



Infrastrutture Ferroviarie e Nodi Intermodali

LA VALUTAZIONE SISTEMATICA DEGLI INVESTIMENTI DI OPERE FERROVIARIE

Dispensa del Corso

Dario Lo Bosco - Fabio Fonte
– Federica Suraci

**Corso di Infrastrutture Ferroviarie e
Nodi Intermodali**

Anno Accademico 2019 - 2020

Indice

1	Il processo di ottimizzazione degli investimenti in infrastrutture di mobilità e logistica ---	3
2	L'analisi sistematica del problema della ricerca della soluzione globalmente " <i>ottima</i> " ---	12
3	La gestione del progetto e strategie di <i>project management</i> -----	19
4	Riferimenti bibliografici -----	26

1. Il processo di ottimizzazione degli investimenti in infrastrutture di mobilità e logistica.

La qualità del sistema delle reti infrastrutturali strategiche, *materiali e immateriali*, e dei servizi di pubblica utilità a rete è uno dei fattori cruciali di sviluppo: incide in modo determinante sui costi della produzione di beni e servizi e favorisce le imprese per l'accesso ai mercati e gli scambi commerciali.

Dagli standard di qualità delle reti infrastrutturali e dei servizi dipende la mobilità delle persone e la fruizione di beni essenziali, quali l'acqua, l'energia elettrica, il gas, le relazioni interpersonali, la diffusione delle informazioni e delle conoscenze (ad esempio, internet), il monitoraggio dei fattori di rischio ambientale e sociale e, infine, una crescente parte dei servizi sociosanitari.

Anche la stessa indipendenza, la sicurezza e perfino l'integrità nazionale risulta correlata all'efficienza dei “*sistemi a rete*”: gli approvvigionamenti energetici, le telecomunicazioni, la navigazione aerea, i trasporti di emergenza, i servizi di pronto soccorso medico ed altri ancora sono fattori-chiave della qualità della vita nei territori antropizzati.

Il contributo della spesa pubblica agli investimenti in infrastrutture in Italia è diminuito nei decenni, ma soprattutto negli ultimi anni di severa crisi economica e consolidamento fiscale. Gli investimenti pubblici che negli anni novanta si attestavano ad oltre il 3% del Pil, oggi sono sotto l'1,8% e la tendenza per i prossimi anni è di ulteriori riduzioni. Inoltre, il cofinanziamento di parte pubblica degli investimenti infrastrutturali è passato da circa il 90% degli anni ottanta e novanta, al 50% del 2000.

Oggi, l'esigenza di sostenere il finanziamento delle infrastrutture in una logica di cofinanziamento tra pubblico e privato si pone anche a livello europeo. La stessa Commissione europea sottolinea che la competitività dell'economia dipende dalla tempestiva realizzazione di infrastrutture integrate nel mercato interno nei settori del trasporto marittimo, aereo e ferroviario, in quello dell'energia e delle comunicazioni.

Dal dicembre 2013 è in vigore nell'UE una nuova politica per le infrastrutture TEN-T (*Trans-European Transport Network*)¹, con un bilancio di oltre 30.4 miliardi di euro per il periodo fino al 2020: il meccanismo per collegare l'Europa (CEF) si pone l'obiettivo di realizzare sinergie nel settore dei trasporti, delle telecomunicazioni e dell'energia, potenziando l'efficacia dell'intervento dell'Unione e rendendo possibile un'ottimizzazione dei costi di attuazione.

Il meccanismo si prefigge di accelerare gli investimenti nel campo delle *reti transeuropee* e di stimolare gli investimenti sia pubblici che privati, aumentando nel contempo la certezza del diritto, nel rispetto del principio della neutralità tecnologica.

La dotazione finanziaria per l'attuazione del CEF per il periodo 2014-2020 è stata inizialmente

¹ Le reti di trasporto transeuropee TEN-T, sono un insieme di infrastrutture di trasporto integrate previste per sostenere il mercato unico, garantire la libera circolazione delle merci e delle persone e rafforzare la crescita, l'occupazione e la competitività dell'Unione europea.

fissata a oltre 33,2 miliardi di EUR, ma nel 2015 tale importo iniziale è stato poi ridotto a 30,4 miliardi di EUR, in quanto 2,8 miliardi di EUR sono stati trasferiti al nuovo Fondo europeo per gli investimenti strategici (FEIS). Il bilancio del CEF è ripartito come segue:

- settore dei trasporti: 24,05 miliardi di EUR, di cui 11,3 miliardi di EUR sono stati trasferiti dal Fondo di coesione per essere spesi, conformemente alle disposizioni del regolamento CEF, esclusivamente negli Stati membri idonei al finanziamento del Fondo di coesione;
- settore delle telecomunicazioni: 1,04 miliardi di EUR;
- settore dell'energia: 5,35 miliardi di EUR.

Nel settore dei trasporti, il CEF mira ad accelerare il completamento di entrambi i livelli della rete TEN-T, la realizzazione di *sistemi europei di gestione del traffico*, come il sistema europeo di gestione del traffico ferroviario (ERTMS) e il progetto di ricerca sulla gestione del traffico aereo nel cielo unico europeo (SESAR), nonché a sostenere la transizione verso una mobilità intelligente, sostenibile, inclusiva e sicura attraverso la realizzazione di una rete europea di infrastrutture di ricarica per i carburanti alternativi.

Al fine di creare uno spazio unico ferroviario europeo, la Commissione Europea sostiene da oltre 30 anni l'adozione di un sistema standardizzato per il segnalamento ferroviario, ERTMS, tramite l'introduzione di obblighi normativi e di incentivi per il finanziamento.

RFI ha già adottato, tra i primi gestori della rete in Europa, l'European Rail Traffic Management System/European Train Control System (ERTMS/ETCS) di livello 2 sulle nuove linee della rete ad Alta Velocità/Alta Capacità.

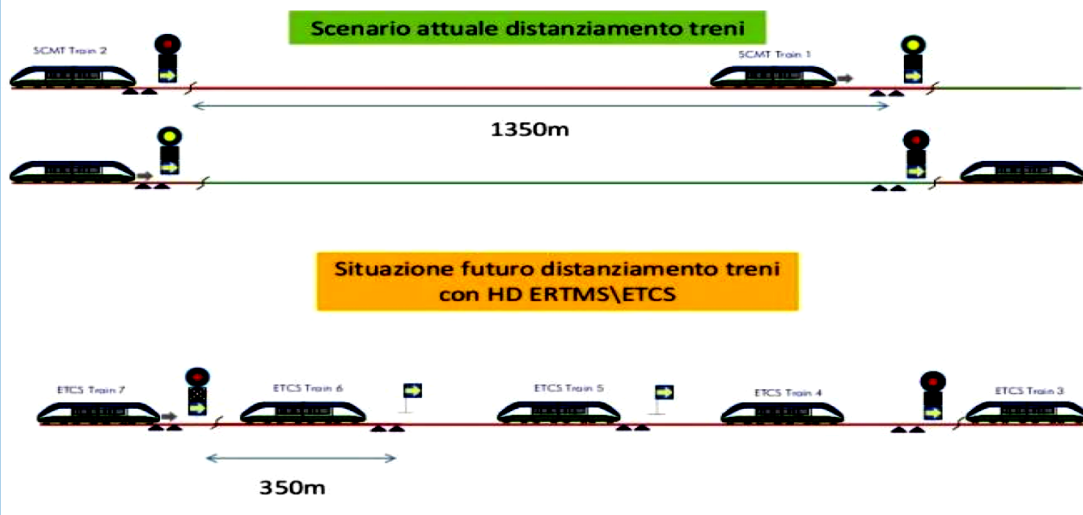
Il sistema assicura ai treni dei diversi paesi di circolare senza soluzione di continuità su tutte le linee europee che ne sono dotate ed è capace di garantire la circolazione in sicurezza dei treni con l'adozione di funzionalità e tecnologie all'avanguardia mondiale (v. schema seguente).

Oggi è in corso di sviluppo l'adozione del sistema ERTMS anche sulle linee cosiddette “convenzionali” che appartengono ai corridoi ferroviari Europei che attraversano l'Italia e sui nodi delle principali città per svolgere le funzioni di addensamento treni, incrementandone i livelli di affidabilità, regolarità e sicurezza.

Tali investimenti strategici in tecnologia avanzata non solo garantiscono prestazioni più elevate, ma permettono anche di conseguire un risparmio sui costi di gestione e manutenzione.

La tecnologia ERTMS/ETCS presenta significativi vantaggi rispetto ai sistemi tradizionali in termini di:

- **Safety** (superamento degli attuali vincoli tecnologici nella protezione delle manovre e dei passaggi a livello,...)
- **Efficienza** (riduzione dei costi di gestione dell'infrastruttura e del materiale rotabile,...)
- **Prestazioni** (sfruttamento ottimale delle potenzialità dell'infrastruttura in termini di capacità, velocità, regolarità,...).



Nel panorama di investimenti nel sistema della mobilità a rete sopra descritto, anche le infrastrutture logistiche sono diventate ormai uno dei principali *abilitatori* del commercio mondiale, permettendo alle aziende, di ogni dimensione, di accedere ai mercati internazionali in modo efficace e veloce. Compagnie del calibro di FedEx, DHL, Ferrovie dello Stato Italiane, Hupac, Cemat e Amazon, stanno effettuando grandi investimenti in infrastrutture sia nel settore aeroportuale sia in quello ferroviario per lo sviluppo del settore.

Lo stesso traffico combinato “*strada-ferrovia*” è diventato da anni in UE un mercato emergente, con un volume di 192 milioni di tonnellate di merci in Europa e un tasso di crescita annuo medio del 7,7%. Il trasporto combinato è concorrenziale rispetto a quello su strada sulle lunghe distanze già a partire da 500 chilometri, e nel transito alpino già da 300 chilometri. Le esistenti restrizioni del trasporto merci su strada, le condizioni quadro favorevoli della politica dei trasporti e un bilancio ambientale positivo sono i fattori determinanti per l'ulteriore sviluppo del mercato.

A partire dall'analisi del contesto europeo e dei piani di sviluppo sovranazionali dei *Corridoi Ten-T*, nonché dall'analisi del mercato merci e dei *bacini* che generano o attraggono domanda, RFI ha programmato - anche nell'ambito dei finanziamenti previsti nel *Contratto di Programma 2017/2021 – Parte Investimenti* per interventi infrastrutturali e misure atte a conseguire I seguenti obiettivi:

- **potenziare le linee comprese nei corridoi Ten-T** che interessano l'Italia, lungo i quali già oggi si svolge oltre i 90% del traffico merci nazionale, anche intervenendo sui principali terminali e sui collegamenti con essi e con i maggiori porti italiani;
- **potenziare l'offerta** per le Imprese Ferroviarie (IF) merci anche con adeguamenti della sagoma delle linee per permettere il passaggio dei semirimorchi e dei container HIGH CUBE e del modulo per permettere il transito in sicurezza di treni lunghi fino a 750 metri.
- **migliorare le condizioni** in cui le imprese del settore (IF e *terminalisti*) operano negli scali, riducendo così i costi del servizio,
- **ottimizzare l'assegnazione delle tracce e migliorare la compatibilizzazione del traffico merci** con quello passeggeri di lunga distanza e locale anche con un nuovo modello di *catalogo tracce*.

In tale contesto, si inserisce anche il progetto di potenziamento del *Quadrante Europa* con la realizzazione del nuovo *Quarto Modulo*, attrezzato con cinque binari lunghi 750 metri - *standard europeo* di lunghezza dei treni merci, gru a portale e aree di stoccaggio.

Gli interventi consentiranno di aumentare la *capacità* complessiva del terminal intermodale di Verona - Quadrante Europa, per offrire un'adeguata risposta ad una crescente domanda di trasporto combinato ferroviario, destinata ancora nel tempo ad aumentare con il completamento e l'entrata in esercizio della Galleria di Base del Brennero, nonché con lo sviluppo dell'AV/AC verso Est.

Per questo motivo, il potenziamento di *Quadrante Europa* prevede il collegamento diretto con la *Direttrice del Brennero* e con la linea ferroviaria per Bologna. Queste azioni sono in linea con le strategie di sviluppo intraprese da Rete Ferroviaria Italiana per promuovere lo sviluppo del trasporto merci e lo *shift* modale dalla gomma al ferro.

L'Italia esporta il 70% delle proprie merci verso l'Europa e la maggior parte verso i paesi nordici e quindi soprattutto attraverso il Brennero lungo il Corridoio Scandinavo-Mediterraneo, che è il principale asse di collegamento dell'Italia con il resto d'Europa. Il Brennero è il 1° valico alpino, con un traffico maggiore della somma dei traffici dei valichi con la Francia e la Svizzera: vi transita il 10,5% degli scambi commerciali totali Italiani. Ciò evidenzia l'importanza dell'investimento presso l'interporto Quadrante Europa. Obiettivo finale è promuovere l'integrazione fra la rete ferroviaria, gli interporti e i porti, condizione questa necessaria per ottenere la massima sinergia nella logistica del trasporto delle merci in un'ottica di massima *sostenibilità* e in linea con gli obiettivi stabiliti dal *Libro*

Bianco dei Trasporti dell'Unione Europea: trasferire il 30% del trasporto merci oltre i 300 km su ferro entro il 2030 e il 50% entro il 2050.

L'investimento complessivo, comprensivo del potenziamento della stazione ferroviaria, è di circa 59 milioni di euro. Lo sviluppo della progettazione degli interventi, considerata la loro importanza strategica, è cofinanziato dall'Unione Europea nell'ambito del progetto "*Veneto Intermodal*", presentata da un consorzio guidato da *Consorzio ZAI Interporto Quadrante Europa*, con i partner Rete Ferroviaria Italiana, Regione Veneto e Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Settentrionale. Il completamento delle opere è previsto nel 2026.

Vista dunque la rilevante mole di progetti infrastrutturali e degli investimenti in gioco nei prossimi anni, l'ottimizzazione degli interventi infrastrutturali nel territorio (reti TEN-T, opere nella rete o nei nodi di trasporto, per la logistica, *information technology*, etc.), per la numerosità delle variabili che entrano in gioco per massimizzare gli *obiettivi-chiave*, richiede sempre più un'attenta analisi di appositi *indicatori* dei *flussi di utilità/disutilità* ad essi associati.

Le politiche di sviluppo e di efficientamento della mobilità di persone e merci sono centrali in un Paese ad economia avanzata perché assumono fondamentale importanza per accelerare la crescita nelle *macro-aree* interessate (siti ed "*area vasta*") e delle imprese ivi operanti, contribuendo a migliorare i diversi settori produttivi e dell'indotto, la qualità della vita, la sicurezza ed a contenere l'impatto sull'ambiente, soprattutto nei territori urbani.

Nella moderna *analisi sistematica* di tali *attività complesse*, al fine di ottimizzare gli *standard globali* dei progetti e dei piani di investimento nazionali e sovranazionali, occorre avere come orizzonte temporale l'intero *ciclo di vita utile* dell'intervento e riferirsi ad idonei strumenti matematici atti a descrivere con apposite *variabili decisionali strategiche* le differenti fasi di concepimento dell'opera, di avvio delle attività, della costruzione e della *gestione finanziaria ed operativa*, fino alla dismissione o al rinnovo dell'infrastruttura o del *programma di azioni* sulla rete di mobilità interessata.

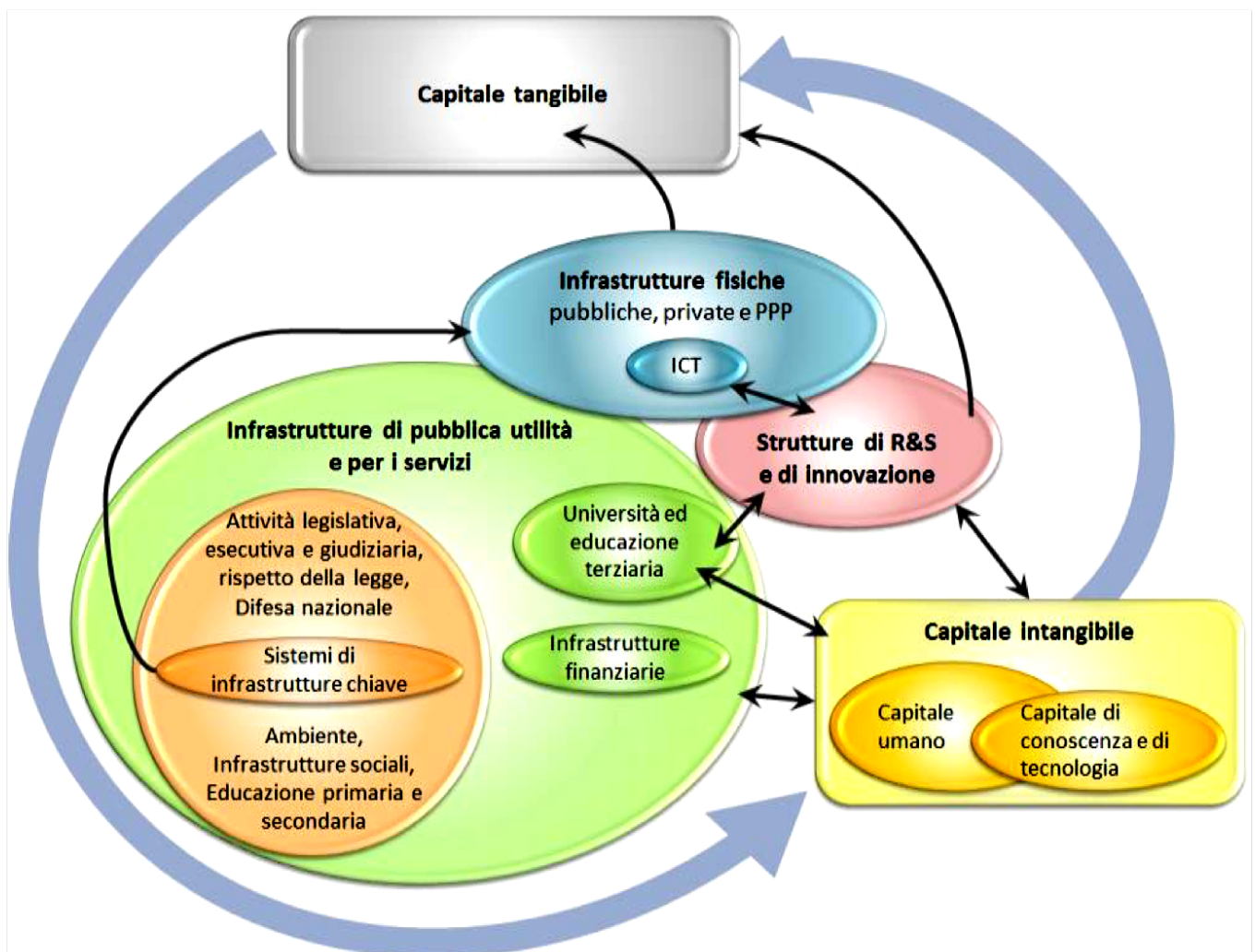
Un'opportuna metodologia di approccio al problema deve, pertanto, analizzare *ex ante* il rapporto *benefici/costi* "*generalizzati*", con idonei *indicatori econometrici*, onde massimizzare i flussi di *utilità globale*, considerando nel calcolo economico anche gli effetti (positivi e negativi) nell'*ecosistema* e nel tessuto sociale. Il quadro del problema può essere sinteticamente rappresentato dai seguenti *elementi-chiave*:

- *capitale fisico*, tra cui le strutture R&S (*Research and Development*) e di innovazione, le infrastrutture logistiche e finanziarie, il territorio etc.;
- *capitale "intangibile"* (umano, di conoscenza e tecnologia, etc.);
- *altri elementi* funzionalmente interconnessi all'investimento;
- *vincoli* da rispettare, di natura tecnica, economico-finanziaria e ambientale.

In generale ci si trova ad analizzare sistematicamente una *sequenza coordinata di fasi* che partendo dalla programmazione generale degli interventi, porta alla attuazione dei medesimi e si conclude con la gestione degli insediamenti realizzati: il suo svolgimento non è lineare, in quanto presenta numerose interdipendenze e implicazioni logiche fra le suddette "*fasi*".

Tuttavia per semplicità esso può essere esplicitato, con qualche approssimazione, attraverso una *sequenza cronologica ordinata*, tale da consentire la definizione e l'analisi di ciascuna delle fasi essenziali attraverso cui si attua:

- programmazione generale di politica economica;
- localizzazione degli interventi;
- programmazione specifica (tecnico-economico-finanziaria-ambientale);
- progettazione architettonica, strutturale e nell'*area vasta*;
- ottimizzazione dell'infrastruttura nel *Sistema a rete* e interconnessione dei nodi;
- affidamento dei lavori;
- esecuzione dei lavori;
- collaudo;
- gestione dell'esercizio e manutenzione per la durata della "*vita utile*";
- dismissione dell'opera.



Tav. 1 – Insieme dei sistemi infrastrutturali: capitale fisico e capitale "*intangibile*".

Nel *processo* sopra descritto opera una serie di *Enti Operatori* a ciascuno dei quali è attribuito, nelle diverse fasi, un ruolo e dei compiti specifici:

- *Enti Pianificatori*, cui spettano le scelte di fondo e di programmazione ai vari livelli;
- *Enti Normatori*, per l’emanazione e l’aggiornamento delle norme riguardanti il processo;
- *Enti Decisionali e di Controllo* per il controllo del processo, le responsabilità decisionali e la verifica di rispondenza del processo alla normativa;
- *Enti di Attuazione* cui spetta l’attuazione degli interventi;
- *Enti di Ricerca/Progettazione*, per la ricerca e la progettazione relativa al *sistema*;
- *Enti di Esecuzione e Produzione*, cui spetta la produzione del “*prodotto*”.

Un ruolo essenziale ed “*al di sopra*” di tutti questi Enti è rappresentato poi dall’*Utenza* cui spetta l’uso dei *beni finali* ed a cui ogni *Ente* deve o dovrebbe fare continuamente riferimento, per ottimizzare i risultati a favore di essa, in termini di *sicurezza*, *qualità*, di *affidabilità del “prodotto”* e di “*sostenibilità ambientale*”. Essa interviene nelle varie *fasi* con un “*peso*” diverso e configurandosi come *Principale Soggetto del processo*: qualora operi in qualità di *Committenza*, diventa anche uno dei principali *Enti Attuatori* presenti nel citato processo.

Il *Committente* è, infatti, la figura principale di qualsiasi operazione: in qualità di proprietario (ad esempio un Ente pubblico), è l’unico che ha il titolo per intervenire sulle trasformazioni del territorio di competenza; durante la fase progettuale intervengono i suoi *delegati*, sia per la progettazione che per la sicurezza, mentre il controllo del progetto è compito degli stessi Enti a cui è demandata l’applicazione della normativa vigente.

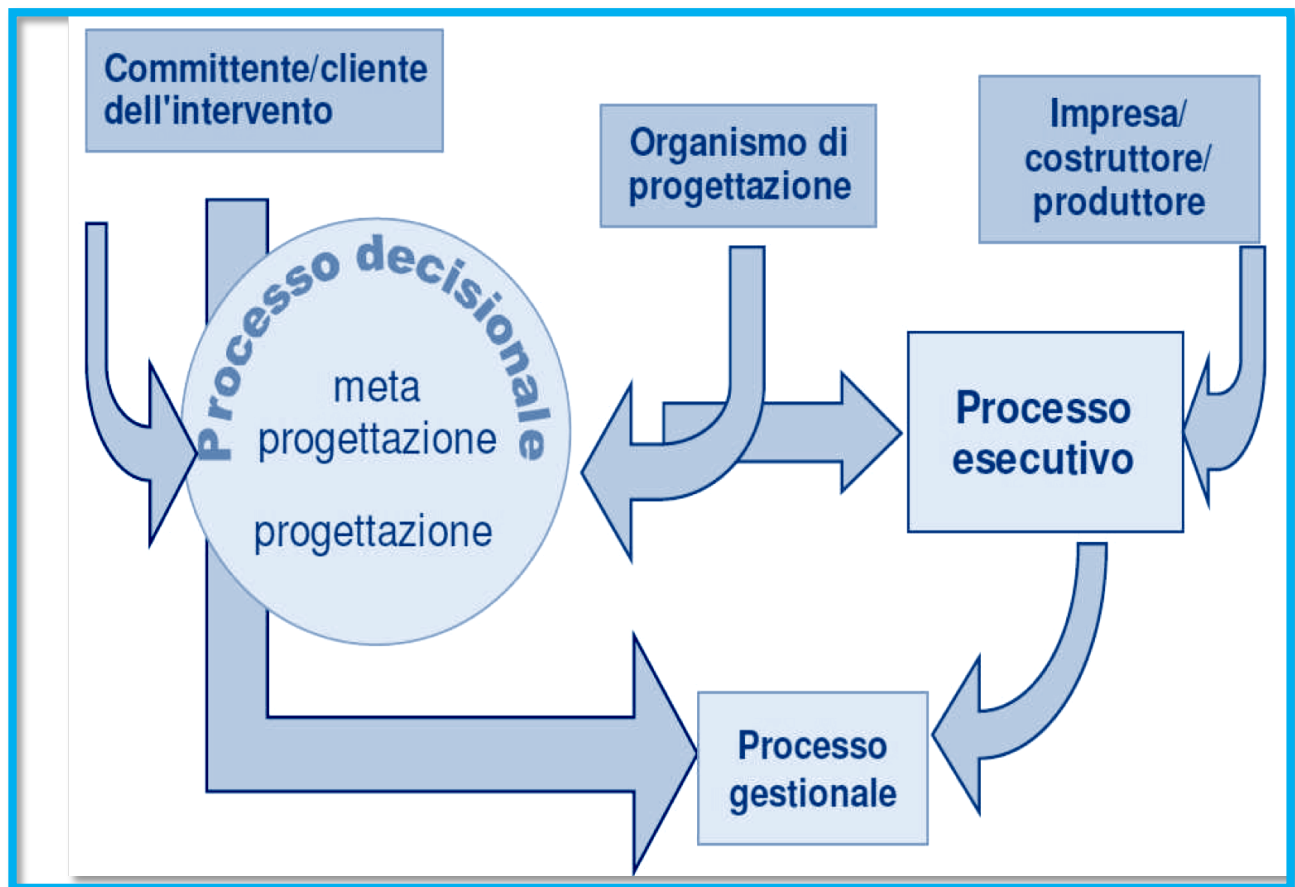
Nella fase esecutiva, accanto ai professionisti delegati dalla committenza ed agli *Enti controllori*, interviene l’Impresa esecutrice del lavoro, a cui è affidato il compito della realizzazione dell’opera, nel rispetto delle norme che regolamentano la materia degli appalti. Il processo decisionale che conduce alla realizzazione dell’intervento programmato si articola in fasi di *metaprogettazione* e fasi di *progettazione* (cfr. Norma UNI 10723). Le prime sono le *fasi di processo* che raccolgono e correlano gli *obiettivi* che si vogliono raggiungere, i mezzi di cui si può disporre e le condizioni specifiche del contesto territoriale e normativo in cui si opera.

Progetto

- “Uno sforzo **temporaneo** intrapreso per creare un **prodotto o un servizio univoco**” (PMI - Project Management Institute, 1996)
- “Sforzo complesso, comportante compiti interrelati eseguiti da varie organizzazioni, con **obiettivi, schedulazioni e budget ben definiti**” (Russel D. Archibald, 1994)
- “Un insieme di **sforzi coordinati** nel tempo” (Kerzner, 1995)
- “Un **insieme di persone** e di altre risorse temporaneamente riunite per raggiungere uno specifico obiettivo, di solito con un budget determinato ed entro un periodo stabilito” (Graham, 1990)
- “Un **insieme di attività tra loro correlate e interdipendenti**, volte al raggiungimento di un obiettivo preciso, con un limite di tempo determinato, un budget di risorse stabilite, che vengono avviate alla **ricerca di un aumento di valore per l’organizzazione o per il soddisfacimento delle esigenze del cliente**” (SDA Bocconi - Div. Ricerche 1999)

Le fasi di progettazione risultano invece l'esplicitazione tecnica della programmazione e della gestione dell'intervento, fino alla dismissione: queste si traducono in un preciso quadro di riferimento della qualità, dei costi e degli elementi costitutivi dell'opera.

Il *Project Manager* individua gli interventi necessari alla migliore definizione del progetto la cui necessità è stata acclarata ad un primo livello decisionale di politica economica e ne effettua la programmazione operativa, gestionale ed economica per ottimizzare la realizzazione dell'intervento, anche per i profili di massimizzazione del rapporto "*opera-ambiente*".

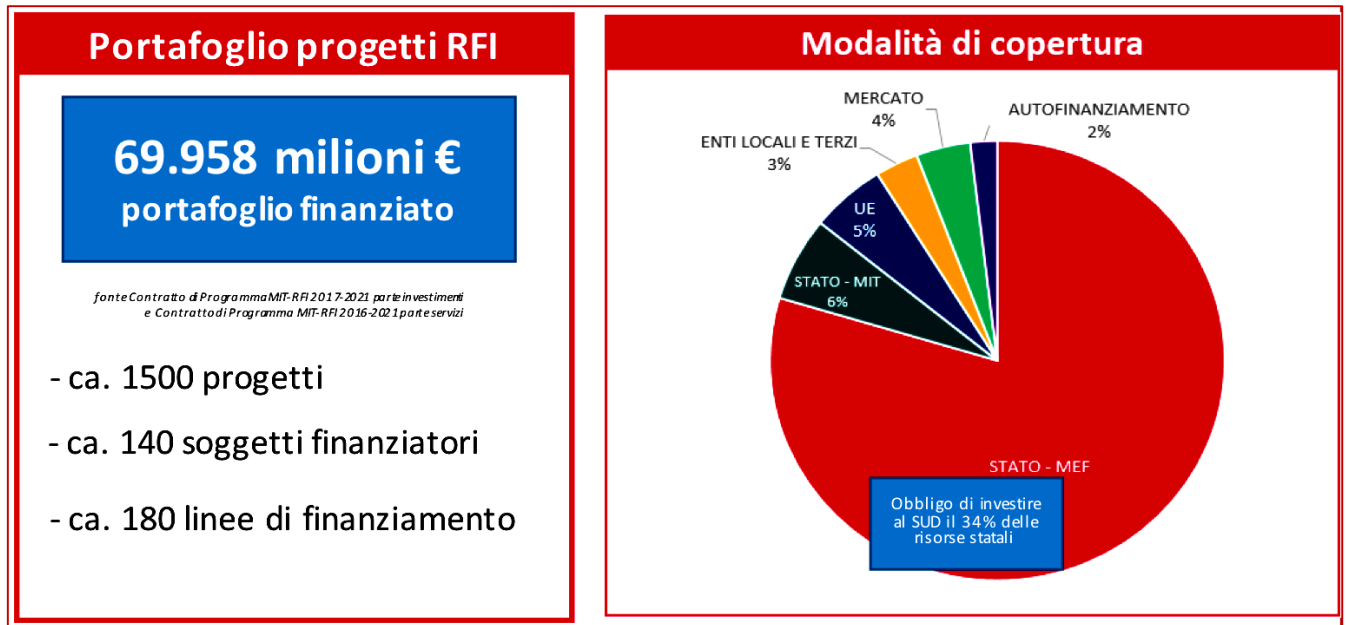


Dunque, in tale contesto, ampio ed articolato, compito del *Project Manager* è quello di effettuare un'attenta valutazione comparative delle diverse "*opzioni di intervento*", tutte compatibili con i *vincoli* del problema, per ricercare la soluzione "ottima", attraverso idonei strumenti matematici atti a valutare sistematicamente gli effetti globalmente prodotti nelle differenti *fasi logiche* caratterizzanti il *processo*, come riportato nello *schema logico* seguente.



Tale obiettivo strategico potrà essere conseguito esaminando tutti i possibili *scenari alternativi* e valutando le specifiche ricadute nella “*macroarea*” interessata dall’intervento pubblico in esame, al fine di assumere scelte finalizzate all’ottimale *efficienza allocativa* delle risorse pubbliche e/o di capitali privati (ad esempio, *co-finanziamenti*, ovvero forme di *partenariato pubblico-privato* PPP, quali il *project financing*), comunque destinate a quell’investimento programmato.

Le modalità di finanziamento di un progetto di investimento infrastrutturale vengono individuate dalla stipula di uno o più atti di finanziamento (contratti, provvedimenti normativi, decisioni europee, ecc.) che destinano le risorse ai progetti di investimento e in genere definiscono i vincoli il cui rispetto è necessario per l’ottenimento delle risorse da parte del soggetto realizzatore



La gestione necessaria per il soggetto realizzatore per l'ottenimento delle risorse da parte degli enti finanziatori, in particolar modo per i contributi pubblici a fondo perduto, può essere particolarmente impegnativa in termini di:

- **verifica del rispetto dei vincoli posti per l'utilizzo delle risorse stesse (obblighi di contabilità separata, monitoraggio, ecc.);**
- **attività di rendicontazione delle attività effettuate finalizzate all'erogazione delle risorse**

e che si concretizzano in costi di gestione per il soggetto realizzatore che rendono in qualche modo onerose anche le fonti di finanziamento che non richiedono oneri finanziari per il loro utilizzo, qualche volta stimato anche al 2% del finanziamento concesso.

In particolare, per quanto concerne la natura del finanziamento da parte della UE, dello Stato, delle Regioni o di altri enti locali per gli investimenti infrastrutturali, rilevano i seguenti elementi centrali:

- forte interesse nella realizzazione dell'infrastruttura («committente»);
- capacità di governo della complessa concertazione istituzionale e sociale necessaria per realizzare gli investimenti, specialmente per quelli più invasivi nel territorio;
- ottica orientata a massimizzazione benefici collettività vs massimizzazione rendimenti capitale investito;
- capacità di finanziamento a lungo termine a fondo perduto.

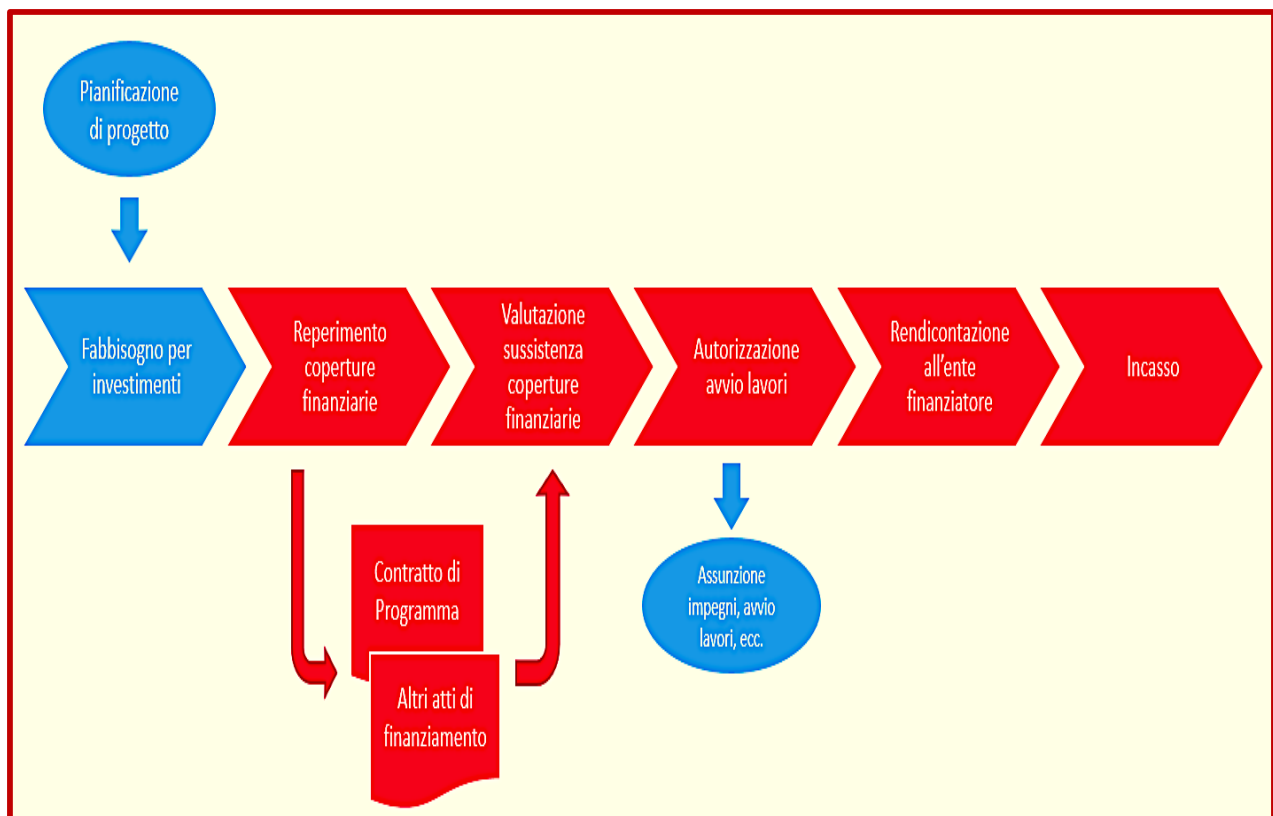
Il nuovo *Contratto di Programma RFI - parte Investimenti 2017-2021*, esaminato nella seduta del 7 agosto 2017 dal CIPE che si è espresso con parere favorevole, ha concluso il suo iter autorizzativo con la registrazione della Corte dei Conti del Decreto di approvazione MIT/MEF avvenuta in data 9 maggio 2019.

Le risorse finanziarie così contrattualizzate consentiranno, in coerenza con la strategia di

sviluppo della *rete ferroviaria nazionale*, non solo la sicurezza e l'ammodernamento dell'infrastruttura ferroviaria esistente, al fine di poter garantire ai cittadini infrastrutture più efficienti e sicure e una migliore quantità e qualità dei servizi ai pendolari, ma anche il rilancio del trasporto merci ferroviario e dell'intermodalità ponendo al centro dello sviluppo della rete i *nodi intermodali* per una migliore accessibilità a porti, interporti ed aeroporti.

Con l'atto in oggetto vengono contrattualizzate nuove risorse per circa 13,3 miliardi di euro finalizzate all'avvio dei seguenti progetti/programmi di investimento:

- 2 mld di euro per il proseguimento dei programmi di sicurezza ed adeguamento agli obblighi di legge;
- 0,7 mld di euro per l'ammodernamento tecnologico della dotazione delle linee e degli impianti ferroviari;
- 1,3 mld di euro per la valorizzazione delle reti regionali;
- 0,9 mld di euro per lo il potenziamento e sviluppo delle aree metropolitane;
- 0,7 mld di euro per lo sviluppo dell'intermodalità (porti, interporti ed aeroporti);
- 5 mld di euro per lo sviluppo delle principali direttrici ferroviarie;
- 2,7 mld di euro per il proseguimento dei progetti da realizzarsi per *lotti costruttivi*.



2. L'analisi sistematica del problema della ricerca della soluzione globalmente "ottima".

Un efficace approccio metodologico al problema della massimizzazione delle "utilità globali" associate alla realizzazione di un investimento nelle reti di mobilità e di logistica, può essere facilitato da apposite modelli matematici per la valutazione sistematica dell'insieme di elementi che lo caratterizzano, basandosi sui principi di *analisi vettoriale* nello spazio $\mathcal{R}^m$ del complesso di variabili.

Tale impostazione tiene anche conto delle variabili probabilistiche ricavate da un'opportuna *analisi dei rischi* nelle diverse fasi di esercizio e gestione, fino alla *dismissione* dell'opera, per l'intero scenario temporale di riferimento, nell'intervallo $[0 - T]$, con T = anni di *vita utile* dell'infrastruttura.

Il processo logico per la massimizzazione dei *benefici globali* attesi risulta schematizzato nello *schema operativo* seguente.



Qualunque sia il caso dell'investimento preso in esame dall'*équipe* multidisciplinare di studio (management aziendale, economisti, ingegneri e tecnici di settore, etc.), a ciascuna *alternativa compatibile* analizzata potrà essere associato un apposito *vettore di utilità* $\vec{U}_{g,i}$ che esprima, per l'intero sistema di variabili considerato, l'*utilità globale relativa per la i-esima opzione in esame*, costruito

mediante la valutazione dei *flussi di utilità attualizzati* e di quelli di *disutilità* (impatti ambientali, finanziari, etc.) associati alla *i-esima* alternativa esaminata e rapportati all'*ipotesi neutra* (non intervento), in una logica di LCCC – *Life Cycle Cost Analysis* (v. Figura).



Operativamente, qualunque sia il caso dell'investimento preso in esame dall'*équipe multidisciplinare* di studio (direzione societaria *dedicata*, economisti, tecnici, ambientalisti, etc.), a ciascuna alternativa *compatibile* (per i diversi vincoli da considerare : tecnici, economici, finanziari, ecosistemici, etc.) analizzata potrà essere associato un apposito *indicatore di utilità* U_g che esprima, per l'intero *sistema di variabili* considerato l'*utilità globale relativa* per la *i-esima* opzione in esame.

Seguendo l'approccio metodologico sopra descritto, per l'analisi dell'investimento pubblico o di tipo industriale, dal punto di vista operativo, si può procedere come appresso indicato.

Denominiamo con Δb_{ij} gli *incrementi di utilità* globalmente riscontrati per il generico componente *j-esimo* del progetto, fra gli *m* complessivamente analizzati. Per l'*i-esimo* elemento dell'insieme **K** dei *fattori* k_i (supposti in tutto pari a *n*) caratterizzanti il problema di ottimizzazione in studio, se Δc_{ij} rappresentano le rispettive variazioni negative di utilità (*disutilità*), il ricercato indicatore di *utilità* (comfort e qualità d'esercizio, sicurezza, affidabilità, economie gestionali, impatti ambientali, sviluppo socio-economico o industriale, etc.) assume l'espressione

$$U_g = \sum_{j=1}^m u_{gj}$$

essendo u_{gi} l'*utilità relativa* (con il proprio segno algebrico) associata ad ogni specifico elemento *j-esimo* progettuale, con

$$U_{gi} = \sum_{i=1}^n (\Delta b_{ij} - \Delta c_{ij}) \quad (2)$$

⁽²⁾ Il termine Δc_{ij} va considerato in valore assoluto.

Dal punto di vista vettoriale, la (1), costruito il *vettore colonna* (di ordine n) sotto riportato,

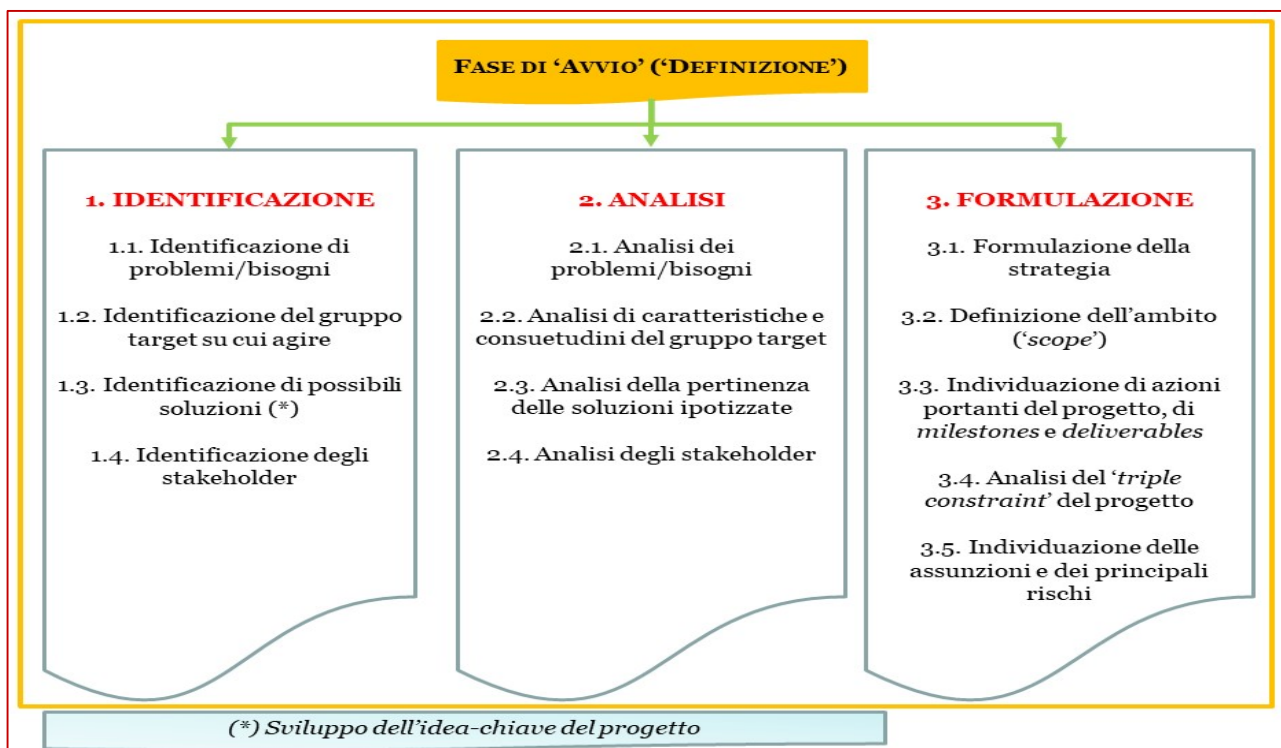
$$\vec{U}_{gj} = \begin{pmatrix} u_{g1} \\ \vdots \\ u_{gi} \\ \vdots \\ u_{gn} \end{pmatrix}$$

è formato dall'insieme degli m *vettori componenti*

$$\vec{U}_g = \{\vec{u}_{gj}\}_{j=1}^m \quad (1)$$

Tale indicatore può essere opportunamente costruito sulla base dei *flussi di utilità attualizzati*⁽¹⁾ associati alla specifica alternativa progettuale, rapportati all'*ipotesi neutra*, cioè al "non intervento".

Per ottimizzare le dinamiche di spesa, il decisore pubblico ed il management devono analizzare i diversi *profili di utilità* (incremento dell'occupazione, maggiore competitività ed efficienza dell'area, incisività nel mercato, ritorno economico, etc.) e di *disutilità* (impatti sull'ambiente, oneri finanziari, etc.) che l'azione esaminata globalmente comporta; in particolare, poi, nel caso di un'impresa occorre previamente valutare anche le variazioni di percezione di affidabilità e qualità del "prodotto" da parte delle clientela, la redditività dell'investimento, etc.



⁽¹⁾ In particolare, nel caso di effetti indotti su talune risorse ecosistemiche non risulta possibile fare riferimento all'usuale indicatore di scarsità e di utilità rappresentato dal prezzo di mercato; inoltre, nel caso di impatti (positivi o negativi) permanenti non è neanche applicabile il criterio classico dell'attualizzazione, basato sul ricorso alla nota formula dell'interesse composto. In tali circostanze, sarà pertanto necessario ricorrere ad appositi criteri "suppletivi del mercato", fondati sulle diverse teorie per il calcolo delle "esternalità".

Occorre, allora, effettuare un opportuno confronto fra diverse soluzioni progettuali alternative per individuare quella che massimizza lo scenario ed operativamente procedere alla *standardizzazione* degli indicatori utilizzati nella valutazione comparativa, rendendoli rappresentabili in un'omogenea unità (*standard*) di misura, proprio per effettuare i relativi confronti fra tali ipotesi (v. Tav.1).

		
Uomo	Ambiente	Sistema veicolo - infrastruttura
Conducente	Condizioni atmosferiche avverse	Carenze attribuibili ad opere tecnologiche e ad apparati di linea e di stazione
- Problemi psico-fisici e/o errate valutazioni nella marcia; - inosservanza dei segnali, di limitazioni o prescrizioni, etc.; - . . .	- Neve, gelo, turbolenze, nebbia, etc.; - escursioni termiche eccessive; - . . .	- Anomalie tecnologiche degli impianti fissi; - inadeguatezza del materiale rotabile rispetto alle condizioni tipologiche della linea; - . . .
Personale addetto e operatori	eventi calamitosi ed altri imprevisti	Dissesti ed ammaloramenti del corpo stradale
- Deficit manutentivi; - carenza nelle procedure di esercizio ed operazioni connesse (inosservanza di norme, regolamenti, etc.); - . . .	- Movimenti tellurici, smottamenti di terreno, frane, caduta massi, etc.; - presenza di ostacoli sulla linea, anche a seguito di raffiche di vento o di trombe d'aria, etc.; - . . .	- Problemi connessi alle tipologie costruttive dei manufatti, etc.; - carenza di apposito protocollo manutentivo, etc.; - . . .
Passeggeri	Incendi nel territorio interessato ed altre cause esterne	Problemi di funzionamento degli equipaggiamenti fissi e mobili
- Conseguenze derivanti da imprudenze, sabotaggi, etc.; - trasporto di sostanze pericolose; - . . .	- Vulnerabilità specifiche del territorio, etc.; - pedologia e gestione agronomica dei suoli, etc.; - . . .	- Deficit del materiale rotabile; - affidabilità dei componenti del sistema di equipaggiamento e segnalamento per i distanziatori di linea, etc.; - .

TAV. 1 - Fattori di rischio per il comfort e la sicurezza, nel caso ferroviario

Inoltre, per ottimizzare qualsiasi intervento programmato, anche lo studio accurato della fase di *avvio operativo* (la fase di “*cantierizzazione*”) assume importanza strategica, sia per conseguire la piena minimizzazione dei costi, sia per garantire il rispetto del *cronoprogramma di progetto* e per contribuire ad evitare il più possibile il ricorso alle *varianti in corso d'opera*, garantendo un efficace controllo ed un sistematico monitoraggio dell'andamento dei lavori.

Occorrerà, ad esempio, analizzare le specifiche caratteristiche e la tipologia delle necessità costruttive disponibili, al fine di scegliere quella complessivamente più idonea dal punto di vista tecnico-economico e di minore *rischio*.

Nel caso particolare, poi, di un cantiere stradale o ferroviario bisognerà, ad esempio, studiare il problema delle compatibilità ambientali, degli espropri provvisori e/o permanenti, dell'accessibilità dell'area in esame, della viabilità afferente e di quella da realizzare per consentirne la fruizione da parte dei mezzi d'opera, analizzare la problematica dello *smarino* nel caso di gallerie, etc. .

UNITA' DI OSSERVAZIONE	VARIABILI					
Area Territoriale ove impiantare il cantiere	Tecniche, socio-economiche, ambientali, etc.					
	1,	2,	...,	j,	...,	m,
1	r ₁₁ ,	r ₁₂ ,	...,	r _{1j} ,	...,	r _{1m} ,
2	r ₂₁ ,	r ₂₂ ,	...,	r _{2j} ,	...,	r _{2m} ,
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
i	r _{i1} ,	r _{i2} ,	...,	r _{ij} ,	...,	r _{im} ,
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
n	r _{n1} ,	r _{n2} ,	...,	r _{nj} ,	...,	r _{nm} ,
LEGENDA						
VARIABILI						
1, 2, ..., j, ..., m	1 = costo di sistemazione dell'area in studio, comprese le opere provvisionali					
	2 = oneri economici per l'adeguamento della viabilità di accesso al cantiere					
	.					
	.					
	j = variazioni del grado di inquinamento atmosferico rilevate nel sito e nell'area vasta, in relazione alla sensibilità dei ricettori					
.	.					
	m					

La ricercata *soluzione ottima* di progetto può essere ottenuta mediante la costruzione di apposite *funzioni-obiettivo*, finalizzate – di volta in volta - alla caratterizzazione del caso in esame.

Ciascuna funzione vettoriale $\vec{f}$ sarà caratterizzata da numerose *variabili indipendenti* (alcune pure di natura probabilistica), con legami *lineari* e *non lineari* ed assumerà valori nel campo R dei numeri reali dati dall'espressione:

$$\vec{f} : S \rightarrow R,$$

dove lo S rappresenta lo *spazio vettoriale* delle soluzioni possibili, cioè tutte rispettose delle “condizioni

al contorno” del problema, compresi i particolari vincoli imposti dalle norme e da quelli economico-finanziari, gli oneri per l’efficienza in esercizio e la *manutenzione programmata*.

Le variabili del modello matematico utilizzato per l’ottimizzazione dei risultati del problema rappresentano le incognite sulle quali si deve prendere la decisione: esse dunque si caratterizzano come “*variabili decisionali*”, rappresentate da appositi indicatori r_{ij} ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$).



Tale *funzione obiettivo* può essere da minimizzare, come nel caso dei costi C_i rappresentati dalla precedente formula (1), ovvero da massimizzare se si tratta di flussi di ricavi; pertanto, per un modello matematico a n variabili in cui si voglia massimizzare la $\vec{f}$, sarà necessario risolvere il seguente problema di ricerca del massimo della funzione:

$$\max [\vec{f}(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n)].$$

Anche i *vincoli* del modello risultano espressioni algebriche delle *variabili decisionali* sopra descritte e, come la *funzione obiettivo*, dipendono delle variabili del problema, definendo le relazioni caratteristiche attraverso opportune disequazioni, ovvero equazioni.

3. La gestione del progetto e le strategie di *project mamagement*

Compito dell'equipe multidisciplinare di studio interessata al processo di ottimizzazione di un investimento nel sistema dei trasporti o della logistica (ovvero della direzione societaria preposta, nel caso aziendale) e del *Project Manager* in particolare è quello di definire anche precisi obiettivi in termini di tempo, di flussi di costi e di standard qualitativi e di sicurezza.

In particolare, lo scenario degli elementi progettuali da ottimizzare deve riguardare tutte le differenti fasi dell'impianto ed esercizio del cantiere, della costruzione e della gestione dell'esercizio, onde riuscire a minimizzare gli impatti ambientali negativi, sia temporanei che permanenti, con particolare riguardo al contenimento del relativo *livello di gravità*, da riportare entro limiti accettabili.



Secondo tale impostazione del problema, per analizzare la “*convenienza economica*” di un progetto di interesse pubblico in generale e, nel caso che ci occupa, di un’infrastruttura a rete, indicando con

$$\begin{cases} B_e = \sum b_{ei} \left(\frac{1}{(1+r)^t} \right) \\ C_e = \sum c_{ej} \left(\frac{1}{(1+r)^t} \right) \end{cases}$$

i flussi dei *benefici equivalenti* e quelli dei *costi equivalenti*, entrambi *attualizzati*, il calcolo del rapporto *costi-benefici*, può essere dunque espresso mediante la relazione:

$$\mathcal{B}_c = \frac{\sum b_{ei} \left(\frac{1}{(1+r)^t} \right)}{\sum c_{ej} \left(\frac{1}{(1+r)^t} \right)} \pm V_r \left(\frac{1}{(1+r)^N} \right),$$

dove con $V_r \left(\frac{1}{(1+r)^N} \right)$ si è indicato il *valore residuo* del “bene pubblico” oggetto dell’investimento, al termine della sua *vita utile* (stimata pari a “N” anni), il quale potrà essere positivo (vendita e/o reimpiego in un ciclo produttivo), oppure negativo (costo di dismissione, compreso l’eventuale risanamento dell’area). Indicando, allora, con C_0 il costo dell’investimento iniziale, se risulta

$$(\mathcal{B}_c - C_0) > 1$$

l’investimento sarà economicamente conveniente ed il progetto in esame potrà essere proficuamente attuato.

L’opera del *Project Manager* può operativamente estrinsecarsi mediante alcuni elementi fondamentali:

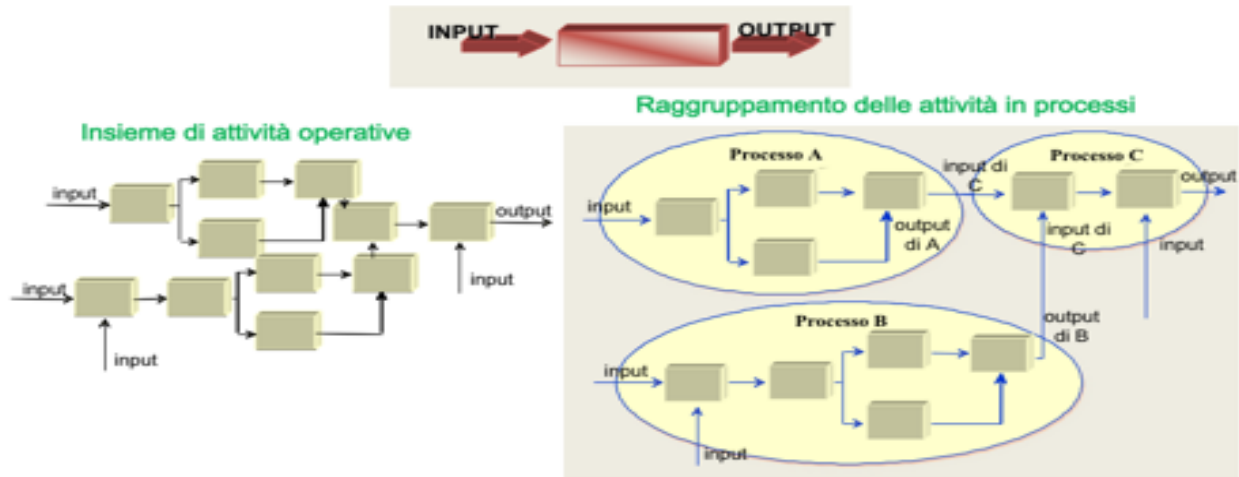
- la caratterizzazione della durata delle singole *attività elementari* rappresentative del progetto (compresi eventuali elementi autorizzativi per la costruzione delle opere componenti);
- la valutazione delle *relazioni di interdipendenza* o meno delle suddette *attività elementari*;
- la presenza di eventuali vincoli e la caratterizzazione della loro natura, assicurandone la piena osservanza;
- il monitoraggio dell’iter progettuale fino a conclusione dei lavori, al fine di assicurare il rispetto del *budget* per l’investimento pubblico, evitando scostamenti nelle previsioni e *asincronie temporali* e scostamenti dei valori della produzione, al fine di rispettare il *cronoprogramma*.

Per procedere in modo sistematico ad effettuare un’analisi accurata delle eventuali criticità, al fine di attuare già “*ex ante*” ogni idonea misura di *contenimento del rischio* e di riconduzione dello stesso entro appropriati “*limiti di tollerabilità*”, particolare importanza riveste la *scomposizione gerarchica* dell’intervento nelle sue principali attività costitutive.

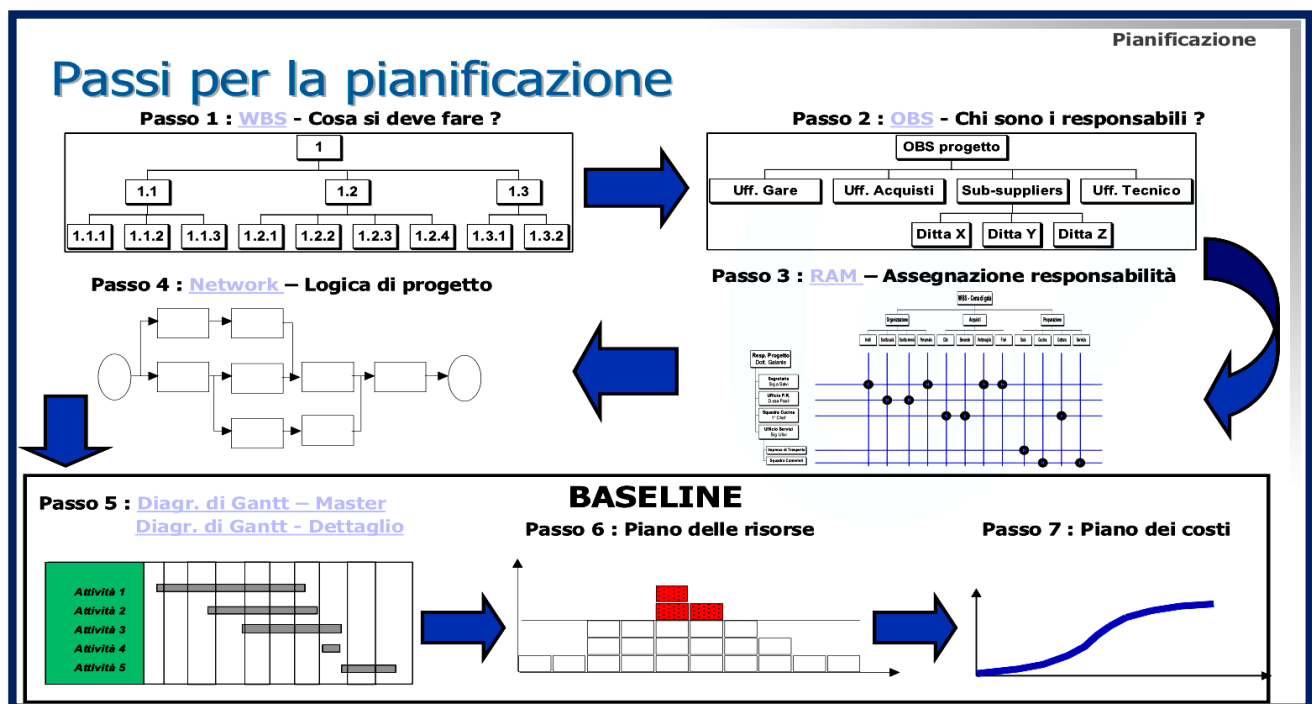
Tale operazione è nota in *letteratura tecnica* come *Work Breakdown Structure* (WBS): essa risulta strategica per ottimizzare la gestione ed il controllo dei risultati globali attesi dall’investimento, per le diverse fasi attuative (dal concepimento dell’opera alla sua “dismissione”), secondo lo schema operativo appresso rappresentato.

Work-Breakdown Structure

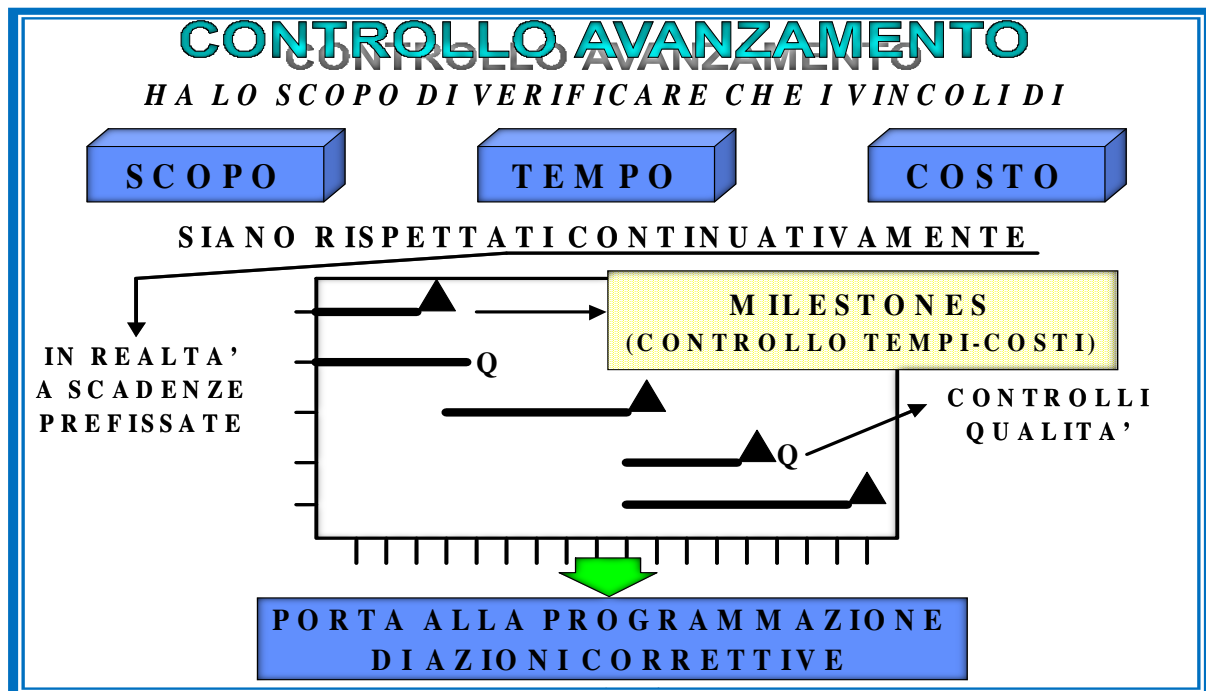
Individuare un "processo" significa individuare un certo numero di attività interconnesse finalizzate alla realizzazione di un certo servizio/prodotto (output) che può a sua volta essere input di altri processi



Inoltre, per massimizzare i flussi di utilità dell'intervento progettuale la richiamata fase di *pianificazione* riveste un ruolo-chiave, in quanto lo studio accurato di ogni singolo "passo" da attuare permette di tecnicamente prevenire possibili "anomalie" esecutive e di monitorare costantemente l'andamento dei lavori ed il completo rispetto sia del "*budget*" che degli obiettivi. La metodologia di approccio al problema può essere schematizzata nel grafico appresso riportato.



Infine, nella figura seguente sono riportate le diverse “fasi logiche” dell’intero processo di ottimizzazione sopra descritto, unitamente al successivo schema del “controllo di avanzamento”.



In tal modo si perverrà così alla migliore soluzione possibile, fra le “n” alternative di intervento esaminate, per l’intero periodo di vita utile dell’opera pubblica in esame, prevenendo efficacemente anche gli *impatti* durante l’esercizio. In particolare, la *programmazione dei lavori* risulta essenziale anche per riuscire ad ottimizzare i risultati aziendali ed i processi industriali in genere, dove grande rilievo assume anche il *livello di soddisfazione* della clientela per il particolare bene o servizio offerto.

Una moderna organizzazione aziendale, infatti, anche per gli aspetti di *project management*, deve riuscire a massimizzare tutti gli *obiettivi gestionali* fin dal *commitment*, attraverso un’accurata analisi sistematica di ogni elemento del processo industriale di riferimento.

Un progetto, infatti, per definizione è un’attività *programmata* che vede un orizzonte temporale limitato per la realizzazione di un servizio o di un prodotto (opera pubblica o industriale, sistema o elemento tecnologico, etc.), sulla base di precise scelte economiche e finanziarie a monte operate dal decisore competente; esso va valutato per gli effetti, diretti, indiretti e correlati che si manifestano in modo monetario o non monetario, tangibile, ovvero intangibile e per l’intero *ciclo di vita utile* dell’intervento esaminato.

Al completamento del progetto (*prodotto o servizio*), il risultato di quanto realizzato, a seconda delle particolari organizzazioni societarie, può essere poi preso in carico da una figura operativa ancora diversa, quale quella del *Product Manager* o del *Service Manager*, ovvero di altre direzioni aziendali preposte a garantire il migliore impiego in esercizio, per il conseguimento degli obiettivi posti alla base dello stesso progetto di investimento attuato per le *performances* attese.

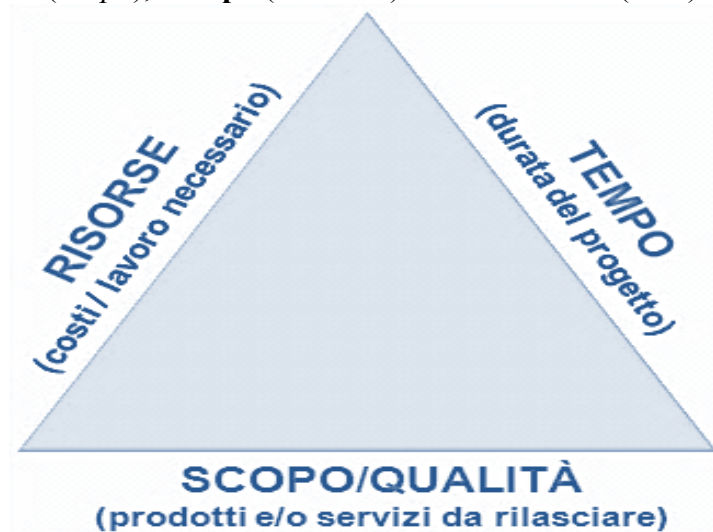
Le *fasi logiche* di un Progetto ingegneristico possono schematizzarsi in cinque *punti-chiave* caratterizzanti le dinamiche tipiche di *Process Groups*:

- *Inizio delle attività in progetto* e della fase di avviamento (Initiating);
- *Pianificazione e progettazione* (Planning);
- *Esecuzione* (Executing);
- *Monitoraggio e Controllo* (Monitoring and Controlling);
- *Completamento e fine dei lavori o del processo industriale* (Closing).

Esso richiede, per ottimizzare i risultati globali connessi all'investimento, un opportuno *ciclo di verifiche* legate al monitoraggio e controllo del processo, al fine di evitare variazioni di costi, tempi e per assicurare il raggiungimento degli obiettivi.

Inoltre, compito del *Project Manager* e delle altre figure aziendale preposte all'attuazione dell'intervento programmato è quello di analizzare tutti i vincoli tecnici, economico-finanziari e temporali, opportunamente approfondendo ogni elemento del problema in studio.

A tal fine, di particolare utilità risulta il *Triangolo dei vincoli di progetto* (*triple constraint*) al fine di rappresentare analiticamente gli eventi caratteristici, come appresso schematizzato (cfr. figura seguente): **Scopo/qualità** (*Scope*), **Tempo** (*Schedule*) e **Costo/risorse** (*Cost*).



Infine, nelle metodologie di *project management*, uno spazio di rilievo è dedicato alle tecniche di *risk analysis* (analisi dei rischi).

Il rischio associato ad un evento (o minaccia) è dato dal prodotto della probabilità di accadimento per l'entità dell'impatto provocato: **RISCHIO = Probabilità * Danno**.

Il danno provocato da una minaccia può essere di tipo economico, temporale, sociale o tutte le possibili combinazioni tra i tre fattori.

A valle del danno provocato si ha l'impatto che il danno può provocare sul progetto (talvolta nella *risk analysis* si valuta direttamente, calcolandolo, l'*impatto economico*).

Il responsabile del *Project management* deve attentamente comprendere gli aspetti associati al rischio valutandoli nel contesto.

Il processo di valutazione del rischio è sintetizzabile in 5 passi:

1. *Identificare i principali rischi di progetto;*
2. *Valutare probabilità ed impatto;*
3. *Associare i rischi alle attività;*
4. *Collocare i rischi nel tempo;*
5. *Valutare le possibili strategie di gestione del rischio.*

Le metodologie di *project management* hanno sviluppato diversi metodi di individuazione del rischio:

- *Metodo valutazione rischi interni – esterni* (si esaminano quelli che possono essere i rischi esterni al progetto e quelli interni);
- *Metodo di valutazione in base al grado di controllo sul rischio*: rischi controllabili, rischi influenzabili, rischi di cui si è dipendenti (non si ha il controllo);
- *Metodo di valutazione soggetti – fattori* (i soggetti sono persone fisiche, i fattori sono elementi inanimati, ad es. la rottura di un server).

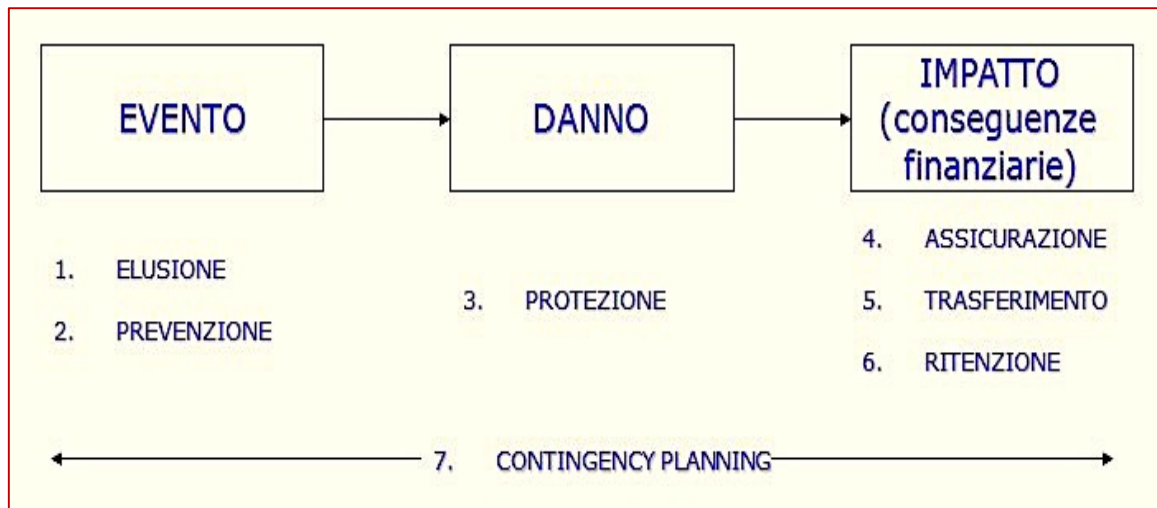
I rischi si vanno a qualificare su una caratteristica “MATRICE DI CONTESTO”: individuati i rischi si procede con la valutazione della *probabilità di accadimento* e dell’entità del danno.

Tali rischi valutati secondo questo criterio possono essere posizionati sopra una “MATRICE DI ESPOSIZIONE”:

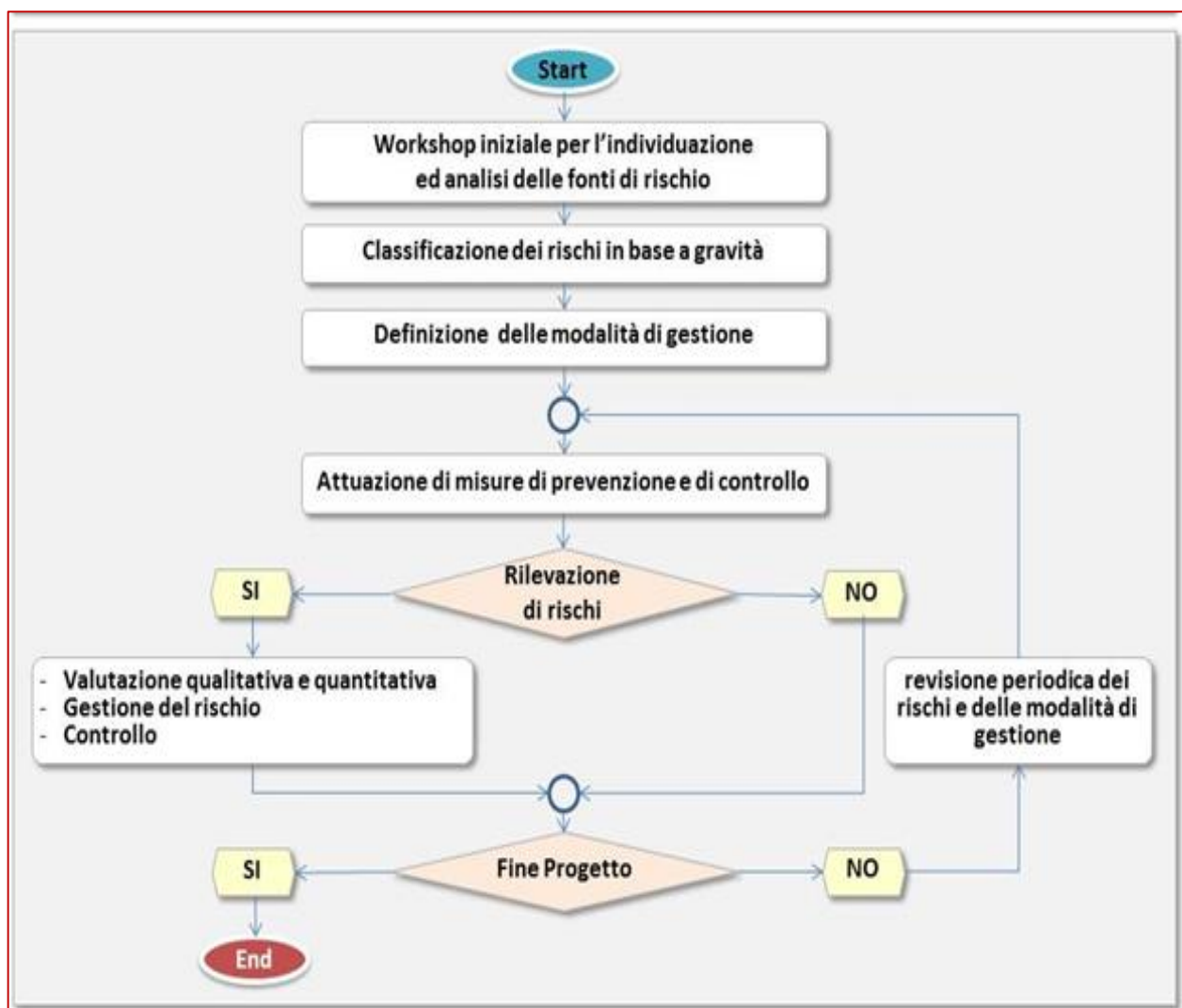
3			Soglia di attenzione	
2				
1				
0				
	0	1	2	3

Con questo sistema di valutazione del rischio basato su una scala di valori è possibile attribuire un valore di SOGLIA DI ATTENZIONE, oltre alla quale è obbligatorio valutare una strategia di trattamento del rischio.

Di volta in volta il project manager può attuare diverse strategie di *gestione del rischio* in base ai tre momenti fondamentali di concretizzazione del rischio stesso:



In definitiva, riassumendo il procedimento logico-operativo di analisi, caratterizzazione e gestione del rischio, si può fare riferimento alla tabella di seguito rappresentata.



RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Belli, P., Anderson ed Altri, (2001), *Economic Analysis of Investment Operations. Analytical Tools and Practical Applications*, WBI, World Bank, Washington D.C.
2. Jacoby H.G., Minter B. (2008), *On Measuring the Benefits of Lower Transport Costs*. The World Bank, Policy Research Working Paper 4484, January, pp.1-20.
3. Kähkönen, K. (1994). Interactive Decision Support System for Building Construction Scheduling. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 8(4), pp. 519-535.
4. Kenley R., Seppänen O. (2009). Location-Based Management for Construction Projects: part of a new Typology for Project Scheduling Methodologies. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 2563-2570.
5. Kenley R., Seppänen O. (2009). Location-Based Management for Construction Projects: part of a new Typology for Project Scheduling Methodologies. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*, 2563-2570.
6. Koskela L. (1992). *Application of New Production Philosophy to Construction*. CIFE Technical Report #72, Stanford University, USA, September 1992.
7. Lo Bosco D., Praticò F. G, *Research prospects in Pay Adjustment models for roads and railways: a theoretical and experimental study*, V International Conference Of Stochastic Geometry, Convex Bodies, Empirical Measures & Applications, 06-11 Settembre 2005, Mondello (PA), Vol. 77, 2005.
8. Pasetto A., Rotondi Z. (2016). Gli investimenti in infrastrutture per rilanciare la crescita: le prospettive 2016. In Arachi G., Baldini M. (a cura di). *La Finanza Pubblica Italiana*. Rapporto 2016. Il Mulino.
9. Process. *Journal of Construction Engineering and Management*, 127(5), 382-390.
10. Senn, L. – Ravasio, M. (2001) “Investire in infrastrutture. La convenienza economica dei progetti di trasporto”, CERTeT Bocconi, Egea, Milano.