiva della distinta base	BOM finale congelata
Gate 5 – Validazione economica	Definizione del costo industriale e del prezzo a listino	Pricing e configurazione commerciale

Tabella 4.1.1 Gate di controllo del processo di sviluppo prodotto e relativi deliverable

Fonte: elaborazione propria

Attraverso questa struttura il progetto non viene più interpretato come una semplice sequenza cronologica di attività, ma come un percorso progressivo di maturazione tecnica ed economica del prodotto.

Applicazione della logica Stage-Gate al progetto TH 3.6 E

L'applicazione della logica Stage-Gate al progetto **TH 3.6 E** consente di rileggere il Gantt operativo come un percorso strutturato di consolidamento del prodotto lungo le diverse fasi di sviluppo e non come semplice sequenza temporale di attività.

Sulla base della baseline temporale di **188 giorni (1° gennaio – 30 giugno 2026)**, il progetto può essere riclassificato nelle seguenti macro-fasi.

Fase 1 – Progettazione tecnica preliminare (Attività A)

Periodo: **inizio gennaio – fine gennaio**

Questa fase comprende la definizione dei requisiti tecnici principali e lo sviluppo della progettazione preliminare del prodotto. Durante questa fase vengono definite l'architettura generale della macchina, le principali soluzioni progettuali e i vincoli tecnici che guideranno le fasi successive di sviluppo.

Gate 1 – Validazione requisiti

Il completamento della progettazione preliminare costituisce il primo momento formale di verifica del progetto. In questo punto di controllo vengono analizzati:

- la coerenza dei requisiti tecnici;
- la fattibilità delle principali soluzioni progettuali;
- l'allineamento tra obiettivi tecnici e obiettivi di progetto.

Il superamento del Gate 1 consente di avviare la fase di sviluppo prototipale e la generazione della distinta base preliminare.

Fase 2 – Sviluppo e validazione prototipale (Attività B, C, D)

Periodo: **fine gennaio – metà marzo**

Questa fase comprende la creazione della **BOM preliminare**, lo sviluppo tecnico del prototipo e le prime verifiche funzionali. Le attività vengono svolte in parallelo dall'Ufficio Tecnico e dall'area Prototipi, con l'obiettivo di consolidare le principali soluzioni progettuali e individuare eventuali criticità tecniche.

Durante questa fase vengono progressivamente stabilizzate le modifiche tecniche ad alto impatto sul prodotto.

Gate 2 – Validazione prototipo

Il secondo momento di controllo coincide con la verifica funzionale del prototipo e con la valutazione della stabilità delle soluzioni progettuali adottate.

In questo gate vengono verificati:

- il corretto funzionamento del prototipo (verifica integrazione veicolo-batteria);
- l'assenza di criticità tecniche rilevanti (verifica sicurezza sistema alta tensione);
- il livello di maturità tecnica del prodotto.

Il superamento del Gate 2 consente di avviare le attività di testing approfondito e le procedure di omologazione normativa.

Fase 3 – Testing e omologazione (Attività E, F)

Periodo: **inizio febbraio – metà aprile**

Questa fase include le attività di testing funzionale, certificazione e omologazione della macchina. Si tratta del primo momento di integrazione tra sviluppo tecnico e vincoli normativi, nel quale vengono verificati i requisiti di sicurezza, prestazione e conformità del prodotto.

Le attività di testing e omologazione costituiscono un passaggio critico del progetto, poiché determinano la validazione tecnica definitiva della configurazione della macchina.

Gate 3 – Validazione tecnica e normativa

Il completamento delle attività di testing e certificazione rappresenta il terzo punto di controllo del progetto.

In questa fase vengono verificati:

- i risultati delle prove funzionali (esempio prove sicurezza elettrica);
- la conformità normativa del prodotto (esempio conformità normative batterie);
- l'idoneità tecnica della configurazione progettuale.

Il superamento del Gate 3 consente di procedere al congelamento definitivo della configurazione tecnica del prodotto.

Fase 4 – Freeze definitivo della distinta base (Attività G)

Periodo: **metà aprile – fine aprile**

Questa fase coincide con la **delibera finale della distinta base (BOM freeze)**. Il congelamento della configurazione rappresenta il punto di convergenza tra il percorso tecnico e il percorso economico-industriale del progetto.

Una volta completata questa fase, la configurazione del prodotto viene considerata stabilizzata e non sono più previste modifiche tecniche significative.

Gate 4 – Freeze configurazione

Il quarto punto di controllo verifica:

- la stabilità della configurazione tecnica;
- la completezza della distinta base;
- la compatibilità del progetto con le esigenze produttive.

Il superamento del Gate 4 consente di avviare le attività di approvvigionamento e di definizione economica del prodotto.

Fase 5 – Approvvigionamento e definizione economica (Attività H–L)

Periodo: **inizio maggio – fine giugno**

Questa fase comprende le attività di richiesta offerte (RFQ), negoziazione con i fornitori, assegnazione delle forniture, analisi dei costi e definizione del prezzo a listino.

In questa fase il progetto assume dimensione economico-commerciale e vengono consolidate le informazioni necessarie per il lancio del prodotto sul mercato.

Gate 5 – Validazione economica

Il quinto e ultimo momento di controllo coincide con la verifica finale della sostenibilità economica del prodotto.

In questa fase vengono valutati:

- il costo industriale definitivo;
- la struttura di approvvigionamento;
- la definizione del prezzo a listino.

La milestone finale (definizione del prezzo a listino) si colloca al giorno 188 della baseline temporale.

Benefici della formalizzazione

La riorganizzazione del progetto TH 3.6 E secondo una struttura Stage-Gate produce diversi benefici dal punto di vista della gestione del progetto: rende espliciti i momenti di maturità tecnica del prodotto, evitando sovrapposizioni non controllate tra attività di validazione e attività economico-

industriali, introduce criteri formali di passaggio tra le diverse fasi del progetto, riducendo la probabilità che modifiche tecniche ad alto impatto emergano nelle fasi più avanzate dello sviluppo e, infine, fornisce una base concettuale più solida per la modellazione delle dipendenze temporali tra le attività e per l'analisi del percorso critico sviluppata nel paragrafo successivo.

La struttura Stage-Gate rappresenta quindi il primo passo verso una pianificazione di progetto più strutturata, integrata e misurabile, coerente con la baseline temporale adottata per il progetto TH 3.6 E.

4.1.2 Work Breakdown Structure

Il secondo elemento del modello TO-BE consiste nell'introduzione sistematica di una Work Breakdown Structure (WBS) costruita secondo una logica orientata ai deliverable, anziché alle singole funzioni aziendali.

Nel modello AS-IS la pianificazione risulta prevalentemente organizzata per reparto: ogni funzione monitora le proprie attività e ne presidia l'avanzamento, ma il collegamento organico tra i diversi contributi al risultato finale non sempre è immediatamente visibile.

Il modello TO-BE propone invece una scomposizione gerarchica del progetto a partire dai risultati intermedi che ne rappresentano i livelli progressivi di maturità. La WBS diventa così lo strumento che collega le macro-fasi definite nel paragrafo precedente alle attività operative del Gantt e, successivamente, alla modellazione reticolare sviluppata tramite CPM.

La struttura tipica della WBS si articola su tre livelli:

Livello 1 – Progetto complessivo: rappresenta l'obiettivo finale del ciclo di sviluppo.

Livello 2 – Deliverable principali: identifica i risultati intermedi che segnano il consolidamento progressivo del prodotto.

Livello 3 – Attività operative: comprende le azioni tecniche, normative ed economiche necessarie al raggiungimento dei deliverable.

Questa impostazione consente di rendere esplicite le interdipendenze tra funzioni e di superare una lettura puramente cronologica del progetto (Project Management Institute, 2021).

Applicazione della WBS al progetto TH 3.6 E

Applicando la logica della WBS al progetto TH 3.6 E, il Gantt integrato viene riclassificato secondo una scomposizione orientata ai risultati e coerente con la baseline di 188 giorni.

La struttura gerarchica della Work Breakdown Structure applicata al progetto TH 3.6 E è rappresentata nella figura di seguito.

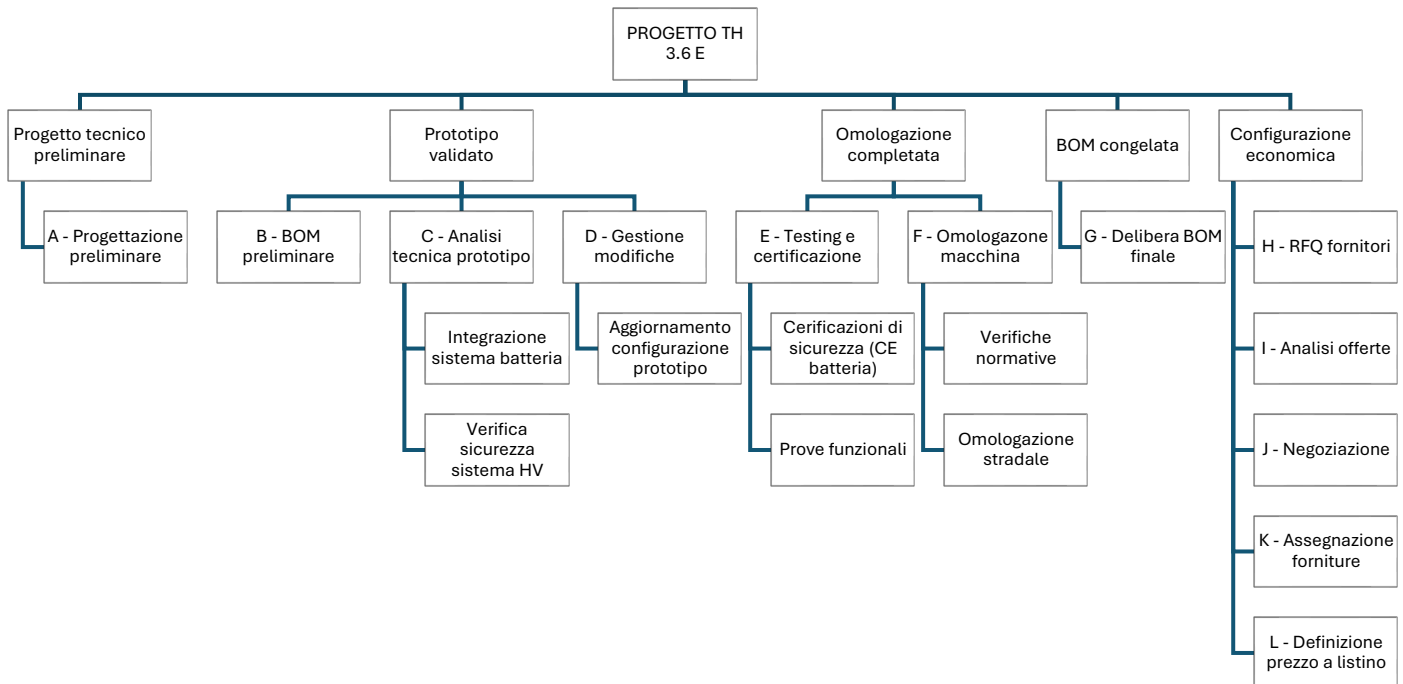


Figura 4.1.2 Work Breakdown Structure (WBS) delle principali fasi e attività del progetto TH 3.6 E

Fonte: elaborazione propria

Livello 1 – Progetto complessivo

L'obiettivo è sviluppo, validazione e definizione economica del modello elettrico fino alla definizione del prezzo a listino.

Livello 2 – Deliverable principali

Il progetto viene articolato nei seguenti blocchi di risultato:

1. **Progetto tecnico preliminare consolidato;**
2. **Prototipo validato internamente;**
3. **Omologazione completata;**
4. **Distinta base definitiva congelata;**
5. **Configurazione economica e pricing definiti.**

Questa suddivisione consente di associare ogni stadio del progetto a un risultato verificabile e non soltanto a una data di calendario.

Livello 3 – Attività operative associate

La riconduzione delle attività del Gantt ai deliverable evidenzia la logica del progetto:

- Il deliverable **“Progetto tecnico preliminare consolidato”** comprende l'attività A (chiusura progettazione preliminare).
- Il deliverable **“Prototipo validato internamente”** include la creazione della BOM preliminare (B) e le attività di analisi tecnica prototipale e gestione modifiche (C e D).

- Il deliverable “**Omologazione completata**” comprende testing e certificazione (E) e omologazione macchina (F), che rappresentano il primo blocco di integrazione tra flusso tecnico e vincoli normativi.
- Il deliverable “**Distinta base definitiva congelata**” corrisponde all’attività G, nodo di convergenza tra validazione tecnica e percorso economico-industriale.
- Il deliverable “**Configurazione economica e pricing definiti**” comprende le attività H, I, J, K e L, che completano il ciclo economico fino alla definizione del prezzo a listino.

È opportuno precisare che la Work Breakdown Structure può includere, a livello descrittivo, ulteriori sotto-attività operative legate a specifici aspetti tecnici del progetto, quali ad esempio verifiche di integrazione del sistema batteria, controlli di sicurezza sui sistemi ad alta tensione o attività preparatorie alle prove di validazione. Tuttavia, ai fini della modellazione temporale sviluppata nei paragrafi successivi, l’analisi viene condotta considerando esclusivamente le attività principali identificate nel Gantt mediante le lettere A–L. Le sotto-attività prive di identificatore specifico non vengono quindi rappresentate come nodi autonomi nel Gantt e nel diagramma reticolare utilizzato per l’applicazione del Critical Path Method, ma sono considerate parte integrante delle attività principali a cui risultano associate. Questa scelta consente di mantenere un livello di modellazione coerente con i dati temporali effettivamente disponibili e di evitare un’eccessiva frammentazione del reticolo di progetto, che renderebbe più complessa l’analisi del percorso critico senza apportare benefici significativi in termini di accuratezza della pianificazione.

Implicazioni metodologiche

L’introduzione della WBS consente di superare una lettura frammentata per funzione, favorendo una visione orientata al risultato, e rende più chiaro il legame tra attività tecniche, normative ed economiche, evidenziando che il vero nodo critico del progetto è il blocco integrato di validazione tecnica e omologazione che precede il freeze definitivo della distinta base.

Questa consapevolezza è fondamentale per l’analisi del percorso critico sviluppata nel paragrafo successivo. Solo attraverso una chiara identificazione dei deliverable è infatti possibile modellare correttamente le dipendenze temporali e comprendere quali blocchi di attività influenzino realmente la durata complessiva del progetto.

4.1.3 Gantt master unico e integrazione delle dipendenze

Nel modello AS-IS la pianificazione temporale risulta distribuita tra documenti distinti e pianificazioni di reparto: esistono Gantt specifici per l’omologazione, pianificazioni interne per la produzione o per le attività di post-prototipo, oltre a report periodici di avanzamento per funzione. Tale configurazione garantisce un buon controllo locale delle attività, ma non sempre consente una visione unitaria dell’intero ciclo di sviluppo né una rappresentazione esplicita delle dipendenze logiche tra le funzioni coinvolte.

Il modello TO-BE introduce invece la costruzione di un Gantt master integrato, unico e condiviso, nel quale confluiscono tutte le macro-attività del progetto e le relative relazioni di precedenza. Il Gantt rappresenta una struttura temporale di riferimento su cui fondare l’analisi delle dipendenze e la misurazione degli scostamenti, consente di visualizzare l’intero percorso di sviluppo dalla progettazione preliminare alla definizione del prezzo a listino e costituisce la base per l’applicazione del Critical Path Method e per le successive simulazioni di scenario.

Applicazione al progetto TH 3.6 E

Nel caso del progetto TH 3.6 E, la costruzione del Gantt integrato è avvenuta a partire dalle macro-fasi definite nei paragrafi precedenti e dalla Work Breakdown Structure.

La pianificazione è stata strutturata assumendo come data di avvio il 1° gennaio 2026, corrispondente all'avvio della progettazione preliminare, e come milestone finale la definizione del prezzo a listino, prevista al 30 giugno 2026.

Il flusso progettuale si articola secondo una logica causale che collega in modo esplicito le diverse componenti del progetto. La chiusura della progettazione preliminare abilita la creazione della distinta base preliminare e l'avvio delle attività di analisi prototipale e gestione delle modifiche tecniche. Tale macro-attività è modellata attraverso due contributi paralleli (Ufficio Tecnico e Area Prototipi), ma costituisce un unico blocco funzionale ai fini della maturità tecnica del prodotto.

Le attività di testing e certificazione si sviluppano in sovrapposizione controllata alla fase di analisi tecnica, mentre l'omologazione macchina è vincolata al consolidamento delle soluzioni progettuali principali. In particolare, alcune verifiche preliminari vengono avviate già durante la fase di sviluppo prototipale, consentendo di individuare tempestivamente eventuali criticità tecniche. Le attività di testing formale e certificazione normativa si concentrano invece nella fase finale del processo di validazione, quando le principali soluzioni progettuali risultano stabilizzate. Il completamento dell'omologazione rappresenta un punto cardine: solo dopo tale momento può essere formalizzata la delibera definitiva della distinta base, che costituisce il nodo di convergenza tra flusso tecnico e flusso economico.

A valle del congelamento della BOM, le attività di approvvigionamento, negoziazione fornitori, analisi costi e definizione del pricing si sviluppano in sequenza lineare, trasferendo il vincolo tecnico-normativo sull'intero blocco economico-industriale.

La figura di seguito riporta il Gantt master integrato del progetto TH 3.6 E secondo il modello TO-BE.

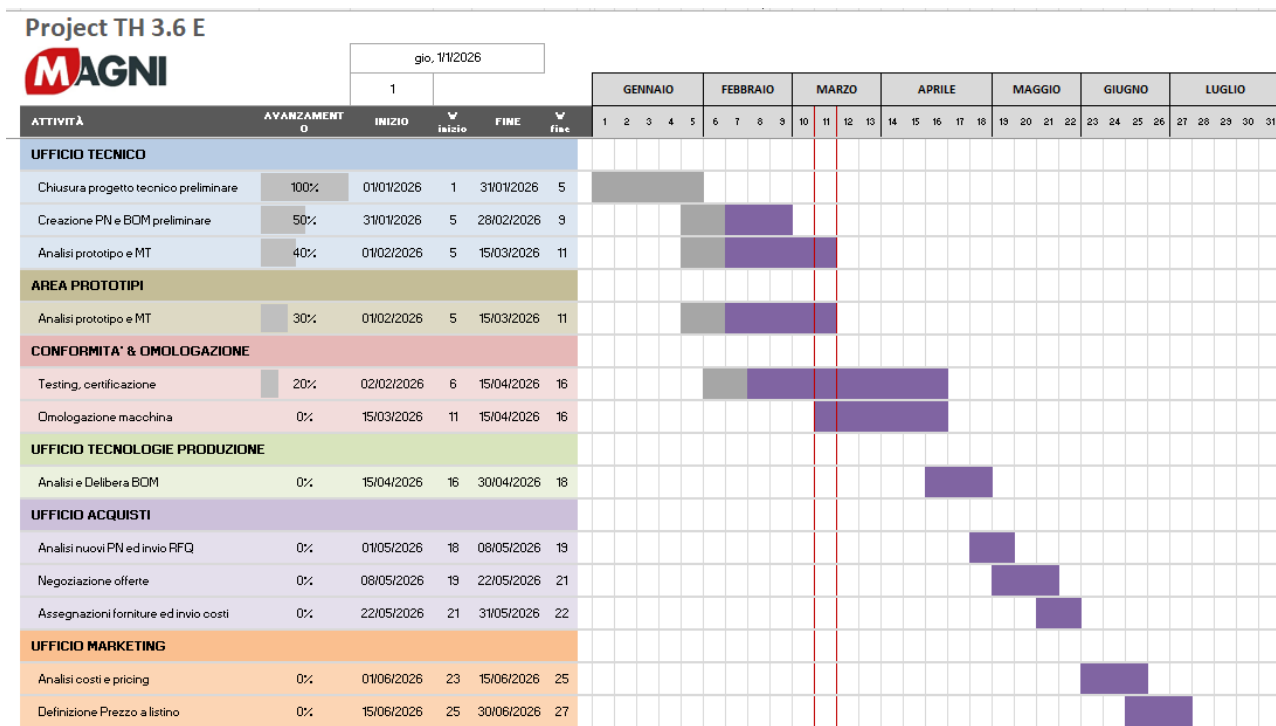


Figura 4.1.4: Gantt Master progetto TH 3.6 E

Fonte: elaborazione propria

Nota: tutte le attività rappresentate appartengono al percorso critico del progetto calcolato tramite CPM nel paragrafo successivo (la linea rossa verticale rappresenta la data del momento di visualizzazione del diagramma).

Evidenze strutturali emerse dal Gantt integrato

La costruzione del Gantt master consente di rendere immediatamente visibili alcune caratteristiche strutturali del progetto, che nel modello AS-IS risultavano meno esplicitate.

Infatti, emergono sovrapposizioni tra attività tecniche e normative; tale configurazione consente di comprimere la durata complessiva del progetto, ma riduce i margini di sicurezza temporale, aumentando la sensibilità del sistema a eventuali ritardi.

Inoltre, il freeze definitivo della distinta base si configura come nodo di convergenza tra flusso tecnico e flusso economico. Il completamento delle attività di validazione e omologazione costituisce infatti prerequisito per l'avvio delle attività di approvvigionamento e definizione economica.

Il Gantt master integrato rappresenta dunque il passaggio da una pianificazione frammentata a una visione unitaria e misurabile del progetto, costituendo la base per la definizione della baseline temporale e per l'applicazione del Critical Path Method.

4.1.4 Definizione della baseline e gestione delle variazioni di piano

Nel modello AS-IS, le date di riferimento vengono progressivamente aggiornate nel corso dello sviluppo, senza un piano iniziale formalmente congelato. Ciò rende più complesso distinguere tra pianificazione originaria e revisioni successive, limitando la possibilità di valutare in modo oggettivo l'impatto delle variazioni.

Il modello proposto introduce invece una baseline esplicita definita al momento della costruzione del piano di progetto. Essa comprende la data di avvio, la durata complessiva prevista e le principali milestone temporali del progetto. La baseline non rappresenta un vincolo rigido, ma costituisce il riferimento rispetto al quale monitorare l'evoluzione del progetto e simulare l'impatto di eventuali modifiche tecniche (Project Management Institute, 2021).

Tale riferimento temporale è inoltre necessario per l'applicazione dell'analisi del percorso critico sviluppata nel paragrafo successivo.

Applicazione al progetto TH 3.6 E

Nel caso del progetto TH 3.6 E, la baseline temporale è definita a partire dal Gantt master integrato presentato nel paragrafo precedente.

Si assume come data di avvio sempre il **1° gennaio 2026** e la milestone finale è rappresentata dalla definizione del prezzo a listino prevista per il **30 giugno 2026**. La durata complessiva della pianificazione risulta pertanto pari a **188 giorni**.

All'interno di tale intervallo temporale vengono individuati alcuni momenti di consolidamento del progetto, tra cui il completamento della fase di validazione tecnica e normativa, il congelamento della distinta base e la definizione finale della configurazione economica del prodotto.

La formalizzazione della baseline consente di calcolare in modo strutturato le date di inizio e fine più precoci e più tardive delle attività, nonché di individuare il percorso critico del progetto attraverso l'applicazione del Critical Path Method, illustrata nel paragrafo 4.2.

La struttura della baseline temporale del progetto TH 3.6 E è sintetizzata nella Tabella di seguito.

Elemento di baseline	Descrizione	Data / Durata
Data di avvio progetto	Avvio progettazione preliminare	1° gennaio 2026
Completamento validazione tecnica e normativa	Conclusione testing e omologazione macchina	15 aprile 2026
Freeze distinta base	Delibera definitiva configurazione prodotto	30 aprile 2026
Definizione configurazione economica	Conclusione negoziazione fornitori	Maggio 2026
Milestone finale	Definizione prezzo a listino	30 giugno 2026
Durata complessiva progetto	Intervallo tra avvio e milestone finale	188 giorni

Tabella 4.1.4: Baseline temporale del progetto TH 3.6 E

Fonte: elaborazione propria

4.1.5 Applicazione integrata del modello TO-BE al progetto TH 3.6 E

Applicando il modello TO-BE, il progetto TH 3.6 E viene riorganizzato secondo una logica sequenziale di consolidamento, nella quale ogni fase è associata a un deliverable verificabile e a un momento decisionale formalizzato.

In primo luogo, il progetto viene articolato in macro-fasi coerenti con la logica stage-gate: progettazione preliminare, sviluppo e validazione del prototipo, testing e omologazione, congelamento definitivo della distinta base, approvvigionamento e definizione economica. Ciascuna

fase è delimitata da condizioni di ingresso e uscita esplicite. I gate decisionali vengono posizionati in corrispondenza dei momenti di passaggio tra macro-fasi. Tali punti di verifica introducono una maggiore responsabilizzazione interfunzionale e riducono il rischio di trasferire instabilità tecnica verso le fasi di industrializzazione e definizione economica.

In secondo luogo, la Work Breakdown Structure del progetto viene costruita secondo una logica orientata ai deliverable. Il progetto complessivo viene scomposto in risultati intermedi – progetto preliminare consolidato, prototipo validato, omologazione completata, distinta base definitiva congelata, configurazione economica definita – ai quali sono ricondotte le attività operative delle diverse funzioni aziendali. Questa impostazione consente di superare una lettura puramente funzionale delle attività e di rendere visibile il contributo integrato di progettazione, testing, omologazioni, acquisti e controllo di gestione al raggiungimento di ciascun risultato.

Il Gantt master del TH 3.6 E viene quindi costruito integrando in un'unica pianificazione le attività tecniche, normative ed economiche, con esplicitazione delle relazioni di dipendenza tra esse. In tale configurazione, la delibera definitiva della distinta base rappresenta un nodo di convergenza tra validazione tecnica e percorso di omologazione, mentre la definizione economica finale risulta subordinata sia al completamento delle negoziazioni fornitori sia al congelamento della configurazione tecnica. L'integrazione delle dipendenze consente di rendere esplicita la struttura causale del progetto, costituendo la base per l'analisi quantitativa del percorso critico sviluppata nel paragrafo 4.2.

La baseline iniziale del progetto viene definita a partire dal Gantt integrato e formalizzata come piano di riferimento condiviso. Le principali milestone vengono associate a date target ufficiali, eventuali variazioni successive non comportano un aggiornamento automatico della baseline, ma sono oggetto di valutazione e formalizzazione, mantenendo tracciabile l'evoluzione del piano.

L'applicazione integrata del modello TO-BE al progetto TH 3.6 E consente dunque di trasformare una sequenza di attività coordinate operativamente in una struttura pianificata, misurabile e analizzabile in modo sistemico. Il progetto non viene modificato nella sua sostanza tecnica, ma nella modalità di governo: le dipendenze diventano esplicite, le milestone assumono un valore contrattuale interno e la baseline costituisce il riferimento per la successiva analisi del percorso critico e per l'introduzione di un indicatore sintetico di avanzamento.

4.2 Analisi temporale del progetto TH 3.6 E mediante CPM

La pianificazione integrata definita nel paragrafo 4.1 costituisce la baseline strutturale del progetto TH 3.6 E. Al fine di verificarne la coerenza temporale e individuare le attività che determinano la durata complessiva del progetto, si procede ora all'applicazione del Critical Path Method (CPM), già introdotto nel Capitolo 1.

In particolare, l'analisi consente di:

- determinare la durata minima teorica del progetto;
- individuare le attività a margine nullo;
- evidenziare i nodi di convergenza tra flusso tecnico, normativo ed economico;
- valutare il grado di sensibilità della pianificazione rispetto a possibili ritardi.

L'applicazione viene condotta assumendo durate deterministiche delle attività, coerentemente con le stime aziendali attualmente disponibili.

4.2.1 Costruzione della rete logica del progetto

A partire dal Gantt master integrato, le principali attività del progetto TH 3.6 E vengono modellate in una rete logica che ne rappresenta esplicitamente le relazioni di precedenza. La rete è stata costruita considerando esclusivamente le attività per le quali risultavano disponibili dati temporali formalizzati all'interno della baseline. Fasi successive, quali produzione di serie e ramp-up industriale, non sono state incluse nell'analisi CPM in quanto esterne al perimetro temporale della pianificazione considerata (fino alla definizione del prezzo a listino).

La Tabella seguente riporta le attività considerate, con durata stimata e collocazione temporale prevista nella baseline di progetto (Gantt). Si segnala che, ai fini della modellazione CPM, le date di calendario vengono "tradotte" in una struttura causale mediante relazioni FS/SS e lag, così da rappresentare in modo esplicito la logica operativa e le sovrapposizioni controllate tra fasi.

ID	Attività	Inizio	Fine	Durata (giorni)
A	Chiusura progetto tecnico preliminare	01/01	31/01	31
B	Creazione PN e BOM preliminare	31/01	28/02	29
C	Analisi prototipo e MT (UT)	01/02	15/03	43
D	Analisi prototipo e MT (Area prototipi)	01/02	15/03	43
E	Testing e certificazione	02/02	15/04	73
F	Omologazione macchina	15/03	15/04	32
G	Analisi e delibera BOM	15/04	30/04	16
H	Analisi nuovi PN + RFQ	01/05	08/05	8
I	Negoziante offerte	08/05	22/05	15
J	Assegnazione forniture	22/05	31/05	10
K	Analisi costi e pricing	31/05	15/06	15
L	Definizione prezzo a listino	15/06	30/06	16

Tabella 4.2.1: Elenco delle attività del progetto con date di inizio, fine e durata

Fonte: elaborazione propria

Le dipendenze tra le attività riflettono i vincoli tecnici e organizzativi del progetto. In particolare, la chiusura della progettazione preliminare costituisce il prerequisito per l'avvio della creazione della distinta base preliminare e delle analisi sul prototipo. Le attività di testing e certificazione vengono avviate nelle prime fasi di sviluppo del prototipo e si sviluppano in parallelo alle attività di analisi tecnica svolte da Ufficio Tecnico e Area Prototipi, mentre l'omologazione macchina può essere completata solo dopo il consolidamento delle soluzioni progettuali principali.

La delibera definitiva della distinta base può avvenire esclusivamente a seguito del completamento delle prove e dell'omologazione. Solo dopo tale congelamento risultano pienamente attivabili le attività economico-commerciali di negoziazione fornitori, analisi costi e definizione del prezzo a listino.

La formalizzazione delle relazioni di precedenza consente di trasformare la pianificazione da rappresentazione cronologica a struttura causale, prerequisito necessario per il calcolo delle date di inizio e fine più precoci e più tardive e per l'individuazione del percorso critico.

4.2.2 Determinazione del percorso critico

Definita la rete logica del progetto, si è proceduto alla determinazione delle date di inizio e fine più precoci e più tardive per ciascuna attività mediante applicazione del Critical Path Method (CPM) (Antill & Woodhead, 1991).

Nel reticolo sono state adottate relazioni di tipo Finish-to-Start (FS) e Start-to-Start (SS) con lag, in coerenza con la dinamica operativa del progetto. In particolare, le attività C e D rappresentano la medesima macro-attività di analisi prototipale e gestione delle modifiche tecniche, svolta in parallelo da due reparti differenti. Per tale motivo sono state modellate con durata equivalente e con avvio in parallelo alla creazione dei PN e della BOM preliminare (attività B), mediante relazioni $B \rightarrow C$ (SS + 1) e $B \rightarrow D$ (SS + 1). Il lag pari a un giorno rappresenta il tempo minimo necessario al rilascio e alla condivisione delle prime informazioni tecniche utilizzabili.

Il testing e le attività di certificazione (E) sono state modellate con relazioni $C \rightarrow E$ (SS + 1) e $D \rightarrow E$ (SS + 1), riflettendo l'avvio progressivo delle verifiche (preparazione documentazione come certificazione batteria della macchina elettrica) in parallelo all'analisi tecnica. L'omologazione macchina (F), che comprende ad esempio prova ROPS e omologazione stradale, è vincolata alla conclusione del blocco di analisi, mediante relazioni $C \rightarrow F$ (FS) e $D \rightarrow F$ (FS). La delibera definitiva della distinta base (G) può avvenire esclusivamente dopo il completamento congiunto di testing e omologazione, secondo relazioni $E \rightarrow G$ (FS) e $F \rightarrow G$ (FS). Le attività successive di approvvigionamento ed economico-commerciali seguono una sequenza lineare $G \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow L$ (tutte FS).

In una prima fase è stato effettuato il **forward pass**, calcolando per ciascuna attività l'inizio anticipato (Early Start – ES) e la fine anticipata (Early Finish – EF), nel rispetto dei vincoli di precedenza sopra descritti. In presenza di più predecessori, l'ES è stato determinato come il massimo tra i vincoli imposti dalle attività precedenti. Successivamente è stato eseguito il **backward pass**, partendo dalla milestone finale e risalendo lungo la rete per determinare le date di inizio e fine più tardive (Late Start – LS e Late Finish – LF) compatibili con la durata complessiva del progetto. Il margine temporale disponibile (slack) è stato calcolato come differenza tra LS ed ES (o tra LF ed EF) (Antill & Woodhead, 1991).

Attività	ES	EF	LS	LF	Slack
A	0	31	0	31	0
B	31	60	31	60	0
C	32	76	32	76	0
D	32	76	32	76	0
E	33	108	33	108	0
F	76	108	76	108	0
G	108	124	108	124	0
H	124	132	124	132	0
I	132	147	132	147	0
J	147	157	147	157	0
K	157	172	157	172	0
L	172	188	172	188	0

Tabella 4.2.2: Calcolo dei parametri temporali delle attività (ES, EF, LS, LF e Slack)

Fonte: elaborazione propria

È opportuno osservare che, nella configurazione del modello considerata, la totalità delle attività risulta caratterizzata da margine temporale nullo. Questo risultato è riconducibile alla modalità con cui è stata costruita la baseline di progetto, nella quale le durate assegnate alle singole attività rappresentano stime operative già coerenti con i tempi effettivamente necessari per il completamento delle rispettive fasi di lavoro. Di conseguenza, la pianificazione risultante presenta un livello di flessibilità temporale limitato, poiché non sono stati introdotti buffer espliciti tra le diverse attività. In tali condizioni il CPM evidenzia un percorso critico esteso che coinvolge l'intera catena operativa del progetto. Questa configurazione riflette le caratteristiche operative del contesto aziendale analizzato, nel quale i progetti di sviluppo prodotto sono frequentemente soggetti a una forte pressione sul time-to-market e a scadenze commerciali stringenti. La pianificazione tende pertanto a essere costruita sulla base della sequenza minima di attività necessarie al completamento del progetto, con margini temporali ridotti tra le diverse fasi di sviluppo.

Dalla Tabella CPM emerge che la durata complessiva del progetto, calcolata tramite CPM, è pari a **188 giorni**. Il **percorso critico** è identificato come la sequenza di attività a **slack nullo** che determina direttamente la milestone finale; di conseguenza, un ritardo su una qualsiasi delle attività critiche si trasferisce integralmente sulla data di completamento.

L'analisi evidenzia che la durata complessiva del progetto è determinata dalla sequenza:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow L$$

L'analisi evidenzia inoltre una pianificazione fortemente compressa, nella quale tutte le attività considerate presentano margine temporale nullo. In particolare, oltre alle attività appartenenti alla sequenza principale $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow F \rightarrow G \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow K \rightarrow L$, anche l'attività **D**, svolta in parallelo all'analisi prototipale dell'Ufficio Tecnico con durata equivalente, risulta critica.

Analogamente, anche l'attività **E (testing e certificazione)** presenta margine nullo. Ciò è dovuto al fatto che la delibera definitiva della distinta base (**G**) può avvenire esclusivamente a seguito del completamento congiunto delle attività di testing e certificazione (**E**) e omologazione macchina (**F**).

Il blocco costituito da tali attività rappresenta quindi il principale nodo di validazione tecnica e normativa del progetto, nel quale convergono i risultati delle analisi prototipali e delle verifiche di conformità. Solo dopo il completamento di questo nodo è possibile procedere al congelamento definitivo della configurazione tecnica del prodotto.

Inoltre, la catena sequenziale posta a valle del freeze della distinta base trasferisce il vincolo tecnico-normativo sull'intero blocco economico-industriale: una volta consolidato il nodo **G**, l'avanzamento fino alla definizione del prezzo a listino risulta concatenato e privo di margini temporali.

L'individuazione del percorso critico costituisce il presupposto per le simulazioni di impatto temporale delle modifiche tecniche (Capitolo 4.3) e per l'integrazione dell'indice sintetico di avanzamento proposto nel Capitolo 4.4.

4.2.3 Rappresentazione del diagramma reticolare

Al fine di rendere esplicita la struttura logica delle dipendenze tra le attività analizzate nei paragrafi precedenti, è stato costruito il diagramma reticolare del progetto TH 3.6 E, riportato nella Figura X.

Il reticolo è stato elaborato sulla base delle relazioni di precedenza formalizzate nel modello TO-BE e utilizzate per il calcolo del Critical Path Method. Esso consente di rappresentare in modo immediato la struttura causale del progetto, evidenziando i punti di divergenza e convergenza tra i diversi flussi di attività.

In particolare, il diagramma mostra l'avvio parallelo delle attività di analisi prototipale (C e D), lo sviluppo in sovrapposizione delle attività di testing e certificazione (E) e il nodo di convergenza rappresentato dalla delibera definitiva della distinta base (G), che può avvenire solo dopo il completamento congiunto delle attività di validazione tecnica e omologazione normativa.

Il percorso critico individuato nel paragrafo 4.2.2 risulta chiaramente identificabile anche nella rappresentazione reticolare.

Il diagramma reticolare, riportato di seguito, completa quindi l'analisi CPM fornendo una rappresentazione sintetica e intuitiva della struttura delle dipendenze progettuali e dei principali nodi di integrazione tra le funzioni coinvolte. Per facilitare la leggibilità del reticolo, le relazioni di tipo **Finish-to-Start (FS)** sono rappresentate in blu scuro, mentre le relazioni **Start-to-Start (SS)** sono evidenziate in azzurro.

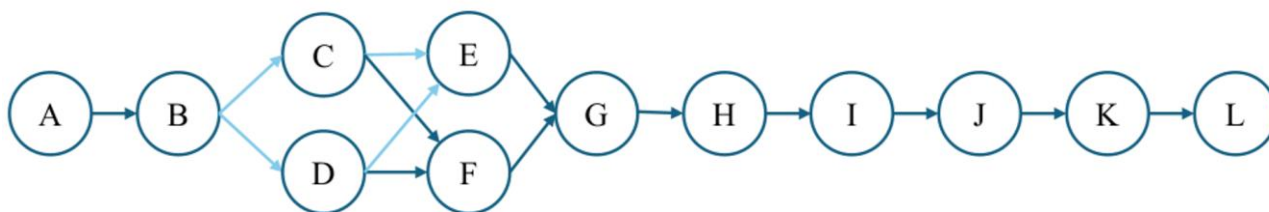


Figura 4.2.3: Diagramma reticolare delle attività del progetto

Fonte: elaborazione propria

4.2.4 Simulazione degli scostamenti e analisi di sensitività

Una volta individuato il percorso critico, l'analisi CPM può essere utilizzata per simulare scenari di scostamento e valutarne l'impatto sulla milestone finale. L'obiettivo è misurare in modo trasparente la sensibilità della pianificazione rispetto a ritardi localizzati.

Nel progetto TH 3.6 E, a valle della modellazione descritta nel paragrafo 4.2.2, la durata baseline risultante è pari a 188 giorni. Il reticolo evidenzia una struttura temporale fortemente compressa: tutte le attività considerate presentano margine temporale nullo. In assenza di slack disponibile, qualsiasi ritardo su una delle attività del percorso critico si trasferisce direttamente sulla durata complessiva del progetto.

Sulla base di tale configurazione vengono considerati due scenari rappresentativi.

Scenario 1 – Ritardo su attività critica tecnica (C/D: analisi prototipale e gestione MT)

Si ipotizza un ritardo di **5 giorni** nelle attività di analisi prototipale e gestione delle modifiche tecniche (C/D), appartenenti al percorso critico.

Poiché lo slack delle attività è nullo, il ritardo si propaga direttamente sulle attività successive, determinando uno slittamento equivalente della milestone finale. La durata complessiva del progetto passa pertanto da **188 a 193 giorni**, con un posticipo della definizione del prezzo a listino pari a **5 giorni** rispetto alla baseline.

Questo scenario evidenzia come eventuali iterazioni progettuali o revisioni tecniche tardive possano generare effetti immediati sull'intero percorso temporale del progetto.

Scenario 2 – Ritardo su attività critica normativa (F: omologazione macchina)

Si ipotizza un ritardo di **7 giorni** sull'attività F (omologazione macchina), anch'essa appartenente al percorso critico.

Anche in questo caso, l'assenza di margine temporale disponibile implica che lo scostamento si trasferisca integralmente alle attività successive. La durata complessiva del progetto passa quindi da **188 a 195 giorni**, con uno slittamento equivalente della milestone finale.

Il risultato evidenzia come il blocco di validazione normativa costituisca uno dei principali vincoli temporali del progetto: eventuali ritardi nelle prove di omologazione non possono essere compensati nelle fasi successive, poiché il ramo economico-industriale del progetto risulta concatenato e privo di margini.

Sintesi dei risultati

Scenario	Attività coinvolta	Ritardo ipotizzato	Slack disponibile	Impatto su durata totale	Durata progetto (gg)
Baseline	–	–	–	–	188
1	C/D – Analisi prototipale	+5 gg	0 gg	+5 gg	193
2	F – Omologazione macchina	+7 gg	0 gg	+7 gg	195

Tabella 4.2.4: Analisi di sensitività della baseline temporale

Fonte: elaborazione propria

La tabella evidenzia la sensibilità della baseline rispetto ai ritardi sulle attività critiche. In entrambi gli scenari simulati, lo scostamento si trasferisce integralmente sulla milestone finale, confermando la rigidità del percorso critico e l'assenza di margini temporali disponibili nel modello.

Dal punto di vista gestionale, ciò implica che il monitoraggio del progetto deve concentrarsi prioritariamente sulle attività appartenenti al blocco tecnico-normativo, in particolare durante le fasi di analisi prototipale, testing e omologazione, dove eventuali ritardi non possono essere compensati nelle fasi successive.

In generale, nel caso in cui il reticolo presenti attività non critiche, la presenza di slack consente di assorbire ritardi limitati senza generare slittamenti sulla milestone finale. Nel progetto analizzato, tuttavia, la struttura della pianificazione risulta priva di tali margini, rendendo l'intero sistema particolarmente sensibile anche a scostamenti temporali contenuti.

4.3 Modello strutturato di gestione delle modifiche tecniche

L'analisi condotta finora nei Capitoli 3 e 4 ha evidenziato come la pianificazione integrata e l'individuazione del percorso critico costituiscano strumenti fondamentali per il governo temporale del progetto. Tuttavia, nei contesti di sviluppo prodotto ad elevata complessità tecnica e normativa, la principale fonte di instabilità non è rappresentata esclusivamente dalla sequenza delle attività, bensì dall'introduzione di modifiche tecniche (MT) in fase avanzata.

Nei progetti di sviluppo prodotto industriale, le modifiche tecniche rappresentano una dinamica frequente del processo progettuale e possono generare effetti a cascata sulle attività successive, influenzando tempi di sviluppo, configurazione del prodotto e costi industriali (Russo & Panizzolo, 2010). Nei progetti analizzati le modifiche tecniche emergono prevalentemente nelle fasi di prototipazione, testing o validazione normativa e vengono gestite secondo una logica prevalentemente reattiva, con una valutazione dell'impatto economico e temporale consolidata solo a posteriori.

Nel modello TO-BE, la gestione delle modifiche tecniche viene invece formalizzata come processo decisionale strutturato, integrato con la pianificazione temporale e con l'analisi del percorso critico. La modifica non viene considerata un evento isolato, ma una variazione sistemica che può alterare:

- la durata complessiva del progetto,
- la configurazione del percorso critico,
- il costo industriale unitario,
- l'equilibrio tra tempo, costo e conformità normativa.

L'obiettivo del modello proposto è quindi trasformare la gestione delle MT da dinamica reattiva a dinamica **predittiva**, introducendo una valutazione preventiva integrata dell'impatto temporale ed economico prima della loro approvazione definitiva.

La gestione delle modifiche tecniche nel modello TO-BE è strutturata quindi come un processo decisionale che integra valutazioni tecniche, temporali ed economiche.

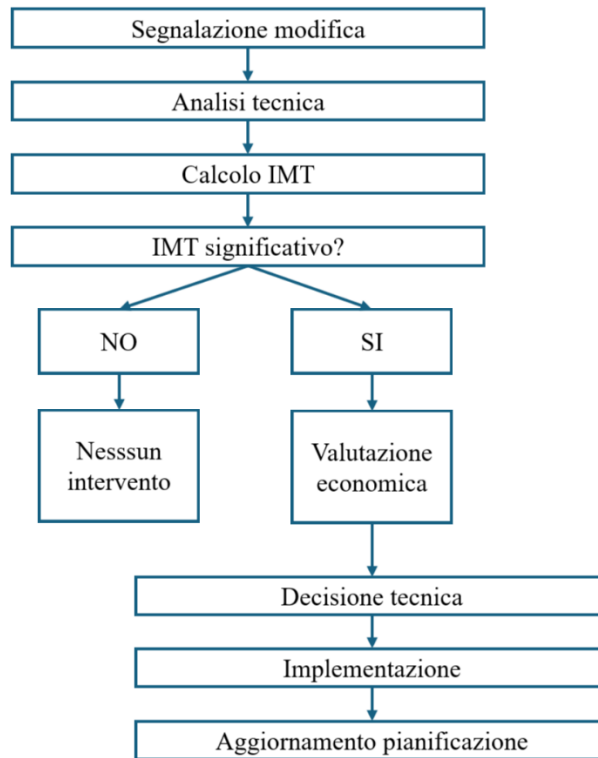


Figura 4.3: Processo decisionale per la gestione delle modifiche tecniche basato sull'indice IMT

Fonte: elaborazione propria

L'introduzione dell'indice IMT consente di valutare preventivamente l'impatto delle modifiche tecniche sul progetto, supportando decisioni più consapevoli rispetto al modello AS-IS.

4.3.1 Limiti del modello AS-IS nella gestione delle modifiche tecniche

Come discusso nel Capitolo 3, l'analisi dei progetti TH 4.15/19 e THA 3,5.7/9 ha evidenziato come le modifiche tecniche rappresentino uno dei principali fattori di variazione rispetto alla pianificazione iniziale.

Nel modello AS-IS, il processo decisionale segue una logica sequenziale implicita:

1. Emergenza della criticità tecnica;
2. Definizione della soluzione progettuale;
3. Implementazione operativa;
4. Consolidamento a posteriori dell'impatto economico.

Tale impostazione presenta tre principali limiti strutturali illustrati di seguito.

Il primo riguarda l'assenza di una valutazione preventiva dell'impatto temporale. Come evidenziato nel paragrafo 4.2, il progetto TH 3.6 E presenta un percorso critico chiaramente identificabile. Una modifica che incida su un'attività appartenente a tale sequenza determina una variazione diretta della durata complessiva:

$$\Delta T_{progetto} = \max(0, \Delta t_i - Slack_i)$$

dove:

- $\Delta T_{progetto}$ rappresenta la variazione della durata complessiva del progetto,
- Δt_i è l'incremento di durata dell'attività i modificata,
- $Slack_i$ il margine temporale disponibile per l'attività i .

Tale formulazione rappresenta il caso base in cui la modifica tecnica incide su una singola attività del reticolo. Nel caso in cui, invece, la modifica coinvolga più attività consecutive o interdipendenti, l'impatto temporale complessivo sul progetto deve essere valutato considerando l'effetto congiunto delle variazioni introdotte sul ramo interessato. In tal caso, la variazione complessiva può essere espressa come:

$$\Delta T_{progetto} = \left(\sum_{i=1}^n \Delta t_i \right) - Slack_{assorbibile}$$

dove:

- n è il numero di attività interessate;
- $Slack_{assorbibile} = \min(Slack_i)$, l'eventuale margine temporale disponibile lungo il ramo coinvolto.

Questa seconda formulazione risulta particolarmente rilevante nei progetti di sviluppo prodotto, nei quali una singola modifica tecnica può propagarsi su più fasi del processo producendo un impatto temporale complessivo non riconducibile a una sola attività isolata.

Nel modello AS-IS, tale valutazione non viene formalizzata prima dell'implementazione, rendendo difficile stimare in anticipo lo slittamento della milestone finale.

Il secondo limite riguarda la valutazione economica. L'impatto complessivo di una modifica tecnica può essere espresso come:

$$\Delta C_{tot} = \Delta C_{unit} \cdot Q + C_{obs} + C_{rilav} + C_{test}$$

dove:

- ΔC_{unit} è la variazione del costo unitario,
- Q è il volume previsto,
- C_{obs} è il costo di materiale obsoleto,
- C_{rilav} rappresenta le rilavorazioni,
- C_{test} include eventuali test supplementari.

Nel modello AS-IS, tale grandezza viene spesso consolidata solo a valle della decisione tecnica, riducendo la consapevolezza del trade-off tra beneficio progettuale e sostenibilità economica.

Il terzo limite riguarda la mancanza di integrazione tra impatto temporale ed economico. Tempo e costo vengono valutati separatamente, mentre in realtà costituiscono variabili interdipendenti: un ritardo sulla milestone finale può generare costi indiretti legati a slittamento commerciale, penali contrattuali o mancato time-to-market.

Ne deriva che, pur in presenza di elevata competenza tecnica e coordinamento interfunzionale, il modello AS-IS non dispone di uno strumento strutturato per la valutazione preventiva delle modifiche tecniche in chiave sistemica.

Tale evidenza giustifica l'introduzione di un modello decisionale integrato, descritto nel paragrafo successivo, nel quale la modifica tecnica venga analizzata simultaneamente sotto il profilo temporale, economico e normativo prima della sua approvazione definitiva.

4.3.2 Modello decisionale per la gestione preventiva delle modifiche tecniche

La gestione delle modifiche, come già discusso, costituisce un elemento centrale nei sistemi di controllo dei progetti complessi, poiché variazioni tecniche possono influenzare pianificazione temporale, costi e configurazione del prodotto (Project Management Institute, 2021). Il modello TO-BE introduce un processo decisionale strutturato per la gestione delle modifiche tecniche, finalizzato a trasformare una dinamica reattiva in un sistema preventivo integrato con la pianificazione temporale ed economica del progetto.

La modifica tecnica viene considerata come evento potenzialmente in grado di alterare l'equilibrio complessivo del progetto, non più esclusivamente come soluzione a una criticità locale.

Il modello si articola in tre momenti fondamentali illustrati di seguito.

Identificazione e formalizzazione della modifica

La prima fase consiste nella formalizzazione della modifica tecnica in termini strutturati. Oltre alla descrizione tecnica della soluzione proposta, vengono esplicitati:

- la causa che ha generato la modifica,
- i componenti coinvolti,
- le alternative eventualmente valutate,
- il livello di maturità della soluzione proposta.

Questo passaggio consente di trasformare la modifica da intervento operativo a oggetto decisionale formalizzato.

Valutazione preventiva integrata

La seconda fase consiste nella valutazione preventiva dell'impatto, articolata su due dimensioni principali:

- impatto temporale sul progetto, determinato attraverso l'analisi delle dipendenze e del percorso critico;
- impatto economico complessivo, calcolato secondo la struttura formalizzata nel paragrafo 4.3.1.

La valutazione viene effettuata prima dell'implementazione operativa della modifica e consente di esplicitare il trade-off tra beneficio tecnico e conseguenze sul sistema.

In questa fase la modifica viene inoltre classificata in funzione della sua incidenza sulle milestone critiche (freeze della distinta base, omologazione, pre-serie, SOP). Tale classificazione permette di distinguere tra modifiche locali e modifiche con potenziale propagazione a cascata.

Gate decisionale formalizzato

Il terzo momento consiste nell'introduzione di un gate decisionale dedicato alle modifiche tecniche di impatto medio o elevato.

Nel modello AS-IS la decisione avviene spesso all'interno del flusso operativo ordinario. Nel modello TO-BE, invece, le modifiche con elevato impatto vengono deliberate in una sede formale, nella quale vengono analizzati:

- impatto temporale stimato,
- impatto economico stimato,
- coerenza con obiettivi di progetto,
- eventuali alternative tecniche.

Il gate può concludersi con l'approvazione, la richiesta di approfondimento o il rinvio della modifica a una fase successiva del ciclo di sviluppo.

La formalizzazione del momento decisionale consente di rendere tracciabili le scelte e di preservare coerenza con la baseline di progetto. In questo modo si riduce il rischio di introdurre modifiche che generino instabilità nelle fasi avanzate, come osservato nei casi analizzati nel Capitolo 3.

Il modello decisionale strutturato costituisce quindi il presupposto organizzativo per l'introduzione di uno strumento quantitativo sintetico di valutazione, presentato nel paragrafo successivo, che consente di confrontare in modo omogeneo l'impatto delle diverse modifiche tecniche.

4.3.3 Indice di Impatto della Modifica Tecnica (IMT)

Affinché il processo risulti pienamente oggettivo e comparabile tra alternative progettuali differenti, è necessario introdurre uno strumento quantitativo sintetico in grado di integrare le principali dimensioni di impatto.

A tal fine viene proposto l'**Indice di Impatto della Modifica Tecnica (IMT)**, definito come:

$$IMT = \alpha \cdot \left(\frac{\Delta T_{progetto}}{T_{baseline}} \right) + \beta \cdot \left(\frac{\Delta C_{tot}}{C_{target}} \right)$$

dove:

- $\Delta T_{progetto}$ rappresenta la variazione della durata complessiva del progetto, determinata attraverso l'aggiornamento del percorso critico;
- $T_{baseline}$ è la durata pianificata del progetto;
- ΔC_{tot} è il costo totale stimato della modifica tecnica, calcolato secondo la struttura introdotta nel paragrafo 4.3.1;
- C_{target} è il costo industriale obiettivo o il budget economico di riferimento;
- α e β sono coefficienti di ponderazione tali che $\alpha + \beta = 1$.

L'indice presenta tre caratteristiche fondamentali:

1. Entrambe le componenti sono normalizzate rispetto ai valori di riferimento del progetto. Questo consente di rendere confrontabili grandezze espresse in unità diverse (giorni ed euro) e di interpretare il risultato in termini relativi.
2. La presenza dei coefficienti di ponderazione permette di adattare il modello alle priorità strategiche del progetto. In un contesto caratterizzato da forte pressione sul time-to-market, il peso α potrà essere maggiore rispetto a β . Viceversa, in progetti ad elevata sensibilità di marginalità, la componente economica potrà assumere maggiore rilevanza. In applicazioni operative, tali coefficienti possono essere definiti in sede di pianificazione iniziale del progetto e mantenuti costanti durante il ciclo di sviluppo, al fine di garantire coerenza nella valutazione delle diverse modifiche tecniche.
3. L'indice non sostituisce l'analisi dettagliata delle singole dimensioni, ma ne costituisce una sintesi decisionale. Esso consente di confrontare modifiche alternative in modo omogeneo, supportando il gate decisionale descritto nel paragrafo 4.3.2.

È opportuno precisare che l'indice IMT non è concepito per essere applicato a tutte le modifiche tecniche che emergono durante lo sviluppo del prodotto. Nei contesti industriali tali modifiche possono essere numerose, soprattutto nelle fasi prototipali, e spesso riguardano correzioni di dettaglio con impatto limitato sul progetto complessivo. L'utilizzo dell'indice risulta invece particolarmente utile per le modifiche che presentano potenziali effetti rilevanti sul progetto, ad esempio quando incidono sulle attività appartenenti al percorso critico, sul costo industriale del prodotto o su milestone fondamentali quali il congelamento della distinta base o le attività di omologazione. Inoltre, alcune modifiche possono risultare obbligatorie in presenza di vincoli normativi, criticità di sicurezza o esiti negativi delle attività di test. In tali situazioni l'obiettivo dell'indice non è determinare se la modifica debba essere implementata, ma quantificarne l'impatto temporale ed economico e supportare la pianificazione delle azioni correttive.

Interpretazione dell'IMT

L'Indice IMT assume valore nullo in assenza di impatti temporali ed economici. Valori crescenti indicano una maggiore incidenza sistemica della modifica sul progetto.

In termini operativi, possono essere definite soglie orientative a supporto del processo decisionale, ad esempio:

IMT	Interpretazione	Significato
IMT < 5%	Impatto basso	modifica gestibile operativamente
5% ≤ IMT < 10%	Impatto moderato	richiede valutazione ma non altera il progetto
10% ≤ IMT < 20%	Impatto significativo	può influenzare pianificazione e costi
IMT ≥ 20%	Impatto critico	modifica con effetti sistemici sul progetto

Tabella 4.3.3: Interpretazione dei valori dell'indice IMT

Fonte: elaborazione propria

Tali soglie non devono essere interpretate come vincoli rigidi, ma come strumenti di supporto alla valutazione integrata, da discutere all'interno del gate decisionale.

L'introduzione dell'IMT consente quindi di trasformare la gestione delle modifiche tecniche da una valutazione qualitativa frammentata a un sistema quantitativo coerente con la pianificazione temporale e con la baseline economica del progetto.

Nel paragrafo successivo, il modello verrà applicato in forma simulata al progetto TH 3.6 E, al fine di valutarne concretamente il funzionamento e gli effetti sul processo decisionale.

4.3.4 Simulazione applicata al progetto TH 3.6 E – Caso reale impianto di raffreddamento

Al fine di verificare l'efficacia operativa del modello proposto, si considera un caso concreto emerso durante lo sviluppo del progetto TH 3.6 E elettrico.

Nel corso delle attività di analisi è stata rilevata una criticità relativa all'impianto di raffreddamento progettato dal fornitore. Il sistema, pur risultando funzionale in fase prototipale, non appare adeguato a una produzione di serie nel contesto applicativo dell'azienda. L'Ufficio Tecnico ha pertanto proposto una modifica strutturale che prevede la sostituzione del radiatore dell'acqua, oltre alla revisione delle tubazioni, della vaschetta di espansione e di componenti accessori.

L'intervento non si configura come una semplice ottimizzazione locale, ma come una revisione di sottosistema con potenziali implicazioni su pianificazione e validazioni normative. In particolare, occorre verificare il coinvolgimento del sistema nelle certificazioni in corso e la necessità di ripetere il test ATB relativo ai componenti interessati, nonché valutare se la modifica possa incidere su ulteriori prove già pianificate.

Poiché le attività coinvolte si collocano a monte del percorso critico individuato nel paragrafo 4.2, l'impatto temporale della modifica è suscettibile di propagarsi sull'intera durata del progetto.

Valutazione dell'impatto temporale

Sulla base delle stime tecniche preliminari, l'intervento comporta:

- 10 giorni per riprogettazione e aggiornamento documentale;
- 7 giorni per approvvigionamento del nuovo radiatore e componenti correlati;
- 10 giorni per rifacimento del test ATB e verifica funzionale.

L'impatto complessivo stimato sulle attività critiche risulta pertanto pari a:

$$\Delta T_{progetto} = 27 \text{ giorni}$$

Considerando una durata baseline del progetto pari a:

$$T_{baseline} = 188 \text{ giorni}$$

l'incidenza relativa della modifica sulla durata complessiva risulta:

$$\frac{27}{188} \approx 0,144$$

La modifica comporterebbe quindi un incremento della durata pari a circa il **14,4%** rispetto alla pianificazione originaria, con slittamento diretto della milestone finale, in quanto le attività coinvolte appartengono al percorso critico.

Valutazione dell'impatto economico

Le stime economiche preliminari indicano:

- incremento costo unitario radiatore e componenti: 220 € per macchina;
- volume previsto nel primo anno: 80 unità;
- materiale obsoleto (radiatori già acquistati e componenti correlati): 9.000 €;
- rilavorazioni e adattamenti: 3.500 €;
- ripetizione test e validazioni: 2.500 €.

Il costo totale stimato della modifica risulta:

$$\Delta C_{tot} = (220 \times 80) + 9.000 + 3.500 + 2.500 = 32.600$$

Assumendo un costo industriale target di riferimento pari a:

$$C_{target} = 2.000.000 \text{ €}$$

l'incidenza economica relativa risulta:

$$\frac{32.600}{2.000.000} = 0,0163$$

pari a circa lo **1,63%** del budget di riferimento.

Calcolo dell'Indice IMT

Considerando una ponderazione coerente con un progetto caratterizzato da elevata pressione sul time-to-market:

$$\alpha = 0,6 \quad \beta = 0,4$$

l'Indice di Impatto della Modifica Tecnica risulta:

$$IMT = 0,6 \cdot 0,144 + 0,4 \cdot 0,0163$$

$$IMT \approx 0,093$$

Interpretazione del risultato

Il valore **IMT** \approx **0,093** evidenzia un impatto complessivo moderato/significativo, trainato prevalentemente dalla componente temporale.

L'analisi mostra come, pur essendo l'impatto economico diretto relativamente contenuto in termini percentuali, la modifica comporti un aumento sensibile della durata complessiva del progetto. In una struttura temporale caratterizzata da margini ridotti e da un percorso critico esteso fino alla definizione economica finale, uno slittamento di 27 giorni assume rilevanza strategica.

Nel modello AS-IS, una modifica di questo tipo sarebbe stata implementata sulla base della necessità tecnica, con successiva gestione del ritardo. Nel modello TO-BE, invece, la quantificazione preventiva consente di esplicitare il trade-off tra robustezza tecnica e stabilità della pianificazione.

Il metodo applicato si dimostra coerente e sensibile alla realtà operativa, trasformando una criticità tecnica emergente in una decisione consapevole e strutturata. La modifica non viene valutata esclusivamente per la sua validità tecnica, ma per il suo impatto sistemico su tempo e costo, in coerenza con la baseline di progetto e con la pianificazione integrata.

4.4 Introduzione di un Project Progress Index (PPI) integrato

L'analisi sviluppata nei paragrafi precedenti ha consentito di strutturare il modello TO-BE lungo tre direttrici fondamentali: organizzativa (macro-fasi, WBS e Gantt master integrato), temporale (analisi del percorso critico tramite CPM) ed economico-decisionale (gestione strutturata delle modifiche tecniche mediante IMT).

Tali strumenti migliorano in modo significativo la capacità di pianificazione e controllo del progetto, ma operano su dimensioni specifiche e parziali. Il Gantt master fornisce una visione strutturata del flusso di sviluppo; il CPM individua le attività critiche che determinano la durata complessiva; il modello IMT consente di valutare l'impatto sistemico delle modifiche tecniche. Tuttavia, manca ancora un indicatore sintetico capace di restituire in modo immediato e quantitativo il livello complessivo di avanzamento e performance del progetto.

Nel contesto aziendale analizzato, caratterizzato da progetti di sviluppo prodotto ad elevata interdipendenza tecnica e normativa, la disponibilità di un indice sintetico risulta particolarmente rilevante. Le riunioni interfunzionali consentono un monitoraggio continuo, ma l'assenza di una misura numerica univoca rende complesso valutare, in modo oggettivo e comparabile tra progetti diversi, il reale stato di maturità e controllo dell'iniziativa.

Alla luce di tali considerazioni, si propone l'introduzione di un **Project Progress Index (PPI)**, inteso come indicatore integrato di performance, capace di combinare in un'unica misura:

- la performance temporale del progetto;
- la performance economica rispetto al budget target;
- il grado di completamento delle milestone critiche.

L'obiettivo non è sostituire gli strumenti analitici precedentemente introdotti, ma integrarli all'interno di un sistema di misurazione sintetica che consenta di:

- confrontare il livello di avanzamento tra momenti temporali differenti;
- supportare le decisioni manageriali in sede di gate;
- evidenziare in modo immediato eventuali squilibri tra tempo, costo e maturità tecnica;
- introdurre una logica di reporting strutturato replicabile su progetti futuri.

Il PPI si configura pertanto come l'elemento conclusivo e sintetico del modello TO-BE: esso traduce la pianificazione integrata, l'analisi del percorso critico e la gestione delle modifiche tecniche in un indicatore quantitativo coerente con gli obiettivi strategici aziendali.

4.4.1 Limiti degli strumenti di controllo considerati singolarmente

Gli strumenti introdotti nei paragrafi precedenti – pianificazione integrata, analisi del percorso critico e modello strutturato di gestione delle modifiche tecniche – rappresentano un significativo avanzamento rispetto al modello AS-IS. Essi consentono rispettivamente di strutturare il progetto in

macro-fasi coerenti, identificare le attività determinanti ai fini della durata complessiva e valutare in modo preventivo l'impatto sistemico delle modifiche tecniche su tempo e costo.

Tuttavia, tali strumenti operano su dimensioni specifiche e, se considerati isolatamente, non forniscono una misura sintetica e immediatamente interpretabile dello stato complessivo del progetto.

L'analisi tramite CPM, ad esempio, consente di individuare il percorso critico e di simulare l'impatto di eventuali ritardi, ma non restituisce un'indicazione quantitativa del livello di avanzamento globale. Un progetto può trovarsi in anticipo rispetto alla baseline temporale pur presentando criticità economiche o ritardi su milestone tecnicamente rilevanti.

Il modello IMT, introdotto per la gestione delle modifiche tecniche, consente di quantificare l'impatto di una singola variazione rispetto alla baseline di progetto. Esso rappresenta uno strumento efficace per supportare decisioni puntuali, ma non è concepito per misurare la performance complessiva del progetto nel suo insieme. L'IMT agisce quindi a livello micro-decisionale, mentre manca ancora un indicatore di livello macro-gestionale.

Anche la struttura Stage-Gate e il monitoraggio delle milestone, pur fondamentali per il controllo qualitativo dell'avanzamento, non producono di per sé una misura numerica continua. Il superamento di un gate rappresenta un evento discreto, ma tra un gate e l'altro il livello di maturità del progetto può evolvere in modo non immediatamente quantificabile.

Ne deriva che il modello TO-BE, pur completo sul piano strutturale e analitico, necessita di un ulteriore elemento capace di integrare le diverse dimensioni di controllo in un unico indicatore sintetico. Tale indicatore deve essere:

- coerente con la baseline definita nel Gantt master;
- sensibile alle variazioni del percorso critico;
- integrabile con le valutazioni economiche;
- compatibile con la logica delle milestone e dei gate decisionali.

L'introduzione di un Project Progress Index risponde a questa esigenza: esso consente di trasformare un insieme articolato di strumenti di controllo in una misura numerica unitaria, in grado di rappresentare il livello complessivo di performance e maturità del progetto in un dato istante temporale.

Nel paragrafo seguente verrà quindi formalizzata la struttura matematica dell'indice proposto e ne saranno definite le componenti costitutive.

4.4.2 Formalizzazione matematica del Project Progress Index (PPI)

L'obiettivo del Project Progress Index (PPI) è costruire un indicatore sintetico capace di rappresentare in modo integrato il livello di avanzamento e la stabilità complessiva del progetto.

Nel modello AS-IS analizzato nel Capitolo 3, il monitoraggio dell'avanzamento avviene principalmente attraverso riunioni periodiche e aggiornamenti qualitativi da parte delle diverse funzioni aziendali. Tale approccio consente un controllo operativo efficace delle singole attività, ma non restituisce una misura quantitativa sintetica dello stato complessivo del progetto né permette un confronto oggettivo tra diverse fasi temporali o tra progetti differenti.

Nel modello TO-BE si propone quindi l'introduzione di un indicatore aggregato che integri tre dimensioni fondamentali della performance progettuale:

- la **performance temporale**, che misura l'allineamento rispetto alla pianificazione;
- la **performance economica**, che riflette il rispetto dei target di costo;
- il **grado di maturità del progetto**, espresso attraverso il completamento delle milestone principali.

L'indice si ispira concettualmente ai principi dell'**Earned Value Management (EVM)**, uno dei metodi più diffusi nel project management per l'integrazione delle dimensioni temporali ed economiche. Tuttavia, nel contesto specifico dello sviluppo prodotto analizzato in questa ricerca, non risulta sempre disponibile una misurazione dettagliata del valore guadagnato (Earned Value) associato alle singole attività. Per tale motivo, il modello proposto adotta una formulazione semplificata che mantiene la logica dell'EVM ma utilizza grandezze direttamente osservabili nella pianificazione di progetto. (Fleming & Koppelman, 2010)

Struttura generale dell'indice

Il Project Progress Index viene definito come combinazione lineare pesata delle tre componenti principali:

$$PPI = w_S \cdot SPI + w_C \cdot CPI + w_M \cdot PM$$

con il vincolo:

$$w_S + w_C + w_M = 1$$

dove:

- SPI = performance temporale,
- CPI = performance economica,
- PM = grado di completamento delle milestone critiche,
- w_S, w_C, w_M = coefficienti di ponderazione che riflettono le priorità strategiche del progetto.

Questa struttura consente di adattare l'indice alle caratteristiche specifiche del contesto aziendale. In progetti caratterizzati da forte pressione sul time-to-market, la componente temporale può assumere un peso maggiore; in contesti ad elevata sensibilità economica, la componente di costo può invece risultare predominante.

L'indice assume valori compresi tra **0 e 1**, dove valori prossimi a 1 indicano una situazione di pieno allineamento con gli obiettivi di progetto.

Componente temporale (SPI)

La performance temporale viene misurata attraverso un indicatore analogo allo **Schedule Performance Index** dell'Earned Value Management, adattato alla disponibilità dei dati temporali nel contesto aziendale analizzato (Fleming & Koppelman, 2010).

Nel modello proposto, lo SPI viene definito come il rapporto tra la durata pianificata del progetto e la durata aggiornata stimata a seguito di eventuali ritardi:

$$SPI = \frac{T_{baseline}}{T_{forecast}}$$

dove:

- $T_{baseline}$ = durata pianificata del progetto definita nella baseline;
- $T_{forecast}$ = durata aggiornata prevista considerando eventuali ritardi sul percorso critico.

Questa formulazione consente di mantenere l'indice normalizzato tra 0 e 1. In assenza di ritardi si ha:

$$SPI = 1$$

mentre in presenza di uno slittamento della milestone finale il valore diminuisce progressivamente. L'indicatore riflette quindi direttamente l'impatto delle variazioni temporali sulla durata complessiva del progetto.

Componente economica (CPI)

La dimensione economica viene rappresentata tramite un indicatore analogo al **Cost Performance Index** dell'Earned Value Management, così come SPI (Fleming & Koppelman, 2010).

Nel modello proposto, il CPI viene espresso come:

$$CPI = \frac{C_{target}}{C_{effettivo}}$$

dove:

- C_{target} = costo industriale previsto in baseline;
- $C_{effettivo}$ = costo aggiornato comprensivo di variazioni generate da modifiche tecniche o revisioni progettuali.

In assenza di variazioni economiche l'indice assume valore unitario. Qualora il costo effettivo superi il target previsto, il valore dell'indice diminuisce proporzionalmente. Anche in questo caso la formulazione consente di confrontare progetti caratterizzati da livelli di investimento differenti.

Componente milestone (PM)

La terza componente dell'indice rappresenta il grado di maturità strutturale del progetto attraverso il completamento delle principali milestone.

Nel modello TO-BE, una proporzione tra milestone completate e milestone totali potrebbe penalizzare eccessivamente le fasi iniziali del progetto, nelle quali è fisiologico che solo una parte limitata delle milestone sia stata raggiunta.

Per questo motivo il modello utilizza una formulazione dinamica:

$$PM = \min\left(1, \frac{M_{completate}}{M_{previste}(t)}\right)$$

dove:

- $M_{completate}$ = numero di milestone critiche effettivamente completate;
- $M_{previste}(t)$ = numero di milestone che, secondo la pianificazione, dovrebbero essere completate al tempo t .

In questo modo l'indice non penalizza il progetto nelle fasi iniziali, ma misura la coerenza tra lo stato effettivo e quello previsto dalla pianificazione.

Significato manageriale del PPI

Il Project Progress Index non rappresenta una semplice misura del numero di attività completate, ma una valutazione sintetica dell'equilibrio tra tempo, costo e maturità tecnica del progetto.

In termini interpretativi, possono essere individuate tre situazioni tipiche:

- **PPI elevato e stabile:** progetto complessivamente sotto controllo e coerente con la pianificazione;
- **PPI in progressiva diminuzione:** accumulo di scostamenti temporali o economici che richiedono attenzione gestionale;
- **PPI volatile:** instabilità dovuta a modifiche tecniche, ripianificazioni o variazioni strutturali del progetto.

Nel paragrafo successivo il modello verrà applicato al progetto TH 3.6 E al fine di verificarne la capacità rappresentativa e la sensibilità rispetto a variazioni temporali ed economiche generate da modifiche tecniche.

4.4.3 Applicazione numerica del PPI al progetto TH 3.6 E (scenario baseline e scenario con MT)

Al fine di verificare l'utilità operativa del Project Progress Index e la sua sensibilità rispetto a variazioni tecniche ed organizzative, l'indice viene applicato al progetto TH 3.6 E in due configurazioni.

La prima rappresenta lo **scenario baseline**, coerente con la pianificazione di riferimento e con lo stato di avanzamento rilevato nel periodo di monitoraggio; la seconda rappresenta uno **scenario di impatto** che incorpora l'effetto potenziale di una modifica tecnica rilevante (impianto di raffreddamento), emersa come criticità e valutata in termini di incremento temporale e, ove disponibile, economico.

La baseline temporale del progetto è quella definita dal Gantt master e analizzata tramite CPM nel paragrafo 4.2, con durata complessiva pari a:

$$T_{baseline} = 188 \text{ giorni}$$

In coerenza con il modello TO-BE, ai fini della componente milestone non si utilizzano tutte le scadenze operative della roadmap, ma si adottano **cinque milestone di maturità** (macro-gate) che rappresentano i principali livelli di consolidamento tecnico ed economico del progetto:

- M_1 Freeze tecnico preliminare;
- M_2 Prototipo completato con implementazione delle modifiche tecniche principali;

- M_3 Testing e omologazione completati;
- M_4 BOM definitiva congelata;
- M_5 Maturità economica (costi definitivi e prezzo a listino).

Alla data di osservazione considerata nel caso studio risulta completata la sola milestone **M1**, mentre la milestone **M2** risulta quella prevista dal piano in tale fase del progetto.

$$M_{completate} = 1, \quad M_{previste}(t) = 1 \Rightarrow PM = \min\left(1, \frac{1}{1}\right) = 1$$

Questo approccio evita di penalizzare artificialmente il progetto nelle fasi iniziali, nelle quali è fisiologico che la maggior parte delle milestone non sia ancora stata raggiunta.

Per quanto riguarda i pesi dell'indice, si assume una configurazione coerente con un progetto caratterizzato da forte pressione sul **time-to-market**:

$$w_T = 0,50, \quad w_C = 0,20, \quad w_M = 0,30 \quad (w_T + w_C + w_M = 1)$$

La scelta attribuisce priorità maggiore al tempo, mantiene una componente economica significativa e valorizza la dimensione di maturità (milestone) coerente con la logica stage-gate.

Scenario 1 - Baseline (assenza di slittamento sulla milestone finale)

Nello scenario baseline si assume che, alla data di osservazione, non sia ancora stato formalizzato uno slittamento della milestone finale rispetto alla baseline. La durata prevista del progetto $T_{forecast}$, nel caso in cui il ritardo riguardi attività appartenenti al percorso critico, può essere approssimata come:

$$T_{forecast} = T_{baseline} + \Delta T$$

dove ΔT rappresenta il ritardo cumulato sulla milestone finale, quindi la performance temporale è:

$$SPI = \frac{T_{baseline}}{T_{baseline} + \Delta T} = \frac{188}{188 + 0} = 1$$

Per la componente economica, nello scenario baseline si assume coerenza con il target di costo (assenza di variazioni consolidate), quindi:

$$CPI = \frac{C_{target}}{C_{effettivo}} = \frac{C_{target}}{C_{target}} = 1$$

A questo punto l'indice complessivo risulta:

$$PPI = w_T \cdot SPI + w_C \cdot CPI + w_M \cdot PM$$

$$PPI = 0,50 \cdot 1 + 0,20 \cdot 1 + 0,30 \cdot 1 = 1$$

Nello scenario baseline il progetto presenta quindi una condizione di pieno allineamento con la pianificazione, con valore dell'indice pari a:

$$PPI_{baseline} = 1$$

Questo valore rappresenta la situazione ideale nella quale tempo, costo e maturità tecnica risultano coerenti con gli obiettivi di progetto.

Scenario 2 - Scenario di impatto MT (impianto di raffreddamento)

Nel secondo scenario si considera l'impatto della modifica tecnica relativa all'impianto di raffreddamento, descritta nel paragrafo 4.3.

L'intervento comporta:

- 10 giorni per riprogettazione;
- 7 giorni per approvvigionamento;
- 10 giorni per ripetizione test ATB.

Pertanto:

$$\Delta T = 10 + 7 + 10 = 27 \text{ giorni}$$

La durata aggiornata del progetto diventa:

$$T_{forecast} = 188 + 27 = 215 \text{ giorni}$$

La performance temporale diventa:

$$SPI = \frac{188}{215} \approx 0,874$$

Per la componente economica, lo scenario può essere gestito in due modi: mantenere una valutazione esclusivamente temporale qualora l'impatto economico non sia ancora quantificato; introdurre un incremento economico stimato. Nel presente caso è stata fatta una stima economica preliminare della modifica; pertanto, ai fini dell'applicazione numerica dell'indice, la componente economica viene considerata mediante $CPI = \frac{C_{target}}{C_{target} + \Delta C_{tot}}$.

$$CPI = \frac{C_{target}}{C_{target} + \Delta C_{tot}} = \frac{2.000.000}{2.000.000 + 32.600} \approx 0,984$$

(qualora la stima economica non sia disponibile o utilizzabile, è possibile porre $CPI = 1$ e rendere l'analisi conservativa sul solo asse temporale).

La componente milestone rimane invariata, poiché la modifica non determina di per sé il completamento di ulteriori gate:

$$PM = 1$$

L'indice PPI nello scenario di impatto risulta quindi:

$$PPI = 0,50 \cdot 0,874 + 0,20 \cdot 0,984 + 0,30 \cdot 1$$

$$PPI = 0,437 + 0,197 + 0,300 = 0,934$$

$$PPI_{MT} \approx 93,4\%$$

Se si assume, in modo conservativo, che l'impatto economico non sia ancora consolidato e si pone $CPI = 1$, si ottiene:

$$PPI_{MT} = 0,437 + 0,200 + 0,300 = 0,937$$

$$PPI_{MT} \approx 93,7\%$$

Ne consegue che, a parità di milestone completate, l'introduzione di una modifica tecnica con impatto temporale sul percorso di sviluppo riduce sensibilmente il valore dell'indice, rendendo visibile in forma sintetica l'aumento di rischio di slittamento rispetto alla baseline.

Letture comparativa dei due scenari

Per rendere il Project Progress Index uno strumento interpretabile anche a livello gestionale, è possibile definire alcune **soglie indicative di valutazione della performance progettuale**. Tali intervalli non devono essere interpretati come limiti rigidi, ma come riferimenti operativi utili per sintetizzare lo stato complessivo del progetto.

Intervallo PPI	Interpretazione
0,95 – 1,00	Progetto pienamente sotto controllo
0,85 – 0,95	Progetto complessivamente stabile, con elementi di attenzione
0,75 – 0,85	Presenza di criticità che richiedono monitoraggio e possibili azioni correttive
< 0,75	Situazione critica con elevato rischio di deviazione dagli obiettivi di progetto

Tabella 4.4.3: Interpretazione dei valori dell'indice PPI

Fonte: elaborazione propria

Questa classificazione consente di trasformare il valore numerico dell'indice in una valutazione sintetica dello stato di avanzamento, facilitando l'utilizzo del PPI come strumento di reporting e supporto decisionale.

Nel caso del progetto **TH 3.6 E**, lo scenario baseline presenta un valore pari a:

$$PPI_{baseline} = 1$$

Il progetto risulta quindi pienamente allineato alla pianificazione iniziale e si colloca nell'intervallo **0,95–1,00**, corrispondente a una condizione di completo controllo temporale, economico e di maturità tecnica.

Nel **secondo scenario**, relativo alla modifica tecnica dell'impianto di raffreddamento, il ritardo di 27 giorni sulla durata complessiva del progetto determina una riduzione della performance temporale, con valore dello **Schedule Performance Index** pari a:

$$SPI = 0,874$$

L'impatto economico della modifica risulta invece limitato rispetto al costo industriale complessivo del progetto, con un **Cost Performance Index** pari a:

$$CPI \approx 0,984$$

La componente milestone rimane invariata, poiché la modifica tecnica non comporta variazioni nel numero di milestone effettivamente completate alla data di osservazione.

Il valore complessivo del Project Progress Index nello scenario con modifica tecnica risulta quindi:

$$PPI_{MT} \approx 0,934$$

Questo valore colloca il progetto nell'intervallo **0,85–0,95**, indicativo di una situazione complessivamente stabile ma caratterizzata dalla presenza di elementi di attenzione.

È opportuno osservare che, nonostante il ritardo di 27 giorni sulla milestone finale, il valore dell'indice rimane relativamente elevato. Ciò dipende dalla struttura stessa del PPI, che integra tre dimensioni differenti della performance progettuale. Nel caso analizzato, lo scostamento temporale incide esclusivamente sulla componente **SPI**, mentre la componente economica (**CPI**) rimane prossima all'unità e la maturità del progetto (**PM**) risulta coerente con lo stato di avanzamento previsto.

Di conseguenza, l'indice sintetico riflette il fatto che la modifica tecnica, pur generando uno slittamento temporale significativo sul piano operativo, produce un impatto sistemico limitato rispetto alla dimensione complessiva del progetto. In altri termini, il PPI non segnala automaticamente una situazione critica in presenza di qualsiasi ritardo, ma valuta la **rilevanza relativa dello scostamento rispetto alla durata complessiva, ai costi e al livello di maturità del progetto**.

Il confronto tra i due scenari dimostra quindi che il **Project Progress Index** è in grado di rappresentare in modo sintetico l'effetto combinato delle variazioni temporali ed economiche.

4.4.4 Analisi di sensitività del PPI rispetto ai pesi strategici

Poiché il Project Progress Index è costruito come combinazione pesata delle tre dimensioni principali della performance progettuale, il valore dell'indice dipende in parte dalla priorità strategica assegnata alle singole componenti.

Al fine di verificare la robustezza del modello proposto, viene quindi condotta una **semplice analisi di sensitività**, nella quale si valutano diverse configurazioni dei pesi dell'indice.

A partire dallo scenario con modifica tecnica descritto nel paragrafo precedente, si assumono i seguenti valori degli indicatori:

$$\begin{aligned} SPI &= 0,874 \\ CPI &= 0,984 \\ PM &= 1 \end{aligned}$$

Vengono quindi considerate tre configurazioni alternative dei pesi.

Scenario A - Priorità temporale

Nel primo caso si assume che il progetto sia caratterizzato da forte pressione sul **time-to-market**, situazione tipica nei progetti di sviluppo prodotto destinati a mercati altamente competitivi.

I pesi vengono quindi configurati come segue:

$$\begin{aligned}w_S &= 0,60 \\w_C &= 0,15 \\w_M &= 0,25\end{aligned}$$

Il valore del PPI diventa:

$$\begin{aligned}PPI &= 0,60 \cdot 0,874 + 0,15 \cdot 0,984 + 0,25 \cdot 1 \\PPI &= 0,524 + 0,149 + 0,25 \\PPI &\approx 0,923\end{aligned}$$

In questo scenario l'indice si riduce rispetto alla configurazione precedente, poiché la componente temporale, quella maggiormente penalizzata dal ritardo, assume il peso principale.

Scenario B - Priorità economica

Nel secondo scenario si assume invece che il progetto sia caratterizzato da una forte attenzione al **controllo dei costi**, situazione tipica nei contesti industriali con margini ridotti o forte pressione competitiva sui prezzi.

I pesi vengono quindi configurati nel seguente modo:

$$\begin{aligned}w_S &= 0,35 \\w_C &= 0,40 \\w_M &= 0,25\end{aligned}$$

Il valore del PPI diventa:

$$\begin{aligned}PPI &= 0,35 \cdot 0,874 + 0,40 \cdot 0,984 + 0,25 \cdot 1 \\PPI &= 0,306 + 0,394 + 0,25 \\PPI &\approx 0,95\end{aligned}$$

In questo caso l'indice risulta più elevato, poiché la modifica tecnica produce un impatto economico molto limitato rispetto alla dimensione complessiva del progetto.

Scenario C - Priorità maturità tecnica (milestone)

Nel terzo scenario si assume che la priorità principale del progetto sia rappresentata dal **raggiungimento delle milestone di maturità tecnica**, ad esempio in contesti caratterizzati da forte rilevanza delle certificazioni o dei requisiti normativi.

I pesi assumono quindi la configurazione:

$$\begin{aligned}w_S &= 0,30 \\w_C &= 0,20 \\w_M &= 0,50\end{aligned}$$

Il valore del PPI diventa:

$$\begin{aligned}PPI &= 0,30 \cdot 0,874 + 0,20 \cdot 0,984 + 0,50 \cdot 1 \\PPI &= 0,262 + 0,197 + 0,50 \\PPI &\approx 0,959\end{aligned}$$

In questo scenario l'indice risulta ulteriormente elevato, poiché la modifica tecnica non altera il numero di milestone completate né il livello di maturità tecnica raggiunto dal progetto.

Sintesi dei risultati

I risultati dell'analisi di sensitività possono essere sintetizzati nella Tabella seguente.

Scenario	Priorità strategica	Pesi (Tempo – Costo – Milestone)	PPI
Base	Bilanciata	0,50 – 0,20 – 0,30	0,94
A	Tempo	0,60 – 0,15 – 0,25	0,92
B	Costo	0,35 – 0,40 – 0,25	0,95
C	Milestone	0,30 – 0,20 – 0,50	0,96

Tabella 4.4.4: Confronto tra scenari di priorità strategica e valori dell'indice PPI

Fonte: elaborazione propria

L'analisi mostra che il valore del PPI rimane compreso in un intervallo relativamente ristretto (circa **0,92–0,96**) al variare delle priorità strategiche. Questo risultato indica che, nel caso analizzato, la modifica tecnica produce un impatto moderato sul progetto.

Allo stesso tempo, l'indice risulta coerente con la natura dello scostamento: il valore diminuisce maggiormente quando viene attribuito maggiore peso alla dimensione temporale, mentre rimane più elevato negli scenari in cui prevalgono la dimensione economica o il raggiungimento delle milestone tecniche.

L'analisi di sensitività conferma quindi che il **Project Progress Index** è uno strumento sufficientemente robusto rispetto alla scelta dei pesi e può essere adattato alle priorità specifiche dell'organizzazione senza alterare in modo significativo la lettura complessiva dello stato del progetto.

4.4.5 Limiti metodologici del Project Progress Index

Il Project Progress Index rappresenta uno strumento sintetico di integrazione tra dimensione temporale, economica e di maturità progettuale ma, come ogni modello di aggregazione, presenta alcuni limiti che devono essere esplicitati al fine di garantirne un utilizzo consapevole.

Come primo limite, il PPI si basa su una combinazione lineare pesata delle componenti considerate. Tale struttura implica l'assunzione di proporzionalità tra le variabili: una variazione percentuale del tempo o del costo produce un effetto lineare sull'indice. Nella realtà progettuale, tuttavia, gli impatti possono assumere natura non lineare, specialmente in prossimità di milestone critiche o in presenza di vincoli normativi stringenti. Il modello non cattura quindi eventuali effetti soglia o discontinuità decisionali.

Inoltre, l'indice dipende dalla qualità delle stime di ritardo (ΔT) e di variazione economica (ΔC_{tot}). In fase preliminare tali valori sono necessariamente stimati e soggetti a incertezza. Il PPI non incorpora una dimensione probabilistica del rischio, ma si fonda su scenari deterministici. In contesti caratterizzati da elevata variabilità tecnica, sarebbe opportuno affiancare all'indice un'analisi di rischio strutturata.

Un ulteriore limite riguarda la componente milestone (PM), che assume natura discreta. Il completamento di un gate produce un salto nell'indice, mentre l'avanzamento intermedio tra due milestone non viene rappresentato in modo continuo. Ciò comporta una possibile sottorappresentazione della maturità progressiva tra un consolidamento formale e il successivo.

Infine, la scelta dei pesi strategici, pur formalizzata e analizzata tramite sensitività, rimane una decisione manageriale. Sebbene l'analisi abbia dimostrato la robustezza qualitativa del modello rispetto a variazioni ragionevoli dei coefficienti, l'interpretazione dell'indice deve sempre essere contestualizzata rispetto alle priorità aziendali.

Nonostante tali limiti, il PPI mantiene una funzione rilevante: esso intende fornirne una sintesi operativa a supporto del processo decisionale. Il valore dell'indice risiede nella capacità di rendere esplicito l'equilibrio complessivo del progetto in un determinato istante temporale, favorendo una gestione più consapevole delle interdipendenze tra tempo, costo e maturità tecnica.

4.5 Strutturazione dei momenti di coordinamento progettuale

Nel modello AS-IS, come detto precedentemente, il coordinamento del progetto avviene attraverso riunioni interfunzionali periodiche. In particolare, molte problematiche tendono ad emergere direttamente durante le riunioni, riducendo il tempo disponibile per una valutazione approfondita delle possibili soluzioni e rendendo talvolta necessario rinviare le decisioni a incontri successivi. Inoltre, la partecipazione simultanea di numerose funzioni può comportare un utilizzo non ottimale delle risorse, poiché non tutti i partecipanti risultano sempre direttamente coinvolti nei temi discussi.

Nel modello TO-BE si propone quindi una maggiore **strutturazione dei momenti di coordinamento progettuale**, mantenendo il ruolo delle riunioni come strumento centrale di allineamento ma integrandole con gli strumenti di pianificazione introdotti nei paragrafi precedenti.

In particolare, il coordinamento viene articolato su due livelli complementari.

Il primo livello è costituito dalle **riunioni di avanzamento generale del progetto**, nelle quali vengono presentati gli aggiornamenti sintetici dello stato delle attività sulla base del Gantt master integrato e degli indicatori di performance del progetto. In questo contesto il report periodico, già utilizzato nel modello AS-IS, viene mantenuto ma progressivamente evoluto da semplice raccolta di aggiornamenti per funzione a **strumento di sintesi dello stato del progetto**, nel quale le informazioni operative vengono collegate alla pianificazione complessiva, alle attività critiche e agli eventuali scostamenti rispetto alla baseline.

Il secondo livello è costituito da **riunioni tematiche più focalizzate**, dedicate a specifici ambiti decisionali del progetto, quali validazione tecnica, gestione delle modifiche progettuali, approvvigionamenti o analisi economiche. In tali incontri partecipano esclusivamente le funzioni direttamente responsabili delle decisioni da assumere, consentendo una discussione più approfondita delle criticità e una maggiore rapidità nel processo decisionale.

Un ulteriore elemento di miglioramento riguarda la **preparazione preventiva delle riunioni**. Nel modello TO-BE le principali criticità tecniche o organizzative dovrebbero essere segnalate con un minimo anticipo rispetto all'incontro di coordinamento, al fine di consentire alle funzioni coinvolte di analizzare preliminarmente il problema e valutare possibili alternative operative. In questo modo la riunione non rappresenta più il momento in cui le criticità emergono per la prima volta, ma diventa il luogo in cui vengono discusse e deliberate le soluzioni più appropriate.

L'introduzione della pianificazione integrata, dell'analisi del percorso critico e degli indicatori sintetici di avanzamento modifica quindi il ruolo delle riunioni nel processo di gestione del progetto. Se nel modello AS-IS esse rappresentano principalmente uno strumento di aggiornamento operativo e di individuazione delle criticità, nel modello TO-BE diventano **momenti strutturati di verifica e decisione**, supportati da informazioni quantitative e da una preparazione preventiva delle tematiche da affrontare.

In questo modo il coordinamento interfunzionale mantiene la flessibilità tipica del contesto organizzativo analizzato, ma si integra con strumenti di pianificazione e controllo che consentono una gestione più consapevole delle interdipendenze tra attività tecniche, normative ed economiche.

Il processo di coordinamento interfunzionale proposto può essere rappresentato sinteticamente dal diagramma di flusso riportato di seguito.

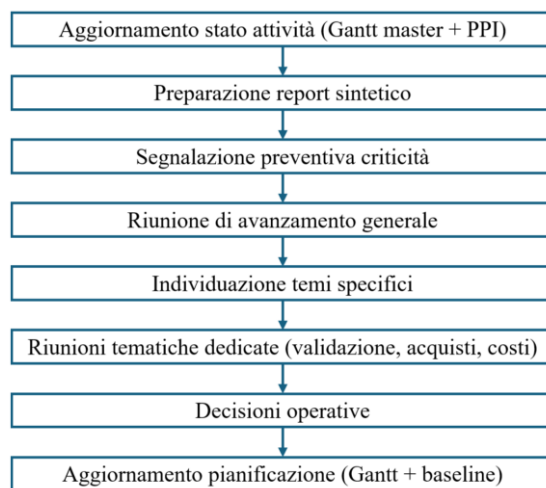


Figura 4.5: Diagramma di flusso del processo di coordinamento progettuale nel modello TO-BE

Fonte: elaborazione propria

Il diagramma evidenzia come il coordinamento venga articolato in due livelli complementari: una riunione di avanzamento generale orientata al monitoraggio complessivo del progetto e riunioni tematiche sintetiche dedicate alle principali aree decisionali.

4.6 Integrazione degli strumenti e coerenza sistemica del modello TO-BE

La formalizzazione delle macro-fasi e l'introduzione di una Work Breakdown Structure orientata ai deliverable hanno consentito di superare una visione frammentata per funzione, ricostruendo il progetto come percorso progressivo di maturità tecnica ed economica. Su questa base è stato costruito un Gantt Master unico e integrato, che rappresenta l'intero flusso di sviluppo fino alla definizione del prezzo a listino, rendendo esplicite le interdipendenze tra attività tecniche, normative ed economiche.

La definizione della baseline temporale ha trasformato la pianificazione in uno strumento di riferimento oggettivo, rispetto al quale è possibile misurare scostamenti e valutare la deriva cumulativa delle modifiche. L'applicazione del Critical Path Method ha ulteriormente rafforzato tale impostazione, consentendo di individuare le attività a margine nullo e di quantificare la sensibilità temporale del progetto. Nel caso del TH 3.6 E, l'analisi ha evidenziato una struttura fortemente compressa, con una catena critica che trasferisce il vincolo tecnico-normativo sull'intero blocco economico-industriale.

A tale impianto temporale si integra il modello strutturato di gestione delle modifiche tecniche, che introduce una logica decisionale preventiva. La valutazione anticipata dell'impatto economico e temporale delle MT consente di esplicitare il trade-off tra beneficio tecnico e sostenibilità complessiva del progetto, riducendo il rischio di interventi correttivi tardivi con effetti propagativi non controllati. A tale sistema di monitoraggio si affianca una maggiore strutturazione dei momenti di coordinamento progettuale: le riunioni interfunzionali, già centrali nel modello AS-IS, vengono integrate con la pianificazione e con gli indicatori di progetto, trasformandosi da semplici momenti di aggiornamento operativo a strumenti di verifica e decisione basati su informazioni strutturate.

Infine, l'introduzione di un indice sintetico di avanzamento, costruito sulle principali milestone di maturità (M1-M5) e sugli indicatori di performance temporale ed economica, consente di rappresentare in modo sintetico e immediato lo stato complessivo del progetto.

Il diagramma riportato di seguito sintetizza l'architettura complessiva del modello TO-BE proposto e i principali strumenti metodologici introdotti.



Figura 4.6: Struttura integrata degli strumenti di project management nel modello proposto

Fonte: elaborazione propria

Nel loro insieme, questi elementi configurano un modello che sposta l'attenzione da una gestione prevalentemente reattiva delle criticità a un controllo predittivo basato su pianificazione integrata, modellazione delle dipendenze e valutazione preventiva degli impatti.

Il capitolo successivo sarà dedicato al confronto strutturato tra modello AS-IS e modello TO-BE, al fine di evidenziare i benefici attesi in termini di integrazione, misurabilità e controllo del rischio progettuale.

Capitolo 5: Confronto tra modello AS-IS e modello TO-BE

Il Capitolo 3 ha descritto il modello di gestione dei progetti attualmente adottato nell'organizzazione (modello AS-IS), evidenziandone le principali caratteristiche operative e le modalità con cui vengono affrontate le criticità durante lo sviluppo del prodotto. Nel Capitolo 4 è stato invece sviluppato un modello metodologico di pianificazione e controllo integrato (modello TO-BE), applicato al progetto TH 3.6 E al fine di verificarne la coerenza operativa e il funzionamento degli strumenti proposti.

Il presente capitolo propone un confronto tra le due configurazioni con l'obiettivo di valutare in che misura l'introduzione del modello TO-BE possa migliorare la governabilità del progetto rispetto al modello attualmente adottato.

Nella parte finale del capitolo viene inoltre proposta una valutazione economica dell'introduzione del modello TO-BE, finalizzata a stimare in modo prudenziale i benefici potenziali derivanti da una maggiore capacità di anticipare ritardi e modifiche tecniche ad alto impatto nei progetti di sviluppo prodotto.

5.1 Logica e criteri del confronto

Il confronto viene sviluppato mantenendo lo stesso perimetro di riferimento adottato nel Capitolo 4, limitato alle fasi del progetto comprese tra la progettazione preliminare e la definizione del prezzo a listino.

L'analisi comparativa è articolata lungo quattro dimensioni principali della gestione progettuale:

- struttura della pianificazione del progetto;
- gestione delle dipendenze temporali e controllo della durata complessiva;
- gestione delle modifiche tecniche e valutazione preventiva degli impatti;
- sistema di monitoraggio dell'avanzamento del progetto;
- coordinamento e governance del progetto.

Le principali differenze tra i due modelli possono essere sintetizzate come segue.

Dimensione	Modello AS-IS	Modello TO-BE
Struttura della pianificazione	Pianificazione distribuita tra funzioni	Pianificazione integrata
Struttura del progetto	Attività organizzate per funzione	WBS orientata ai deliverable
Macro-fasi di sviluppo	Fasi non formalizzate	Formalizzazione delle macro-fasi secondo logica stage-gate
Baseline temporale	Aggiornamenti delle date senza piano di riferimento	Baseline formalizzata
Dipendenze tra attività	Relazioni implicite e gestite tramite coordinamento operativo	Modellazione esplicita delle dipendenze tramite CPM
Gestione delle modifiche tecniche	Valutazione dell'impatto a posteriori	Valutazione preventiva tramite indice IMT
Monitoraggio dell'avanzamento	Monitoraggio tramite riunioni e report qualitativi	Misurazione sintetica tramite Project Progress Index (PPI)

Tabella 5.1: Confronto tra modello AS-IS e modello TO-BE nella gestione dei progetti di sviluppo prodotto

Fonti: elaborazione propria

L'obiettivo del confronto è verificare se la formalizzazione proposta consenta di rendere più espliciti e controllabili i principali meccanismi di gestione del progetto.

5.2 Confronto strutturale tra modello AS-IS e modello TO-BE

Il confronto tra modello AS-IS e modello TO-BE può essere analizzato innanzitutto a livello strutturale, osservando come i due sistemi organizzano la pianificazione del progetto, rappresentano le relazioni tra attività e supportano il processo decisionale.

Nel modello AS-IS la gestione del progetto si basa su una combinazione di pianificazioni di reparto, strumenti specifici per funzione e momenti di coordinamento interfunzionale. Questa configurazione consente una gestione operativa flessibile delle attività, ma non sempre permette di rappresentare in modo unitario l'intero flusso progettuale. Le relazioni tra attività tecniche, normative ed economiche risultano spesso implicite e affidate alla conoscenza operativa delle funzioni coinvolte, mentre il monitoraggio dell'avanzamento si fonda prevalentemente su riunioni periodiche e aggiornamenti qualitativi dello stato del progetto.

Il modello TO-BE introduce invece una struttura di pianificazione integrata nella quale il progetto viene rappresentato attraverso un piano unico, costruito a partire da una scomposizione del progetto orientata ai deliverable e organizzato secondo macro-fasi coerenti con la logica stage-gate. Questa impostazione consente di collegare le attività delle diverse funzioni ai risultati intermedi del progetto e di rendere esplicite le relazioni di precedenza che ne determinano l'evoluzione temporale.

Inoltre, un elemento distintivo riguarda la presenza di una baseline temporale esplicita, utilizzata come riferimento per il monitoraggio dell'avanzamento e per la valutazione degli scostamenti. Nel modello AS-IS le date di completamento vengono aggiornate progressivamente nel corso dello sviluppo del progetto, riflettendo l'evoluzione delle attività. Nel modello TO-BE, invece, la presenza di una baseline consente di distinguere con maggiore chiarezza tra variazioni fisiologiche della pianificazione e ritardi strutturali rispetto al piano iniziale.

5.3 Implicazioni sulla gestione temporale del progetto

Una delle principali differenze tra modello AS-IS e modello TO-BE riguarda le modalità con cui viene gestita e analizzata la dimensione temporale del progetto.

Nel modello AS-IS la pianificazione temporale è presente e utilizzata operativamente, ma risulta distribuita tra strumenti e pianificazioni specifiche delle singole funzioni. La gestione delle criticità temporali avviene quindi principalmente attraverso il coordinamento interfunzionale e l'esperienza operativa dei team di progetto. Questa impostazione limita la possibilità di valutare in modo quantitativo l'impatto temporale delle variazioni di piano e rende più complesso individuare con precisione quali fasi determinino la durata complessiva del progetto e in che misura eventuali ritardi possano propagarsi lungo la sequenza delle attività successive.

Il modello TO-BE introduce invece una rappresentazione strutturata della dimensione temporale attraverso l'integrazione tra pianificazione integrata e modellazione delle relazioni di precedenza tra attività. In questo contesto, ogni fase del progetto è collegata alle successive attraverso vincoli espliciti e la formalizzazione delle dipendenze temporali rende possibile simulare l'impatto di eventuali scostamenti rispetto alla pianificazione iniziale.

L'applicazione di tale impostazione al progetto TH 3.6 E ha consentito di individuare con precisione le attività che determinano la durata complessiva della pianificazione e di evidenziare i principali nodi di convergenza tra flusso tecnico, normativo ed economico.

Nel complesso, l'introduzione di una modellazione esplicita delle dipendenze temporali consente di trasformare la gestione del tempo da processo prevalentemente reattivo a sistema di controllo maggiormente predittivo, nel quale le principali vulnerabilità temporali del progetto risultano identificabili con maggiore chiarezza già nelle fasi iniziali della pianificazione.

5.4 Gestione delle modifiche tecniche

Un ulteriore elemento di differenziazione tra modello AS-IS e modello TO-BE riguarda la gestione delle modifiche tecniche che emergono durante lo sviluppo del prodotto.

Nel modello AS-IS, quando emerge una criticità tecnica, la soluzione progettuale viene sviluppata e implementata nel ciclo di sviluppo, mentre l'impatto economico e temporale della modifica viene generalmente valutato solo nelle fasi successive. Questa modalità consente una risposta rapida alle problematiche tecniche, ma non sempre permette di stimare in modo anticipato le conseguenze sistemiche della modifica sull'intero progetto.

Il modello TO-BE introduce invece una logica di valutazione preventiva delle modifiche tecniche, integrando l'analisi temporale del progetto con una stima strutturata dell'impatto economico delle varianti progettuali. In questa configurazione, le modifiche tecniche vengono considerate come variazioni potenzialmente in grado di influenzare la durata complessiva del progetto, la configurazione del percorso critico e il costo industriale del prodotto.

L'applicazione di questo approccio al progetto TH 3.6 E ha evidenziato come una modifica tecnica possa generare effetti simultanei su più dimensioni del progetto. In particolare, la criticità emersa nel sistema di raffreddamento ha comportato la necessità di riprogettare alcuni componenti, aggiornare la documentazione tecnica e ripetere parte delle attività di test, con un impatto stimato sia sulla durata del progetto sia sui costi complessivi dello sviluppo.

Questa maggiore capacità di analisi preventiva consente di ridurre il rischio di modifiche tardive nelle fasi avanzate del progetto, che rappresentano una delle principali fonti di instabilità temporale ed economica nei progetti di sviluppo prodotto. L'integrazione tra pianificazione temporale, valutazione economica e processo decisionale rende quindi la gestione delle modifiche tecniche più trasparente e maggiormente coerente con la baseline di progetto.

5.5 Sistema di monitoraggio dell'avanzamento del progetto

Un'ulteriore differenza tra modello AS-IS e modello TO-BE riguarda le modalità con cui viene monitorato l'avanzamento complessivo del progetto. Nei progetti analizzati nel Capitolo 3 il controllo dello stato di avanzamento avviene prevalentemente attraverso riunioni periodiche di coordinamento tra le diverse funzioni coinvolte, durante le quali vengono condivisi aggiornamenti sulle attività in corso, sulle criticità tecniche emerse e sulle eventuali azioni correttive da intraprendere.

La valutazione dell'avanzamento tende, con questo sistema, ad assumere una forma prevalentemente qualitativa, basata sull'esperienza dei responsabili di funzione e sull'interpretazione dello stato delle singole attività.

Il modello TO-BE introduce invece un sistema di monitoraggio più strutturato attraverso il Project Progress Index (PPI), un indicatore sintetico che integra diverse dimensioni della gestione progettuale e consente di rappresentare lo stato complessivo del progetto mediante un valore normalizzato facilmente interpretabile anche a livello direzionale.

L'applicazione del PPI al progetto TH 3.6 E, descritta nel Capitolo 4, mostra come l'indice possa fornire una rappresentazione sintetica dello stato del progetto rispetto alla pianificazione iniziale. In condizioni di piena coerenza con la baseline temporale ed economica, il valore dell'indice risulta coerente con il livello di avanzamento previsto; l'introduzione di modifiche tecniche o ritardi temporali produce invece una riduzione del valore dell'indice, evidenziando immediatamente il deterioramento dell'equilibrio tra pianificazione e stato effettivo del progetto.

Integrando le informazioni provenienti dalla pianificazione temporale, dalla gestione delle modifiche tecniche e dal completamento delle milestone principali, l'indice consente di affiancare al monitoraggio operativo una misura sintetica dell'avanzamento del progetto, utile sia per il coordinamento interno sia per il reporting verso il livello direzionale.

5.6 Coordinamento e governance del progetto

Un ulteriore elemento di differenziazione tra modello AS-IS e modello TO-BE riguarda le modalità di coordinamento tra le funzioni coinvolte nello sviluppo del prodotto.

Nel modello AS-IS il coordinamento avviene principalmente attraverso riunioni periodiche supportate da report condivisi tra i diversi reparti. Questo meccanismo fa sì che le problematiche tecniche e organizzative spesso emergano direttamente durante tali incontri, riducendo il tempo disponibile per un'analisi preventiva delle possibili soluzioni e rendendo talvolta necessario rinviare le decisioni a riunioni successive.

Nel modello TO-BE il coordinamento progettuale mantiene il ruolo centrale delle riunioni interfunzionali, ma introduce una maggiore strutturazione del processo decisionale attraverso l'integrazione con gli strumenti di pianificazione e controllo del progetto. Riunioni tematiche più focalizzate, inoltre, permettono di affrontare in modo approfondito specifiche criticità tecniche o decisionali coinvolgendo esclusivamente le funzioni direttamente interessate.

In questo modo il coordinamento interfunzionale mantiene la flessibilità tipica del modello AS-IS, ma viene supportato da una maggiore preparazione preventiva delle decisioni e da strumenti di pianificazione che rendono più esplicite le interdipendenze tra le diverse attività del progetto.

5.7 Valutazione dell'impatto economico dell'implementazione del modello TO-BE

L'adozione degli strumenti proposti comporta inevitabilmente alcuni costi organizzativi, legati principalmente al tempo necessario per la formalizzazione della pianificazione e per l'aggiornamento periodico degli strumenti di monitoraggio. Tuttavia, tali costi possono essere compensati dai benefici economici derivanti da una maggiore capacità di anticipare criticità tecniche e di ridurre l'impatto delle modifiche introdotte nelle fasi avanzate del progetto.

Ai fini della valutazione economica è opportuno distinguere due componenti principali di costo:

- **costo di implementazione del modello**, sostenuto una sola volta per definire la struttura metodologica e configurare gli strumenti di pianificazione e monitoraggio;
- **costo operativo per progetto**, legato al maggiore livello di formalizzazione delle attività di pianificazione e aggiornamento degli strumenti rispetto alla situazione AS-IS.

Per quanto riguarda i benefici economici, è importante osservare che nei progetti di sviluppo prodotto le modifiche tecniche non hanno tutte lo stesso livello di impatto. In genere si osserva una distribuzione fortemente sbilanciata: un numero elevato di modifiche presenta effetti marginali sul progetto, mentre una quota limitata di modifiche genera conseguenze rilevanti su tempi, costi e configurazione del prodotto.

Quindi, mentre la maggioranza delle modifiche produce effetti limitati e gestibili all'interno del normale processo di sviluppo, alcune modifiche ad alto impatto possono alterare significativamente la pianificazione temporale, richiedere rilavorazioni o generare costi aggiuntivi rilevanti.

Il modello TO-BE proposto nella presente ricerca è stato quindi concepito principalmente per supportare la gestione preventiva di queste **modifiche ad alto impatto**, che rappresentano una delle principali fonti di instabilità nei progetti di sviluppo prodotto. La valutazione economica sviluppata in questo capitolo si concentra pertanto sulla capacità del modello di **ridurre l'impatto economico di tali modifiche tecniche critiche**, piuttosto che eliminare completamente la necessità di introdurre modifiche nel corso dello sviluppo.

La stima economica considera esclusivamente benefici direttamente quantificabili, quali incremento del costo unitario dei componenti, obsolescenza di materiali già approvvigionati, rilavorazioni e ripetizione di attività di test o validazione. Altri benefici organizzativi, come miglior coordinamento interfunzionale, maggiore stabilità della pianificazione o riduzione dei ritardi di progetto, non vengono inclusi nella quantificazione economica e possono pertanto essere interpretati come effetti aggiuntivi non contabilizzati nella valutazione.

5.7.1 Costi di implementazione del modello TO-BE

L'adozione del modello proposto non richiede investimenti infrastrutturali significativi né l'introduzione di nuovi sistemi informativi complessi. Gli strumenti utilizzati possono infatti essere implementati attraverso software di pianificazione e fogli di calcolo già diffusi in ambito aziendale.

I principali costi associati all'implementazione del modello riguardano pertanto il tempo necessario per la definizione iniziale della struttura di pianificazione e per l'impostazione degli strumenti di monitoraggio.

Assumendo il coinvolgimento di:

- 1 responsabile di progetto
- 2 ingegneri di progetto

per una durata stimata pari a **3 giornate di lavoro**, e considerando un costo medio aziendale pari a circa **400 € per giornata lavorativa per risorsa**, il costo complessivo di implementazione può essere stimato come:

$$3 \text{ giorni} \times 3 \text{ risorse} \times 400 \text{ €} = 3.600 \text{ €}$$

A questo si aggiunge il tempo necessario per la configurazione degli strumenti di monitoraggio e per l'impostazione degli indicatori di avanzamento del progetto.

Assumendo un'attività complessiva pari a circa **26 ore di lavoro** e un costo medio pari a **50 € per ora**, il costo associato risulta pari a:

$$26 \text{ ore} \times 50 \text{ €} \approx \mathbf{1.300 \text{ €}}$$

Voce	Costo stimato
Pianificazione iniziale	3.600 €
Configurazione strumenti di monitoraggio	1.300 €
Totale costo implementazione	4.900 €

Tabella 5.7.1: Costo di implementazione del modello

Fonti: elaborazione propria

Il costo complessivo rappresenta quindi un investimento iniziale di natura metodologica e organizzativa che consente di introdurre strumenti più strutturati di pianificazione e controllo del progetto.

5.7.2 Costi operativi del modello per progetto

Oltre al costo iniziale di implementazione, l'utilizzo del modello TO-BE comporta un incremento limitato delle attività di pianificazione e monitoraggio rispetto alla situazione AS-IS.

La costruzione della WBS, la definizione delle dipendenze tra attività e l'analisi del percorso critico richiedono circa una giornata aggiuntiva di lavoro per il responsabile di progetto e un ingegnere di progetto.

Costo stimato:

$$2 \text{ risorse} \times 1 \text{ giorno} \times 400 \text{ €} = \mathbf{800 \text{ €}}$$

L'aggiornamento del Gantt e degli indicatori di avanzamento richiede circa 30 minuti aggiuntivi a settimana rispetto alle attività già svolte nel modello AS-IS.

Assumendo una durata media del progetto pari a 26 settimane, il tempo complessivo aggiuntivo risulta pari a:

$$13 \text{ ore} \times 50 \text{ €} \approx \mathbf{650 \text{ €}}$$

Voce	Costo stimato
Pianificazione aggiuntiva	800 €
Aggiornamento strumenti	650 €
Totale costo operativo per progetto	1.450 €

Tabella 5.7.2: Costo operativo del modello per progetto

Fonte: elaborazione personale

Il costo operativo aggiuntivo risulta quindi relativamente contenuto rispetto alla dimensione economica complessiva dei progetti di sviluppo prodotto.

5.7.3 Benefici economici attesi

I benefici economici del modello TO-BE derivano principalmente dalla riduzione dell'impatto economico delle modifiche tecniche introdotte nelle fasi avanzate del progetto.

Nel caso analizzato nel Capitolo 4, la criticità relativa al sistema di raffreddamento comporta un incremento di costo stimato pari a circa **32.600 €**, oltre a un ritardo di circa **27 giorni** rispetto alla pianificazione iniziale.

È importante sottolineare che il modello TO-BE non elimina necessariamente la necessità di introdurre modifiche tecniche, che possono risultare inevitabili per ragioni di sicurezza, conformità normativa o validazione funzionale del prodotto.

Tuttavia, la presenza di un processo strutturato di valutazione preventiva consente di:

- anticipare l'analisi dell'impatto temporale ed economico delle modifiche;
- valutare soluzioni tecniche alternative prima dell'implementazione operativa;
- ridurre rilavorazioni, obsolescenza di materiali e ripetizione di attività di test.

Ai fini della stima economica viene quindi considerata un'ipotesi cautelativa: il modello consente di ridurre anche solo il 30% dell'impatto economico di una modifica tecnica ad alto impatto.

Il beneficio economico stimato risulta quindi pari a:

$$32.600 \text{ €} \times 30\% \approx \mathbf{9.780 \text{ €}}$$

5.7.4 Valutazione economica complessiva e ROI

Il confronto tra benefici economici stimati e costi operativi del modello evidenzia un impatto economico ampiamente positivo.

Voce	Valore
Beneficio economico stimato	9.780 €
Costo operativo per progetto	1.450 €
Beneficio netto per progetto	8.330 €

Tabella 5.7.4: Valutazione economica del modello TO-BE

Fonti: elaborazione personale

Il rapporto tra benefici e costi risulta quindi ampiamente superiore all'unità. Inoltre, il costo di implementazione iniziale rappresenta un investimento una tantum che può essere distribuito su più progetti di sviluppo prodotto, riducendone progressivamente l'incidenza economica.

5.7.5 Analisi di sensibilità della valutazione economica

La stima economica sviluppata nei paragrafi precedenti si basa su ipotesi prudenziali relative sia ai costi di implementazione del modello sia ai benefici economici derivanti da una migliore gestione delle modifiche tecniche.

Poiché tali valori possono variare in funzione delle caratteristiche specifiche del progetto e dell'organizzazione aziendale, è utile valutare la robustezza dei risultati attraverso una semplice analisi di sensibilità.

In particolare, vengono considerati tre scenari alternativi relativi alla riduzione dell'impatto economico di una modifica tecnica ad alto impatto:

- **scenario prudenziale**, in cui il modello consente di ridurre solo il 10% dell'impatto economico della modifica;
- **scenario intermedio**, in cui la riduzione dell'impatto è pari al 30%;
- **scenario favorevole**, in cui la riduzione raggiunge il 50%.

Assumendo come riferimento l'impatto economico di 32.600 €, i benefici stimati risultano i seguenti.

Scenario	Riduzione impatto MT	Beneficio economico stimato
Prudenziale	10%	3.260 €
Intermedio	30%	9.780 €
Favorevole	50%	16.300 €

Tabella 5.7.5: Analisi di sensibilità dei benefici economici

Fonti: elaborazione personale

Confrontando tali valori con il costo operativo del modello TO-BE stimato in circa **1.450 € per progetto**, si ottengono i seguenti risultati.

Scenario	Beneficio economico	Costo modello	Beneficio netto
Prudenziale	3.260 €	1.450 €	1.810 €
Intermedio	9.780 €	1.450 €	8.330 €
Favorevole	16.300 €	1.450 €	14.850 €

Tabella 5.7.5.1: Beneficio netto per progetto

Fonte: elaborazione personale

L'analisi evidenzia come il modello TO-BE rimanga economicamente vantaggioso anche nello scenario più conservativo, nel quale la riduzione dell'impatto economico della modifica tecnica è limitata al 10%.

Questo risultato conferma che il costo operativo del modello risulta relativamente contenuto rispetto ai potenziali benefici economici derivanti da una gestione più preventiva delle modifiche tecniche.

Nel complesso, l'analisi di sensibilità conferma la sostenibilità economica del modello TO-BE e rafforza l'ipotesi secondo cui l'introduzione di strumenti strutturati di pianificazione e controllo possa contribuire non solo a migliorare la prevedibilità temporale dei progetti, ma anche a ridurre l'esposizione economica alle modifiche tecniche ad alto impatto.

5.8 Limiti del modello proposto e possibili sviluppi futuri

Nonostante i risultati positivi emersi dall'applicazione del modello TO-BE al caso studio analizzato, è opportuno evidenziare alcuni limiti della proposta metodologica sviluppata nel presente lavoro, nonché alcune possibili direzioni di sviluppo futuro.

Un primo limite riguarda il **perimetro dell'analisi**, che si basa sull'applicazione del modello a un singolo caso studio relativo al progetto di sviluppo del modello elettrico TH 3.6 E. Sebbene tale progetto presenti caratteristiche di elevata complessità tecnica e normativa e risulti pertanto rappresentativo di molte delle dinamiche tipiche dello sviluppo prodotto in azienda, l'estensione del modello ad altri progetti di sviluppo potrebbe consentire una validazione più ampia delle soluzioni proposte e una valutazione più sistematica dei benefici organizzativi ed economici derivanti dalla loro adozione.

Un secondo limite riguarda il **livello di formalizzazione dei dati temporali utilizzati nella pianificazione**. Nel modello applicato, le durate delle attività sono state definite sulla base di stime operative coerenti con l'esperienza aziendale e con le tempistiche effettivamente osservate nei progetti analizzati. Tuttavia, tali stime non sono state supportate da una base statistica storica sufficientemente estesa. In prospettiva, l'integrazione del modello con sistemi strutturati di raccolta e analisi dei dati storici di progetto potrebbe consentire una stima più accurata delle durate e una migliore gestione dell'incertezza associata alle diverse fasi di sviluppo.

Un ulteriore elemento di miglioramento riguarda la **possibile integrazione del modello con strumenti digitali di project management**. Nel presente lavoro gli strumenti proposti, quali WBS, Gantt integrato, analisi del percorso critico e indicatori sintetici di avanzamento, sono stati implementati in forma prevalentemente analitica e concettuale. L'adozione di piattaforme software dedicate potrebbe consentire una gestione più dinamica della pianificazione, facilitando l'aggiornamento in tempo reale delle dipendenze tra attività, il monitoraggio degli scostamenti rispetto alla baseline e la condivisione delle informazioni tra le diverse funzioni aziendali coinvolte nel progetto.

Infine, un possibile sviluppo futuro riguarda l'ulteriore affinamento degli **indicatori sintetici di supporto decisionale** introdotti nel modello. In particolare, l'Indice di Impatto della Modifica Tecnica (IMT) e il Project Progress Index (PPI) potrebbero essere ulteriormente sviluppati e calibrati attraverso l'analisi di un numero più ampio di progetti, al fine di definire soglie di interpretazione più robuste e migliorare la capacità di tali indicatori di supportare le decisioni progettuali in contesti caratterizzati da elevata complessità tecnica.

Nel complesso, i limiti evidenziati non compromettono la validità del modello proposto, ma indicano possibili direzioni di evoluzione che potrebbero rafforzarne ulteriormente l'efficacia operativa e la trasferibilità ad altri contesti di sviluppo prodotto.

Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha analizzato le modalità di gestione dei progetti di sviluppo prodotto in un contesto industriale caratterizzato da elevata complessità tecnica, forte interdipendenza tra funzioni aziendali e presenza frequente di modifiche tecniche durante il ciclo di sviluppo. In tali contesti, la capacità di pianificare e controllare efficacemente le attività di progetto rappresenta un fattore critico per garantire il rispetto delle tempistiche, la stabilità economica dello sviluppo e il coordinamento tra le diverse aree organizzative coinvolte.

Il lavoro ha seguito un percorso di analisi progressivo. Inizialmente è stato definito il quadro teorico relativo agli strumenti di Project Management applicabili ai progetti di sviluppo prodotto. Successivamente è stata analizzata la situazione attuale (AS-IS) dell'organizzazione oggetto di studio, evidenziando un sistema caratterizzato da una limitata formalizzazione degli strumenti di pianificazione integrata e controllo sistemico del progetto. A partire da tali evidenze è stato quindi sviluppato un modello migliorativo (TO-BE) orientato a rafforzare la pianificazione e il controllo dei progetti attraverso strumenti strutturati di gestione delle attività, delle dipendenze temporali e delle modifiche tecniche.

L'applicazione del modello al progetto TH 3.6 E ha consentito di verificare la coerenza operativa degli strumenti proposti e di evidenziare in modo più chiaro le principali vulnerabilità temporali del progetto. In particolare, la modellazione reticolare ha permesso di individuare le attività critiche che determinano la durata complessiva dello sviluppo e di simulare l'impatto temporale di eventuali modifiche tecniche introdotte durante le fasi di validazione e omologazione.

Un ulteriore contributo del lavoro riguarda la formalizzazione di un processo strutturato per la gestione delle modifiche tecniche, orientato alla valutazione preventiva degli impatti temporali ed economici delle varianti progettuali. In particolare, sono stati introdotti due indicatori sintetici di supporto decisionale: l'Indice di Impatto della Modifica Tecnica (IMT), finalizzato a stimare gli effetti delle modifiche, e il Project Progress Index (PPI), concepito per misurare lo stato di avanzamento del progetto.

Il confronto tra modello AS-IS e modello TO-BE ha evidenziato come l'introduzione di una pianificazione integrata e di strumenti quantitativi di analisi consenta di migliorare la trasparenza delle dipendenze tra attività, la prevedibilità dell'evoluzione temporale del progetto e la capacità di anticipare l'impatto sistemico delle decisioni tecniche.

Dal punto di vista economico, l'analisi ha inoltre mostrato come l'adozione di strumenti più strutturati di pianificazione e controllo comporti costi operativi relativamente contenuti rispetto ai potenziali benefici derivanti da una gestione più preventiva delle modifiche tecniche ad alto impatto. Anche in scenari prudenziali, il modello TO-BE risulta economicamente sostenibile e può contribuire a ridurre l'esposizione del progetto a ritardi e incrementi di costo nelle fasi avanzate dello sviluppo.

È tuttavia opportuno evidenziare alcuni limiti della presente ricerca. In particolare, il modello proposto è stato applicato a un singolo caso studio e la valutazione economica si basa su ipotesi prudenziali relative alla riduzione dell'impatto delle modifiche tecniche. Studi futuri potrebbero estendere l'analisi a un numero più ampio di progetti di sviluppo prodotto, al fine di validare ulteriormente il modello e valutare i benefici organizzativi e temporali derivanti dalla sua applicazione.

Nonostante tali limitazioni, i risultati ottenuti suggeriscono che l'introduzione di strumenti integrati di pianificazione e controllo possa rappresentare un elemento rilevante per migliorare la gestione dei progetti di sviluppo prodotto in contesti industriali caratterizzati da elevata complessità tecnica e organizzativa. In particolare, la maggiore esplicitazione delle dipendenze tra attività, la capacità di simulare l'impatto delle modifiche tecniche e la disponibilità di indicatori sintetici di avanzamento contribuiscono a rendere il processo decisionale più trasparente, supportando una gestione del progetto maggiormente orientata alla prevenzione delle criticità piuttosto che alla loro risoluzione a posteriori.

Riferimenti

- Antill, J. M., & Woodhead, R. (1991). *Critical Path Methods in Construction Practice*. John Wiley & Sons.
- Archibald, R. D. (2004). *Project management. La gestione di progetti e programmi complessi*. FrancoAngeli.
- Caccamese, A., & Martinati, M. (2018). *Professione project manager. Guida all'esame di certificazione PMP® e CAPM®*. FrancoAngeli.
- Capaldo, G., & Capone, V. (2022). *Programmare e gestire progetti nelle organizzazioni delle PA. Una guida snella per i project manager occasionali*. FrancoAngeli.
- Cooper, R. G., & Kleinschmidt. (1993). Stage-Gate Systems for New Product Success. *Marketing Management*.
- Cue, Management. (2023). *Critical Path Method (CPM): cos'è, come funziona e possibili sviluppi futuri*. Tratto da <https://www.managementcue.it/2023/12/01/critical-path-method-cpm-cose-come-funziona-e-possibili-sviluppi-futuri/>
- Fleming, Q., & Koppelman, J. (2010). *Earned Value Management Using Microsoft Office Project*. Project Management Institute.
- Gantt, H. L. (1919). *Organizing for Work*. Harcourt, Brace and Company.
- Headvisor. (s.d.). *Diagramma di Gantt: lo strumento per la pianificazione dei progetti*. Tratto da <https://www.headvisor.it/sites/default/files/pdf/headvisor-diagramma-di-gantt.pdf>
- Magnacca, F. (2023). *Lo sviluppo di nuovi prodotti in economia aziendale*. Giuffrè.
- Magnith. (s.d.). *Sito aziendale Magnith*. Tratto da Magnith: <https://www.magnith.com/>
- Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Project Management Institute.
- Rebiere, O. (2018). *Capire il diagramma di Gantt*. Cristina Rebiere.
- Russo, F. A., & Panizzolo, R. (2010). *Teoria e pratica delle operazioni d'acquisto. Strategia e tecniche operative*. Ipsoa.