

CANTIERI ED IMPIANTI PER INFRASTRUTTURE

LA PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI

A.A. 2016-17

GLI OBIETTIVI DELLA PIANIFICAZIONE

- ❑ La fase di **pianificazione** ha un'importanza fondamentale per l'esecuzione di qualsiasi processo produttivo, sia che si tratti della realizzazione di componenti ad altissima complessità tecnologica, sia che si tratti della realizzazione di semplici sovrastrutture stradali, quali le pavimentazioni.
- ❑ Scopo principale della pianificazione é **l'ottimizzazione dei processi** necessari per il raggiungimento di obiettivi prefissati o, nell'ottica diametralmente opposta, la definizione degli obiettivi raggiungibili mediante un definito processo.

Nel settore dell'ingegneria civile, dove gli obiettivi sono solitamente costituiti dalla realizzazione di un particolare tipo di opera e sono definiti in termini di **tempo**, **costi** e **standard qualitativi**, la pianificazione si prefigge le seguenti finalità:

- **previsione del tempo** di esecuzione di un lavoro assegnato, da realizzare con l'utilizzo di risorse prestabilite, mediante la definizione della struttura organizzativa e del processo produttivo;
- **ottimizzazione** del processo produttivo e dell'utilizzo delle **risorse**, rappresentate da struttura organizzativa, manodopera, materiali ed attrezzature, con conseguente miglioramento degli standard qualitativi e/o riduzione dei costi e/o dei tempi di esecuzione;
- ricerca del **minimo costo di esecuzione**, con definizione delle modalità esecutive, del tempo e delle risorse ad esso connessi;
- realizzazione di un efficace strumento di **controllo dei lavori**, costituito dal confronto tra il programma ed il reale andamento dei lavori, con possibilità di intraprendere azioni correttive in fase esecutiva.

GLI OBIETTIVI DELLA PIANIFICAZIONE

- Mediante la pianificazione si determinano le operazioni che si devono compiere per la realizzazione di un progetto, la sequenza delle operazioni stesse, la loro durata e le risorse necessarie.
- E' cioè possibile rispondere a domande fondamentali, quali:
 - **COSA FARE?**
 - **QUANDO FARLO?**
 - **CON CHE MEZZI?**
 - **IN CHE MODO?**
- La fase di **esecuzione dei lavori** richiede una pianificazione più dettagliata di quella già effettuata durante l'offerta.
- Questo momento della pianificazione è anche detto **programmazione**, nella misura in cui definisce l'ordinamento temporale delle operazioni necessarie per la realizzazione del progetto.
- Poiché difficilmente l'esecuzione dei lavori rispetta esattamente i programmi, è importante eseguire un'efficace **azione di controllo**, il cui risultato consente **una revisione continua** del piano di lavoro con la definizione delle azioni correttive necessarie al raggiungimento degli **obiettivi** prestabiliti.

GESTIONE DEI PROGETTI

Domande a cui chi gestisce un progetto deve rispondere:

- Qual è la **durata** del progetto (la consegna)?
- Quali **attività** più di altre possono influire su tale durata?
- Quando possono **iniziare** e **terminare** le singole attività?
- Quali margini di tempo esistono per ritardare delle attività senza influire sulla durata del progetto?
- Di quali **attività** posso prolungare la durata (risparmiando risorse) senza influire sulla durata del progetto?
- Su quali **attività** conviene concentrare le **risorse** per cercare di ridurre la durata del progetto?
- Come posso ridurre complessivamente i costi del progetto mantenendone la durata fissata o eventualmente aumentandola sino ad un livello accettabile?

➤ **Progetto:**

- un **insieme di attività** che devono essere svolte con un certo ordine.

➤ **Attività:**

- un'operazione che richiede delle **risorse** ed un certo **tempo** per essere eseguita.

Il Tempo nel Progetto

- **Perché si calcola la durata del cantiere?**

La durata del cantiere si calcola per stabilire:

- Il tempo in giorni naturali e consecutivi da indicare nel **contratto di appalto**;
- Quando procedere all'emissione dei pagamenti all'appaltatore – SAL;
- Definire quando alcune parti delle opere sono ultimate (nell'eventualità della messa in esercizio per parti).
- Programmare le fasi successive all'ultimazione dei lavori per la messa in esercizio della struttura (es. ordinativi di mobili, attrezzature, ecc.)
- ~~Per individuare se il cantiere supera i 200 UUG e rientra nei casi di applicazione del D.Lgs. 494/96 e succ. mod. e integr.~~

PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI

- Per **PROGRAMMAZIONE** si intende la proiezione del futuro nel presente di operazioni, già decise, quali strumenti o alternative per raggiungere obiettivi anch'essi già prefigurati.
- E' così che viene inteso il programma dei lavori, qualunque siano le finalità della sua redazione, che ne condizionano la natura, il grado di definizione, la tipologia rappresentativa.
- La redazione di un programma comporta l'individuazione di una sequenza di **azioni**, temporalmente definite, in modo da soddisfare i **vincoli** esistenti, tramite le quali gli **obiettivi** preconfigurati potranno essere raggiunti.
- Le previsioni del planning hanno una base certa: i **lavori da eseguire**.
- Lo scopo della redazione di un piano è evidente: costruire un documento che permette di conoscere:
 - la durata complessiva dell'intervento;
 - quali lavori andranno eseguiti in ciascun periodo di tempo;
 - quali materie prime sono necessarie e a quali scadenze,
 - quali attrezzature, macchine, e impianti occorrono e per quanto tempo;
 - quale e quanta mano d'opera è necessaria e con quale distribuzione nell'arco temporale della durata dei lavori;
 - il flusso dei costi e quello dei ricavi.

PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI

- Le metodologie per la predisposizione dei piani sono diverse ed abbastanza note,- comunemente, anche se a volte impropriamente, vanno sotto i seguenti nomi:
 - **Grafico a scalette;**
 - **Diagramma di Gantt;**
 - **C P M;**
 - **PERT.**
- Il più noto e contemporaneamente il più semplice da utilizzare è il **Diagramma di Gantt**, anche occorre precisare che esso in realtà non è un metodo di programmazione, ma soltanto di rappresentazione.
- Altri sistemi, come quelli **reticolari**, si presentano invece come gli strumenti più validi ed efficaci per una corretta programmazione.

PROGRAMMAZIONE DEI LAVORI

A chi serve?

- **Al committente:**
 - Per conoscere le scadenze e le risorse economiche necessarie per remunerare l'appaltatore.
- **All'appaltatore:**
 - Per sapere quando effettuare gli ordinativi dei materiali;
 - Per organizzare la manodopera;
 - Per sapere quando effettuare i pagamenti dei fornitori;
 - Nel caso di ritardi, per individuare scelte operative in grado di restringere i tempi (es. aumentare la manodopera della squadra).
- **Al DL:**
 - Per verificare l'andamento dei lavori e predisporre gli atti relativi (verbali e ordini di servizio).
- **Al Coordinatore in fase di progettazione ed esecuzione:**
 - Per individuare la sovrapposizione in cantiere di lavorazioni pericolose e rischiose per la salute dei lavoratori.

IL DIAGRAMMA DI GANTT

- I primi tentativi di razionalizzare i processi di programmazione hanno portato ai cosiddetti **diagrammi a barre o diagramma di Gantt**.
- Tale tecnica, proposta da Henry L. Gantt agli inizi del secolo, consente di descrivere il **programma** di realizzazione di un progetto **mediante un grafico** che riporta sull'asse verticale, non orientato, le attività che concorrono alla realizzazione degli obiettivi del progetto, e sull'asse orizzontale una scala temporale.
- Ciascun attività è rappresentata attraverso un segmento posizionato, con riferimento alla scala temporale, con l'origine in corrispondenza della sua data di inizio e di lunghezza pari alla sua durata.
- **Asse ascisse:** Tempo (giorni, settimane, mesi, fasi, ecc.).
- **Asse ordinate:** Lavorazioni/Attività.

IL DIAGRAMMA DI GANTT

La redazione di tale grafici presuppone che già siano state compiute le seguenti fasi:

- esame dell'intervento;
- scomposizione dello stesso in **attività elementari**;
- ricerca delle **relazioni logiche** fra le stesse;
- definizione delle date di **inizio e fine** di ciascuna attività.

➤ Si approfitta poi della scala delle ordinate per rappresentare una ulteriore valutazione delle attività, costi, risorse, ricavi etc.

Le relazioni tra le attività possono essere:

1. INIZIO-INIZIO: l'attività B non può cominciare prima che anche l'attività A sia iniziata.

- (es. la realizzazione dei c.a. e delle murature portanti)

2. FINE-INIZIO: la lavorazione B non può cominciare prima che la lavorazione A sia finita.

- (es. il getto del vespaio dopo l'ultimazione degli scavi)

3. INIZIO-FINE: l'attività B può terminare dopo l'inizio di dell'attività.

4. FINE-FINE: l'attività B non può finire prima che l'attività A sia finita.

- (es. la posa della caldaia e delle tubazioni degli impianti)

5. FINE con RITARDO: l'attività B non può cominciare che n giorni dopo dalla fine dell'attività A.

- (es. la tinteggiatura e la realizzazione degli intonaci)

TECNICHE RETICOLARI

- Negli ultimi anni si sono sviluppati diversi S.P.R., tutti basati su un reticolo di simulazione costruito attingendo simbologie e metodologie dalla **teoria dei grafi**.

In generale, i SPR si dividono:

1. **per natura** (con riferimento alla durata o ai percorsi):

- Natura deterministica (C.P.M).
- Natura probabilistica:
 - » nelle durate (PERT);
 - » nei cammini (GERT);
 - » nelle durate e nei cammini (GERT);

2. **per logica** con riferimento all'entrata o all'uscita dai nodi del reticolo:

- and/and
- or/and
- and/or
- or/or

La **logica** specifica le modalità di ingresso e di uscita dai nodi.

- La *logica and* specifica che un nodo può attivarsi quando tutti i percorsi che vi convergono sono stati realizzati.
- La *logica or* prevede che un nodo si attiva quando soltanto uno dei percorsi che vi convergono si è realizzato.

3. **per impiego**

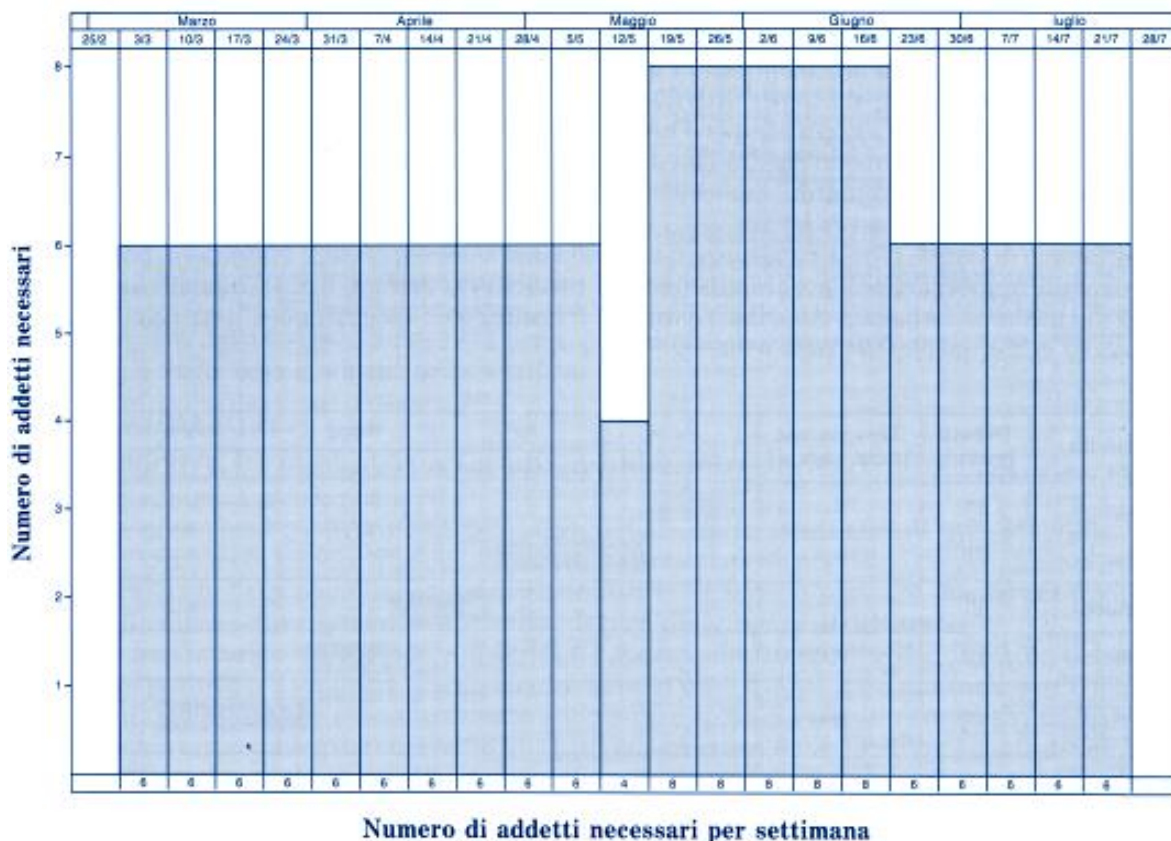
- Pianificazione delle scadenze;
- Pianificazione dei costi;
- Ottimizzazione dei costi;
- Ottimizzazione delle risorse;

4. **per rappresentazione grafica del reticolo**

- tipo AA (attività sugli archi);
- tipo AN (attività sui nodi).

ALLOCAZIONE DELLE RISORSE

- Un'importante operazione, complementare alla programmazione dei lavori, è il cosiddetto **piano di allocazione** delle risorse che consiste nella valutazione della quantità di risorse (mano d'opera, materiali, attrezzature etc.) necessarie per eseguire ogni fase di un determinato lavoro.
- Questa operazione viene rappresentata mediante un grafico, detto **istogramma di carico**.
- L'esame dell'istogramma di carico consente di evidenziare eventuali discontinuità nella ripartizione delle risorse e di porvi rimedio attraverso modifiche alla programmazione dei lavori (**ottimizzazione delle risorse**).

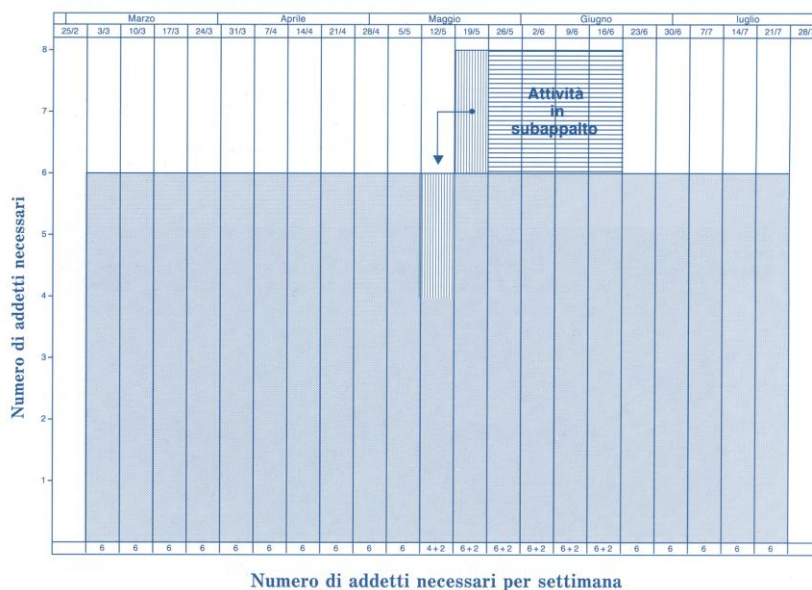


OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE

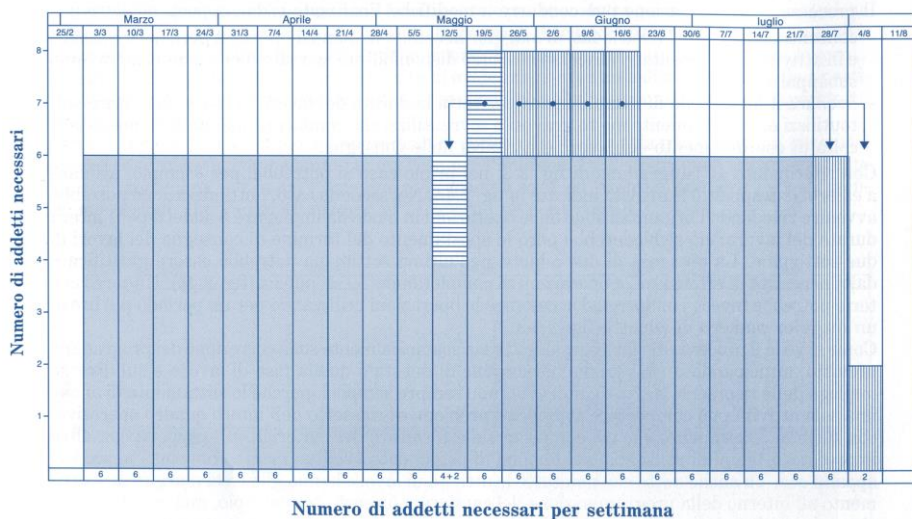
- Se dall'esame dell'istogramma di carico risultano **disomogeneità** tra i carichi di lavoro nelle varie fasi dell'attività di cantiere.
- Si pone il problema di modificare opportunamente la programmazione del lavoro attraverso un processo detto di **ottimizzazione**.
- Il **processo di ottimizzazione** può condurre a modifiche finalizzate a due opposti obiettivi:
 - **concentrare i "picchi"** (cioè le fasi di maggior necessità di mano d'opera) in periodi circoscritti e in attività che consentano il ricorso a risorse disponibili sul mercato (per esempio attraverso subappalti);
 - **livellare il fabbisogno** di mano d'opera per tutta la durata del lavoro in modo da evitare sottoutilizzi economicamente molto gravosi o sovrautilizzi che conducono inevitabilmente a difficoltà di coordinamento del lavoro e a ritardi nelle consegne.

OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE

- Nel **primo caso** si potrebbe affidare a esterni (subappalto) le attività indicate in figura:
- *allocazione mediante subappalto di alcune attività e migliore utilizzo degli uomini.*

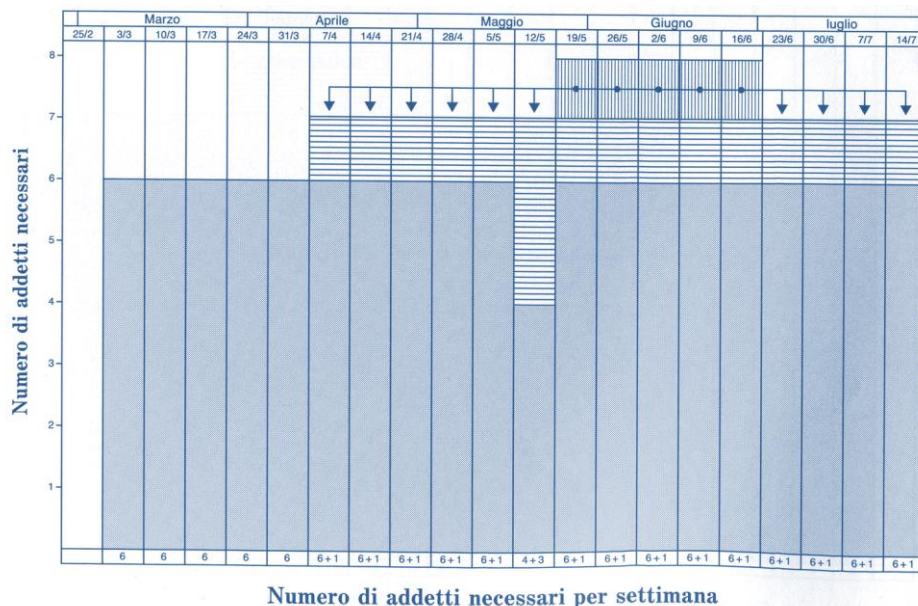


- Nel **secondo caso**, l'ottimizzazione potrebbe avvenire rivedendo l'organizzazione delle operazioni: ciò richiederebbe però lo spostamento del termine di consegna dei lavori di due settimane:
- *Livellamento ottenuto "lisciando il picco" mediante un ritardo nella consegna del lavoro*



OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE

- Un **terzo criterio** potrebbe condurre ad accelerare le operazioni utilizzando per un periodo più breve un maggior numero di addetti:
- *Livellamento ottenuto abbreviando il periodo di lavoro e utilizzando un maggior numero di addetti*



- Il processo di ottimizzazione si basa sostanzialmente sulla correzione del programma previsto, anticipando o ritardando l'esecuzione di questa o quella fase di lavoro e sul diverso impiego delle risorse.
- Si tratta d'interventi non sempre semplici, perché lo slittamento di anche una sola attività può comportare complicati problemi di riassetto dell'intero quadro operativo.
- Il processo di ottimizzazione deve in ogni caso salvaguardare la programmazione del cantiere e ogni ipotesi di scorrimento delle attività deve essere compatibile con i termini contrattuali.
- Esso può essere elaborato attraverso S.P.R. il cui impiego risulta utile nell'analisi di interventi molto complessi.

PERT E CPM

I metodi PERT e C.P.M. studiano lo sviluppo di un progetto attraverso la programmazione delle attività di cui si compone.

Entrambi vanno visti come metodi di ottimizzazione del tempo di realizzazione di un progetto.

Il **C.P.M.** utilizza **stime deterministiche** delle durate delle attività senza considerare incertezze relative a tali stime.

Inoltre questo metodo considera anche gli aspetti relativi ai **costi** delle varie attività.

Il **PERT**, invece, si occupa solo della **minimizzazione** del **tempo**. Nel PERT le durate delle varie attività sono rappresentate da variabili aleatorie di cui occorre stimare la distribuzione di probabilità.

FASE DI PLANNING

- Suddividere il progetto in attività (task) costruendo un grafo orientato in cui ciascun arco rappresenta una singola attività.
- **Determinazione delle attività del progetto**
 - E' la fase più importante della gestione del progetto.
 - E' un'analisi eseguita da un team.
 - Individuare le attività rilevanti.
- **Determinazione dei vincoli**
 - Individuare le relazioni (precedenze) tra le attività.
 - Stimare le durate delle attività.
- **Costruzione del grafo orientato delle attività**
 - Una volta suddiviso il progetto in attività e individuati i vincoli si può procedere alla costruzione del reticolo delle attività.

ANALISI DEL PROGETTO E SCOMPOSIZIONE IN ATTIVITÀ

- Il primo momento della pianificazione consiste nell'individuazione degli **obiettivi** del progetto e nella definizione delle **attività elementari** necessarie al loro raggiungimento.
- Un approccio frequentemente adottato per la scomposizione del progetto in attività elementari è costituito dalla **Work Breakdown Structure** (WBS).
- Tale approccio ricorre ad un **diagramma ad albero** che consente di descrivere e visualizzare tutte le parti di un progetto ai diversi livelli di dettaglio, secondo un ordine gerarchico.
- **Al livello più alto** vi è il **progetto globale**, mentre al livello più basso, come risultato di una successiva scomposizione secondo un grado di dettaglio crescente, vi sono le attività elementari. In tal modo ciascun livello rappresenta il risultato delle attività al livello inferiore.
- La scomposizione può raggiungere diversi livelli di dettaglio a seconda delle finalità della programmazione e del reticolo che si vuole costruire.

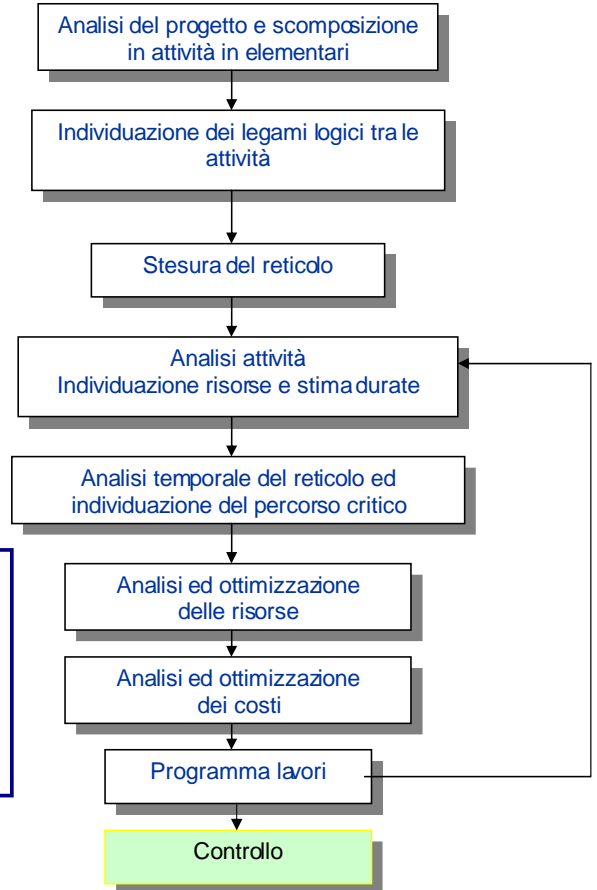
SCOMPOSIZIONE IN ATTIVITÀ

- I diversi livelli manageriali possono richiedere informazioni con differenti gradi di dettaglio; si distinguono pertanto reticoli con diversi gradi di approfondimento:
 - **reticolo sommario, summary network;**
 - **reticolo principale, master network;**
 - **reticolo operativo, detail network.**
- Il **reticolo sommario** presenta il livello di dettaglio inferiore, essendo rivolto all'alto livello direzionale, ed ha l'obiettivo principale di controllare i momenti più importanti dell'esecuzione del progetto.
- Il **reticolo principale** fornisce una panoramica d'insieme dei lavori da eseguire per realizzare il progetto, e deve essere abbastanza dettagliato da illustrare chiaramente i legami logici e temporali tra le attività, senza compromettere la facilità di lettura spingendosi in un grado di dettaglio troppo spinto.
- Il **reticolo operativo**, rivolto ai responsabili esecutivi dei lavori, presenta un livello di dettaglio tale da consentire l'organizzazione del cantiere.

LE TECNICHE RETICOLARI

Il primo passo per applicare il PERT ed il CPM consiste nell'identificazione di tutte le attività coinvolte nel progetto e nella loro rappresentazione su una rete.

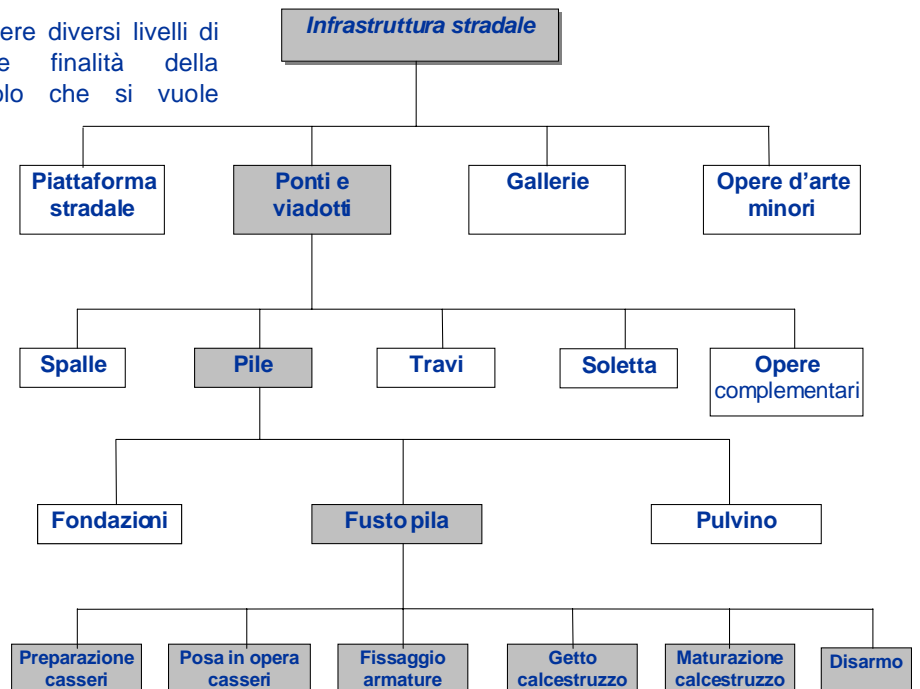
In particolare, la rete $G = (N, A)$ utilizzata nella applicazione del PERT e del CPM è generalmente quella con attività sugli archi. In tal caso:
 Ogni arco $(N_i, N_j) \in A$ corrisponde ad un'attività.
 Ogni nodo $N_i \in N$ rappresenta un event o .



Scomposizione del progetto in attività elementari Work Breakdown Structure (WBS)

La scomposizione può raggiungere diversi livelli di dettaglio a seconda delle finalità della programmazione e del reticolo che si vuole costruire.

- reticolo sommario, summary network;
- reticolo principale, master network;
- reticolo operativo, detail network.



LEGAMI LOGICI

RETICOLI CON ATTIVITÀ SUGLI ARCHI (RAA-AOA)

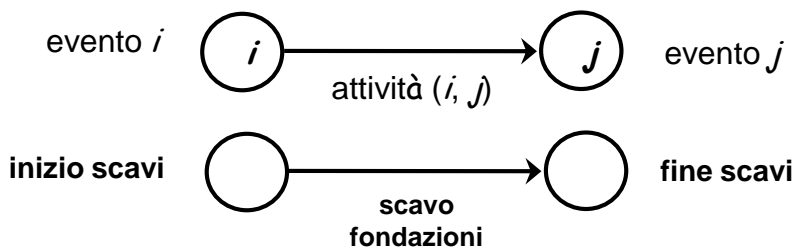
- Per convenzione nel reticolo le attività sono rappresentate con archi continui orientati, mentre i cerchi (nodi) rappresentano gli istanti “inizio” e “fine” di ogni attività.
- Ogni nodo è un evento, definito come l’istante di tempo in cui tutte le attività entranti nel nodo stesso siano state completate.
- In ogni reticolo devono essere distinguibili gli eventi di inizio e fine dell’intero progetto.

Grafo delle attività

Arco orientato \Rightarrow Attività

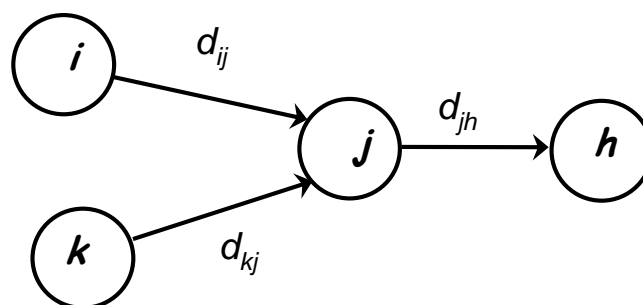
Nodo \Rightarrow Evento

Rappresenta le relazioni (precedenze) tra le attività del progetto (Activity-On Arc, AOA).



Evento: istante di inizio o di completamento di un’attività.

□ *Significato del grafo:*



L’attività (j, h) deve attendere che siano terminate le attività (i, j) e (k, j) per potere avere inizio.

COSTRUZIONE DEL GRAFO

DEFINIZIONI:

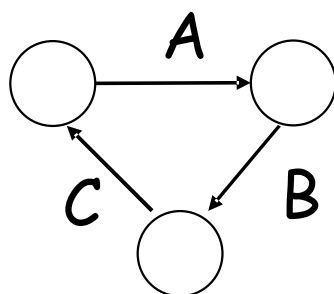
Progetto \leftrightarrow un grafo orientato pesato aciclico (rete):

- **archi** $A_h = (v_i, v_j)$ rappresentano attività non interrompibili;
- **vertici** rappresentano fine o inizio di attività;
- **pesi** $d(v_i, v_j)$ sono la durata dell'attività (v_i, v_j) ;
- il grafo rappresenta relazioni di precedenza:
 $A_i \pi A_j \Leftrightarrow$ evento finale di $A_i \equiv$ evento iniziale di $A_j \Leftrightarrow$
 \exists cammino contenente A_i prima di A_j
- Ad ogni arco/attività si associa un peso che rappresenta la durata dell'attività.

Regole per la costruzione del grafo

- un'attività non può essere interrotta;
- un evento ha durata nulla;
- nessuna attività uscente da un evento v_i può essere iniziata prima che siano terminate tutte le attività entranti in v_i ;
- il grafo deve essere aciclico:

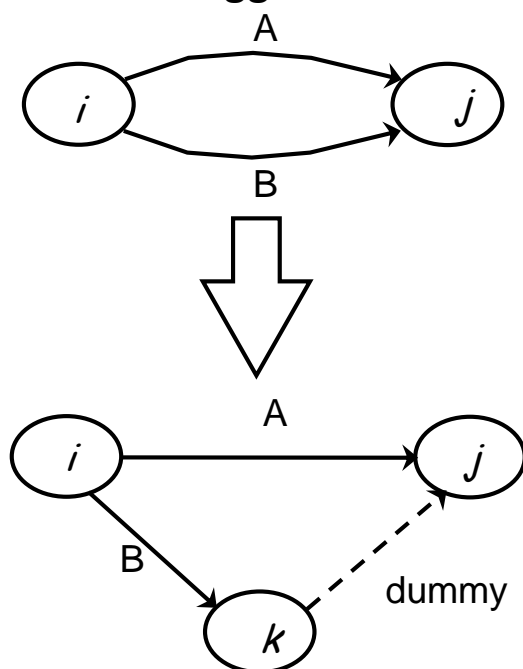
non è possibile:



- ciascuna attività è rappresentata da un solo arco orientato;
- non possono esistere attività differenti caratterizzate dalla stessa coppia di eventi (stesso evento iniziale e stesso evento finale).

COSTRUZIONE DEL GRAFO

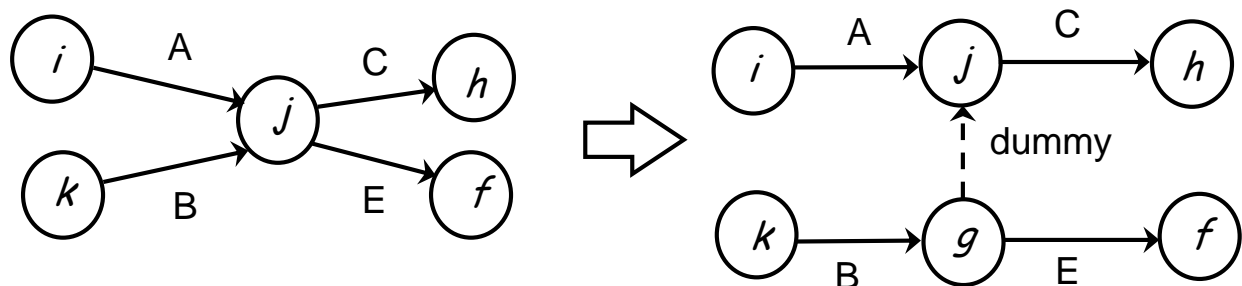
- ❑ Per soddisfare questa regola si introducono **attività dummy** (attività fittizie di durata zero).
- Convenzionalmente le **dummies** sono rappresentate graficamente da frecce tratteggiate.



Le attività dummy possono servire per definire meglio relazioni logiche.

- **Attività fittizie:** archi di durata nulla usati per imporre relazioni di precedenza.

Ad esempio, A e B precedono C , B precede E



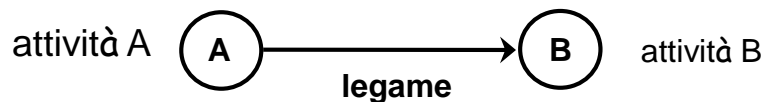
- Esistono alcune attività, dette **attività di attesa**, che comportano solo il consumo di tempo, senza rendere necessario l'utilizzo di risorse; attività di questo tipo, peraltro piuttosto frequenti, possono essere ad esempio la maturazione del calcestruzzo o l'attesa di una fornitura.

RETICOLI CON ATTIVITA' SUI NODI (RAN-AON)

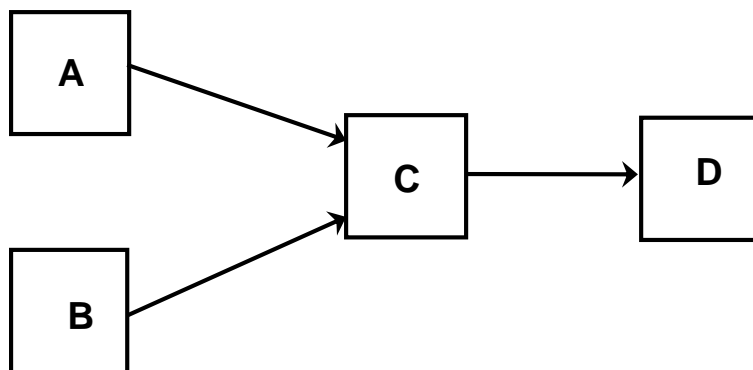
- Secondo tale convenzione gli elementi del grafo vengono utilizzati nella corrispondenza **nodo-attività**, arco-legame logico fra attività.

Arco orientato \Rightarrow Legame logico

Nodo \Rightarrow Attività



- Il principale legame di dipendenza tra le attività è il legame fine-inizio, secondo il quale un'attività non può iniziare se prima non è terminata l'attività che la precede logicamente.
- Nel caso del diagramma di RAN l'introduzione delle dummies risulta superflua, con notevole semplificazione nella rappresentazione del reticolo, soprattutto nel caso di progetti complessi.
- L'attività A deve precedere l'attività B e cioè deve essere completata affinché la B possa iniziare.



- **vertici** $A_i = v_i$ rappresentano attività;
- **pesi** $d(v_i)$ sono la durata dell'attività v_i ;
- **archi** (v_i, v_j) relazioni di precedenza;

LA COSTRUZIONE DEL RETICOLO

Il tipo di reticolo più semplice è quello in cui tutte le attività si svolgono secondo uno schema seriale.

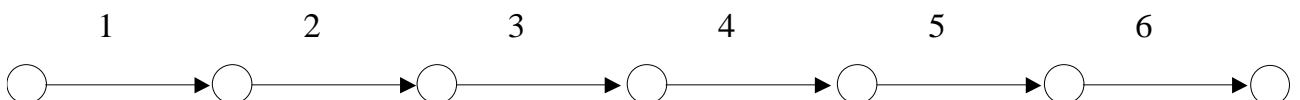
Correlazioni fra attività

- relazioni di precedenza: un'attività A deve essere completata affinché possano iniziare altre attività X;
- relazioni di consequenzialità: un'attività A non può iniziare se non dopo il completamento di altre attività Y;
- relazioni di contemporaneità: un'attività A può svolgersi contemporaneamente ad altre attività Z.

Un esempio di lavoro svolto secondo uno schema seriale può essere rappresentato dall'esecuzione di una galleria in roccia, che prevede, nella generalità dei casi, una ripetizione sistematica di un ciclo di lavoro comprendente le seguenti attività:

1. perforazione, intasamento e brillamento delle cariche;
2. ventilazione del fronte di scavo;
3. marinaggio;
4. applicazione delle centine e/o bullonaggio della roccia;
5. rivestimento di prima fase;
6. rivestimento definitivo.

Per un lavoro di questo tipo il reticolo sarà costituito da una ripetizione sistematica dello schema riportato in figura.



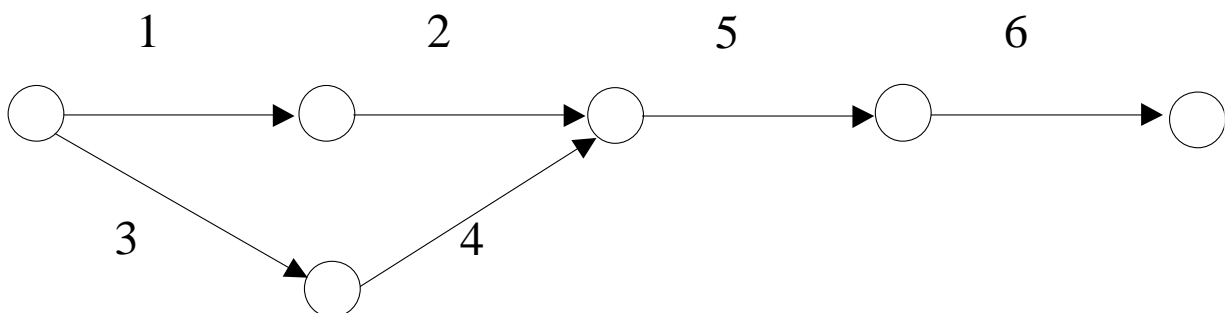
ESEMPIO

➤ Si supponga di costruire il reticolo che rappresenta la costruzione di un viadotto in c.a. con travi prefabbricate; il progetto può essere scomposto nelle seguenti attività:

1. realizzazione fondazioni;
2. realizzazione pile e spalle;
3. costruzione travi;
4. trasporto travi;
5. varo travi;
6. getto soletta e traversi.

❑ Le attività di costruzione delle fondazioni e delle pile possono essere realizzate contemporaneamente alle attività di costruzione e trasporto delle travi, con conseguente risparmio di tempo nell'esecuzione dei lavori. Ipotizzando di eseguire in parallelo le suddette attività, il reticolo assume la forma di figura.

❑ Si noti che nella rappresentazione del diagramma RN si è resa necessaria l'introduzione di un'attività I, che rappresenta l'inizio dei lavori e non comporta consumo di tempo o risorse.



ESEMPIO

- Per costruire correttamente il reticolo è opportuno, per ciascun'attività, porsi le seguenti tre domande:
- Che attività deve immediatamente precedere questa operazione?
 - Che attività può immediatamente seguire questa operazione?
 - Che attività possono essere eseguite contemporaneamente con questa operazione?
- La risposta alle suddette domande, che evidenziano i vincoli temporali tra le attività, può essere sintetizzata in una tabella che, per ciascuna operazione, riporti le attività strettamente precedenti.
- *Legami di precedenza tra le attività*

<i>Attività</i>	<i>Attività strettamente precedenti</i>
1	-
2	1
3	-
4	3
5	2/4
6	5

- ❑ In questa fase della pianificazione occorre mettere bene in evidenza i legami logici e temporali tra le attività e valutare le sequenze di lavorazione più idonee.
- ❑ Un'operazione molto utile nella fase di pianificazione, specie nel caso di lavori ripetitivi, consiste nel suddividere un'operazione in più attività secondarie, ciascuna delle quali richiede differenti risorse (differenti attrezzature, differenti materiale e manodopera con differente specializzazione), e svolgere in parallelo il maggior numero possibile di attività.

CARATTERISTICHE DEL PERT E DEL CPM

ANALISI TEMPORALE DEL RETICOLO

- Il primo obiettivo dell'analisi temporale del reticolo consiste nell'individuare la durata minima del progetto.
- L'analisi temporale del reticolo individua **il tempo al più presto** ed il **tempo al più tardi** in cui ciascuna attività può essere eseguita.
- **Durata delle Attività:**
 - Un reticolo è un **grafo valutato**, cioè un grafo nei cui nodi o nei cui archi sono depositate alcune *informazioni o valutazioni*.
 - L'assegnazione più comune e sempre necessaria è quella di una **durata** per ciascuna attività:
 - la **durata** verrà espressa in **unità temporali** (ora, giorno, mese etc.) e correlata all'attività cui si riferisce tramite l'analisi delle modalità esecutive e le risorse dislocate.
- Un'attività può essere realizzata secondo diversi **sistemi operativi**, ad esempio uno scavo può essere eseguito a mano o con mezzo meccanico, un approvvigionamento di calcestruzzo può effettuarsi confezionando l'impasto, a pie d'opera a mano o con betoniera, etc.
- A parità di sistema operativo, un'attività può essere svolta utilizzando nell'unità di tempo una **quantità di risorse** diverse.
- La **durata** dell'attività è funzione sia del sistema operativo che della quantità di risorse:

$$D_{ij} = f(S, R)$$

RISOLUZIONE DI RETICOLO R(AA)

TEMPI DI EVENTO

■ *Tempo di massimo anticipo di un evento:*

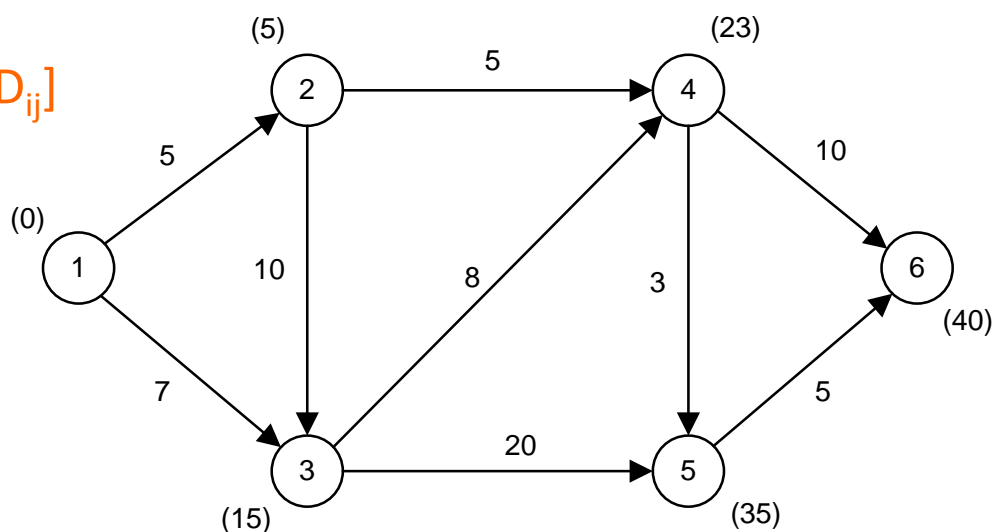
➤ Il tempo di massimo anticipo di un evento rappresenta il minimo numero di unità temporali (a partire dalla data di inizio del progetto) prima che sia trascorso il quale l'evento non può verificarsi, perché non sono completate le attività che in esso confluiscono e, pertanto, non possono iniziare le attività che da esso dipartono:

➤ Definiremo **tempo di massimo anticipo** per un evento il tempo in cui si verificherà l'evento stesso supponendo che tutte le precedenti attività siano iniziate quanto prima possibile e siano durate esattamente il tempo stimato.

■ Il tempo *di massimo anticipo* per ogni evento (e quindi anche per l'evento "fine") è calcolato esaminando il reticolo a **partire dall'evento inizio**.

□ Considerato un qualsiasi nodo se in tale nodo arriva una sola attività il tempo minimo sarà la somma tra il precedente tempo di massimo anticipo e la durata dell'attività che ci ha condotto al nodo, altrimenti se nel nodo entrano più attività si dovrà calcolare questa somma per ogni attività e il tempo sarà dato dal valore massimo di tali somme.

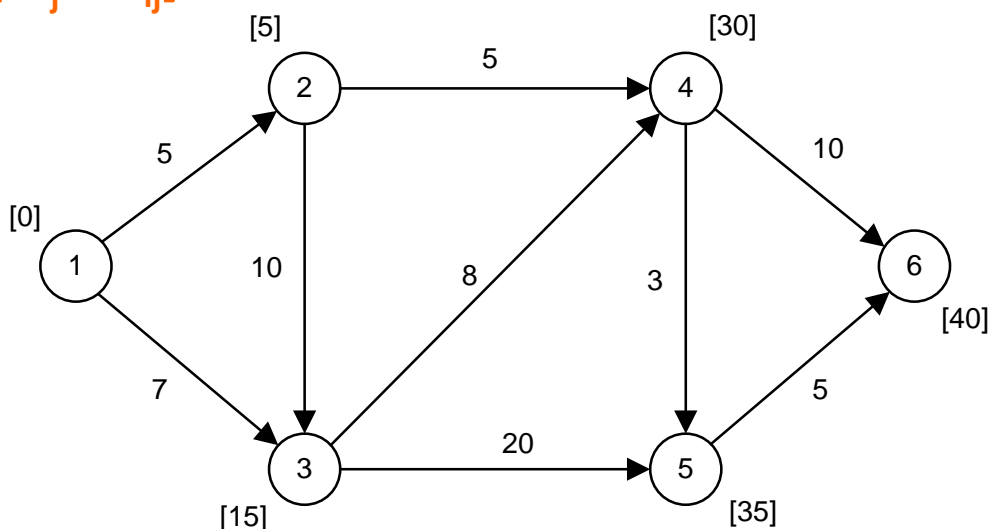
$$T_j^A = \max[T_i^A + D_{ij}]$$



TEMPI DI EVENTO

- **Tempo di massimo ritardo di un evento:**
 - Il **tempo di massimo ritardo** di un evento rappresenta il massimo numero di unità temporali entro il quale deve verificarsi l'evento e quindi devono essere completate tutte le attività che in esso convergono e possono iniziare quelle che da esso si dipartono, affinché non venga dilazionato il completamento dell'intero progetto oltre la scadenza prefissata.
 - La scadenza prefissata predetta non è altro che il **termine contrattuale per l'ultimazione dei lavori** o comunque un termine temporale che non si vuole superare.
- Il tempo di massimo ritardo dell'ultimo evento T_i^R è proprio tale scadenza prefissata.
- Procedendo dall'evento finale a ritroso fino al primo evento, il tempo di massimo ritardo del generico evento i è determinato con la:

$$T_i^R = \min [T_j^R - D_{ij}]$$



CARATTERISTICHE TEMPORALI DELLE ATTIVITÀ

Una volta individuato per ciascuno evento i tempi di massimo anticipo e di massimo ritardo, con riferimento alle attività si determinano:

□ Tempo disponibile

Il tempo disponibile per una generica attività $i-j$ rappresenta il massimo intervallo temporale disponibile per lo svolgimento della stessa, in funzione dell'organizzazione prevista e della scadenza per l'ultimazione dei lavori. Si determina come:

$$TD_{ij} = T_j^R - T_i^A$$

e cioè presupponendo che l'evento finale si verifichi al più tardi (T_j^R) e quello iniziale al più presto (T_i^A).

□ Slittamento o scorrimento totale

Lo slittamento totale di una generica attività $i-j$ è dato dalla differenza fra il tempo disponibile TD_{ij} e la durata prevista D_{ij}

$$ST_{ij} = TD_{ij} - D_{ij}$$

- Se il tempo disponibile risulta maggiore della durata $TD_{ij} > D_{ij}$, lo slittamento è positivo $ST_{ij} > 0$ e l'attività si dice **acritica**.
- Se il tempo disponibile risulta uguale alla durata $TD_{ij} = D_{ij}$ (lo slittamento è nullo $ST_{ij} = 0$ e l'attività si dice **critica**).
- Se il disponibile risulta minore della durata $TD_{ij} < D_{ij}$ (lo slittamento risulta negativo $ST_{ij} < 0$ e l'attività si dice **ipercritica**).

PERCORSI CRITICI E IPERCITICI

- $T_n^A < T_n^R$ ciò significa che si ha a disposizione, per il completamento del progetto, un tempo T_n^R maggiore di quello minimo necessario.

In un reticolo ove si verifichi tale circostanza saranno presenti soltanto attività acritiche;

- $T_n^A = T_n^R$ il tempo minimo di completamento coincide con quello a disposizione; nel reticolo esistono attività acritiche e critiche.

Queste ultime formeranno almeno un percorso continuo che dal nodo iniziale procede fino al nodo finale, detto **percorso critico**, e per gli eventi interessati da tale percorso si verificherà la condizione $T_i^A = T_i^R$;

La durata di questo percorso definisce la durata complessiva del progetto.

Ciò significa che ogni ritardo di un'attività appartenente al percorso critico si ripercuote sulla durata del progetto.

- $T_n^A > T_n^R$ l'organizzazione prevista per l'esecuzione e l'entità delle risorse dislocate non consente di completare entro il tempo contrattuale T_n^R ;

Nel reticolo saranno presenti attività acritiche, critiche ed ipercritiche, queste ultime formanti almeno un **percorso ipercritico** caratterizzato da $ST_{ij} < 0$.

- ❑ Nel primo caso, $T_n^A < T_n^R$, il responsabile della gestione del lavoro può scegliere di ridurre le risorse da destinare a certe attività, e quindi aumentarne la durata prevista, in modo da riportare $T_n^A = T_n^R$.
- ❑ Nel terzo caso invece è necessario, se l'obiettivo è quello del rispetto del termine T_n^R , contrarre la durata delle attività ipercritiche e pertanto aumentare per queste la previsione di dislocazione di risorse, tanto quanto basta per ottenere almeno $T_n^A = T_n^R$.

CARATTERISTICHE TEMPORALI

➤ Tempo di inizio al più presto

Rappresenta il minimo numero di unità temporali prima che sia trascorso il quale l'attività $i-j$ non può iniziare

$$TIP_{ij} = T^A_i$$

➤ Tempo di fine al più presto

È il minimo numero di unità temporali prima del quale non può essere completata l'attività $i-j$:

$$TFP_{ij} = TIP_{ij} + D_{ij}$$

➤ Tempo di fine al più tardi

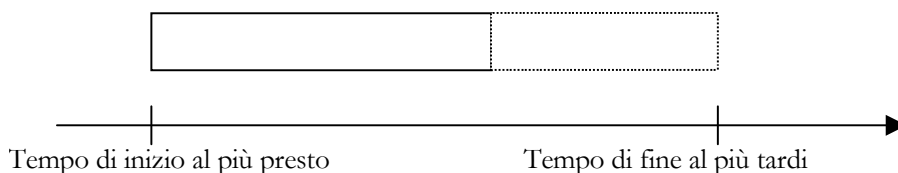
È il massimo numero di unità temporali entro il quale deve essere completata l'attività per non causare ritardi nel completamento dell'intero progetto:

$$TFT_{ij} = T^R_j$$

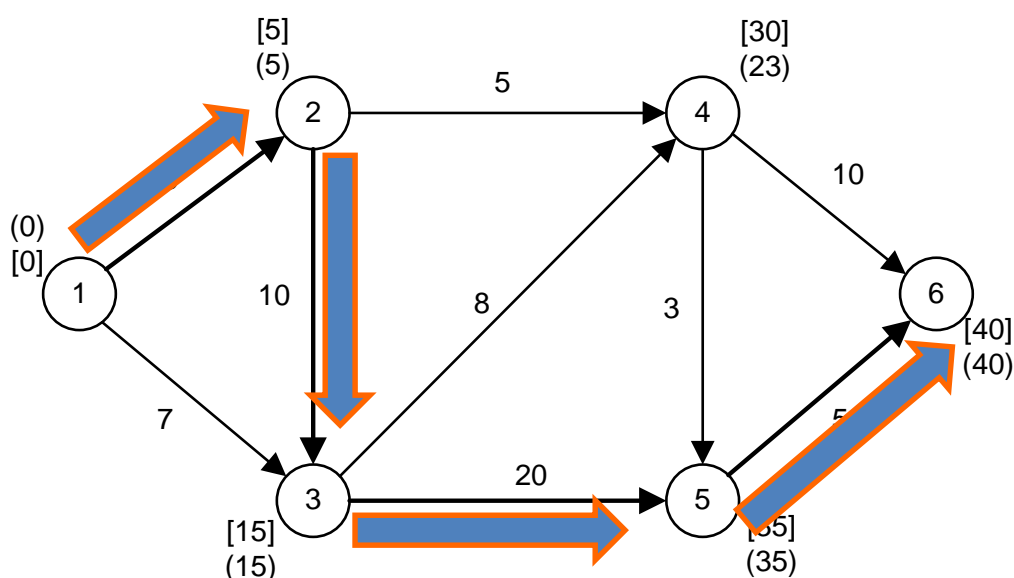
➤ Tempo di inizio al più tardi

Rappresenta il massimo numero di unità temporali entro il quale deve iniziare l'attività per non causare ritardi nel completamento dell'intero progetto:

$$TIT_{ij} = TFT_{ij} - D_{ij}$$



CAMMINI CRITICI



- ❑ I **cammini critici** in generale godono delle seguenti proprietà:
 - **Ogni progetto ammette sempre almeno un cammino critico.**
 - Tutte le attività e tutti gli eventi con tempo di slack uguale a zero devono appartenere almeno a un cammino critico (non necessariamente allo stesso), un'attività o un evento avente slack maggiore di zero non può mai appartenere a un cammino critico.

RAPPRESENTAZIONE DI UN INTERVENTO TRAMITE UN RETICOLO

Intervento: realizzazione di una fondazione in C.A.

Attività:

A = Scavo di fondazione;

B = Approvvigionamento armature per c.a.;

C = Sagomature armature per c.a.;

D = Montaggio casseformi e armature;

E = Ordine per la fornitura cls;

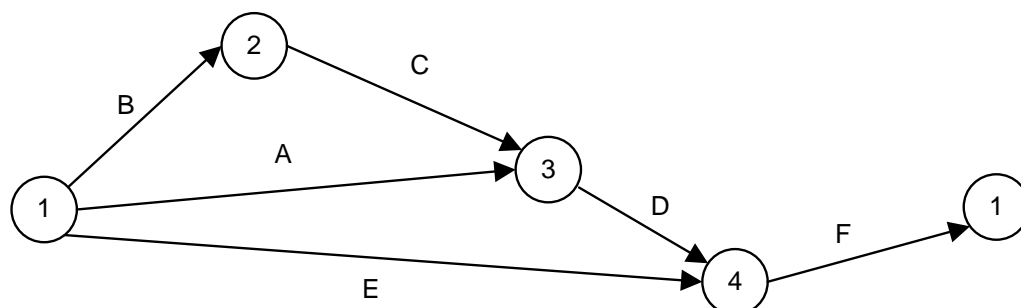
F = Getto cls.

LEGAMI DI DIPENDENZA LOGICA PER L'INTERVENTO SIMULARE

Attività

- Deve essere completata prima dello inizio delle seguenti attività
- Non può iniziare prima del completamento delle seguenti attività
- Può svolgersi contemporaneamente alle seguenti attività

Attività	Deve essere completata prima dello inizio delle seguenti attività	Non può iniziare prima del completamento delle seguenti attività	Può svolgersi contemporaneamente alle seguenti attività
A	D F	//	B C E
B	C D F	//	A E
C	D F	B	A E
D	F	ABC	E
E	F	//	A B C D
F	//	A B C D E	//



ESEMPIO DI PIANIFICAZIONE

- Costruzione di un collegamento stradale tra due centri abitati.
 - L'opera prevede la **costruzione del corpo stradale**, parte in rilevato e parte in trincea, e **la costruzione delle opere d'arte**, costituite da due viadotti ed alcune opere minori, quali tombini per il deflusso delle acque e muri di sostegno per garantire la stabilità dei rilevati.
- Le principali operazioni da svolgere sono:
 - 1. costruzione dei viadotti;**
 - 2. costruzione delle opere d'arte minori;**
 - 3. costruzione dei rilevati;**
 - 4. costruzione delle trincee;**
 - 5. realizzazione di opere complementari.**

La suddivisione di queste operazioni in attività elementari dipende dal grado di dettaglio del reticolo che si vuole costruire.

Si suppone di voler realizzare un **reticolo sommario**, indirizzato agli alti dirigenti dell'impresa che vogliono conoscere soltanto gli aspetti essenziali del lavoro.

ESEMPIO DI PIANIFICAZIONE

Attività del progetto

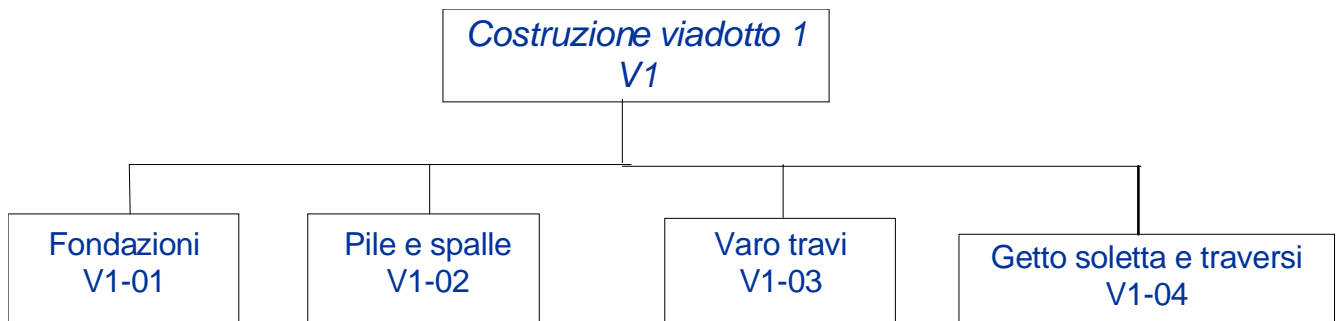
<i>Codice attività</i>	<i>Descrizione attività</i>
IC	Installazione cantiere
V1	Viadotto 1
V2	Viadotto 2
OM1	Opere minori tratto 1
OM2	Opere minori tratto 2
TR	Trincea
R1	Rilevato tratto 1
R2	Rilevato tratto 2
P1	Fondazione stradale tratto 1
P2	Fondazione stradale tratto 2
P3	Pavimentazione in c. b.
F1	Opere di finitura tratto 1
F2	Opere di finitura tratto 2
SC	Smobilizzo cantiere

Costruzione del reticolo

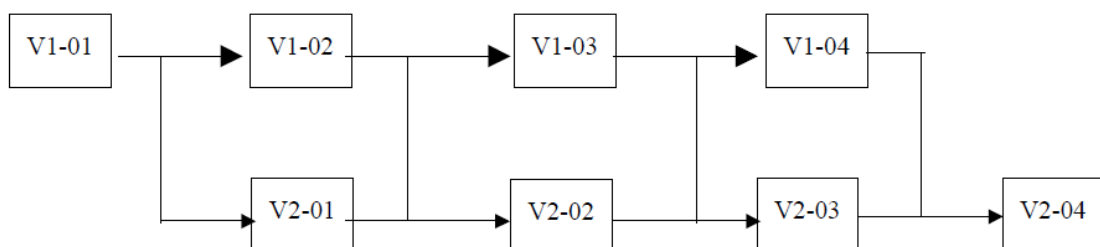
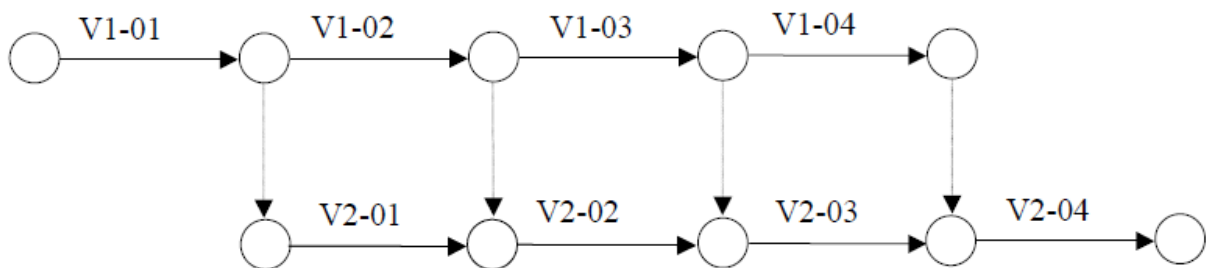
- La realizzazione del tratto in *trincea* può avvenire subito dopo l'installazione del cantiere.
- Il tratto in **rilevato** è diviso in due sezioni, da realizzare in serie, e per ciascuno dei due tratti si sceglie un ciclo operativo che prevede l'inizio dei lavori di costruzione del rilevato solo dopo il completamento delle opere minori. Tale sequenza di lavoro è motivata dal fatto che, avendo preliminarmente realizzato le opere necessarie per la sua stabilità (i muri di sostegno) e quelle che interferiscono con la sua costruzione (i tombini), la costruzione del rilevato può avvenire senza interruzioni ed interferenze.
- Le **opere d'arte minori** possono iniziare subito dopo l'installazione del cantiere prevedendo che abbia luogo la realizzazione delle opere nella sezione 1, e solo dopo il loro completamento la realizzazione delle opere nella sezione 2.
- La **costruzione** dei **viadotti** può avvenire in parallelo con le attività summenzionate. L'ipotesi più valida consiste nel suddividere le attività di costruzione dei viadotti in più operazioni che richiedono l'utilizzo di differenti tipi di risorse.

Costruzione del reticolo

- Analizzando i legami di dipendenza tra le attività individuate si può notare che dopo la realizzazione delle fondazioni nel primo viadotto possono iniziare sia la costruzione di pile e spalle nel primo viadotto, sia la realizzazione delle fondazioni nel secondo.



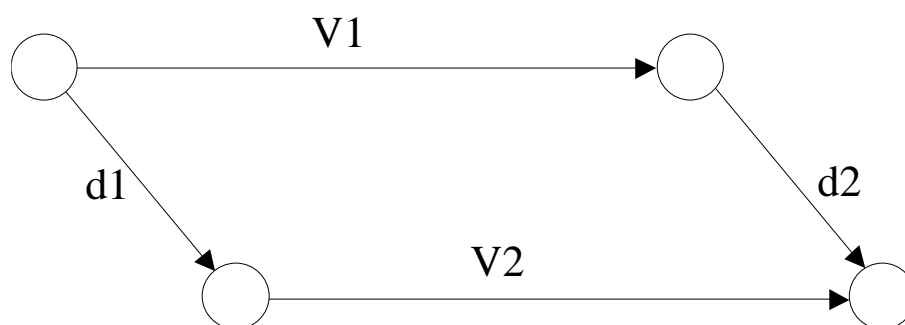
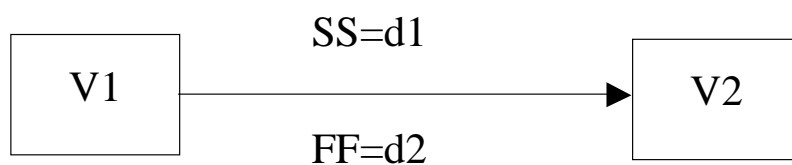
Attività	Attività strettamente precedenti
V1-01	-
V1-02	V1-01
V1-03	V1-02
V1-04	V1-03
V2-01	V1-01
V2-02	V2-01/V1-02
V2-03	V2-02/V1-03
V2-04	V2-03/V1-04



Costruzione del reticolo

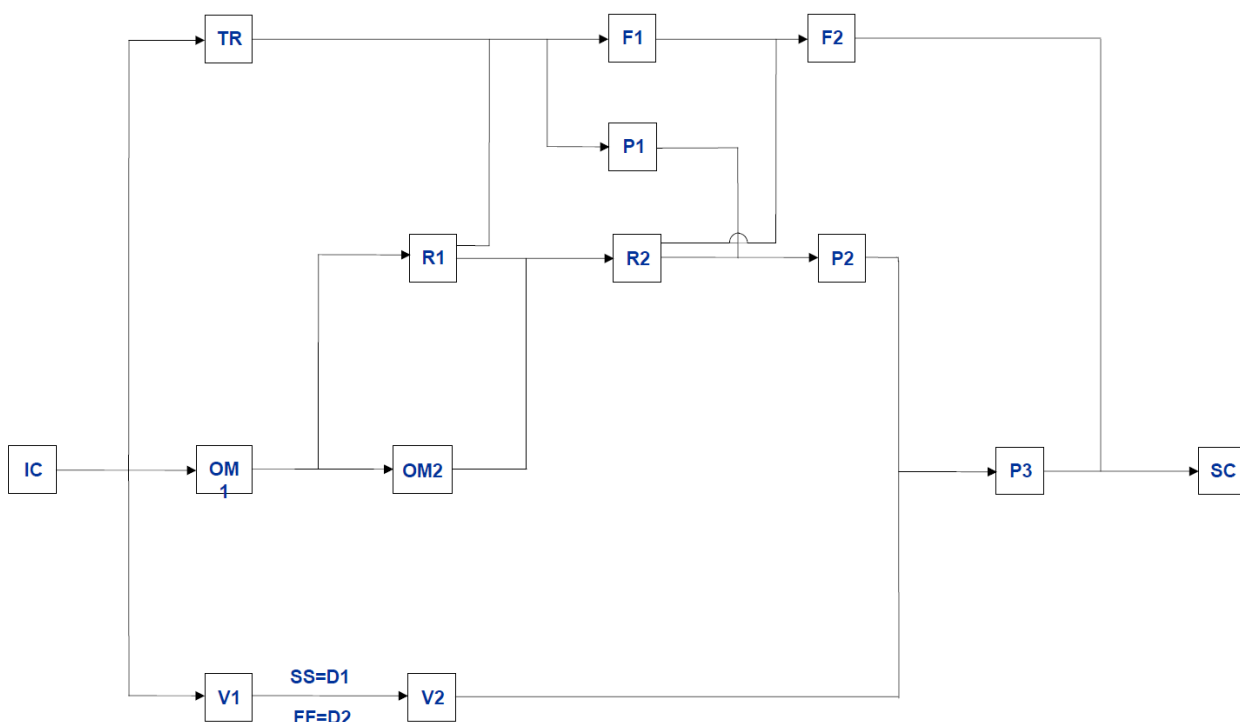
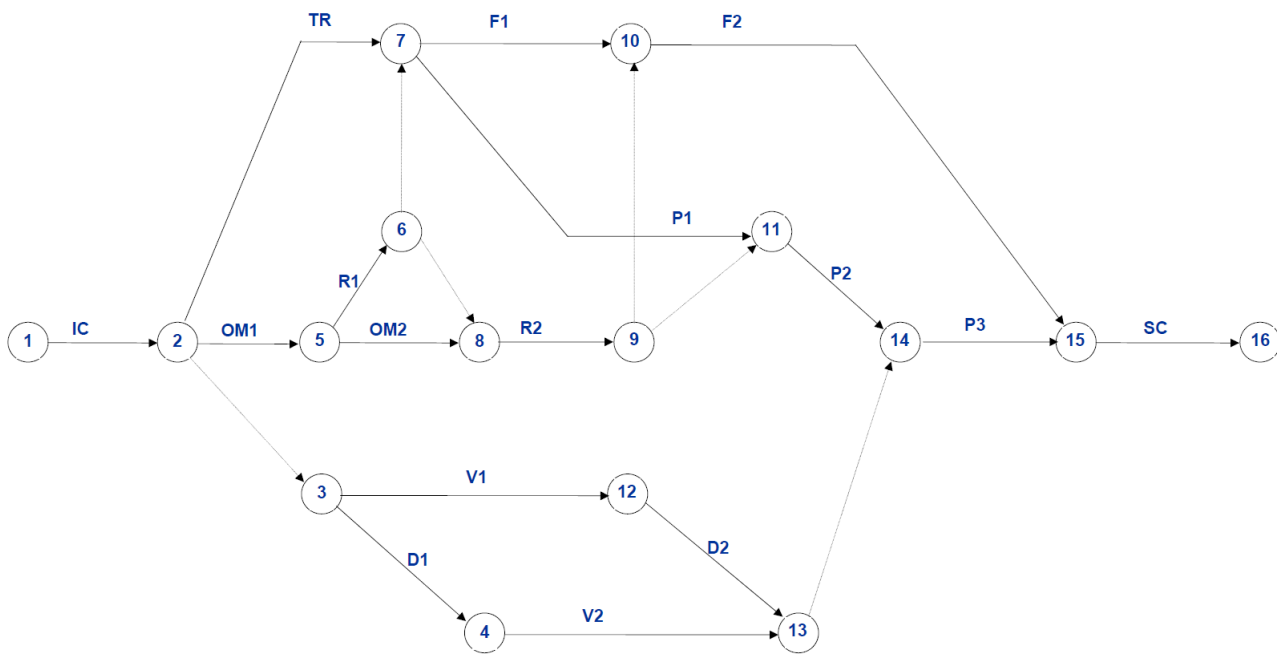
- Al fine di semplificare il reticolo, la dipendenza tra le attività costruzione del viadotto 1 e costruzione del viadotto 2 può essere espressa mediante l'introduzione di attività di attesa, per il reticolo AA, o di legami inizio-inizio e fine - fine, per il diagramma AN.

Reticolo semplificato per la costruzione dei viadotti



<i>Attività</i>	<i>Attività strettamente precedenti</i>	<i>Attività</i>	<i>Attività strettamente precedenti</i>
IC	-	R2	R1/OM2
V1	IC	P1	R1/TR
V2	V1	P2	P1/R2
OM1	IC	P3	P2/V2
OM2	OM1	F1	R1/TR
TR	IC	F2	F1/R2
R1	OM1	SC	F2/P3

Costruzione del reticolo



Evento iniziale ed evento finale	Codice attività	Descrizione attività	Evento iniziale ed evento finale	Codice attività	Descrizione attività
1-2	IC	Installazione cantiere	7-11	P1	Fondazione stradale tratto 1
2-3	DU	Attività fittizia	8-9	R2	Rilevato tratto 2
2-5	OM1	Opere minori tratto 1	9-10	DU	Attività fittizia
2-7	TR	Trincea	9-11	DU	Attività fittizia
3-4	D1	Attività di attesa	10-15	F2	Opere di finitura tratto 2
3-12	V1	Viadotto 1	11-14	P2	Fondazione stradale tratto 2
4-13	V2	Viadotto2	12-13	D2	Attività di attesa
5-6	R1	Rilevato tratto 1	13-14	DU	Attività fittizia
5-8	OM2	Opere minori tratto 2	14-15	P3	Pavimentazione in conglomerato bituminoso
6-8	DU	Attività fittizia	15-16	SC	Smobilizzo cantiere
7-10	F1	Opere di finitura tratto 1			

Analisi temporale del reticolo

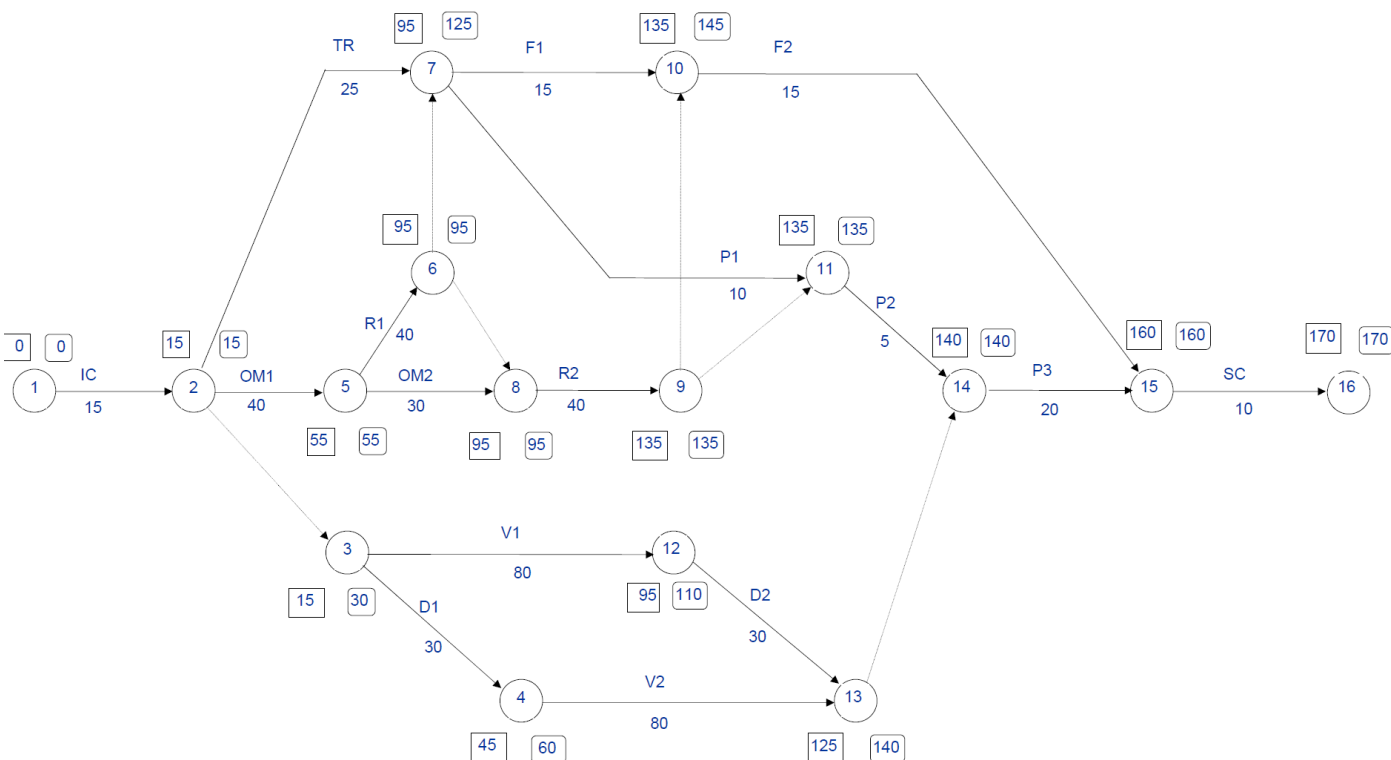
Tempi al più presto del progetto

Codice evento	Operazioni	Tempo al più presto
1	Si assume $ET_1=0$	0
2	$ET_1 + d_{1/2}=0 + 15$	15
3	$ET_2 + d_{2/3}=15 + 0$	15
4	$ET_3 + d_{3/4}=15 + 30$	45
5	$ET_2 + d_{2/5}=15 + 40$	55
6	$ET_5 + d_{5/6}=55 + 40$	95
7	$\max(ET_2 + d_{2/7}=15 + 25; ET_6+d_{6/7}=95+0)$	95
8	$\max(ET_6 + d_{6/8}=95 + 0; ET_5 + d_{5/8}=55 + 30)$	95
9	$ET_8 + d_{8/9}=95 + 40$	135
10	$\max(ET_7 + d_{7/10}=40 + 15; ET_9 + d_{9/10}=135 + 0)$	135
11	$\max(ET_7 + d_{7/11}=40 + 10; ET_9 + d_{9/11}=135 + 0)$	135
12	$ET_3 + d_{3/12}=15 + 80$	95
13	$\max(ET_4 + d_{4/13}=40 + 80; ET_{12} + d_{12/13}=95 + 30)$	125
14	$\max(ET_{11} + d_{11/14}=135 + 5; ET_{13} + d_{13/14}=125 + 0)$	140
15	$\max(ET_{10} + d_{10/15}=135 + 15; ET_{14} + d_{14/15}=140 + 20)$	160
16	$ET_{15} + d_{15/16}=160 + 10$	170

Tempi al più tardi del progetto

Codice evento	Operazioni	Tempo al più tardi
16	Si assume $LT_{16}=ET_{16}$	170
15	$LT_{16} - d_{15/16}=170 - 110$	160
14	$LT_{15} - d_{14/15}=160 - 20$	140
13	$LT_{14} - d_{13/14}=140 - 0$	140
12	$LT_{13} - d_{12/13}=140 - 30$	110
11	$LT_{14} - d_{11/14}=140 - 5$	135
10	$LT_{15} - d_{10/15}=160 - 15$	145
9	$\min(LT_{11} - d_{9/11}=135 - 0; LT_{10} - d_{9/10}=145 - 0)$	135
8	$LT_9 - d_{8/9}=135 - 40$	95
7	$\min(LT_{10} - d_{7/10}=145 - 15; LT_{11} - d_{7/11}=145 - 0)$	125
6	$\min(LT_7 - d_{6/7}=125 - 0; LT_8 - d_{6/8}=95 - 0)$	95
5	$\min(LT_6 - d_{5/6}=95 - 40; LT_8 - d_{5/8}=95 - 30)$	55
4	$LT_{13} - d_{4/13}=140 - 80=60$	60
3	$\min(LT_4 - d_{3/4}=60 - 30; LT_{12}-d_{3/12}=110 - 80)$	30
2	$\min(LT_3-d_{2/3}=35-0; LT_5-d_{2/5}=55-40; LT_7-d_{2/7}=125-25)$	15
1	$LT_2 - d_{1/2}=15 - 15$	0

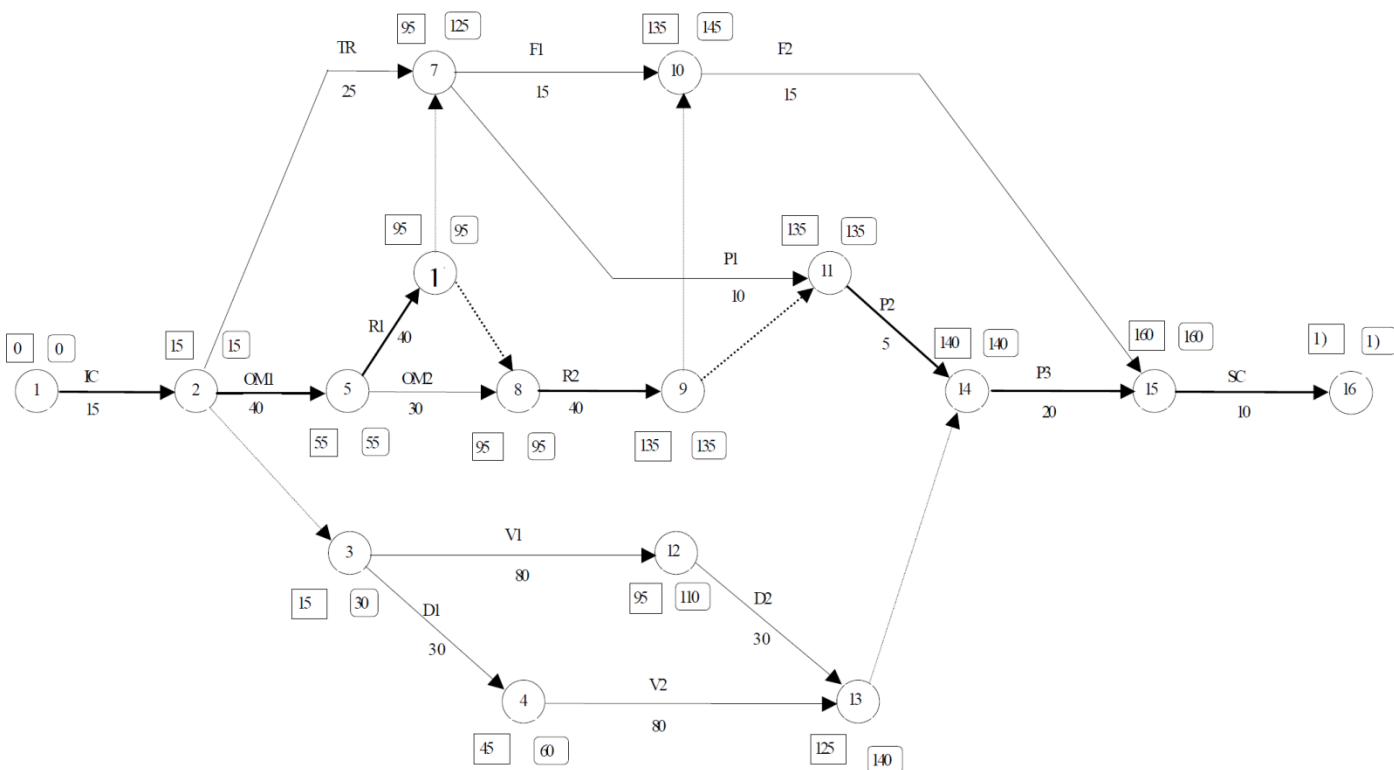
Analisi temporale del reticolo



	PARAMETRI TEMPORALI	FORMULA
Eventi	Tempo di massimo anticipo ET _i	Max(ET _i +d _{ij})
	Tempo di massimo ritardo LT _i	Min(LT _j -d _{ij})
	Scorrimento di un evento	LT-ET
Attività	Tempo di inizio al più presto ES	ET _i
	Tempo di fine al più presto EF	ET _i +d _{ij}
	Tempo di inizio al più tardi LS	LT _j -d _{ij}
	Tempo di fine al più tardi LF	LT _j
	Scorrimento totale TF	LT _j -ET _i -d _{ij}

Analisi temporale del reticolo

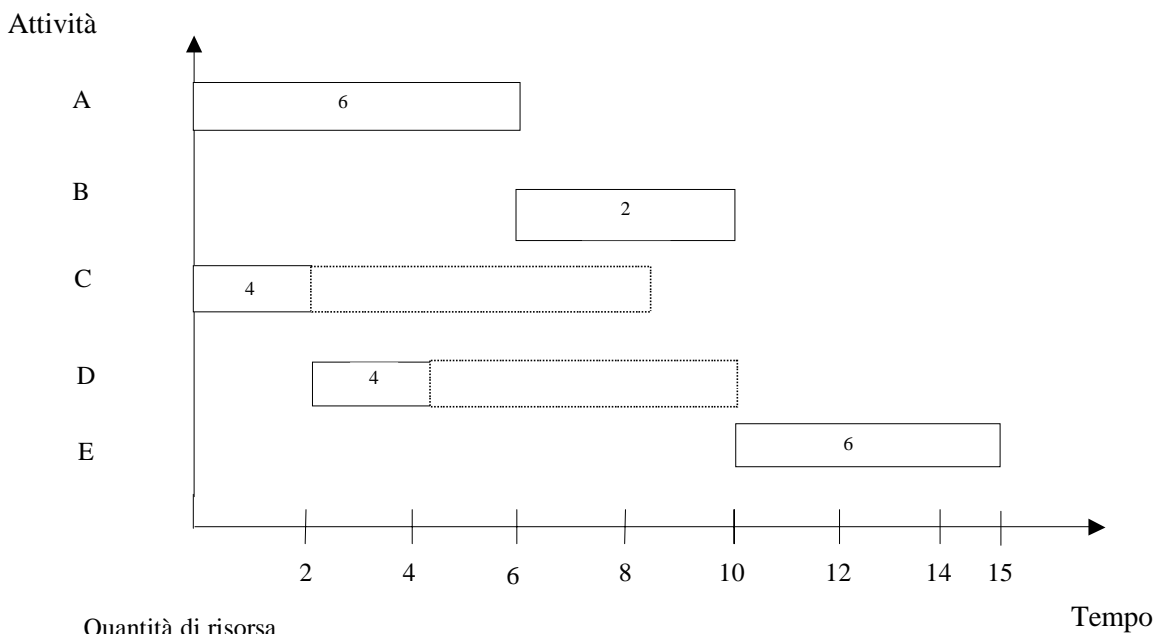
Attività	Codice	Durata	ES	EF	LS	LF	TF
1-2	IC	15	0	15	0	15	0
2-3	DU	0	15	15	30	30	15
2-5	OM1	40	15	55	15	55	0
2-7	TR	25	15	40	100	125	85
3-4	D1	30	15	45	35	60	20
3-12	V1	80	15	95	30	110	15
4-13	V2	80	45	125	60	140	20
5-6	R1	40	55	95	55	95	0
5-8	OM2	3	55	85	65	95	15
6-8	DU	0	95	95	95	95	0
7-10	F1	15	95	110	130	145	35
7-11	P1	10	95	105	125	135	30
8-9	R2	40	95	135	95	135	0
9-10	DU	0	135	135	145	145	10
9-11	DU	0	135	135	135	135	0
10-15	F2	15	135	150	145	160	10
11-14	P2	5	135	140	135	140	0
12-13	D2	30	95	125	110	140	15
13-14	DU	0	125	125	140	140	15
14-15	P3	20	140	160	140	160	0
15-16	SC	10	160	170	160	170	0



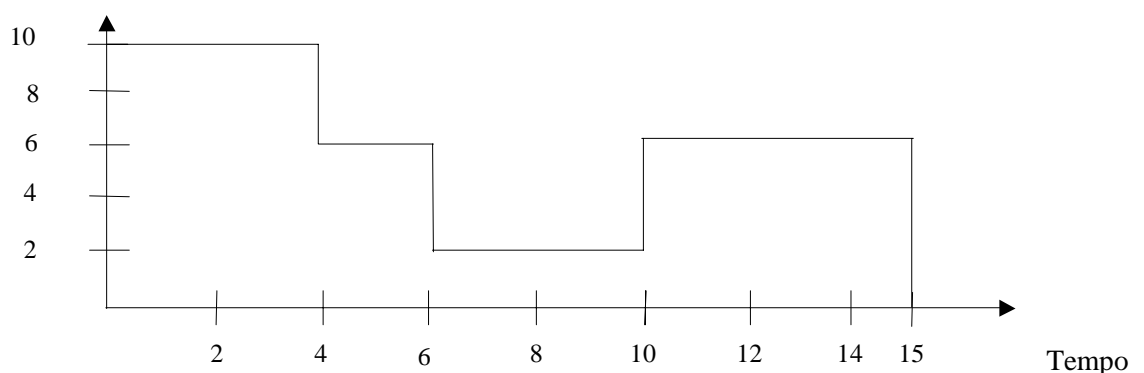
ANALISI ED OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE

IL DIAGRAMMA DI CARICO

- Con l'analisi temporale del reticolo si valutano le **risorse** necessarie per l'esecuzione dei lavori, correlando la durata di ciascun'attività con le **modalità esecutive** e le **risorse da impiegare**.
- L'analisi e l'ottimizzazione delle risorse presuppongono la definizione della quantità di ciascuna risorsa richiesta nel corso dei lavori. Per ciascuna risorsa, la distribuzione della quantità unitaria richiesta durante l'esecuzione del progetto è detta **diagramma di carico**.



Quantità di risorsa



IL DIAGRAMMA DI CARICO

- Le tipologie di risorse impiegate nell'esecuzione dei lavori sono numerosissime e sarebbe quasi impossibile eseguire un'analisi dettagliata di ciascun tipo di risorsa. Per questa ragione, l'analisi è solitamente limitata alle risorse più significative, che possono suddividersi in tre grandi categorie:

1. **manodopera;**
2. **macchine ed attrezzature;**
3. **materiali.**

➤ Il diagramma riporta interessanti informazioni sulla distribuzione delle risorse durante lo svolgimento del progetto. Tra queste si segnalano:

- la **massima richiesta** unitaria di risorse nel corso dello svolgimento del progetto;
 - la **quantità totale** (integrale del diagramma di carico) di risorsa richiesta per l'esecuzione del progetto;
 - l'**entità delle discontinuità** nell'utilizzo delle risorse nel tempo.
- Ad ogni reticolo corrispondono più diagrammi di carico, che dipendono dal posizionamento nel tempo delle attività.
 - Solo dopo aver schedato le attività, ossia dopo aver definito la data di inizio di tutte le attività costituenti il progetto, si ha un unico diagramma di carico delle risorse.

OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE

L'obiettivo ottimale, non sempre raggiungibile, consiste nel realizzare il miglior allineamento possibile tra la disponibilità e la richiesta di risorse (**allocazione**) livellando le discontinuità nell'utilizzo delle risorse nel tempo (**livellamento**) senza modificare la durata minima del progetto.

I principali problemi di schedulazione possono ricondursi alle seguenti situazioni:

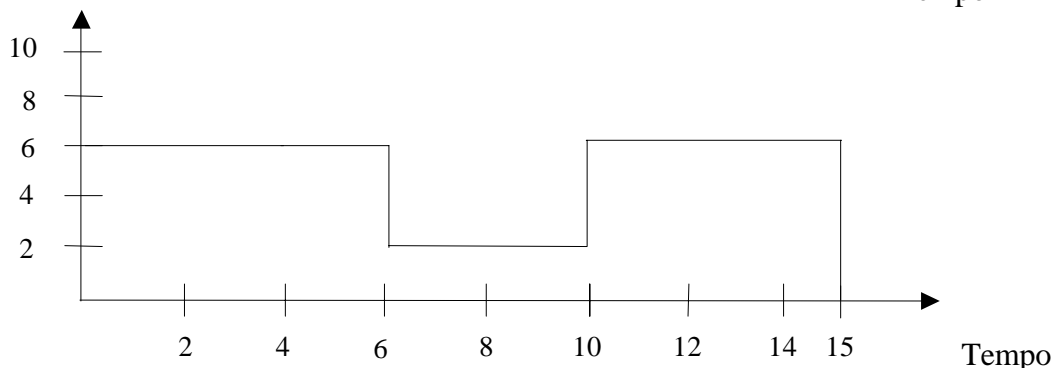
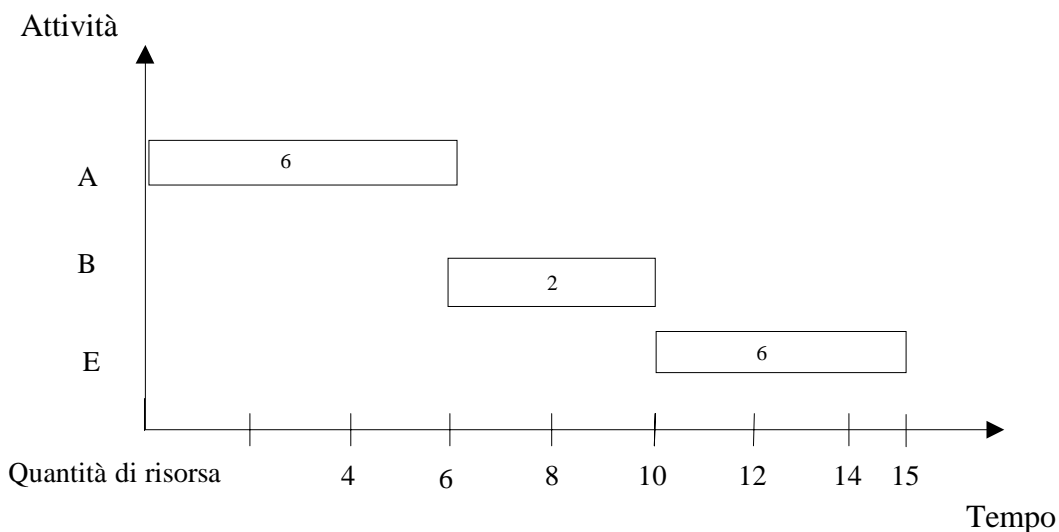
1. *fissata la data di ultimazione dei lavori, si ricercano il miglior **livellamento** ed il minor aumento possibile dell'utilizzo di risorse nell'unità di tempo, compatibilmente con la durata prefissata;*
2. *fissato un limite di disponibilità di risorse, che non è possibile o non conveniente modificare, si ricerca la durata minima del progetto, compatibile con tale limite, tenendo sempre presente l'obiettivo di ottenere il miglior livellamento possibile delle risorse.*

Una difficoltà nella ricerca della migliore distribuzione è costituita dalla molteplicità delle tipologie di risorse impiegate;

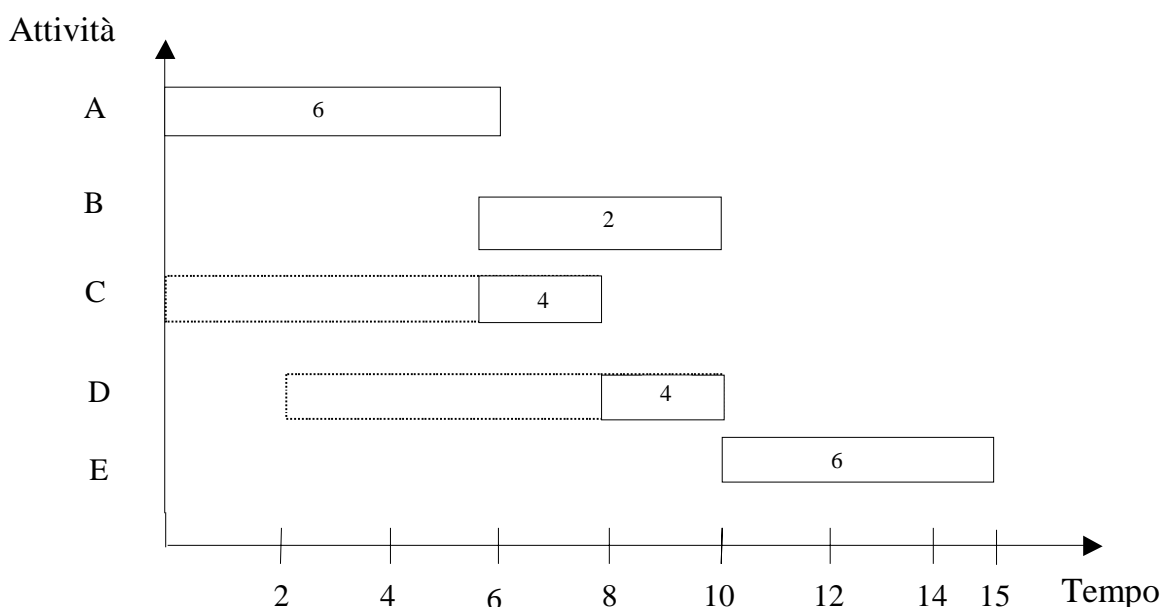
Per ognuna delle risorse impiegate nell'esecuzione dei lavori si dovrebbe ricercare l'ottimo relativo, ma non sempre è possibile ottimizzare contemporaneamente la distribuzione di un elevato numero di risorse.

OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE

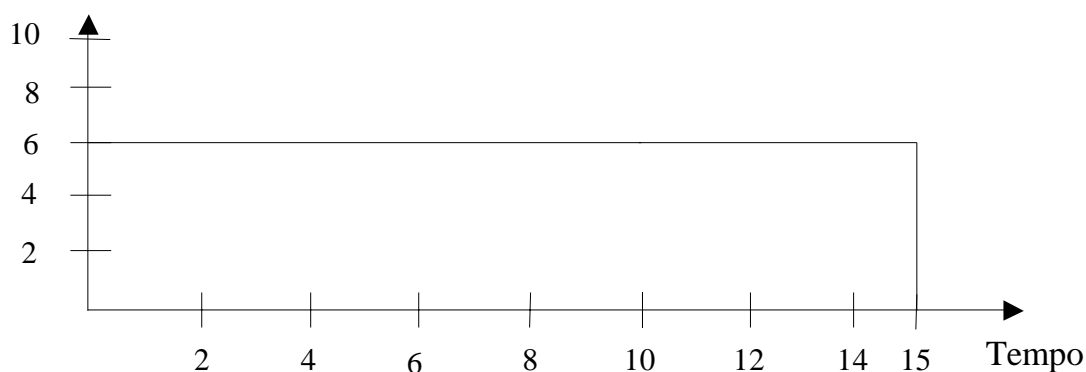
- Con il *livellamento* si cerca di eliminare le discontinuità nell'utilizzo delle risorse nel tempo.
- Il reticolo in questione è costituito da cinque attività, di cui tre critiche (A,B ed E) e due dotate di scorrimento (C e D).
- In tal caso, non volendo dilazionare la durata del progetto, le attività critiche sono automaticamente schedate, mentre è possibile variare la data di inizio delle attività B e C, compatibilmente con lo scorrimento a loro disposizione.
- In tal caso conviene redigere un primo diagramma di carico che tiene conto solo delle attività critiche.



OTTIMIZZAZIONE DELLE RISORSE



Quantità di risorsa



- Difficilmente, nella pratica, è possibile ottenere un livellamento pari a quello dell'esempio, tuttavia è importante eliminare forti discontinuità temporali nell'utilizzo di risorse, indipendentemente da altri obiettivi.
- *Con l'allocazione si ricerca il miglior allineamento possibile tra la disponibilità e la richiesta di risorse.*