# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale - Classe LM-31 (DM270) - Finanza

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Project risk management frameworks analysis and contingency evaluation criteria**

Relatore:
Prof. Alberto De Marco

Candidato:
Antonino Trapani

Correlatore:
Prof. Filippo Maria Ottaviani

Anno Accademico 2019-2020

## Indice


Abstract ..... 3

CAPITOLO 1: Analisi teorica e metodologica ..... 4

Introduzione al Rischio ..... 4

Risk Assessment ..... 5

Indicatori di Budget, Monitoraggio e controllo ..... 6

Metodi di analisi del rischio ..... 11

Risk Breakdown Matrix ..... 12

Determinazione contingency e relativa analisi del rischio ..... 16

- Metodi deterministici ..... 17
- Metodi probabilistici ..... 18
  - Metodi non simulativi ..... 19
  - Metodi simulativi ..... 35
- Metodi matematici moderni ..... 55

CAPITOLO 2: METODI ALTERNATIVI E INNOVATIVI DI ANALISI DEL RISCHIO 63

Risk management analysis con tecniche of Machine Learning ..... 63

Reti neurali artificiali ..... 63

Dynamic System in Project Management ..... 73

Algoritmi di IA riadattati all'analisi quantitativa del rischio ..... 79

Algoritmo di IA per Risk Management predittivo ..... 86

Arena Simulation Software for Project Management ..... 91

Ball Pattern Contingency Evaluation ..... 99

CAPITOLO 3: Stima del budget totale di progetto ..... 106

Modello per la stima del budget di progetto considerando l'accuracy ..... 108

Calcolo dei costi del rischio usando il metodo della stima a tre punti ..... 110

Calcolo di Net Cost, PE e Allowance ..... 111

Monitoraggio e prevenzione dei rischi in tempo reale nei progetti di costruzione ..... 114

Confronto tra i metodi di framework analysis e contingency budget ..... 117

Classificazione qualitativa dei metodi di gestione del rischio ..... 122

Bibliografia ..... 134

Sitografia ..... 136

# Abstract

Il presente elaborato ha l'obiettivo di creare un metodo di calcolo della riserva di Contingency e di definire un nuovo framework per la definizione dei rischi all'interno del mondo del Project Management.

Il lavoro di tesi, inizia con una descrizione approfondita dei principali metodi che vengono utilizzati per l'identificazione dei rischi e di tutte le tecniche che portano alla definizione della riserva dedicata per la copertura dei rischi progettuali.

La definizione del contingency è fondamentale nello sviluppo di un progetto, sia nella sua fase di pianificazione quanto nella fase di controllo, esecuzione e addirittura chiusura.

Il rischio è uno degli elementi fondamentali di un progetto, ma ad esempio a differenza di alcuni elementi che costituiscono il progetto come ad esempio una risorsa materiale o non che viene usata solo per una determinata parte di un progetto, il rischio nasce al momento stesso della richiesta di un progetto e addirittura non muore nella maggior parte dei progetti neanche con la chiusura, in quanto spesso ci sono dei rischi che devono essere gestiti anche dopo la fase di chiusura di un progetto.

L'obiettivo, ovviamente, della definizione di un numero che dovrà essere incorporato all'interno del prezzo che gli appaltatori (o appaltatore) dovranno fare al committente, quindi è una riserva che in alcuni progetti in cui la quota di rischio è molto elevata è fondamentale per la vincita/perdita di una gara d'appalto.

Infatti, proprio per quest'ultimo motivo nei progetti di dimensioni più grandi del normale si è soliti utilizzare delle tecniche di risk management avanzate e anche delle risorse specializzate in queste particolari tecniche.

Uno degli strumenti che verrà descritto all'interno dell'elaborato sarà la simulazione ed in particolare la simulazione Monte Carlo.

La simulazione è uno degli strumenti più potenti utilizzati in ingegneria e molto utile anche nel mondo del rischio in quanto permette di creare un sistema che replichi la realtà e che quindi faccia risparmiare di molto in termini di costi, una buona simulazione però dipende dai dati in input che si hanno, ovviamente se si fa una simulazione utilizzando dei dati casuali il risultato da prendere sarà esattamente casuale come le decisioni che saranno prese nel caso in cui si segue questa sequenza scorretta di operazione.

Con lo sviluppo dell'informatica e della tecnologia, i rischi non vengono "gestiti" direttamente più dagli uomini ma dalle macchine che prendono delle decisioni in base a dei dati storici che vengono dati loro in pasto.

L'uso della tecnologia nel modo del risk management è direttamente legata allo sviluppo di tecniche di programmazione altamente innovative come tutto il mondo del Machine Learning, infatti, una tecnica che è anche molto vicina proprio come struttura al mondo del rischio riguarda l'uso delle reti neurali artificiali.

Si deve però sempre ricordare che la macchina è stata creata dall'uomo e quindi di conseguenza siccome l'uomo non è mai perfetto e commette degli errori, spesso i risultati che vengono dati come output da una macchina devono essere correttamente interpretati.

# CAPITOLO 1: Analisi teorica e metodologica

## Introduzione al Rischio

L'obiettivo principale del RISK MANAGEMENT e dell'analisi del rischio in generale è quello di individuare, analizzare e controllare tutti gli elementi di un progetto che sono caratterizzati da incertezza, in modo da massimizzarne le probabilità di successo e minimizzarne quelle di insuccesso.

Con il termine RISCHIO s'intende un evento aleatorio che nel caso in cui si verifica ha un impatto sul progetto.
Il concetto di rischio è stato sintetizzato attraverso la seguente formula matematica:

$$R = p \times I$$

*Equazione 1: Formula classica del rischio*

dove:

- p è la probabilità che si verifichi un determinato evento sfavorevole allo sviluppo del progetto
- I è l'impatto che può avere un determinato rischio all'interno di un progetto. Analogamente l'impatto può essere considerata come la magnitudo che un evento scatena e il danno relativo che può verificarsi in seguito sull'intero progetto.

In particolare l'impatto può essere negativo, ovvero può rappresentare un problema per il progetto e quindi è da considerarsi in questo caso come un evento sfavorevole e quindi una MINACCIA, diversamente l'impatto può essere positivo cioè porta a delle migliorie all'interno del progetto e in questo caso si tratta di un'OPPORTUNITA'.

Nei progetti di grandi e piccole dimensioni, cambia la complessità della gestione del rischio ma a grandi linee la struttura di questa rimane analoga, pertanto la gestione dei rischi in un qualsiasi progetto è scomponibile in due grandi macro-blocchi:

1) Analisi del rischio (**RISK ASSESSMENT**)
   - Identificazione
   - Quantificazione
2) Risposta al rischio (**RISK RESPONSE**)
   - Pianificazione
   - Monitoraggio e Controllo

## Risk Assessment

Con l'identificazione si cercano di raccogliere, tramite delle tecniche tutti i rischi che potrebbero essere presenti all'interno di un determinato progetto. Le tecniche in questa fase più adottate sono: il brainstorming, six hat, Delphy, Checklist, diagrammi di Ishikawa, ecc.
Per analizzare i rischi che riguardano le singole attività della WBS una delle tecniche maggiormente adottata è la FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).
Con la quantificazione si cerca di quantificare appunto i valori dei rischi e quindi gli impatti e le probabilità di accadimento di ogni singolo rischio progettuale. Generalmente si utilizzano delle scale ordinali o cardinali. Inoltre, ai metodi più semplici si uniscono anche delle analisi più approfondite che valorizzano la probabilità in percentuale e gli impatti in termini di tempi e costi.
Il valore monetario di R calcolato come prodotta tra probabilità di accadimento ed impatto fornisce l'EXPECTED MONETARY VALUE del rischio.
La somma algebrica degli EMV fornisce il cosiddetto CONTINGENCY BUDGET. In alcuni progetti particolari per dimensione, complessità, numero di risorse elevato ed altri fattori, si può trovare anche un'altra riserva chiamata MANAGEMENT RESERVE che serve cercare di far fronte a dei rischi non identificati. Per effettuare una verifica dell'analisi quantitativa effettuata si possono usare alcune tecniche statistiche: Analisi di Pareto, Analisi di Sensitività e simulazione Montecarlo.

## Risk Response

La fase di risposta al rischio consiste nel cercare, anche con un po' di creatività, di pianificare la risposta al rischio. Infatti, in questa fase si deve cercare di implementare delle azioni o degli accorgimenti nel caso in cui il rischio si verifichi.
Le possibili tipologia di risposta sono: EVITARE, TRASFERIRE, MITIGARE e ACCETTARE.
**EVITARE**: eliminare l'impatto o la probabilità in modo che il prodotto tra i due fattori e quindi il rischio risulti nullo, con questa strategia spesso le funzionalità di determinati elementi del progetto vengono annullate e quindi complessivamente si ha una perdita dello scopo e della qualità del progetto totale.
**TRASFERIRE**: trasferimento degli effetti del rischio ad una terza parte esterna al progetto oppure ad un'assicurazione.
**MITIGARE**: riduzione dell'impatto o delle probabilità attraverso opportune azioni, ad esempio se si hanno a disposizione delle risorse che non hanno determinate capacità o se ne assumono alcune che le hanno oppure si organizzano dei corsi di formazione per far fronte a questo problema.
**ACCETTARE**: confermare passivamente il volgere degli eventi, ovvero non si effettua nulla e il rischio verrà conteggiato interamente nel CONTINGENCY BUDGET per il suo relativo ammontare.

## Indicatori di Budget, Monitoraggio e controllo

### Contingency Operations Management

Un altro metodo di stima del CONTINGENCY molto spesso usato dal project team perché estremamente veloce. Ad esempio un Project Manager di un progetto potrebbe essere messo davanti a due scelte operative:

1) Non determinare alcun budget di CONTINGENCY e provare a presentare un prezzo senza considerare ulteriori rischi che potrebbero accadere in corso d'opera
2) Stimare l'esposizione al rischio in modo che non si facciano delle conclusioni affrettate sul prezzo dell'opera e si tutelino anche gli sponsor di progetto che non sono dovranno fare delle spese improvvise di progetto.

Ovviamente una delle scelte migliori è la seconda in quando permette di svolgere il lavoro nella più totale sicurezza e tranquillità anche delle risorse che sono impegnate nello svolgimento dei lavori di progetto.

### Stima dell'incertezza e dell'esposizione del rischio

Il PM ha inoltre il compito di cercare di convincere il Project Sponsor ad accantonare dei soldi che verranno o meno utilizzati con una certa aleatorietà.
Infatti, i soldi che saranno collocati all'interno del Budget avranno dei fini ben precisi, tra i più importanti:

- Coprire una parte dell'incertezza propria del progetto e dell'esposizione al rischio;
- Migliora la fiducia tra le parti interessate nello svolgimento dell'opera, permette cioè di non introdurre delle spese occasionali che potrebbero essere anche ingenti per chi finanzia il progetto in caso di manifestazione improvvisa di un rischio;
- Genera dei flussi di cassa maggiori e più sicuri rispetto ad altri progetti in cui il CONTINGENCY BUDGET non viene accantonato;
- Scoraggia la nascita di contenziosi che potrebbero essere molto dannosi in termini di pianificazione, durata e costo totale di progetto;

Uno schema riassuntivo di quello che è operativamente il CONTINGENCY BUDGET è riassunto dalla *figura 1*, in cui si vede appunto la netta distinzione tra i costi diretti di progetto e il costo totale di progetto a completamento.

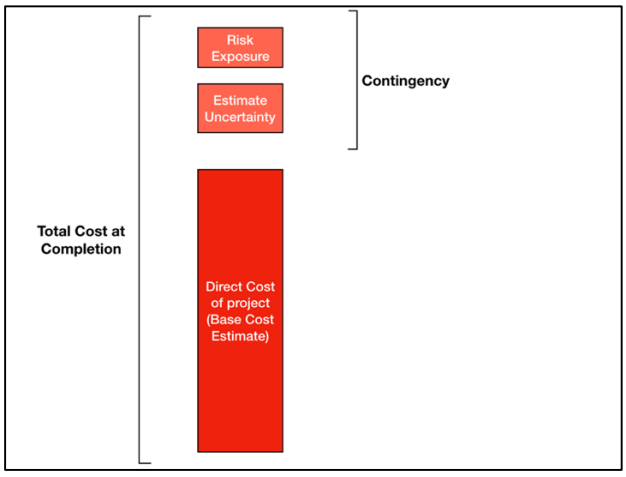



*Figura 1: Schema di costo*

## Determinazione del Costo Totale di progetto e di Contingency

Il costo di base del progetto, ovvero i costi diretti di progetto per fornire una stima di costo totale di progetto devono essere dati, solitamente appunto i base costs si riferiscono a costi orari di manodopera del personale, costo delle risorse materiali, costo mezzi per ora, costi dei trasporti e così via.
Quindi la stima del costo diretto di progetto è presto fatta, sostanzialmente si devono individuare i singoli WP per ognuno di questi assegnare dei centri di costi e scalando il modello all'intera WBS di progetto, si determina un costo diretto totale di progetto.
La stima del contingency necessario da accantonare, invece, non è molto semplice in quanto si deve stimare l'incertezza che un rischio avvenga e inoltre si devono stimare anche gli impatti che questi rischi potrebbero avere all'interno del progetto.
Infatti, uno dei compiti principali che ha il Team di progetto è quello di andare ad individuare tramite checklist, questionari o addirittura esperti il livello di incertezza e l'esposizione al rischio totale che il progetto può avere.
Esistono numerose strategie da adottare nel momento di stima del contingency, una delle più importanti è una lista di 4 passi da seguire:

1) Determinare una stima dell'incertezza
2) Determinare l'esposizione del rischio
3) Determinare il finanziamento di emergenza desiderato per coprire i rischi
4) Verificare l'adeguatezza delle riserve accantonate per eventuali rischi con l'avanzamento del progetto attraverso anche l'utilizzo di indicatori

## Determinazione dell'incertezza

Spesso per la definizione dell'incertezza di progetto, che ha la caratteristica di assumere alte percentuali all'inizio di progetto e basse verso la fine quando ormai tutti i costi sono definiti e quindi l'incertezza è praticamente nulla, si usano delle tabelle ben definite che sono state redatte sulla base di un campione molto vasto di imprese che lavorano in progetti della stessa tipologia da parte dell'Association of Advancement of Cost Engineers (*figura 2*)

| | ***Primary Characteristic*** | ***Secondary Characteristic*** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **ESTIMATE CLASS** | **LEVEL OF PROJECT DEFINITION** Expressed as % of complete definition | **END USAGE** Typical purpose of estimate | **METHODOLOGY** Typical estimating method | **EXPECTED ACCURACY RANGE** Typical variation in low and high ranges [a] | **PREPARATION EFFORT** Typical degree of effort relative to least cost index of 1 [b] |
| **Class 5** | 0% to 2% | Concept Screening | Capacity Factored, Parametric Models, Judgment, or Analogy | L: -20% to -50%<br>H: +30% to +100% | 1 |
| **Class 4** | 1% to 15% | Study or Feasibility | Equipment Factored or Parametric Models | L: -15% to -30%<br>H: +20% to +50% | 2 to 4 |
| **Class 3** | 10% to 40% | Budget, Authorization, or Control | Semi-Detailed Unit Costs with Assembly Level Line Items | L: -10% to -20%<br>H: +10% to +30% | 3 to 10 |
| **Class 2** | 30% to 70% | Control or Bid/ Tender | Detailed Unit Cost with Forced Detailed Take-Off | L: -5% to -15%<br>H: +5% to +20% | 4 to 20 |
| **Class 1** | 50% to 100% | Check Estimate or Bid/Tender | Detailed Unit Cost with Detailed Take-Off | L: -3% to -10%<br>H: +3% to +15% | 5 to 100 |

*Figura 2: Stima dell'accuratezza del costo*

Ovviamente la scelta ad esempio di non coprirsi e non utilizzare una riserva per i rischi, determina una percentuale di aumento dei costi progettuali più alta rispetto al caso in cui la medesima riserva viene incrementata anche di un solo milione di dollari (ciò è attestato da studi empirici effettuati utilizzando la simulazione Monte Carlo).
Ovviamente la probabilità di concludere il progetto, entro un determinato target di costo incrementando la riserva per il rischio, è direttamente legata al livello di confidenza che viene deciso dai decisori che è una misura dell'avversione al rischio e questo parametro può essere altresì' influenzato in positivo o in negativo dal project sponsor.
Inoltre la riserva per il rischio è molto utile anche perché:

1) Ammortizza le incertezze inerenti alla stima dei processi produttivi o di costruzione di un progetto;
2) Ammortizza errori e omissioni che possono essere fatte nel momento dell'acquisto di materiali oppure anche errori contrattuali per il lavoro di personale o altro.

Arrivati a questo punto e dopo aver stabilito il livello di incertezza dei costi, si deve andare a stimare un altro parametro fondamentale, per stabilire il livello di contingency desiderato per coprire il rischio di superare la stima dei costi di progetto: l'esposizione al rischio.

**Determinazione dell'esposizione al rischio**

L'esposizione al rischio di progetto viene effettuata tramite i framework di risk analysis, precedentemente descritti.
Infatti la prassi consigliata dal PMI è:

1) Creazione di una matrice in cui vengono fatti incrociare i rischi di progetto con le relative magnitudo.
2) Quantificazione del rischio tramite il metodo EMV

Per la formulazione della stima dell'ammontare del rischio devono essere prima calcolate per ogni WP i prodotti relativi tra probabilità ed impatto e inseguito sommare tutti gli EMV per ogni rischio.
Quindi l'EMV diventa un dato vero e proprio dopo la stima tramite RBM o altri framework di stima. Il valore di contingency viene determinato dal valore che serve per coprire l'esposizione al rischio misurato dal EMV.
Definiti sia il livello di esposizione, che il livello di incertezza dei costi si può passare alla stima vera e propria delle richieste di finanziamento considerando anche i rischi relativi.
Il prezzo totale di progetto ovviamente dovrà tener conto, quindi, dei costi diretti e del relativo costo di contingency.

**Valutazione del Contingency in corso d'opera**

Per la valutazione durante lo svolgimento dei lavori si possono utilizzare delle metriche, tramite le quali lo sponsor può comprendere meglio se i finanziamenti forniti sono utilizzati nel miglior modo possibile.
Un indicatore molto utilizzato è il rapporto tra CONTINGENCY e ETC, dove con ETC si intende il valore stimato per la realizzazione delle rimanti attività necessarie al completamento del progetto a cui si deve decurtare il valore di contingency stimato.
La RULE OF THUMB afferma che il valore dell'indicatore (1) è ragionevole se compreso tra il 3% e il 15%.
Il secondo indicatore che viene adottato confronta il valore di contingency in valore monetario rispetto all'EMV totale (facendone il rapporto), come in rappresentato dall'indicatore (2): I valori dell'indicatore (2) sono ragionevoli nel caso in cui sono compresi all'interno dell'intervallo [0.75 ; 1.25]. (K. & Moreci, J, 2012)

**Monitoraggio e controllo di progetto**

Nel mondo della gestione dei progetti gli indicatori sono molto usati soprattutto dai committenti delle opere ovvero dai finanziatori, infatti, tutta la parte in questione che tratta le misure di avanzamento del progetto e di tutte le stime a finire che vengono fatte sul progetto ricade in quella parte del mondo del PM che prende il nome di Monitoraggio e Controllo.

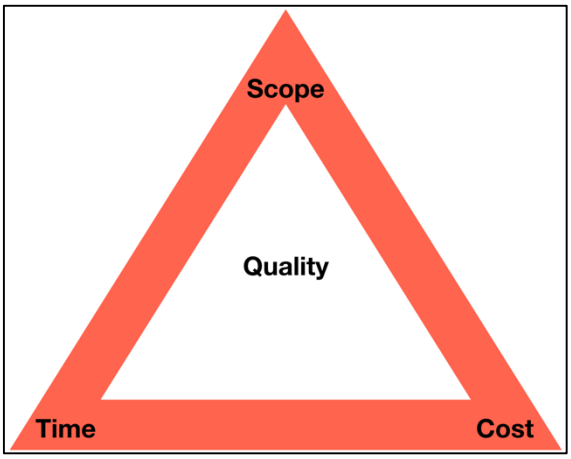



Figura 3: Iron Triangle

Principalmente il monitoraggio e controllo si attua dopo la programmazione e pianificazione delle attività attraverso la schedulazione di dettaglio di tutti i WP di progetto ma prima della chiusura finale di progetto. L'obiettivo del monitoring è quello di cercare di correggere al massimo i gap che ci possono essere tra quanto preventivato e quanto realmente accade in termini soprattutto di costo di progetto, tempo, qualità e rischio come definito dal triangolo di ferro del PM (fi*gura 3*).

Per la stima degli indicatori vengono utilizzati i seguenti acronimi: **BCWS** (costo preventivato), **ACWP** (costo effettivo durante un periodo), **BCWP** (o **EV**, lavoro a budget eseguito in un periodo) e **BAC** (budget di progetto).

I principali indicatori che vengono adottai nella maggior parte dei progetti sono sintetizzati in *figura 4*.

**COST INDICATORS**

**AV** = Accounting Variance = BCWS-ACWP
if **AV>0** => **UNDERRUN** (gain of value)
if **AV<0** => **OVERRUN** (loss of value)
if AV=0 => **ON BUDGET**

**CV** = Cost Variance=BCWP-ACWP
if **CV>0** => **UNDERRUN** (gain of value)
if **CV<0** => **OVERRUN** (loss of value)
if CV=0 => **ON BUDGET**

**CI** = Cost Index = BCWP/ACWP
if **CI>1** => **UNDERRUN**
if **CI<1** => **OVERRUN** => new strategy
if CI=1 => **ON BUDGET**

**TIME INDICATORS**

**SV** = Schedule Variance = BCWP-BCWS
if **SV>0** => **AHEAD (gain of time)**
if **SV<0** => **BEHIND (loss of time)** => new strategy
if SV=0 => **ON SCHEDULE**

**SI** = Schedule Index = BCWP/BCWS
if **SI>1** => **AHEAD**
if **SI<1** => **BEHIND** => new strategy
if SI=1 => **ON SCHEDULE**

Figura 4: Cost/Time Indicators

Tra tutti gli indicatori quelli che vengono usati più frequentemente in ambito di risk management sono **CI**, **SI** perché vengono usati soprattutto per l'attivazione di quelle riserve che ad esempio servono ad incrementare le paghe delle risorse umane.

Ovviamente se un progetto è in ritardo con i tempi preventivati, sicuramente i contratti che sono stati stipulati inizialmente con il personale devono essere modificati, se si è ritardo devono essere allungati oppure un'altra soluzione potrebbe essere quello di aumentare le risorse nel caso in cui questo fosse possibile in modo da velocizzare la realizzazione.

**Stime a finire di progetto**

Dopo le fasi iniziali di progetto, quando si entra nei temi di programmazione dei tasks (WP) e nella pianificazione di tempi e costi non appena la fase di progettazione di una parte è conclusa e si inizia con la realizzazione di un'opera, ad esempio, si possono utilizzare degli indicatori che permetto di comprendere il valore monetario che si andrà a spendere a termine dell'opera considerando i vari avanzamento e ritardi.

Ovviamente le stime a finire dei costi inizialmente venivano eseguite tramite delle semplici formule matematiche, con lo sviluppo tecnologico per la definizione di tali stime sono stati utilizzati i metodi simulativi in primis fino ad arrivare all'adozione di metodi predittivi sofisticati (machine learning, le reti neurali, ecc).

Una delle primissime stime adottate per la stima dei costi a finire è L'EAC (Estimate at Completion):

$$\boldsymbol{EAC = ACWP + (BAC - BCWP)}$$

Questa stima viene definita in letteratura "original" proprio per il fatto che viene fatta in maniere preventiva all'inizio del progetto. Spesso si utilizza anche una stima "revise" ovvero aggiornata in fase di sviluppo dei lavori del progetto stesso, praticamente a differenza della precedente formula si adotta una correzione del secondo addendo per l'inverso del CI:

$$\boldsymbol{EAC = ACWP + \frac{(BAC - BCWP)}{CI}}$$

Spesso in alcuni tesi la stima "revise" si può trovare in forma semplificata in modo da semplificare gli input del problema:

$$\boldsymbol{EAC = \frac{BAC}{CI}}$$

Oltre alla stima a finire dei costi si utilizzano anche delle stime a finire riguardanti la durata di progetto e quindi tutto ciò che riguarda la gestione dei tempi di progetto, vengono utilizzate due tipologie diverse di stime, ovvero una "original" che viene fatta ad inizio progetto mentre una "revise" che può essere aggiornata in stato di avanzamento dei lavori.

La stima in questione spesso si trova con l'acronimo AC che sta per Actual Completion Date.

Le varie formule che si trovano spesso sono diverse tra loro, ma tutte partono dal concetto sintetizzato molto bene nella seguente formula:

$$\boldsymbol{AC = current\ date + \frac{REMAINING\ WORK}{Expected\ Work\ Rate}}$$

Utilizzando la simbologia adottata dai principali testi di PM in cui T sta per data corrente (Time Now) e BC che sta per Budget Completion time ovvero il tempo in cui si stima che il progetto potrà essere concluso subito prima dell'inizio dei lavori ovvero in una fase ex-ante alla realizzazione vera e propria.

La seguente formula descrive la stima a finire del tempo nel caso di ottica "original":

$$\boldsymbol{AC = T + (BAC - BCWP)\frac{BC - T}{BAC - BCWS}}$$

Nel caso di ottica "revise" la stima di AC risulta essere uguale a:

$$\boldsymbol{AC = \frac{BC}{SI}}$$

dove il valore di SI è il valore di Schedule Index precedentemente descritto

Come detto prima l'EAC è solo una stima di costo a finire che è affetta da incertezza anche per la definizione statistica stessa di stima. Infatti, in questo contesto si possono applicare anche dei metodi migliori per la stima a finire di tempi e costi che sono legati alla regressione e all'utilizzo di tecniche innovative come il machine learning precedentemente descritte.

## Metodi di analisi del rischio

L'analisi del rischio può essere applicata a molteplici contesti reali, infatti esistono numerose tecniche diverse di analisi che si adattano alle diverse situazioni reali e di ricerca pertanto esistono molteplici strumenti utilizzabili per effettuare determinati tipi di analisi.
Ovviamente questi strumenti adattandosi al contesto di riferimento in input possono avere dei dati diversi e in output anche, ma il fine ultimo per il quale i metodi vengono adottati resta simile: cercare di determinare correttamente la quota di CONTINGENCY da accantonare nel progetto.
In letteratura come detto esistono svariati metodi (*figura 5*) che possono essere catalogati anche in base agli obiettivi ma soprattutto gli usi. Ci sono dei metodi che sono utilizzati per analizzare e valutare diversi senari in base agli eventi rischiosi di cui si è tenuto conto nel progetto: Decision Tree analysis, Expected monetary value, SWOT Analysis (Strengths, Weakness, opportunity, and threats), SWIFT analysis and What-if Analysis.
Inoltre, ci sono altre tecniche che vengono utilizzate per indagare sulle origini e l'implicazione del rischio in modo da stabilire una sorta di catena che inizia dalla causa scatenante di un determinato rischio e il suo effetto futuro: Diagrammi causa effetto, grafici di eventi e fattori casuali, la tecnica dei 5 PERCHE' (5 WHYS), ETA (Event Tree Analysis), FTA (fault tree analysis).

Table 1. Risk management techniques.

| No. | Technique | Reference |
|---|---|---|
| 1 | Brainstorming | Chapman and Ward (2003) |
| 2 | Cause and effect diagram or Cause Consequence Analysis (CCA) | Project Management Institute (2008) |
| 3 | Change Analysis (ChA) | Mullai (2006) |
| 4 | Checklist | Project Management Institute (2008) |
| 5 | Decision Tree Analysis | Lyons and Skitmore (2004) |
| 6 | Delphi | Project Management Institute (2008) |
| 7 | Event and Causal Factor Charting (ECFCh) | Mullai (2006) |
| 8 | Event Tree Analysis (ETA) | Mullai (2006) |
| 9 | Expected Monetary Value (EMV) | Project Management Institute (2008) |
| 10 | Expert Judgement | Project Management Institute (2008) |
| 11 | Fault Tree Analysis (FTA) | Eidesen, Sollid, and Aven (2009) |
| 12 | Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) | Bouti and Kadi (1994) |
| 13 | Failure Mode and Effects Criticality Analysis (FMECA) | Bouti and Kadi (1994) |
| 14 | Fuzzy Logic | Bellagamba (1999) |
| 15 | Hazard and Operability (HAZOP) | Kletz (1999) |
| 16 | Hazard Review (HR) | Mullai (2006) |
| 17 | Human Reliability Assessment (HRA) | Lyons et al. (2005) |
| 18 | Incident Reporting (IR) | Cinotti (2004) |
| 19 | Interviews | Project Management Institute (2008) |
| 20 | Monte Carlo | Project Management Institute (2008) |
| 21 | Pareto Analysis (PA) or ABC analysis | Rebernik and Bradač (2008) |
| 22 | Preliminary Hazard Analysis (PHA) | Adler et al. (2003) |
| 23 | Risk Breakdown Matrix (RBM) | Hillson, Grimaldi, and Rafele (2006) |
| 24 | Risk Breakdown Structure (RBS) | Hillson (2002a) |
| 25 | Risk Mapping, Risk Matrix, Probability and Impact Matrix | Project Management Institute (2008) |
| 26 | Risk Probability and Impact Assessment, Risk Ranking/ Risk Index | Project Management Institute (2008) |
| 27 | Sensitivity analysis | Chapman and Ward (2003) |
| 28 | Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats (SWOT) | Emblemsvåg and Kjølstad (2002) |
| 29 | SWIFT Analysis | Mullai (2006) |
| 30 | What-if Analysis | Mullai (2006) |
| 31 | '5 Whys' Technique | Mullai (2006) |

*Figura 5: Tecniche di Risk Management*

Una delle tecniche più utilizzate nella gestione del rischio nei progetti soprattutto relativi alle costruzioni è la Risk Breakdown Matrix, tramite la quale dopo una classificazione preliminare dei rischi adottando il metodo dell'EMV si arriva alla definizione di un costo economico (CONTINGENCY BUDGET) che corrisponde all'ammontare economico che deve essere accantonato per far fronte ai determinati rischi.
Ovviamente il CONTINGENCY budget muta nel corso del progetto proprio perché la RBM varia nell'evoluzione di progetto e quindi si deve tener conto sia dell'accadimento di determinati rischi sia dell'introduzione di nuovi rischi che magari prima erano stati omessi oppure di nuovi rischi che si potrebbero verificare nel corso d'opera del progetto.

## Risk Breakdown Matrix

### Introduzione alla RBM

Una delle aree fondamentali da gestire all'interno di un progetto è la gestione del rischio derivante da incertezze. Il rischio è un evento aleatorio che potrebbe verificarsi o meno; verificandosi potrebbe andare ad inficiare il raggiungimento di determinati obiettivi all'interno di un progetto.
Ovviamente nei progetti, soprattutto quelli di grandi dimensioni, il rischio potrebbe essere dovuto ad una quantità enorme di fonti e conseguentemente gli effetti sul progetto potrebbero essere anch'essi rilevanti soprattutto in quantità.
Solitamente il processo di analisi del rischio come output da un elenco lungo dei rischi che spesso è molto difficile da capire.
L'elenco dei rischi può essere molto più utile se viene data una priorità ai vari rischi di progetto. Nonostante l'uso di un elenco prioritario non si aveva una comprensione della struttura dell'esposizione al rischio di un progetto.
Per questo motivo si utilizza una struttura a matrice che permette di comprendere meglio i rischi di progetti e di categorizzarli (Hillson, 2002).
Matematicamente la RBM è una matrice frutto dell'unione tra RBS (Risk Breakdown Structure) e la WBS (Work Breakdown Structure che è struttura analitica del progetto o lavoro che si vuole svolgere, si tratta di un albero in cui vengono elencate tutte le possibili attività di un progetto: esempio *figura 6*).

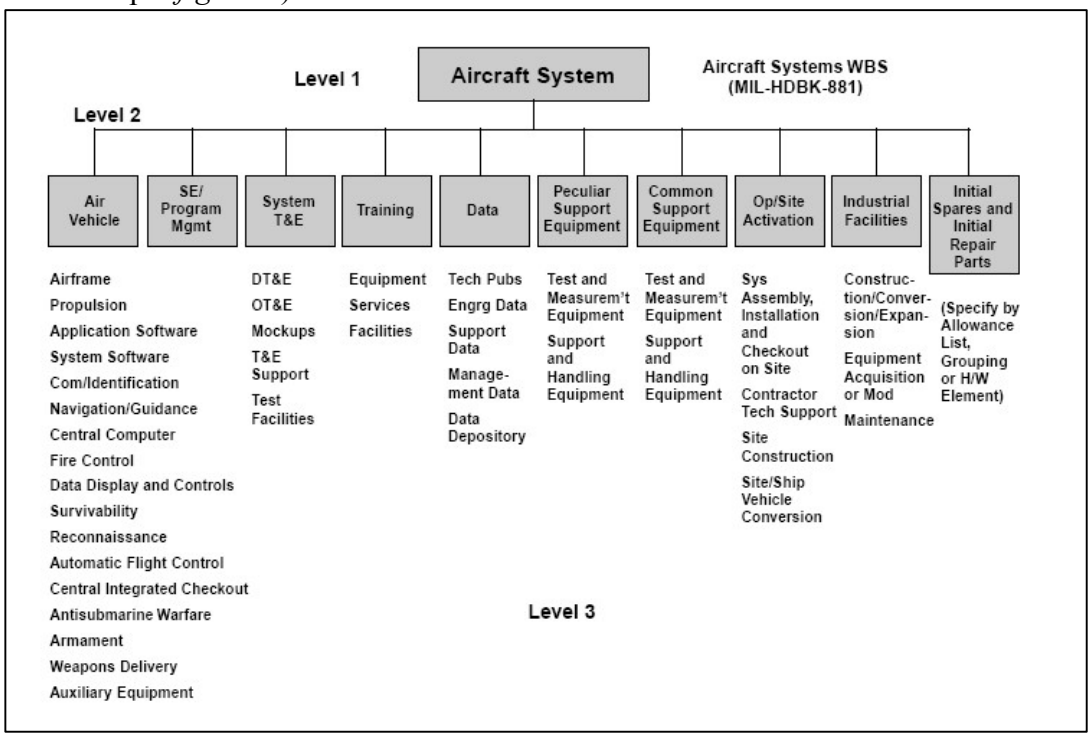



*Figura 6: WBS, esempio di un Aircraft System*

## RBS (Risk Breakdown Structure)

La RBS (Hillson, 2002). aveva come obiettivo metodologico principale quello di dare un quadro riassuntivo (e standardizzato per varie tipologie di progetti) dei rischi che possono essere presenti all'interno di un progetto.

La RBS è una struttura gerarchica (spesso a livelli di dettaglio diversi dal più generico a quello più specifico e dettagliato) delle possibili potenziali fonti di rischio che possono essere presenti all'interno di un progetto, ovviamente esistono delle versioni standardizzate ma la metodologia più diffusa è quella di partire da RBS standard adattandole a progetti ad hoc.

Ad esempio in *figura 7* si può osservare una struttura di RBS utilizzata nell'ambito dello sviluppo software (Dorofee et al, 1996) e in *figura 8* una adottata nell'ambito del Costruction Design (Chapman, 2001):

| LEVEL 0 | LEVEL 1 | LEVEL 2 | LEVEL 3 |
|---|---|---|---|
| Project risk | Product engineering | Requirements | Stability |
| | | | Completeness |
| | | | Feasibility |
| | | | …etc… |
| | | Design | Functionality |
| | | | Interfaces |
| | | | Testability |
| | | | …etc… |
| | | Code & unit test | Feasibility |
| | | | Testing |
| | | | Coding/implementation |
| | | | …etc… |
| | | Integration test | Environment |
| | | | Product |
| | | | System |
| | | | …etc… |
| | | Engineering specialities | Maintainability |
| | | | Reliability |
| | | | Security |
| | | | …etc… |
| | Development environment | Development process | Formality |
| | | | Process control |
| | | | Product control |
| | | | …etc… |
| | | Development system | Capacity |
| | | | Reliability |
| | | | System support |
| | | | …etc… |
| | | Management process | Planning |
| | | | Project organisation |
| | | | Management experience |
| | | | …etc… |
| | | Management methods | Monitoring |
| | | | Configuration management |
| | | | Quality assurance |
| | | | …etc… |
| | | Work environment | Cooperation |
| | | | Communication |
| | | | Morale |
| | | | …etc… |
| | Program constraints | Resources | Staff |
| | | | Budget |
| | | | Facilities |
| | | | …etc… |
| | | Contract | Type of contract |
| | | | Restrictions |
| | | | Dependencies |
| | | | …etc… |
| | | Program interfaces | Customer |
| | | | Subcontractors |
| | | | Corporate management |
| | | | …etc… |

Figura 7: RBS Software Development

| LEVEL 0 | LEVEL 1 | LEVEL 2 | LEVEL 3 |
|---|---|---|---|
| Project risk | Environment | Statutory | Planning approval delay |
| | | | Legislation changes |
| | | | Ecological constraints |
| | | | …etc… |
| | Industry | Market | Increase in competition |
| | | | Change in demand |
| | | | Cost/availability of raw materials |
| | | | …etc… |
| | Client | Client team | Client representative fails to perform duties |
| | | | No single point of contact |
| | | | Client team responsibilities ill-defined |
| | | | …etc… |
| | | PM team | Inadequate project management controls |
| | | | Incorrect balance of resources & expertise |
| | | | PM team responsibilities ill-defined |
| | | | …etc… |
| | | Targets | Project objectives ill-defined |
| | | | Project objectives changed mid-design |
| | | | Conflict between primary & secondary objectives |
| | | | …etc… |
| | | Funding | Late requirement for cost savings |
| | | | Inadequate project funding |
| | | | Funds availability does not meet cashflow forecasts |
| | | | …etc… |
| | | Tactics | Brief changes not confirmed in writing |
| | | | Change control procedure not accepted |
| | | | Unable to comply with design sign-off dates |
| | | | …etc… |
| | Project | Team | Poor team communication |
| | | | Changes in core team |
| | | | Inadequate number of staff |
| | | | …etc… |
| | | Tactics | Cost control … |
| | | | Time control … |
| | | | Quality control … |
| | | | Change control … |
| | | Task | Site… |
| | | | Design… |

Figura 8: RBS Construction Design

L'uso della RBS garantisce in anzitutto che tutte le aree che caratterizzano il rischio in un progetto siano state toccate, ovviamente resta sempre il pericolo che qualche rischio oppure categoria di rischio non sia stata inserito all'interno di questa.

Infine, l'RBS riamane uno strumento prezioso che permette di comprendere al Project Manager o Risk Manager quale siano i rischi che influenzano il progetto e lo aiutano in una migliore gestione dei rischi di progetto.

Infatti, anche secondo il PMI (Project Management Institute) l'RBS è fondamentale per: identificazione del rischio, valutazione del rischio, confronto delle alternative concorrenti, segnalazione dei rischi.

## Costruzione della RBM

Definite le strutture di WBS e RBS una strategia permette di unire queste due strutture gerarchiche. Sostanzialmente RBS e WBS vengono combinate insieme per produrre una matrice che sia di ausilio per il project team che sta seguendo un progetto.
Infatti in una dimensione della matrice vengono messi i Work Package della WBS ovvero le attività a livello più basso della WBS, praticamente, le attività più operative; di contro nella RBS dopo un'ulteriore scomposizione gerarchica vengono messi i livelli di rischio più bassi.
A questo punto si viene a creare una mappa (matrice) tra le due dimensioni, un collegamento viene creato se e solo se un determinato rischio può influire in uno specifico WP.
In *figura 9* un esempio di RBM utilizzato per la gestione del rischio in un progetto di costruzione di un ponte.

| | | | | | Project Risk | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | External risk | | | | | | | | Internal risks | | | | | |
| | | | | | Supplier | Trasportation | Economic and political | | | Urban and cultural aspects | | Natural | Human | | Planning | Technical | | Commercial |
| | | | | | Supplier risks | Ship/earth transportation | Delayed permits and authorization | Wars and community protests | Currency exchange rate volatility | Visual impact | Archaeological sites | Weather condition | Earthquake | Strike | Disease and /or accident | Failure in planning, request for changes | Inadequate training | Unavailability of equipment | Contractual changes/error, disputes |
| 1.1 | SHOP DRAWING | | GEOLOGICAL SURVEY & PILES | I | | | | | | | 3 | | | | | 1 | | |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0 | 0 |
| | | | STAY CABLE BRIDGE | I | | | | | | 2 | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | | |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0 | 0 |
| | | | SWING BRIDGE | I | | | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | | |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0 | 0 |
| | | | METRO STATION ENTRANCE | I | | | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | | |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0 | 0 |
| | | | CLIENT APPROVAL SWING BRIDGE | I | | | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | 4 | | |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,04 | 0,02 | 0,04 | 0 | 0 |
| | PURCHASE | REQUEST FOR PROPOSALS | HEIDELBERG CEMENT | I | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | | WAAGNER-BIRO | I | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | | VINCI | I | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | COLLECTION OF PROPOSALS | HEIDELBERG CEMENT | I | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | | WAAGNER-BIRO | I | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | | VINCI | I | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | COMPETITIVE PROPOSAL ANALYSIS AND ORDERS PLACEMENT | HEIDELBERG CEMENT | I | | | | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0,01 | 0 | 0,03 |
| | | | WAAGNER-BIRO | I | | | | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0,01 | 0 | 0,03 |
| | | | VINCI | I | | | | | | | | | | 1 | 1 | | 1 | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0,01 | 0 | 0,03 |
| | GENERAL MOBILIZATION | MOBILIZATION | HEIDELBERG CEMENT MOBILIZATION | I | | | 2 | 2 | 1 | | | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0 | 0,02 | 0,12 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | | WAAGNER-BIRO MOBILIZATION | I | | | 2 | 2 | 1 | | | 1 | | 1 | 1 | | | | 1 |
| | | | | R | 0 | 0 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0 | 0,02 | 0 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,03 |
| | | | DEMOBILIZATION | I | | | 2 | 2 | 1 | | | | 2 | 1 | 1 | | | | |
| | | | | R | 0 | 0 | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0,12 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | COSTRUCTION PILES | P3-1 OFF SHORE PILE | I | 6 | | | 2 | 1 | | | 1 | 3 | | | | | 1 | |
| | | | | R | 0,12 | 0 | 0 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0 | 0,02 | 0,18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 0 |
| | | | SCAFFOLDING | I | | 1 | | 2 | 1 | | | 1 | 2 | 1 | 1 | | | 1 | |
| | | | | R | 0 | 0,03 | 0 | 0,06 | 0,02 | 0 | 0 | 0,02 | 0,12 | 0,02 | 0,02 | 0 | 0 | 0,02 | 0 |
| | | | | I | | 1 | | 2 | 1 | | | 1 | 3 | 1 | 1 | | | 1 | |

*Figura 9: RBM in Construction Project*

In una generica RBM come quella della figura precedente è possibile ottenere una valutazione del livello di criticità per un singolo WP, in termini assoluti o relativi ad altri Work Package.
Il grado di criticità per WORK PACKAGE viene calcolato tramite la seguente formula:

$$R_{WP,i} = \sum_{j=1}^{n} P_{i,j} \;\; I_{i,j}$$

*Equazione 2: Formula per il calcolo del rischio di ogni WP*

$$R_{WP,i} = incidenza\ globale\ dei\ rischi$$
$$P_{i,j} = probabilità\ di\ accadimento\ del\ rischio\ j\ nel\ work\ package\ i$$
$$I_{i,j} = impatto\ del\ rischio\ j\ nel\ work\ package\ i$$

Effettuando una somma delle colonne si va ad identificare il rischio più influente all'interno del progetto. Inoltre, un'ulteriore attenzione dovrebbe essere mirata a considerare quale è il valore massimo di R all'interno della matrice, con massimo s'intende massimo di riga e colonna, individuando questo punto (o più punti) nella matrice si individua il rischio maggiore collegato all'attività più rischiosa di progetto.

Riempita la matrice RBM, si deve calcolare l'ammontare di budget da accantonare per costituendo una vera e propria riserva che prende il nome di CONTINGENCY.
La CONTINGENCY non è altro che una riserva di gestione in cui si alloca una quantità monetaria in grado di mitigare un rischio senza implementare una strategia a priori che risulterebbe molto costosa.
Per quanto riguarda il calcolo, presa la RBM si considerano i costi diretti di ogni WP che costituiscono il progetto e si calcola il prodotto tra ogni singolo costo diretto e i singoli rischi scelti prima con dei metodi prioritari (come ad esempio l'AHP) in modo da costituire questa riserva monetaria. Il calcolo del CONTINGENCY nello specifico verrà approfondito in seguito.
Tra le tecniche di calcolo del CONTINGENCY BUDGET una delle più utilizzate è quella di seguire l'analisi dei rischi tramite il framework della matrice RBM descritta precedentemente.
Ad esempio nel caso di un progetto relativo alla costruzione di un'infrastruttura, analizzati tutti i rischi per determinare l'ammontare da accantonare all'interno della riserva di CONTINGENCY si procede seguendo l'algoritmo:
***STEP 1)*** si sommano tutte le p (probabilità) e le I (magnitudo) relativi ai relativi rischi precedentemente analizzati tramite la RBS e incrociate dalla WBS e si inseriscono all'interno di una tabella (*figura 10*)
***STEP 2)*** I numeri della tab.1 possono essere plottati in un diagramma cartesiano avente nell'asse delle ordinate le probabilità e in quello delle ascisse gli impatti (magnitudo del rischio). Pertanto i punti risultano essere rappresentati come in *figura 11:*

| | p (sum of probabilities) | I (sum of impacts) |
|---|---|---|
| Supplier risks | 14 | 22 |
| Ship/earth transportation | 42 | 14 |
| delayed permits and authorization | 6 | 6 |
| Wars and community protests | 75 | 50 |
| Currency exchange rate volatility | 36 | 18 |
| Visual impact | 2 | 2 |
| Archaeological sites | 2 | 3 |
| Weather condition | 24 | 12 |
| Earthquake | 102 | 41 |
| Strike | 58 | 29 |
| Disease and /or accident | 56 | 32 |
| Failure in planning, request for changes | 12 | 6 |
| Inadequate training | 7 | 19 |
| Unavailability of equipment | 26 | 13 |
| Contractual changes/error,disputes | 33 | 11 |

*Figura 10: Classificazione probabilità ed impatti per ogni rischio*

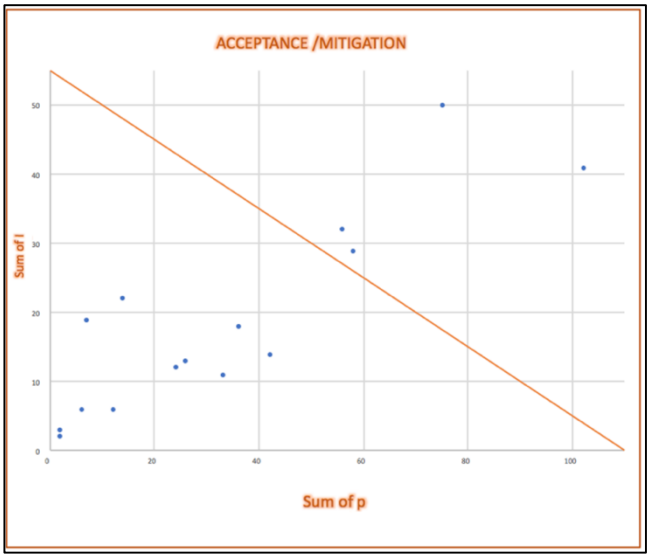



*Figura 11: Schema di accettazione e mitigazione*

Il fine fondamentale di plottare il rischio praticamente serve al decisore per comprendere quali strategie adottare per ogni rischio in base a dove si trova il punto. Se il punto plottato si trova sopra la linea arancione (linea di indifferenza), allora le attività che incrociano un determinato rischio seguiranno delle strategie di risk management di trasferimento o mitigazione, ovvero i rischi relativi ai WP (WorkPackage) potranno essere dati in outsurcing ad un'altra società come un'assicurazione ad esempio oppure accollate ad altre società che si occupano di Risk Management. Tutti i punti del grafico che si trovano al di sotto della linea arancione e i rischi relativi a tali punti dovranno essere accettati nel senso che il PM insieme al Project Team dovrà accantonare una cifra per tutti questi rischi che potrebbero accadere nel corso del progetto. Questa cifra sarà calcolata come somma di tutte le colonne dei rischi da accettare e quindi dei relativi p x I. Inoltre per semplicità il valore di CONTINGENCY BUDGET spesso viene fornito come una percentuale del BAC (Budget at completion of project).

## Determinazione contingency e relativa analisi del rischio

### Introduzione

Il calcolo della riserva per il rischio di progetto, nasce per dare un'idea di base al rischio per i proprietari. Infatti, il valore economico di questa metrica è un'approssimazione di quanto sia rischioso il progetto (o processo) che si sta progettando, permette inoltre anche di capire quanto sarà grande il gap tra i costi diretti che sono stati calcolati inizialmente il valore vero da "sborsare" a fine progetto.
Infatti l'insieme finale dei costi di progetto, che andrà poi a costituire il prezzo finale che dovrà essere presentato in una gara d'appalto, ad esempio, è costituito fondamentalmente da due macro-componenti che sono: il costo base e il costo di contingency.
La prima parte di quest'insieme è costituita da tutti i costi necessari che servono per la realizzazione del progetto e in ciò ricadono quei costi che si debbono sostenere sicuramente per la realizzazione di un'opera o un processo.
La seconda parte che è il valore del contingency budget è definito come una riserva che serve particolarmente per la copertura da rischi ed incertezze che possono avvenire nella realizzazione di un progetto.
Quest'ultima parte solitamente viene calcolata come una percentuale dei costi totali di progetto, appunto proprio per conferire una definizione di indicatore di rischio del progetto.
Alcune imprese, soprattutto quelle di management ultimamente hanno affinato dei metodi per la stima di questo valore economico tramite degli approcci probabilistici e di ottimizzazione.
Inoltre, oltre ad utilizzare dei metodi di stima del valore di questa riserva, sono adottati anche dei metodi che servono per la stima del contingency nel corso del progetto che sicuramente sia con la prima fase di progettazione di evoluzione dell'esecuzione del progetto poi, dovrebbe sempre più diminuire.
I metodi di calcolo e stima per il contingency budget sono stati categorizzati dall'Association for Advancement of Cost Engineering in quattro grandi gruppi:

1) Expert Judgement
2) Linee guida predeterminate
3) Metodi simulativi che includono la stima del range di contingency e il valore atteso
4) Modelli parametrici

Altri studiosi, come ad esempio Schneck e altri, sono soliti raggruppare questi metodi in due grandi gruppi:

1) Metodi deterministici
2) Metodi probabilistici

Un'ultima classificazione, molto vicina a quella precedente di Schneck, è stata quella fatta da Ali Touran nel 2014, molto semplice e intuitiva, sostanzialmente i metodi adottati per il calcolo della riserva per le coperture di rischio presente nei progetti vengono suddivisi in tre grandi macro-gruppi (configurazione utilizzata nel presente lavoro):

1) **Metodi deterministici**
2) **Metodi probabilistici**
3) **Metodi matematici moderni**

## Metodi deterministici

I metodi deterministici sono i metodi più antichi e semplici per il calcolo del contingency budget. Essi sono molto usati anche oggi dagli OWNER quando non c'è il tempo di applicare framework di calcolo più complicato oppure quando non si hanno delle risorse umane ed economiche per farlo. Questi metodi effettivamente non hanno la "capacità" di comprendere i rischi di progetto e neanche possono arrivare a determinare con un'incertezza discreta il valore di rischio di progetto, sono dei metodi che servono per dare un'idea sommaria del rischio che avrà un determinato progetto e di quanto sia la percentuale da accantonare affinché il progetto sia potenzialmente terminabile. I due metodi che saranno analizzatati sono:

- **Percentuali predefinite** (linee guida determinate ex-ante la pianificazione di progetto)
- **Expert Judgement**

### Percentuali predefinite

Quest'approccio è il metodo di calcolo più semplice per l'allocazione della contingency, consiste sostanzialmente nell'usare una percentuale, già stimata tramite altri esempi di progetti precedenti, da applicare ad ogni singolo WP di progetto collegato ad un determinato rischio, facendo in seguito una media ponderata si stima la percentuale totale di contingency da applicare direttamente alla somma dei costi totali di progetto, in modo da definire a quanto ammonta il valore economico da stimare per la riserva di rischio progettuale.
Ovviamente, ogni impresa di management, anche a seconda dei progetti analizzati, utilizza dei metodi diversa di stima della contingency.
Inoltre, esistono delle associazioni o enti che stimano le percentuali di contingency in base a delle particolari caratteristiche di progetto come ad esempio la dimensione di progetto, la fase di avanzamento di progetto, la tipologia di progetto.
Uno dei principali vantaggi di questa tecnica è la velocità di applicazione, il costo e la formazione delle risorse. Infatti, per il calcolo di una percentuale diretta da applicare ai costi di progetto non servono delle risorse particolarmente esperienti, in quanto si tratta solo ed esclusivamente di effettuare un'operazione di percentuale ad un ammontare economico che si ha come dato del problema.

### Expert Judgment

L'approccio di expert judgment è molto simile al metodo descritto precedentemente (percentuali predefinite), l'unica differenza tra i due metodi è che il metodo in questione non utilizza delle percentuali predefinite, bensì utilizza il parere di un gruppo di esperti che conoscono a fondo il mondo del risk management relativo ad un determinato progetto e anche grazie all'esperienza personale riescono a definire, tramite dei metodi che sono prettamente soggettivi, la percentuale finale da applicare alla somma totale dei costi diretti di progetto.
Inoltre, come il metodo precedente non fornisce con un'incertezza o un livello di confidenza di quanto il metodo realmente sbagli.
Il metodo risulta essere molto veloce, però ci possono essere degli errori molto grandi in dei progetti dovuti ad esempio a degli sbagli umani di definizione di questa famosa percentuale che creano dei BIAS all'interno del progetto e finiscono per determinare delle contingency che possono essere errate sia in positivo che in negativo, tutto ciò ovviamente è effettuato alle spese dell'OWNER. Per le caratteristiche descritte questi due metodi non risultano particolarmente sicuri per la stima di una riserva molto importante pertanto, vengono utilizzati ma spesso non direttamente, ovvero sono usati solo come confronto con metodi più logici e meno soggettivi in modo da comprendere se un metodo più sofisticato come ad esempio una simulazione o un approccio probabilistico stia funzionando veramente.

## Metodi probabilistici

I metodi probabilistici, attualmente, sono i metodi più utilizzati per la stima della contingency, questi metodi hanno una principale differenza con i metodi deterministici in quanto utilizzano delle distribuzioni statistiche per modellare l'incertezza all'interno di un determinato modello di partenza (progetto).
La stima del costo di contingency è effettuata tramite l'utilizzo di metodi predittivi rispetto al costo totale diretto di progetto che viene implementato durante un determinato intervallo temporale.
Una caratteristica dei metodi probabilistici è che nella stima danno un riferimento al livello di confidenza (che viene definito dai soggetti che finanziano il progetto come ad esempio il project sponsor o altri stakeholders che hanno degli interessi particolari) con cui i è stimato il valore economico della riserva che comprende l'insieme delle coperture, ciò è possibile in quanto si utilizzano delle distribuzioni di costo.
In questi modelli le incertezze e i rischi sono incorporati all'interno della stima di costo e l'obiettivo non è quello di calcolare una stima puntuale del contingency budget bensì quella di terminare un intervallo di confidenza.
A differenza dei modelli precedenti che erano caratterizzati da una spiccata semplicità, questi modelli hanno bisogno di conoscenze e risorse che siano formate per l'applicazione di questi metodi, infatti per l'applicazione di questi modelli si deve avere una conoscenza completa della teoria della probabilità e dei concetti fondamentali di statistica.
Proprio per quest'ultimo motivo i metodi probabilistici hanno il vantaggio di dare una stima dell'incertezza del valore di contingency calcolato però per la loro applicazioni servono tempi e budget che se non ben organizzati possono creare dei problemi al progetto.
Inoltre una stima più approfondita di questo livello di confidenza e del range in cui si muoverà il contingency budget viene fatta tramite l'utilizzo di metodi simulativi, in cui vengono analizzati degli scenari differenti di progetto per avere una stima più veritiera di rischio a seconda di alcune situazioni che possono cambiare.
In questa sezione saranno analizzati due macro-categorie di metodi probabilistici:

- **Metodi non simulativi**
- **Metodi simulativi**: Simulazione MonteCarlo, Stima del range, Modelli integrati per costi e time schedule

## Metodi non simulativi

Questa macro-area racchiude tutti quei metodi tramite i quali si analizzano i rischi e si calcola il contingency senza l'utilizzo di software simulativi, quindi le imprese di gestione dei progetti da un punto di vista non devono investire in licenze di software di simulazioni che molto spesso sono costose (anche se oggi con lo sviluppo tecnologico ed informatico i pacchetti di software simulativi sono praticamente diffusi e addirittura si trovano dei tools opensource che sono applicabili anche ad excel), ma di contro però ciò è un limite in quanto problemi relativi a quello di risk management sono problemi assai e complessi e spesso i metodi semplici non sono adottabili per la risoluzione di questi e pertanto la simulazione rimane esclusivamente l'unico strumento di analisi.

Infatti, proprio per quest'ultimo motivo i metodi non simulativi sono utilizzati nelle fasi antecedenti la pianificazione di progetto (fase in cui il progetto si trova in uno stato incompleto) in quanto si sfrutta la semplicità per la costruzione di modelli base.

Uno dei vantaggi dei metodi non simulativi è che spesso vengono adottati in aiuto dei metodi simulativi in quanto questi ultimi in alcuni casi non hanno una soluzione che converge ad un risultato vero e proprio.

I metodi simulativi che saranno analizzati:

- **Albero delle probabilità (Probability Tree)**
- **FOSM (First-Order / Second-Moment)**
- **EV (Expected Value, molto usata anche la versione EMV)**
- **PERT (Program Evaluation and Review Technique)**
- **Stima parametrica (Parametric Estimating)**
- **Regressione**
- **AHP**
- **RFMEA Method**
- **OBS (Optimism Bias Uplifts)**

## Albero delle probabilità (Probability Tree)

Il concetto di albero della probabilità è un metodo molto antico che è stato implementato inizialmente per la risoluzione di problemi legati alla statistica e alla teoria della probabilità in matematica. Gli alberi nascono, principalmente, per creare tramite un diagramma che deve essere semplice, un'immagine mentale che semplifichi una situazione più o meno complessa e permetta una comprensione rapida e semplice di un determinato problema. Nell'ambito di risk management gli alberi delle probabilità sono utilizzati per eseguire una separazione di tutti i rischi di progetto, magari dividendoli in base a delle categorie, una volta eseguita questa divisione i rischi "fondamentali" di progetto vengono divise in delle unità base di rischio che sommate danno il valore di rischio di un progetto. Inoltre, i valori di rischio possono essere pesati a seconda della loro probabilità di accadimento dato che come si vede dalla *figura 12* l'albero è un oggetto matematico costituito da dei nodi e da degli archi che vengono modellizzati utilizzando valori di probabilità di accadimento ed impatti.

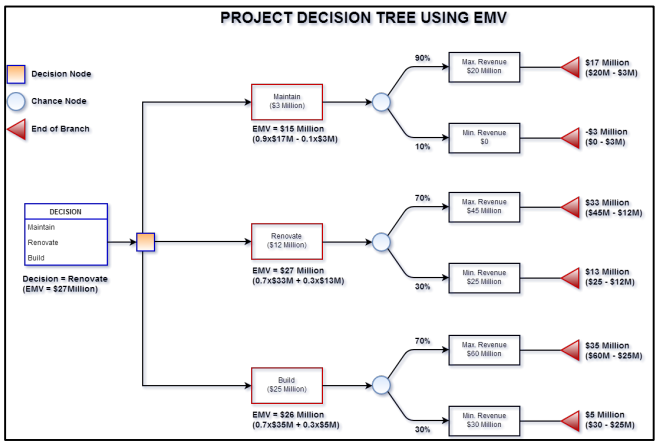



*Figura 12: Decision Tree*

Per di più questo metodo è molto versatile in quanto anche grazie al contributo di studiosi celebri nella storia della teoria dei grafi come Kirchooff, esiste un teorema che afferma che ogni albero associato alla modellizzazione di un determinato problema può essere sempre trasformato in una relativa matrice (*figura 13*).

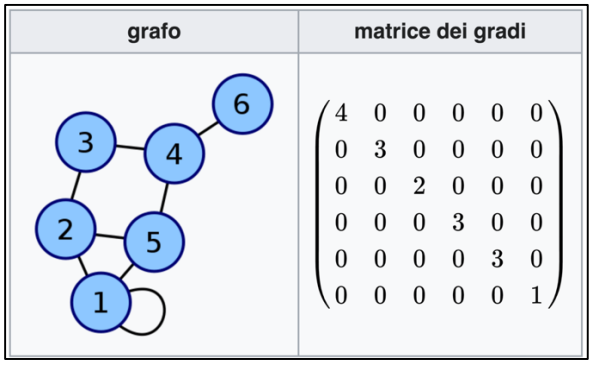



*Figura 13: Relazione Grafo-Matrice*

Questo teorema che può essere molto semplice nella sua enunciazione ma è di una potenza elevata in quanto dei problemi complessi sono ridotti tramite l'utilizzo di un metodo grafico piuttosto semplice, dopo ciò questo schema concettuale veloce da comprendere è trasformabile in un oggetto matematico che è la matrice tramite la quale si possono fare dei calcoli e stimare delle statistiche di progetto molto importanti per il Project Management.

**Diagramma di ISHIKAWA**

Uno dei metodi che viene più adottato nella gestione del rischio anche per la sua semplicità di implementazione legato ad un relativo basso costo è il diagramma causa effetto che venne inventato da Kaoru Ishikawa un ingegnere e professore universitario giapponese impegnato maggiormente nel campo del controllo qualità nei processi industriali.
Il suo framework ebbe sin dall'inizio molta diffusione in quanto era molto semplice ed intuitivo, in letteratura questo metodo viene anche soprannominato metodo delle 4M in quanto vengono analizzati 4 concetti fondamentali di un progetto (processo) ovvero:

- **Materiali:** Fornitori, risorse non umane adoperate…
- **Manodopera:** risorse umane, addestramento, corsi di formazione…
- **Macchine:** macchine, mezzi di trasporto, mezzi di carico…
- **Metodi:** tecniche di costruzione, cicli di produzione, programmazione, tecniche di approvvigionamento dei materiali…

Il metodo ha come fine quello di individuare le cause più probabili che portano ad un determinato effetto (o impatto) in un determinato progetto.
Il diagramma rappresentato in *figura 14* viene solitamente letto da destra verso sinistra in analogia con la logica di induzione a ritroso (backward induction) ovvero si parte da un effetto che potrebbe esserci nel problema e si analizzano le relative cause che hanno potuto portare ad un determinato effetto.

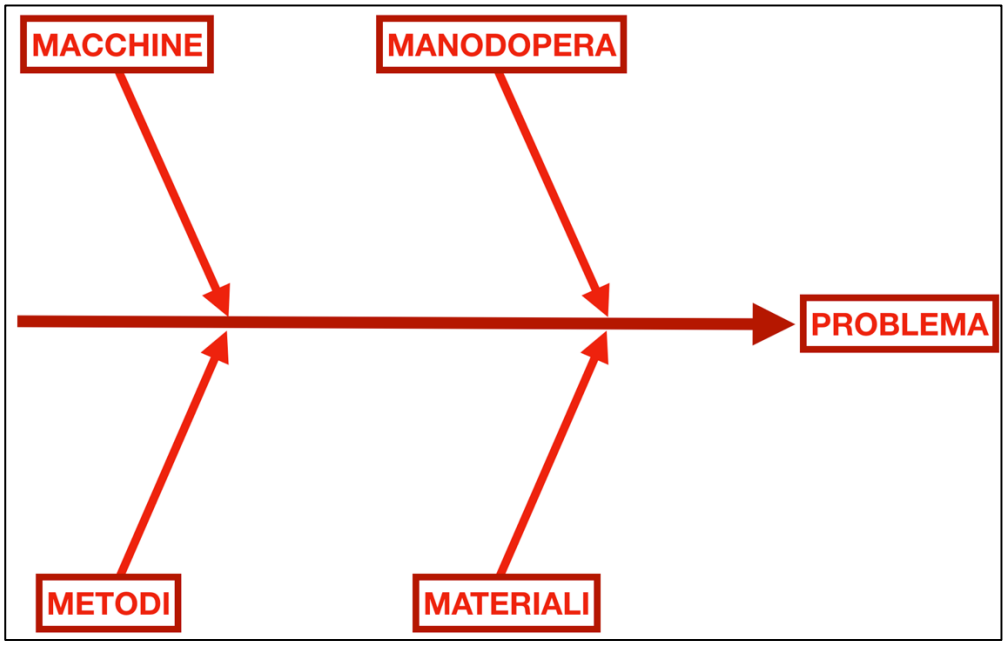



*Figura 14: Diagramma di Ishikawa*

Un'analisi di questo tipo serve a comprendere delle cause che hanno portato a generare alcuni possibili effetti di un determinato problema in modo da prevenirlo in futuro.
Inoltre, questo modello può essere "scalato" per ogni singola M, nel senso che ogni causa può diventare un effetto di un altro diagramma causa effetto in modo da andare a ritroso a trovare le cause principale di un determinato progetto che hanno generato determinati impatti e conseguenze.
Inoltre, questo framework è anche usato al termine di progetti per prevenire dei rischi in progetti futuri di analoga tipologia o dimensione.

## FOSM (First-Order Second-Moment)

I metodi FOSM (Haldar &Mahadevan, 2000) sono dei metodi approssimativi, sempre non simulativi che hanno come obiettivo principale quello di calcolare la media e la deviazione standard di funzioni complesse.
Il metodo consiste nel linearizzare una funzione di probabilità usando dei metodi analitici come lo sviluppo in serie di Taylor applicato ad un determinato punto (media della funzione).

### Principi matematici-statistici del metodo

Si consideri una funzione y che trasforma una variabile casuale X in una variabile casuale Y, ciò può essere sintetizzato nella formula seguente:

$$\boldsymbol{Y = y(X)}$$

*Equazione 3: Funzione di trasformazione da X a Y*

La media o momento del primo ordine $\boldsymbol{E(Y)}$ $(= \int_{-\infty}^{+\infty} y(x)\, p_X(x)dx)$ e la varianza o momento del secondo ordine $\boldsymbol{var(Y)}$ $(= \int_{-\infty}^{+\infty}[y(x) - E(Y)]^2 p_X(x)dx)$.
dove $\boldsymbol{p_X}$ indica la funzione di densità di probabilità della variabile casuale X.
Spesso nella gestione dei progetti però non è molto facile calcolare il valore di questi due momenti proprio perché i dati non sono disponibili sempre nel formato ottimale per il calcolo e non di rado non si conosce la distribuzione di probabilità della variabile casuale X.
Inoltre, anche quando si conosce la distribuzione di $\boldsymbol{p_X}$ per i calcoli statistici è richiesta da parte dei calcolatori una quantità di tempo non trascurabile.
Uno dei vantaggi di questo metodo è quello di stimare l'incertezza in OUTPUT di un problema senza conoscere la forma della distribuzione in INPUT della funzione di densità di probabilità.
Ad esempio, si consideri una funzione Y come una funzione costituita da una serie di variabili casuali:

$$\boldsymbol{Y = y(X_1, X_2, \dots, X_n)}$$

Utilizzando lo sviluppo in serie di Taylor per il calcolo dei valori medi della funzione Y e mantenendo esclusivamente i termini del primo ordine della serie risulta che:

- per definizione la media della funzione di partenza Y risulta essere descritta dalla seguente formula

$$\boldsymbol{E(Y) = y(\mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xn})}$$

*Equazione 4: Media di una funzione generica*

- Per il calcolo relativo alla deviazione standard, si deriva facilmente dal calcolo della varianza utilizzando i termini dello sviluppo in serie di Taylor rappresentati dalla seguente formula

$$\boldsymbol{var(Y) = E\left[\left(\sum_{i=1}^{n}(X_i - \mu_{x1})\frac{\partial y}{\partial X_i}\right)^2\right]}$$

*Equazione 5: Varianza di una funzione*

Espandendo la l'equazione 5 e calcolando le relative derivate parziali, introducendo il termine di covarianza l'equazione relativa al calcolo della varianza risulta così trasformata:

$$\boldsymbol{var(Y) = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial y}{\partial X_i}\right)^2 var(X_i) + 2 \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n-1} \left(\frac{\partial y}{\partial X_i}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial X_j}\right) cov(X_i, X_j)}$$

*Equazione 6: Varianza di una funzione considerando il termine di covarianza*

Nell'*equazione* 6 per definizione il termine $\boldsymbol{cov(X_i, X_j)}$ dalla statistica risulta essere uguale a:

$$\boldsymbol{cov(X_i, X_j) = E[(X_i - \mu_{xi})(X_j - \mu_{xj})]}$$

*Equazione 7: Covarianza di una funzione*

Tutte le derivate dell'equazione 6 sono calcolate al valor medio $\boldsymbol{\mu_{xi}}$.
La quantità $\frac{\partial y}{\partial X_i}$ viene spesso definita in letteratura come sensitività di Y relativa al valore della variabile di input $\boldsymbol{X_i}$.
L'equazione 6 è costituita da due termini (addendi), il primo rappresenta il contributo delle varianze delle variabili di input rapportato al totale delle varianze dell'OUTPUT.
Il secondo termine descrive la possibile presenza di una correlazione tra i valori delle variabili di INPUT prese a coppie.
Ovviamente se le variabili sono statisticamente indipendenti si dice che questo sono non correlate e quindi il secondo termine praticamente scompare e la varianza di Y e della singola variabili di INPUT $\boldsymbol{X_i}$ può essere rappresentato dalle equazioni 8.

$$\boldsymbol{var(Y) = \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial y}{\partial X_i};\ var(X_i) = \sum_{i=1}^{n} var(Y)_i}$$

*Equazione 8: Formule di calcolo della varianza*

Il metodo FOSM adotta praticamente le equazioni 3,4,7 e 8 per il calcolo di media e varianza delle variabili di OUTPUT quando gli input sono statisticamente indipendenti rendendo in questo modo il calcolo più veloce ma affetto da errore dato che i metodi di stima dei momenti proprio per definizione sono delle stime statistiche e quindi non portano ad una definizione puntuale del valore atteso e della varianza.

**Implementazione del metodo FOSM**

Nella realtà e quindi nelle applicazioni pratiche del metodo non esiste un'espressione analitica in forma chiusa della funzione y.

Conseguentemente le derivate $\frac{\partial y}{\partial X_i}$ non possono essere determinate analiticamente.

Nei casi in cui la variabile y segue una determinata distribuzione (perché si conosce ad esempio la natura fisica del fenomeno studiato) per dare una risposta classica al problema si utilizza un'approssimazione di y tramite una funzione lineare f e ciò è rappresentabile dall'equazione 9.

$$f(X_1, \dots, X_n) = y(\mu_{x1}, \mu_{x2}, \dots, \mu_{xn}) + \sum_{i=1}^{n} (X_i - \mu_{X_i}) \frac{\partial f}{\partial X_i}$$

*Equazione 9: Approssimazione di y con una funzione lineare*

Dove la derivata $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ sono determinate usando le differenze finite intorno ai valori medi, la definizione della derivata di f rispetto alla variabile $X_i$ risulta essere:

$$\frac{\partial f}{\partial X_i} = \frac{y(\mu_{X_1}, \dots, \mu_{X_{i-1}}, x_{i,2}, \mu_{X_{i+1}}, \dots, \mu_{X_n}) - y(\mu_{X_1}, \dots, \mu_{X_{i-1}}, x_{i,1}, \mu_{X_{i+1}}, \dots, \mu_{X_n})}{x_{i,2} - x_{i,1}}$$

*Equazione 10: Derivata di f rispetto alla variabile X_i*

Nell'equazione 10 i termini $x_{i,2}$ e $x_{i,1}$ sono due valori differenti di $X_i$ presi intorno al valor medio della funzione.

Solitamente si possono scegliere $x_{i,2}$ e $x_{i,1}$, secondo l'utilizzo di tre metodi i seguenti valori:

- **Forward method**:

$$x_{i,1} = \mu_{X_i}$$
$$x_{i,2} = \mu_{X_i} + \varepsilon$$

- **Backward method:**

$$x_{i,1} = \mu_{X_i} - \varepsilon$$
$$x_{i,2} = \mu_{X_i}$$

- **Central method:**

$$x_{i,1} = \mu_{X_i} - \varepsilon$$
$$x_{i,2} = \mu_{X_i} + \varepsilon$$

In tutti e tre i metodi il valore di $\varepsilon$ rappresenta una "perturbazione" (anche detto in letteratura rumore statistico che è definito spesso come una frazione della deviazione standard di $X_i$

**EV (Expected Value)**

Nel metodo dell'Expected Value vengono registrati tutti i rischi più importanti all'interno di un registro chiamato, appunto, risk register.
Il risk register è una lista di tutti i rischi/opportunità che vengono catalogati in una vera e propria lista considerando anche i lori impatti in termini di costo e tempo e quanto influiscono in un determinato progetto.
I rischi vengono quantificati stimando la loro probabilità di verifica e l'impatto che hanno all'interno del progetto.
Questo metodo è uno dei metodi più diffusi per il calcolo del contingency budget in quanto il valore atteso di ogni rischio è calcolato "semplicemente" moltiplicando la probabilità di accadimento per il relativo impatto, ovviamente questa operazione deve essere ripetuta per ogni WP che compone il progetto.
Nel caso ristretto in cui tutti gli impatti sono deterministici, l'analisi può essere fatta benissimo senza l'uso della simulazione ma ciò non capita quasi mai proprio per il motivo che gli impatti sono incerti e addirittura seguono una determinata distribuzione.
Quando esiste una correlazione tra i rischi ciò deve essere affrontato tramite l'utilizzo di tecniche di simulazione come ad esempio la simulazione Monte Carlo.
Semplicemente il valore di Contingency è considerato come la somma di tutti i valori attesi è ha una funzione di distribuzione quanto gli impatti sono incerti.
Spesso in letteratura e anche nel campo pratico del project management una delle tecniche che viene adottata più spesso è molto simile all'EV ma in questa vengono considerati i valori monetari infatti il metodo prende il nome di EMV (Expected Monetary Value).
Il metodo EMV è tanto semplice quanto efficace infatti si può implementare anche attraverso dei software come ad esempio in seguito è riportata un'implementazione tramite uno script di Matlab.

```
%importazione dei dati
dati=xlsread('gui.xlsx');

dim =size(dati);

%dimensione del vettore
n=dim(1);

%probabilità
p=dati(:,1);

%Impatti
I=dati(:,2);
%somma elementi del vettore
%Calcolo EMV da accantonare
emv=0;
for i = 1:n
   emv = emv + p(i)*I(i);
 end
```

**PERT (Program Evaluation and Review Technique)**

**Introduzione**

Il PERT è una tecnica di project management che venne sviluppata nel 1957 per dei progetti della marina militare americana sia per stimare le durate e i tempi utilizzando un teorema celebre di statistica: il teorema del limite centrale.

Questo metodo assume che i costi (oppure i tempi) di un determinato WP (Work Package) sono approssimabili ad una distribuzione beta che ha bisogno di tre punti per essere definita, nel caso di costi serve: un costo ottimo (lowest cost), un costo probabile (target) e un costo pessimistico (highest cost).

Questi tre costi sono stimati o dai dati che si hanno a disposizione ad esempio da progetti passati, oppure da dei valori che vengono assegnati da giudizi di esperti in base alla loro esperienza nel campo dei progetti.

Avendo, quindi in qualche modo calcolato o recuperato tramite l'uso di database oppure di giudizi di esperti, per ogni voce di costo media, varianza e distribuzione relativa al costo sono calcolabile tramite il metodo PERT.

L'utilizzo della distribuzione BETA non viene sempre seguito, spesso proprio per questo motivo alcuni studiosi hanno implementato il metodo PERT utilizzando la distribuzione Normale.

**Spiegazione del metodo**

La metodologia PERT viene utilizzata per rendere le stime dei tempi, su un determinato progetto, più attendibili. Il metodo utilizza tre variabili di durata a seconda della stima più o meno pessimistica:

- $t_m$: durata probabile
- $t_o$: durata ottimistica
- $t_p$: durata pessimistica

ovviamente questi tre valori vengono forniti direttamente dagli esperti, oppure sono stimati partendo da dati storici di progetti.

Le tre variabili temporali matematicamente sono delle variabili aleatorie rappresentate con una funzione di densità di probabilità di tipo Beta (come verrà spiegato in seguito, quando a questo metodo verrà applicata la simulazione Monte Carlo) e quindi la deviazione standard viene calcolata facendo riferimento alla relativa distribuzione ( $\sigma = \frac{t_p - t_o}{6}$ ). Inoltre, facendo riferimento alla durata attesa della distribuzione Beta il valore di tempo atteso verrà calcolato come:

$$t = \frac{4t_m + t_o + t_p}{6}$$

Il calcolo di t ovviamente viene fatto facendo riferimento al percorso critico di un determinato progetto. Inoltre, all'interno del metodo possono essere presenti in modo indiretto i rischi, infatti se la varianza è alta significa che l'attività presenta delle incertezze e quindi in questo caso il fattore di rischio sarà importante.

Il metodo PERT viene spesso accompagnato da una rappresentazione grafica attraverso un grafo che può essere redatto seguendo due logiche diverse: AON (Activity on Node) o AOA (Activity on Arrow).

La prima rappresentazione, AON, consiste nel mettere le attività nei nodi del grafo mentre nell'AOA le attività sono rappresentate dagli archi che collegano due nodi del grafo.

Il metodo PERT nelle sue prime diffusioni era accompagnato da una rappresentazione AOA, con il passare del tempo questo tipo di rappresentazione è stato abbandonato anche perché il modello AON risultava molto più intuitivo.

**Fasi del PERT**

Il modello in questione è spesso gestito dal seguente algoritmo:

1) **Pianificazione**
   Ogni responsabile che gestisce determinati WP ne elenca le attività necessarie che servono per lo sviluppo.

2) **Stima dei tempi**
   I valori di durata attesa per ogni attività del reticolo vengono stimate o tramite il giudizio di esperti o tramite utilizzo di dati storici adottando la logica a valore singolo oppure a tre valori.
3) **CPM**
   L'acronimo (CPM) sta per Critical Path Method in cui vengono identificati i percorsi più lunghi (o anche quelli più rischiosi) che caratterizzano l'intero progetto. Dopo l'analisi dei percorsi che caratterizzano il progetto si cercano delle soluzioni alternative per diminuire la durata complessiva di progetto, questa fase è considerata una pseudo ottimizzazione.
   Il metodo CPM spesso può essere implementato anche con una metodologia che in gergo prende il nome di CRASHING, ovvero una velocizzazione di alcune attività che sicuramente comporta un aumento di costi di progetto, per questo motivo si deve cercare di fare un "trade-off" tra tempi e costi e si devono rivedere le priorità che sono state richieste dagli stakeholders di progetto o dai committenti.

4) **Programmazione**
   In base a quanto analizzato allo STEP 3 si eseguono i primi piani di approvvigionamento dei materiali per l'esecuzione del progetto e inizia a questo punto la definizione delle risorse necessarie per lo svolgimento minimo dell'opera, è in questo STEP che si iniziano a fare le prime operazioni di MAKE or BUY per andare a scegliere l'ottimo per il successo di un determinato progetto.

5) **Controllo in corso d'opera**
   Una volta che è stata ultimata la fase di programmazione e vengono decise tutte le risorse che servono per lo sviluppo del progetto, si inizia con l'esecuzione e a questo punto in fase di svolgimento dei lavori si devono fare delle analisi di controllo delle attività per capire se si stanno raggiungendo con successo determinati obiettivi progettuali, in caso negativo si deve ritornare allo STEP 3 perché potrebbe essere necessaria un'analisi ulteriore dei percorsi perché magari alcuni di questi che prima non erano considerati critici ma magari rischiosi e nel caso malaugurato quei rischi siano avvenuti si deve rivedere la schedulazione di progetto e quindi possono cambiare le disposizioni del reticolo di progetto.

**Stima parametrica (Parametric Estimating)**

Questo metodo crea una relazione tra un OUTPUT che può essere il superamento dei costi ed un input che può essere costituito da un insieme di fattori di rischio.

Questa relazione statistica che può essere rielevata tramite dei grafici o tecniche che permettono facilmente di calcolare la covarianza e la correlazione (correlogrammi, istogrammi…) da dati storici anche utilizzando tecniche statistiche come l'analisi di regressione multivariata, le reti neurali artificiali.

Il metodo segue una sorta di algoritmo a passi, al primo passo devono essere identificati i parametri caratteristici del modello che sono i fattori di rischio come la definizione dell'ambito di progetto, il livello di complessità e la dimensione del progetto.

Il secondo passo consiste nel determinare il modello di relazione utilizzando l'analisi di regressione multivariata, una caratteristica importante è che i dati prima di essere usati devono essere "ripuliti" da tutti quei valori errati che potrebbero portare il modello di regressione a delle scelte inappropriate, ad esempio se sono presenti degli OUTLIER è bene eliminarli direttamente dal DATASET.

## Regressione

Il modello di regressione consiste nell'analizzare al variare di alcuni fattori indipendenti un fattore dipendente, infatti questo metodo è molto utilizzato quando esiste una relazione tra le variabili indipendenti e le variabili dipendenti.

### Metodo di regressione lineare (semplice)

Una delle tecniche più utilizzate nell'analisi dei dati per stimare una funzione che racchiuda tutti i dati è la regressione lineare. I dati che vengono analizzati sono costituiti da una variabile dipendente e una o più variabili indipendenti. La variabile dipendente dell'equazione di regressione è funzione delle variabili indipendenti a cui però si deve sommare un termine di errore. Il termine di errore è da considerarsi una variabile casuale e rappresenta una variazione non controllabile della variabile dipendente. Per l'utilizzo della regressione devono essere verificate le seguenti ipotesi: il campione dei dati che viene analizzato deve essere rappresentativo della popolazione; le variabili devono essere indipendentemente identicamente distribuite; gli errori non devono essere correlati tra di loro e devono essere distribuiti secondo una Normale Standard.

### Modello matematico

L'equazione del modello di regressione è definita dalla equazione 11:

$$\boldsymbol{y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i}$$

*Equazione 11: Equazione di regressione lineare semplice*

dove: $\boldsymbol{y_i}$ è la variabile dipendente, **N** è il numero di osservazioni, $\boldsymbol{x_i}$ è la variabile indipendente e $\boldsymbol{\beta_0}(\boldsymbol{\hat{\beta}_0 = \overline{Y} - B_1\overline{x}}), \boldsymbol{\beta_1}(\boldsymbol{\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})(Y_i-\overline{Y})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\overline{x})^2}})$ sono i parametri della retta di equazione e i relativi stimatori.

Il modello di regressione multipla lineare in cui ci sono più variabili indipendenti rispetto al caso di regressione semplice può essere semplicemente descritto dalla seguente equazione matematica:

$$\boldsymbol{y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + \varepsilon_i}$$

*Equazione 12: Equazione di regressione lineare multipla*

Per comprendere meglio se il metodo è stato in grado di "fittare" i dati si può determinare un metodo analitico che permette di calcolare la somma dei quadrati dei residui.

I residui non sono altro che delle differenze tra i punti del dataset e la retta che li fitta, infatti la definizione matematica di residuo è la seguente (il termine residuo viene indicato in letteratura con $\boldsymbol{e_i}$):

$$\boldsymbol{e_i = y_i - \hat{y}_\iota}$$

*Equazione 13: Formula per il calcolo dei residui*

Per stimare il fitting appunto uno dei metodi che viene utilizzato è quello dei minimi quadrati in cui si calcola la somma dei residui al quadrato.

I metodi di regressione sono molto usati in Project Management per eseguire delle previsioni sui dati in termini di costi e tempi di progetto, utilizzando anche dei dati di progetti passati che sono simili al progetto in analisi.

Sono anche molto utilizzati perché forniscono delle indicazioni su delle strategie possibili per effettuare delle strategie di risposta al rischio.

## AHP (Analytical Hierarchy Process)

### Introduzione

In ambito di project management non ci sono sempre molti dati disponibili perciò sono utilizzati dei metodi soggettivi per la valutazione dei rischi di progetto.
Il metodo AHP (Saaty, 1973) si basa su una particolare catalogazione delle espressioni e dei giudizi di alcuni esperti che però devono essere coerenti tra di loro.
L'analisi del rischio come alcuni dei metodi precedentemente analizzati viene eseguito per singolo WP dopo aver scompattato la WBS di progetto.
Per ogni WP vengono identificati i fattori di rischio e dei subfattori e infine il rischio complessivo viene calcolato utilizzando il metodo AHP che verrà in seguito descritto.
Il contingency budget si trova come differenza tra il costo previsto ed il costo base.
Alcune delle variabili in gioco che fanno cambiare la cifra economica stimata inizialmente di un progetto sono legate ai rischi, che essendo delle variabili aleatorie possono accadere come no, ma quando accadono possono avere un impatto più o meno evidente all'interno di un progetto. La decisione di investire in sicurezza (COS: Cost of Safety) risulta essere legata al concetto di analisi costi-benefici.
Infatti, uno dei modelli che viene seguito è stato introdotto per la prima volta da Chalos nel 1992 e attesta che: "esiste un punto di equilibrio teorico in cui i costi totali di prevenzione e individuazione sono pari ai costi totali del rischio di danno, questo punto indica l'investimento ottimo da effettuare" (*figura 15*).

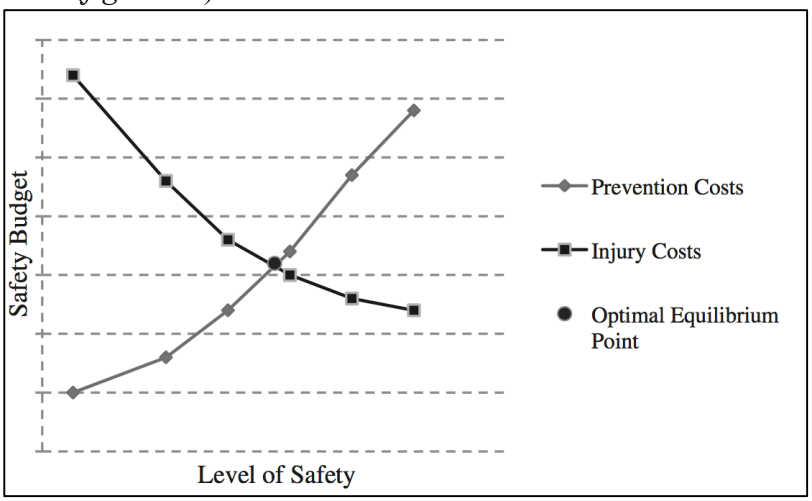



*Figura 15: COS Model*

Il metodo AHP che sta per Analytic Hierarchy Process viene utilizzato perché è molto potente nella riduzione dell'inconsistenza dell'Expert Judgements ovvero del metodo di valutazione dei rischi fatta spesso da esperti del settore ai quali viene dato l'arduo compito di valutare determinati rischi di progetto. L'AHP inoltre, calcola anche un indicatore di consistenza che testimonia appunto la coerenza degli esperti nel fornire la loro valutazione, praticamente l'indice che viene calcolato dal processo di AHP del progetto in questione viene confrontato con un indice che in base a determinate caratteristiche rispecchia un indice casuale, quindi rapportando i due indici se il rapporto è uguale ad 1 significa che i giudizi forniti dai tecnici sono praticamente inconsistenti e privi di significati, altrimenti se il metodo realmente da un valore "ammissibile" di Indice di consistenza (Consinstency Index) allora il ranking delle decisioni, o dei rischi può essere considerato veritiero e prendendolo per buono si possono effettuare le decisioni successive.

Esempio esplicativo AHP utilizzando dei valori pseudo casuali

Considerando un generico progetto, in cui il rischio viene scompattato in diverse categorie in base al seguente albero (*figura 16*), l'applicazione del metodo può essere schematizzata in *figura 17*.

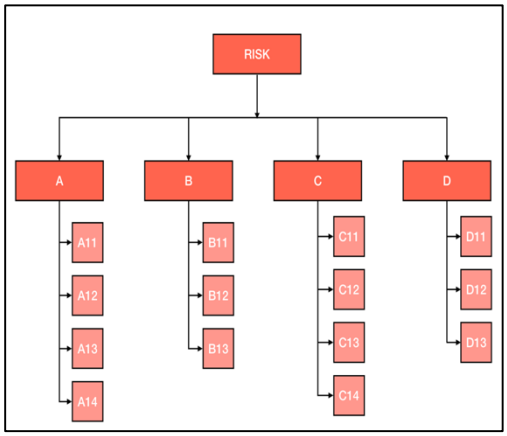



Figura 16: AHP Risk Tree

Essendo la dimensione della matrice n=4, è possibile calcolare gli indicatori di consistenza considerando che il valore di RC corrispondente a n=4 è 0,9:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{4{,}04124 - 4}{4 - 1} = 0{,}01375$$

Equazione 14: Calcolo consistency index

$$CR = \frac{RC}{CI} = 0{,}01528$$

Equazione 15: Calcolo Consinstency Ratio

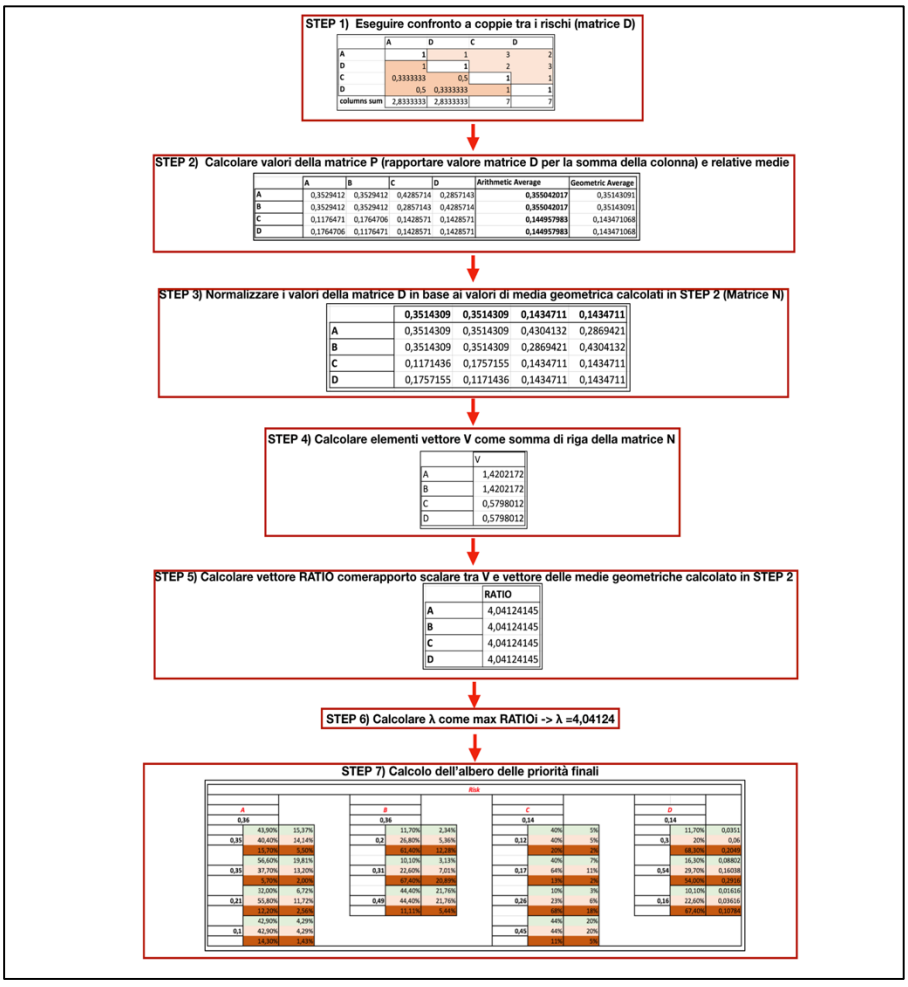



Figura 17: Applicazione AHP

Pertanto la matrice D è consistente, nel senso che i giudizi degli esperti non sono risultati discordanti tra le loro valutazioni.

Eseguendo lo stesso calcolo per gli altri livelli gerarchici dell'albero presente in *Figura 12* si arriva a determinare una priorità dei rischi di progetto.

Infatti, se le medie calcolate in *figura 13* vengono considerate come dei pesi di ogni rischio che viene preso in considerazione e facendo delle medie pesate delle alternative si arriva a determinare secondo un criterio scelto a priori (ad esempio per semplicità si può scegliere tra massimo e minimo) un albero delle priorità come in *STEP 7*, avendo cosi uno schema gerarchico prioritario dei rischi analizzati nel progetto.

Ovviamente, l'AHP non viene adottato solo in ambito di risk management ma può essere scalato a tantissimi altri ambiti sia dell'ingegneria, piuttosto che della medicina, delle scienze sociali e molti altri ancora. In questo caso dato che CR è >10% (Saaty) anche se di poco è consigliabile rivedere il giudizio soggettivo.

## Metodo RFMEA

### Introduzione al metodo

Il metodo RFMEA viene utilizzato soprattutto per analizzare i rischi più imminenti che possono accadere durante lo svolgimento di un progetto, per "prioritizzare" i rischi e anche per sviluppare un migliore controllo dei rischi.
In un contesto di GdP il metodo RFMEA viene utilizzato operativamente tramite: tecniche di analisi del rischio, interviste che vengono poste a degli esperti, metodo del EMV (Expected Monetary Value) fino ad arrivare a tecniche avanzate di gestione del rischio come il metodo Montecarlo.

### Spiegazione del Metodo

Il metodo consiste nella compilazione di un documento che solitamente è diviso in colonne e segue uno standard ben preciso, sia per quanto riguarda il metodo FMEA che RFMEA, come in *figura 18.*

| **Typical FMEA Columns** | Failure ID | Failure Mode | Occurence | Severity | | Detection | RPN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

| **Typical RFMEA Columns** | Risk ID | Risk Event | Likelihood | Impact | Risk Score | Detection | RPN |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

*Figura 18: Colonne del metodo RFMEA*

I valori di probabilità (*figura 19*), impatto (*figura 20*) e rilevazione vengono assegnati dal project team in base ai dei giudizi ai quali corrispondono dei valori numerici tabulati in opportuni schemi standardizzati.

| | |
|---|---|
| 9 or 10 | Very likely to occur |
| 7 or 8 | Will probably occur |
| 5 or 6 | Equal chance of occurring or not |
| 3 or 4 | Probably will not occur |
| 1 or 2 | Very unlikely |

*Figura 19: Linee guida probabilità*

| | |
|---|---|
| 9 or 10 | **Schedule**—Major milestone impact and > 20% impact to critical path.<br>**Cost**—Total project cost increase > 20%.<br>**Technical**—The effect on the scope renders end item unusable. |
| 7 or 8 | **Schedule**—Major milestone impact and 10% – 20% impact to critical path.<br>**Cost**—Total project cost increase of 10% – 20%.<br>**Technical**—The effect on the scope changes the output of the project and it may not be usable to client. |
| 5 or 6 | **Schedule**—Impact of 5% – 10% impact to critical path.<br>**Cost**—Total project cost increase of 5% – 10%.<br>**Technical**—The effect on the scope changes the output of the project and it will require client approval. |
| 3 or 4 | **Schedule**—Impact of < 5% impact to critical path.<br>**Cost**—Total project cost increase of < 5%.<br>**Technical**—The effect on the scope is minor but requires an approved scope change internally and maybe with the client. |
| 1 or 2 | **Schedule**—Impact insignificant.<br>**Cost**—Project cost increase insignificant.<br>**Technical**—Changes are not noticeable. |

*Figura 20: Linee guida impatto*

Per la RFMEA, i metodi di rilevazione sono definiti come "capacità di rilevare l'evento rischioso con tempo sufficiente per pianificare una contingenza e agire sul rischio" evitando cioè che il rischio vero e proprio accada andando ad impattare maggiormente nel progetto e quindi coprendosi da questo per evitare maggiori danni economici che potrebbero incorrere nello svolgimento del progetto in modo da implementare subito delle strategie di risposta.
Sostanzialmente il valore di rilevazione è una metrica che ci permette di capire la capacità di prevedere un evento rischioso specifico.
L'obiettivo è quello di individuare il rischio con il maggiore "preavviso" possibile in modo che esso sia discutibile in anticipo rispetto a tutti gli altri rischi di progetto.

**Algoritmo del metodo** *(figura 21)*

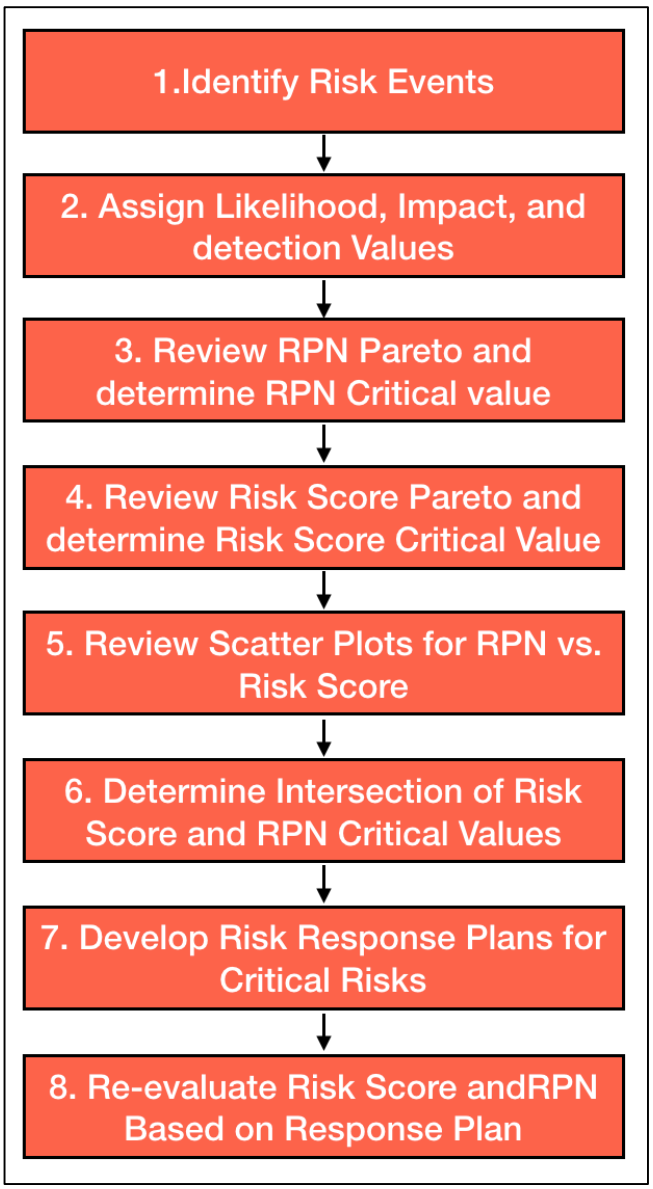



*Figura 21: Flow Chart RFMEA*

**STEP 1)** Individuazione dei rischi di progetto attraverso l'uso di svariate tecniche per lo più "catalogative" come la WHAT IF ANALYSIS ovvero una tecnica che permette di capire se un determinato fattore può scatenare una conseguenza più o meno grossa per l'intero progetto.
**STEP 2)** Definizione degli impatti, probabilità di accadimento e misura di rilevazione. Con il prodotto di questi tre valori è definito l'indicatore RPN
**STEP 3)** Applicazione dell'analisi di Pareto per classificare il rischio con il più alto valore di RPN.
**STEP 4)** Analisi di Pareto per i punteggi degli RPN.
**STEP 5)** Creazione di SCATTER PLOT in cui in un asse ci sono i valori di RPN e nell'altro i valori di RISK SCORE analizzati nei due punti precedenti.
**STEP 6)** Gli eventi rischiosi che hanno sia un punteggio di rischio che un RPN sopra i valori critici hanno la priorità nella pianificazione iniziale della risposta al rischio.
**STEP 7)** Il PROJECT TEAM insieme al PM pianifica delle strategie di controllo di rischi critici (mitigazione, trasferimento, accettazione e rifiuto).
**STEP 8)** Ricalcolare i valori di RPN e di RISK SCORE dopo aver eseguito il piano di risposta del rischio il risultato del valore di CONTINGENCY dovrebbe risultare minore dato che alcuni rischi sono andati trasferiti, mitigati.

**Considerazioni sul metodo**

Il metodo RFMEA e anche il semplice FMEA seguono una logica di analisi del rischio molto simile a quella dei metodi precedenti, infatti anche in questo metodo come detto l'obiettivo è quello di ridurre l'indice RPN che di unica differenza che ha dagli altri indicatori di Rischio come R è sostanzialmente la presenza di un altro fattore che è la rilevazione di rischio che invece la metrica R non ha.
Infatti, il terzo fattore che lo differenzia dagli altri indicatori di rischio, costituisce anche una differenza di utilizzo nel metodo, in quanto in un progetto i rischi non hanno tutti la medesima difficoltà di rilevazione ma la difficoltà sicuramente aumenta se si pensa ad un contesto

produttivo, ad esempio di esaminazione dei rischi di componenti che costituiscono un'autovettura.

**Optimism Bias Uplifts**

Il metodo Optimism Bias Uplifts anche conosciuto come metodo della "Previsione della classe di riferimento" è un metodo probabilistico non simulato sviluppato da Flyvbjerg e COWI per il dipartimento dei trasporti britannico ha come obiettivo quello di affrontare il BIAS dell'ottimo dei costi nelle stime dei costi diretti di progetto.

In questo metodo, i progetti di trasporto sono stati suddivisi in una serie di gruppi distinti.

Ad esempio a seconda della tipologia di progetto i gruppi includevano strade, ferrovie, collegamenti fissi (come tunnel o ponti) edifici e progetti IT (Information Technology) e sono stati selezionati in modo da avere un determinato rischio di superamento dei costi preventivati in una fase di pianificazione iniziale di progetto.

Per ciascuna categoria di progetto è stata creata la distribuzione di probabilità per il superamento dei costi ed è stata definita una soglia target di massimo dei costi.

Dopo aver stabilito la distribuzione di probabilità empirica, gli aumenti di rischio che possono insorgere all'interno di un progetto sono stati impostati in base ad un livello soglia a cui il dipartimento dei trasporti era disposto ad accettare.

Con il termine "Uplift" s'intende l'importo il gap che porta la stima iniziale del budget di progetto fino alla stima finale.

Infatti, il metodo tende ad ottimizzare questo "Uplift" al fine di ridurre il gap tra la stima fatta ex-ante al progetto e la stima fatta ex-post.

## Metodi simulativi

### Simulazione Monte Carlo

Nei metodi simulativi spesso i metodi di expert judgment si uniscono a quelli analitici per determinare un OUTPUT probabilistico usando delle tecniche di simulazione.
In molti problemi non esistono delle soluzioni di equazioni in forma chiusa e i modelli analitici diventano molto complessi, infatti è in questi casi che diventa indispensabile la simulazione perché a volte è l'unico modo per arrivare a determinare la soluzione di un problema.
Una tecnica di simulazione ampiamente utilizzata è la simulazione Monte Carlo adottata anche per il calcolo del contingency budget, ma anche utilizzata per fornire delle stime probabilistiche migliori per quanto riguarda la schedula di progetto.
Uno dei metodi con cui viene implementata spesso la simulazione Monte Carlo è la stima del range (Range Estimating).

### Range Estimating

In questo metodo vengono identificate, in primis, le voci di costo.
La stima deterministica di ogni voce di costo critica è considerata come valore più probabile all'interno di un determinato progetto.
In seguito, vengono definiti i valori critici di minimo e massimo per ogni voce di costo di progetto.
Infine, con l'aiuto della simulazione Monte Carlo viene calcolato il costo totale della funzione di distribuzione cumulata (CDF).
Quest'ultimo valore CDF è usato per stimare il contingency necessario per raggiungere un livello di confidenza desiderato in cui il budget non sarà inferiore ad una determinata soglia target determinata ex-ante.
Ogni elemento critico di progetto (sia di costo che di durata) può avere una funzione di probabilità diversa (pdf), si possono trovare elementi critici che seguono una distribuzione triangolare, una normale, una lognormale oppure una beta.
La scelta di una corretta pdf per ogni voce di costo dipende dal fitting con i dati INPUT del progetto, quest'analisi viene spesso eseguita con degli analizzatori di input che spesso si trovano all'interno dei più comuni pacchetti statistici.
Infine, aggiungendo tutte le voci di costo (con delle stime puntali e intervallari) ed eseguendo il modello simulativo per un numero di RUN (numero di simulazioni) sufficienti, ovvero che vada da 500 a 5000, si arriva a calcolare il costo totale di progetto che è caratterizzato da una determinata cdf e non è un valore economico singolo, quindi si può determinare questo valore ad esempio facendo una media della distribuzione che è stata trovata dalla simulazione.
La stima di questa CDF descrive la probabilità che il costo totale di progetto è modellizzata tramite una variabile casuale e si trova in un intorno di un determinato valore.
In base al livello di rischio che l'impresa si vuole accollare (solitamente il livello di confidenza delle imprese è abbastanza standard e si attesto all'intorno all'80%), il costo totale di progetto viene selezione dalla CDF precedentemente calcolato.
Il contingency budget risulta, pertanto, essere uguale alla differenza tra il nuovo costo stimato e il costo inizialmente stimato prima dell'applicazione del metodo di Range Estimating.
Il metodo di Range Estimating può essere applicato a qualsiasi parte del progetto e una peculiarità del metodo è anche quella di applicazione anche durante lo svolgimento dei lavori in modo tale che si stima un livello di contingency che varia nel corso di progetto e che quindi cambia con il trascorrere del tempo di progetto stesso

Una delle riserve presenti all'interno dei progetti è la riserva di CONTINGENCY. Questa riserva rappresenta quella parte di budget di progetto direttamente destinata alla gestione del rischio.
Sostanzialmente in questa riserva economica vanno a confluire i costi legati ai rischi noti per cui esiste una strategia di risposta determinati con le varie tecniche di Risk Analysis come ad esempio la RBM.
Il calcolo di questa riserva è estremamente importante in quanto in un progetto il prezzo finale è determinato anche dall'ammontare economico costituente la CONTINGENCY RESERVE.
Inoltre, all'interno della CONTINGENCY si possono trovare anche i costi relativi all'attuazione di strategie di risposta in caso di insorgenza di minacce che possono verificarsi o meno sempre considerando che i rischi sono degli eventi aleatori.

Generalmente nei progetti, qualunque sia il tipo, la valutazione della contingency è definita da molteplici strategie molto diverse tra loro ma vi sono dei criteri che sono seguiti nel calcolo di questa somma. Infatti, all'interno di questa non devono assolutamente mancare:

- Valore dell'impatto totale dei rischi che si verificano all'interno del progetto
- Valore di probabilità ed impatto dei rischi più importanti di progetto
- Altri tipi di valutazioni relativi ai rischi di progetto (cioè valutazione dei rischi ricorrenti per le attività appartenenti al percorso critico)

In seguito, saranno presentate diverse tipologie adottate per il calcolo del CONTINGENCY BUDGET.
Ovviamente, vi sono delle tecniche più obsolete di altre per effettuare questo calcolo, anche l'uso e la diffusione dei primi calcolatori prima e dei PC poi il calcolo è diventato molto più veloce, preciso ma soprattutto una tecnica che si sta utilizzando molto più spesso è l'utilizzo della simulazione Montecarlo utilizzata non tanto come tecnica simulativa in senso proprio, bensì come ottimizzazione del processo di Risk Management.

- Calcolo del CONTINGENCY partendo dall'analisi del rischio effettuata tramite la matrice RBM
- Calcolo del CONTINGENCY tramite ottimizzazione adottando la simulazione Montecarlo
- Calcolo del CONTINTECY tramite l'utilizzo della previsione e tecniche innovative di Machine Learning (**metodo innovativo**)

**Calcolo del Contingency tramite simulazione Monte Carlo**

Nell'ambito del risk management una delle tecniche più efficiente e innovativa per ottenere delle soluzioni migliori da un punto di vista sia qualitativo che interpretativo è la simulazione ottimizzazione.

Nell'ambito del PM i metodi simulativi sono spesso usati perché gli eventi rischiosi essendo aleatori per loro definizione creano delle deviazioni nei progetti che possono essere più o meno invadenti nello sviluppo del progetto soprattutto quando vanno ad intaccare le due variabili fondamentali della GdP ovvero Tempo e Costo.

In alcuni casi le tecniche simulative vengono utilizzate soprattutto per imparare dal passato cosa potrebbe succedere in progetto futuro. Infatti, ad esempio siccome i modelli simulativi, hanno bisogno di utilizzare delle distribuzioni probabilistiche per modellare dei rischi di un progetto nuovo, si possono utilizzare le stesse distribuzioni di un progetto ad esempio che ha determinate analogie per rischi, caratteristiche e tipologia ad esempio.

Come nel caso precedente l'obiettivo fondamentale del Risk Management rimane quello di cercare o magari inventare un set di azioni come ad esempio polizze assicurative, investimenti specifici, configurazione di risorse umane e non, per ridurre il livello il rischio di accettazione in modo da raggiungere un ottimo che sarà il livello di CONTINGENCY più basso possibile per un determinato progetto.

Per ricercare prima e raggiungere poi l'ottimo di CONTINGENCY si fa uso anche dei modelli di programmazione lineare che verranno prima descritti. Trovato l'ottimo tramite tecniche di ricerca operativa si tratterà anche di un'ulteriore "espansione" di queste attraverso le tecniche di simulazione-ottimizzazione.

## Metodi di simulazione e ottimizzazione

### Metodi di Ottimizzazione Tradizionale: Scenario-Based

Nell'ambito dell'ottimizzazione vincolata (applicata a casi reali) non esistono soluzioni esatte, esistono delle "realizzazioni" dei parametri di un dato problema che possono verificarsi (o meno) con una determinata probabilità, l'insieme di queste realizzazioni costituiscono quello che in gergo prende il nome di "scenario".
Per comprendere meglio le metodologie di calcolo verranno prima presentati degli esempi basilari presenti in letteratura in seguito i metodi verranno applicati al contesto di risk management.

### *Scenario Optimization*

Si pensi ad un contesto produttivo in cui si vuole minimizzare il costo di produzione di un set J di prodotti finiti.
Ogni prodotto j ha un costo unitario di produzione $c_j$ e un tasso di utilizzo $a_{ij}$ della relativa risorsa di produzione che produce il prodotto finito j-esimo.
Si ipotizzi che l'impianto di produzione non ha una produzione infinita di risorse, bensì le risorse sono limitate e producono una quantità limitata di prodotti $b_i$
Uno degli scenari SP (Scenario Subproblem) con il quale può essere il problema in questione risulta essere:
$SP$:

$$z^s = \min \sum_{j=1}^{n} c_j^s x_j$$

$$s.t. \qquad \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^s x_j = b_i^s \qquad for\ i = 1, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \qquad for\ j = 1, \dots, n$$

*Modello 1: Modello dello Scenario Subproblem*

In base a diversi scenari in cui si fanno variare i coefficienti $a_{ij}^s$ , $c_j^s$ , $b_i$ l'obiettivo dell'ottimizzazione è possibile sintetizzarlo in:

1) Calcolare la soluzione ottima per ogni scenario deterministico SP
2) Trovare un'unica soluzione simile tra gli scenari, ma che sia "fattibile" da tutti gli scenari (criterio di ammissibilità)

Questi due passi in linguaggio di programmazione matematica possono essere riscritti come:

$$\min \sum_s p^s \left( \sum_j c_j^s x_j - z^s \right)^2 + \sum_s p^s \left( \sum_{ij} a_{ij}^s x_j - b_i^s \right)^2$$

$$s.t \qquad x_j \geq 0 \qquad for\ j = 1, \dots, n$$

*Modello 1(bis): Modello dello Scenario Subproblem (bis)*

Questo secondo modello che cerca di minimizzare la probabilità di accadimento di ogni scenario legata ad un costo (Tracking Model), potrebbe essere utilizzato nell'ambito del risk management ad esempio per diminuire l'ammontare di un costo al di sotto di un determinato livello target di rischio.

***Ottimizzazione Robusta***

L'ottimizzazione robusta è utilizzata quando i parametri del problema possono essere contenuti all'interno di un insieme finito di valori.

Esempio esplicativo:

Si consideri un problema di ottimizzazione dove l'obiettivo del problema è minimizzare il costo di un progetto.

Sia S un set di possibili scenari, X un set di variabili decisionali, P un set di parametri in input e F un set di soluzioni fattibili.

L'apice s in ogni set sta per indicare lo scenario relativo della variabile X, P o F.

La soluzione ottima di un determinato scenario (s) risulta essere, essendo f una funzione convessa:

$$z^s = f(X_s^*, P^s) = \min_{X \in F^s} f(X, P^s)$$

*Equazione 16: Soluzione ottima dello scenario*

Il primo criterio di ricerca di una soluzione, Assoluta Robustezza (Worst Case Optimization), ha come obiettivo quello di trovare una soluzione che sia fattibile per tutti gli scenari possibile e ottimale appunto possibile per lo scenario peggiore.

Sostanzialmente, in un problema di programmazione matematica in cui l'obiettivo è minimizzare il costo, la risoluzione e successiva ottimizzazione del modello matematico cercherà di minimizzare il costo dello scenario a costo massimo, in formula ciò è esprimibile come segue:

$$z^R = \min \{\max_{s \in S} f(X, P^s)\}$$

*Equazione 17: Funzione obiettivo di minimizzazione del costo massimo*

Un grosso limite di quest'ottimizzazione, come si può comprendere direttamente proprio dalla definizione della funzione obiettivo è quello che spesso questi modelli hanno delle difficoltà nella gestione di una quantità enorme di scenari e spesso le soluzioni che danno e magari in modo errato vengono usate portano ad una successiva perdita proprio per l'incapacità del modello di gestire tutte le variabili.

Infatti, recentemente questi approcci sono stati superati da metodi simulativi, in grado di fornire degli aiuti ai decisori nel processo di RISK MANAGEMENT, utilizzando grandi quantità di dati magari affetti da una grossa dose di incertezza, non a caso oggi viene spesso utilizzata la tecnica di simulazione ottimizzazione.

**Simulazione ottimizzazione**

Il principale utilizzo dei metodi simulativi è quello di poter gestire una quantità non limitata di scenari rispetto ai metodi che devono essere risolti tramite programmazione matematica e che quindi vedono l'utilizzo del simplesso o di tecniche simili.
Lo schema che viene seguito dai metodi simulativi tradotto in linguaggio di programmazione matematica è il seguente:

$$\begin{aligned} & min\, F(x) && (1) \\ & s.t\; Ax \leq b && (2) \\ & g_l \leq G(x) \leq g_u && (3) \\ & l \leq x \leq u && (4) \end{aligned}$$

*Modello 2: Modello Simulativo*

Dove (1) è la funzione obiettivo, (2) è l'insieme dei vincoli sui valori in INPUT, (3) è l'insieme dei vincoli nelle misure di OUTPUT, (4) vincolo sul dominio delle variabili generiche.
Inoltre, la funzione F(x) è in genere altamente complessa.
Nell'ambito della simulazione-ottimizzazione potrebbe rappresentare il valore atteso della distribuzione di probabilità del flusso di produzione (THROUGHPUT) di un impianto produttivo, potrebbe anche rappresentare un percentile della distribuzione del valore attuale netto di un portafoglio di progetto, potrebbe rappresentare anche una funzione di costo di un progetto come anche una funzione di tempo.
Sostanzialmente la F(x) rappresenta una misura delle prestazioni all'uscita (OUTPUT) di un sistema ottenuto tramite l'utilizzo di un simulatore, in linguaggio matematico-insiemistico è una mappatura da un dominio in cui ci sono i valori di x a un dominio in cui ci sono i valori reali.

## Analisi dei vincoli

I vincoli racchiusi in (2) sono generalmente dei vincoli lineari, inoltre è nota sia la matrice che è rappresentata dal coefficiente A che le soluzioni b.
Successivamente, i vincoli rappresentati dall'equazione (3) sono sostanzialmente dei vincoli di UPPER BOUND e di LOWER BOUND ovvero sono dei vincoli di limiti inferiori o superiore, questi a differenza dei primi possono essere sia lineari ma anche non lineari, inoltre i valori di $g_l$ e $g_u$ generalmente sono delle costanti note.
Tutte le variabili decisionali x sono limitate e alcune possono essere anche discrete, ovviamente ogni valutazione di F(x) e G(x) richiede l'esecuzione di una simulazione del sistema e quindi anche per quanto riguarda la simulazione si deve tener conto del tempo di simulazione che in alcuni casi specifici di calcolo non è sempre trascurabile.
Da questa breve introduzione si comprende molto bene come il modello di ottimizzazione-simulazione sia un potentissimo strumento di progettazione, in quanto permette di comprendere in anticipo come si comporterà "in media" il sistema che si sta realizzando, oppure quali saranno i rischi più influenti di progetto.

Prima che si prende una decisione dopo l'analisi degli OUTPUT di una simulazione si possono analizzare "semplicemente" un'elevata quantità di scenari.
Una caratteristica ulteriore della simulazione è quella che questa si avvicina molto, ovviamente con una certa probabilità a quella che è la realtà, questo permette di includere negli scenari diverse fonti di incertezza e variabilità. La simulazione non basta per analizzare preventivamente un sistema o progetto futuro, infatti per andare proprio a trovare un insieme di specifiche del modello si deve utilizzare l'ottimizzazione che permette di trovare delle

prestazioni ottimale e anche delle soluzioni che permettono il corretto funzionamento del sistema o progetto.
Oltretutto è anche vero che l'ottimizzazione da sola non ha molto senso, perché esistono problemi in natura che non hanno delle soluzioni che possono essere determinate direttamente in forma chiusa infatti per questo proprio le grandi quantità di dati e di variabili che possono essere presenti all'interno di un sistema sono trattati tramite metodi simulativi o addirittura anche adottando dei software di simulazione ad-hoc.

Proprio per quest'ultimo motivo spesso i metodi di ottimizzazioni sono separati dal metodo di simulazione del problema. I due metodi vengono anche separati per una questione di implementazione, infatti, il decisore può cambiare ad esempio con l'evoluzione di un progetto gli elementi che lo costituiscono e quindi vengono aggiunti nuovi dati e/o nuove variabili al progetto (sistema), magari si aggiunge un nuovo vincolo. Semplicemente il decisore non va a mutare il metodo di ottimizzazione che invece deve funzionare sempre nel medesimo modo, bensì va a modificare i parametri del simulatore complesso del problema.

**Procedura di ottimizzazione**

I metodi di ottimizzazione si basano solitamente sull'utilizzo di algoritmi di ricerca meta-euristici che utilizzano gli OUTPUT del sistema e li confrontano con i dati e le variabili del problema e cercano di giungere all'ottimo attraverso delle regole di confronto. Il metodo, inoltre, sulla base delle valutazioni effettuate in passato e presente aiuta il decisore a prendere delle decisioni su dati futuri di INPUT che verranno in seguito inseriti all'interno del simulatore, insomma si cerca attraverso dei metodi migliorativi di far procedere il sistema complessivo di simulazione-ottimizzazione verso la determinazione dell'ottimo globale.
Il processo di ricerca dell'ottimo viene ripetuto (ciclicamente) in modo che si raggiunga una condizione di terminazione (TARGET) che permette di uscire ad esempio proprio da un ciclo informatico determinando cosi un ottimo.
Il problema di questo ottimo è che è un ottimo globale nel momento in cui viene determinato ed il ciclo arriva al suo punto finale, ma è un ottimo locale nel momento in cui vengono inseriti nuovi dati di INPUT al problema.
Il meccanismo di ricerca appena descritto precedentemente è molto facile da spiegare e anche da comprendere ma il problema è la progettazione anche informatica dell'algoritmo proprio per il fatto che non esiste un'espressione matematica in forma chiusa per rappresentare lo spazio matematico che racchiude le risposte del problema, addirittura spesso neanche i decisori hanno idea di come sia fatto questo dominio di ricerca. Infatti vengono utilizzati degli algoritmi come il **TABU SEARCH** (che verrà spiegato subito al termine di questo paragrafo) e lo **SCATTER SEARCH**, proprio perché sono degli algoritmi che permettono di condurre una ricerca su una vasta area dello spazio di soluzione che però non rimane bloccato su un ottimo locale bensì si cerca tramite questi metodi di "auto-apprendimento" di arrivare alla definizione di un ottimo in forma globale del sistema; ultimamente vengono problemi molto complessi in cui sono presenti una grande quantità di dati vengono trattati attraverso delle tecniche informatiche innovative legate all'intelligenza artificiale e al Machine Learning (tecniche che verranno descritte in seguito).
Alcuni dei limiti dei metodi di simulazione-ottimizzazione derivano proprio dal modello di simulazione in quanto spesso i problemi che devono essere risolti sono molto complessi e presentano un elevato numero di variabili e dati.
In seguito verranno presentati degli esempi esplicativi sull'utilizzo dei metodi simulativi uniti a degli ottimizzatori.

**Esempi esplicativi di simulatori-ottimizzatori**

Il primo esempio di utilizzo del metodo di simulazione-ottimizzazione è legato al settore del petrolio e della produzione di energia, in quanto le aziende che operano in questo macro-settore utilizzano quest'insieme di metodi per gestire gli investimenti in esplorazione di giacimenti petroliferi e produzione ma anche nell'acquisizione di nuovi centri di estrazione oppure di centrali di produzione dell'energia elettrica.

Esempio:

Un'azienda possiede un portafoglio di 61 progetti, per ogni progetto i ricavi su un orizzonte temporale di 10-20 TIME BUCKET (orizzonte temporale) vengono dati come distribuzione di probabilità. Per la realizzazione di un progetto occorre un investimento iniziale, un numero di addetti per realizzare il BUSINESS PLAN, ingegneri per la progettazione e ricerca del sito, ecc. Come tutte le imprese, anche quella dell'esempio ha un vincolo importante che è quello di BUDGET per le sue opportunità di investimento e un numero limitato di personale per ciascuna categoria di determinate competenze.

Ogni progetto ha un indicatore di probabilità di successo chiamato POS (**P**robability **O**f **S**uccess) che va da un valore di 0 a 1. All'indicatore POS viene data una spiegazione molto semplice, ad esempio se quest'indicatore in un determinato progetto è pari al 60% significa che nel 60% delle prove effettuate tramite il simulatore si riusciranno ad ottenere i ricavi relativi al progetto mentre nel complemento ad 1 del POS si dovranno sostenere i costi di investimento.

Un altro vincolo del problema in questione è che i progetti possono iniziare in periodi di tempo diversi ma esiste una finestra limitata di opportunità fino a tre anni per ogni progetto.

Inoltre la società deve selezionare una serie di progetti in cui investire con l'obiettivo di migliorare al meglio gli obiettivi aziendali prefissati.

Uno dei modelli più noti in letteratura per quanto riguarda l'ottimizzazione di portafoglio è il modello di MEDIA-VARIANZA studiato da Harry Markowitz (premio Nobel per l'economia nel 1990).

Questo modello p basato sull'assunzione che i ritorni attesi di portafoglio sono distribuiti tramite una distribuzione normale.

L'obiettivo della ricerca di Markowitz è stato quello di cercare di bilanciare il rischio con il rendimento di un progetto e racchiudere questi due concetti all'interno di un'unica funzione obiettivo.

**Il modello di media-varianza**

Il modello di media-varianza nel linguaggio di programmazione matematica può essere scritto come segue:

$$\begin{aligned} max \quad & r^T w - k w^T Q w \\ s.t & \sum_i c_i w_i = b \\ & w \in \{0,1\} \end{aligned}$$

*Modello 3: Modello di media-varianza*

Dove r è un vettore dato di rendimenti di portafoglio e Q è una matrice di covarianza di ritorni anch'essa data.

K rappresenta un coefficiente descrivente l'avversione che l'impresa ha verso il rischio, $c_i$ rappresenta l'investimento iniziale di un progetto i-esimo; $w_i$ è una variabile binaria che rappresenta la decisione di investimento o meno su un determinato progetto e infine b è il budget disponibile.

**Implementazione del metodo di media-varianza**

Il metodo può essere applicato ad esempio ad un portafoglio di progetti in cui come obiettivo per ciascun progetto si ha quello di massimizzare il VAN (Valore Attuale Netto di progetto) cercando però di mantenere sotto una determinata soglia la deviazione standard dello stesso VAN.

Il modello in linguaggio di programmazione matematica è presto implementato, nel modello $\mu_{VAN}$ sta per valore atteso del VAN, mentre la deviazione standard viene indicata con $\sigma_{VAN}$.

$$\begin{aligned} \max \quad & \mu_{VAN} && (1) \\ & s.t. \\ & \sigma_{VAN} < T && (2) \\ & \sum_i c_i x_i \leq b && (3) \\ & \sum_i p_{ij} x_i \leq P_j \quad \forall j && (4) \\ & x_i \in \{0,1\} \end{aligned}$$

*Modello 4: Applicazione del modello di media-varianza al concetto di VAN di progetto*

Si assumo nel modello che tutti i progetti inizino alla stessa data, ad esempio si prende come inizio per semplicità il primo TIME BUCKET e si fanno iniziare da quel preciso istante tutti i progetti che compongono il portafoglio. Il modello di programmazione può essere implementato da ottimizzatori e come soluzione del problema si avranno le tre risposte numeriche, ovvero i valori di $\mu_{VAN}$, $\sigma_{VAN}$ e $P$. Per quanto riguarda la struttura del modello, questo è costituito dalla funzione obiettivo che appunto ha come fine quello di massimizzare il Valore attuale netto di progetto (1), il primo vincolo (2) è un requisito che il problema deve avere ovvero che la deviazione standard di progetto non deve superare un certo valore target T che è un valore costante dato del problema, l'equazione (3) è il vincolo di budget in cui la sommatoria dei costi di progetto non deve essere superiore di un determinato budget b e infine l'equazione (4) rappresenta il vincolo del personale che deve essere "utilizzato" all'interno di un progetto. Ovviamente vi sono molti limiti nella formulazione del problema, una fra tutti quello della determinazione del valore soglia T di deviazione standard del VAN che non si deve superare in un singolo progetto. Questo valore non è un valore fisso, varia da progetto a progetto ovviamente, viene stabilito nella maggior parte tramite l'esperienza dei decisori e perlopiù vengono utilizzate delle tecniche di analogia per la definizione di questo valore.

**Metodo TABU SEARCH**

Il metodo TABU SEARCH è stato creato da Glover nel 1986, sostanzialmente è un metodo di ricerca che fa parte della classe dei metodi meta-euristici (metodi di ricerca dell'ottimo che hanno il vincolo di dare una soluzione in un breve intervallo temporale anche se non è il vero e proprio ottimo del problema in quanto si adottano delle euristiche ovvero dei metodi che non portano al vero ottimo del problema che è molto difficile da calcolare bensì ad una soluzione che si avvicina molto).

Il metodo TABU SEARCH è stato costruito sulla base di metodi precedenti che basavano la ricerca dell'ottimo sfruttando uno spazio matematico di vicinato in cui si eseguiva una ricerca locale partendo da una potenziale soluzione e controllando le soluzioni più vicine a quella.

Il confronto consistenza nell'analizzare la soluzione e quelle vicine, ma se quelle vicine non miglioravano la soluzione di partenza non dovevano essere più controllate (TABU) e veniva escluse dal dominio di controllo, sostanzialmente vengono inseriti dei divieti all'interno del metodo di ricerca.

Il metodo TABU SEARCH adotta sia delle strutture di memoria che tengono conto delle soluzioni già visitate che anche delle regole che devono essere fornite al decisore per il corretto utilizzo del metodo.

Uno dei principali problemi del metodo è che l'algoritmo può rimanere incastrato all'interno di soluzioni di ottimo locale, ma ciò viene risolto grazie a metodi implementativi particolari appunto che cercano di scrivere "informaticamente" un TABU che permette al calcolatore di comprendere che già alcune soluzioni sono state controllate e che si deve uscire da quella cerchia di dominio di soluzioni che in gergo vengono soprannominate come "sub-ottime" e quindi potrebbero far entrare l'algoritmo all'interno di un LOOP e quindi il problema non avrà mai una soluzione di ottimo globale esatta, anche se ciò non può essere raggiunto mai perché si usano delle euristiche, ma almeno si tende a raggiungere una soluzione "migliore".

**Algoritmo del metodo**

L'algoritmo è nato da un metodo più antico che si chiama "STEEPEST DESCEND" ovvero metodo del gradiente o di massima pendenza. Questo metodo veniva usato ma anche oggi può essere usato per trovare il minimo di una funzione reale che ha come dominio uno spazio di soluzioni S.

La strategia è quella di iniziare da una soluzione inziale e sviluppare una serie di "mosse" che portano ad una nuova soluzione che si trova in un intorno del dominio di partenza come obiettivo (nel caso di minimo) si deve rispettare la condizione che la soluzione corrente deve avere un valore minore (nel caso di problema di minimo) e maggiore (nel caso di problema di massimo) rispetto alla soluzione inziale da cui si è partiti per fare il confronto.

Ma come si può intuire il metodo di massima (o minima) pendenza ha il problema di rimanere intrappolato all'interno di un dominio e quindi il metodo entra in quella famosa trappola delle soluzioni di minimo locale che non indagano al di fuori del dominio di partenza se ci sia una soluzione ottimale rispetto a quelle analizzate precedentemente.

Il TABU SEARCH nacque proprio per ovviare al problema di rimanere intrappolati nella ricerca di minimi locali, infatti in questo metodo vengono introdotte delle strategie (mosse) peggioranti che permetto di uscire da uno spazio di punti locali magari peggiorando inizialmente la soluzione ma migliorandola in seguito, o magari non la migliorano neanche in seguito e quindi ci sono casi in cui si deve ritornare alla soluzione di partenza. Ma anche in questo caso si può cadere nella trappola dei punti locali sia essi di minimo che di massimo infatti un'altra strategia che è presente nel metodo è quella di utilizzare delle "proibizioni" che non riportino l'algoritmo a delle soluzioni negative. Infatti, in questo metodo uno dei concetti fondamentali di utilizzo sono i metodi di memoria secondo i quali l'algoritmo deve "ricordarsi" quale sono le zone già visitate e marchiate come proibite.

Il flow chart dell'algoritmo non è molto complesso, anzi è abbastanza intuitivo, ed è sintetizzato in *figura 22:*

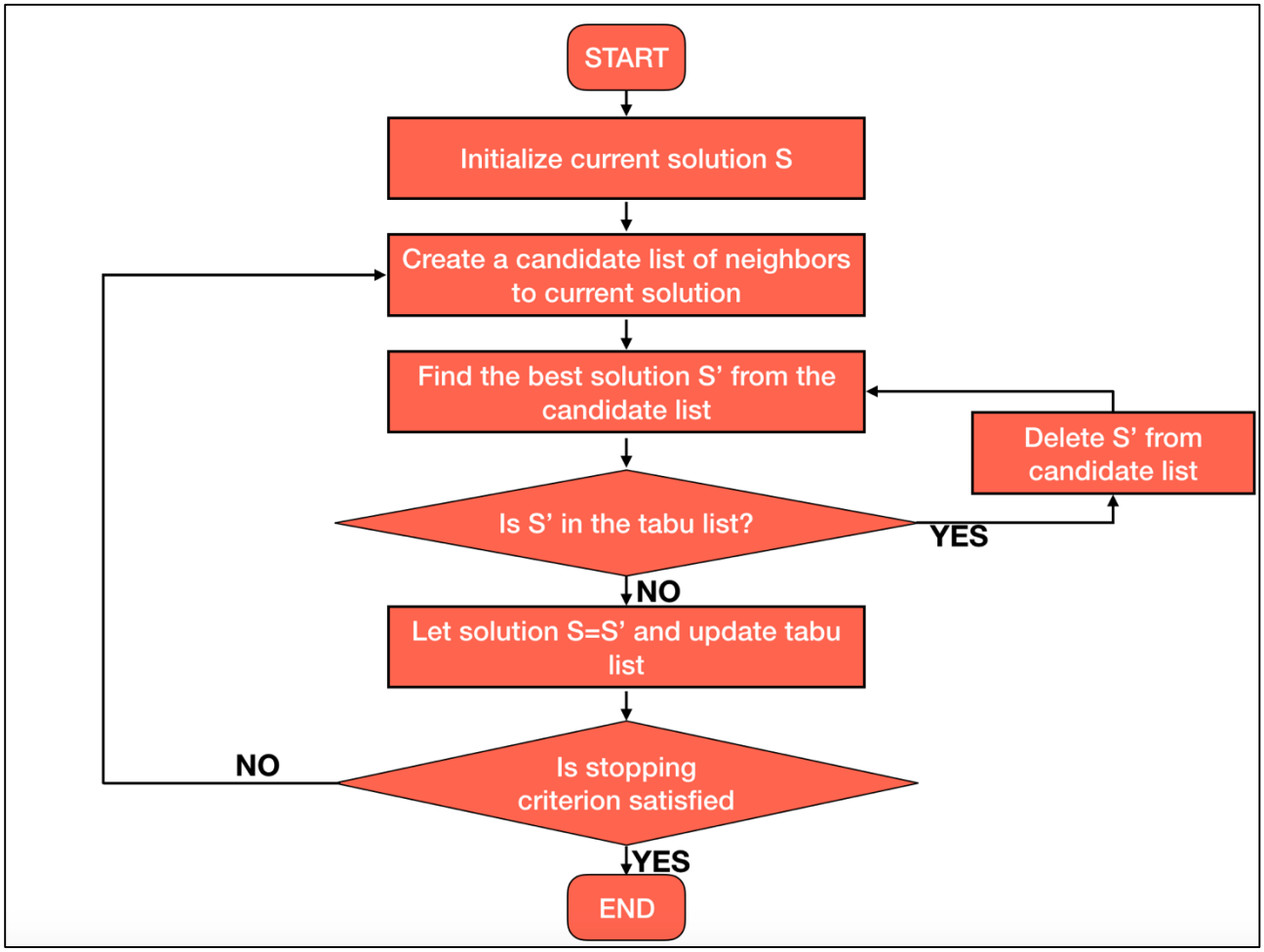



*Figura 22: Flow Chart TABU Search*

**Spiegazione del Flow Chart**:

**STEP 1)** Definire una soluzione iniziale S

**STEP 2)** Creare una lista di vicinato che abbia un dominio che si trovi in un intorno della soluzione di partenza S e che la contenga per definizione.

**STEP 3)** Trovare attraverso un metodo euristico la soluzione migliore all'interno dell'insieme definito allo STEP 2 (precedente).

**STEP 4)** La soluzione "ottima" trovata nello STEP 3 è contenuta all'interno della TABU LIST ?
Se **YES**, si elimina S' dalla lista delle soluzioni ottime candidate. Se **NO**, GO TO STEP 5.

**STEP 5)** Aggiornare il dominio S aggiungendo la soluzione S' e successivamente aggiornare la TABU list

**STEP 6)** Verificare se il criterio di soddisfazione è verificato, ovvero se si è arrivato al target deciso nella definizione del problema. Se **YES**, l'algoritmo è concluso è l'ultima soluzione è quella ottima altrimenti se **NO** GO TO STEP 2.

**Considerazioni finali sul metodo di ottimizzazione TABU SEARCH**
Il metodo di ottimizzazione TABU SEARCH viene applicati a molti contesti ingegneristici, matematici ma anche a molti contesti di scienze non prettamente scientifiche che sociologiche e molte altre.
In ambito di RISK MANAGEMENT è un metodo molto potente soprattutto nella definizione dell'ammontare di CONTINGENCY budget. Trovare una soluzione ottima è fondamentale, come si può dedurre nelle scienze economiche, in primis perché permette di risparmiare delle quantità di denaro che possono essere investite benissimo in altri ambiti del progetto oppure possono essere decurtati direttamente dai costi totali di progetto e rendono il progetto dell'impresa molto più competitivo.
Altro impiego molto importante riguarda l'ambito diretto del PROJECT MANAGEMENT in quanto questo metodo, insieme ovviamente alla gran parte dei metodi euristici e meta-euristici può essere applicato nei problemi di gestione di portafoglio di progetti.
Infatti, metodi simili e anche il TABU SEARCH stesso viene utilizzato ad esempio da software di imprese di grandi dimensioni come ad esempio le multinazionali che data la dimensione devono scegliere, ad esempio un progetto in cui investire, oppure può essere usato per la definizione di obiettivi strategie di impresa in modo da cercare di far perseguire all'impresa un obiettivo che sia in linea con la strategia di impresa ma che anche ne ottimizzi il risultato finale.
Inoltre è molto utile usarlo per la decisione di ubicazione di un impianto industriale, ad esempio andando a confrontare delle soluzioni relative a rischi ambientali, idrogeologici o di impatto con le persone che vivono in quel determinato territorio.

**Esempio applicativo completo simulazione Monte Carlo**

**Introduzione**

La simulazione è uno degli strumenti di maggior utilizzo soprattutto in ambito ingegneristico, ma è anche usata anche in ambito medico, sociale e in molti altri.
È uno strumento indispensabile per la risoluzione di particolari problemi, soprattutto per quelli che non hanno una soluzione esprimibile matematicamente in forma chiusa.
Inoltre ci sono molti sistemi che non possono essere modellati tramite tecniche matematiche standard e per vedere il loro funzionamento si dovrebbe proprio osservare "realmente" come operano, per questo motivo la simulazione viene anche adottata per "simulare" qualcosa che ancora non c'è e prevederne tramite appositi strumenti il funzionamento.
In aggiunta gli strumenti o programmi di simulazione possono essere usati per eseguire un'analisi specifica che prende il nome di WHAT IF ANALYSIS ovvero un insieme di domande riguardanti un sistema in cui si modificano dei parametri del sistema per capire cosa accade se qualcosa perturba il sistema e che risposta ha quest'ultimo.
Una delle definizioni più importanti, presente in letteratura, è di S.Robinson (2004):

***"Simulation is an imitation of a system as it progress through time"***

Al grande mondo della simulazione una delle più utilizzate in molti ambiti compreso quello ingegneristico è la simulazione Monte Carlo.
Quindi si può affermare che la simulazione è lo studio di un sistema reale o astratto che avviene grazie ad una sua riproduzione attraverso strumenti o programmi in un contesto controllabile e soprattutto sicuro.

## Simulazione Monte Carlo

La simulazione Monte Carlo viene utilizzata in molteplici contesti dall'aeronautica alla chimica, dall'economia all'astronomia.
Sostanzialmente la simulazione serve a risolvere tutti quei problemi matematici che non hanno una soluzione semplice proprio perché la definizione del problema racchiude un'enorme quantità di dati e variabili che quindi devono essere necessariamente modellate per essere risolte da un calcolatore.
L'uso della simulazione serve soprattutto a testare anche con un livello di dettaglio non trascurabile le modifiche che avvengono nelle variabili di INPUT o OUTPUT.
La simulazione Monte Carlo è stata utilizzata la prima volta per la ricerca nucleare ma oggi uno degli impieghi maggiori è proprio nell'ambito di RISK MANAGEMENT, viene utilizzata fondamentalmente in ambito economico/finanziario per prezzare i derivati (call option, put option, swap, …) ma il suo utilizzo è anche molto presente nell'altro filone del risk management ovvero quello legato al PROJECT MANAGEMENT
Una simulazione avviene nel modo seguente: vengono inserite le variabili di input in quello che sarà il DATASET di progetto e per ogni variabile di input dovrà essere inserita la distribuzione di probabilità relativa. Il progetto viene "simulato" in modo casuale un numero elevato di volte,

e vengono registrati i valori delle variabili in ciascun RUN di simulazione, ovvero in ogni n-esima simulazione.
Ovviamente in ambito di GdP le variabili di maggior interesse riguardano i tempi e i costi.
Infatti la simulazione Monte Carlo viene utilizzata per l'analisi e la determinazione dello schedule di progetto, che si traduce con la determinazione della data di completamento di progetto e l'altra variabile di fondamentale importanza per la gestione di un progetto è il costo totale di progetto.
Infatti in seguito è riportato un esempio che riguarda la determinazione della SCHEDULE di progetto, che andrà poi a determinare quella che sarà la prima data utile per il completamente del progetto.
Per l'analisi della simulazione Monte Carlo è stato adottato un metodo noto nella letteratura per determinare in prima battuta il "reticolo" che caratterizza lo svolgimento del progetto e poi da una stima della durata complessiva di progetto; il metodo in questione è il metodo PERT.

Nel successivo esempio, è stato considerato lo SCHEDULING di un progetto di costruzione di un ponte (*figura 23):*

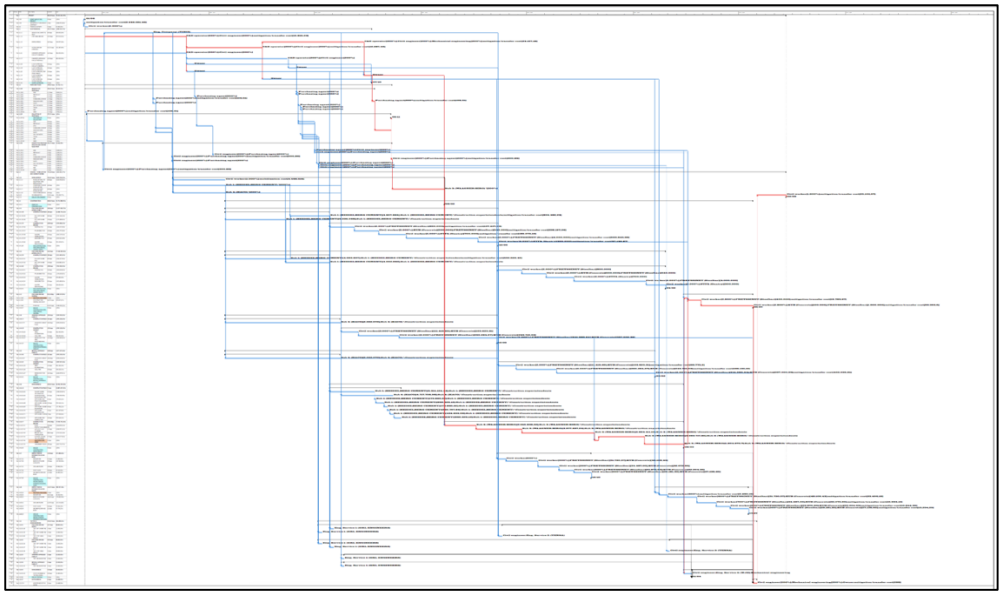


Figura 23: Scheduling Construction Project

Per applicare la simulazione Monte Carlo, prima si deve costruire lo schema PERT relativo al progetto, per semplicità di applicazione lo schema in (*figura 24*) è stato semplificando (*figura 25*) considerando solo le attività critiche, che sono poi quelle che determinano la durata complessiva di progetto.

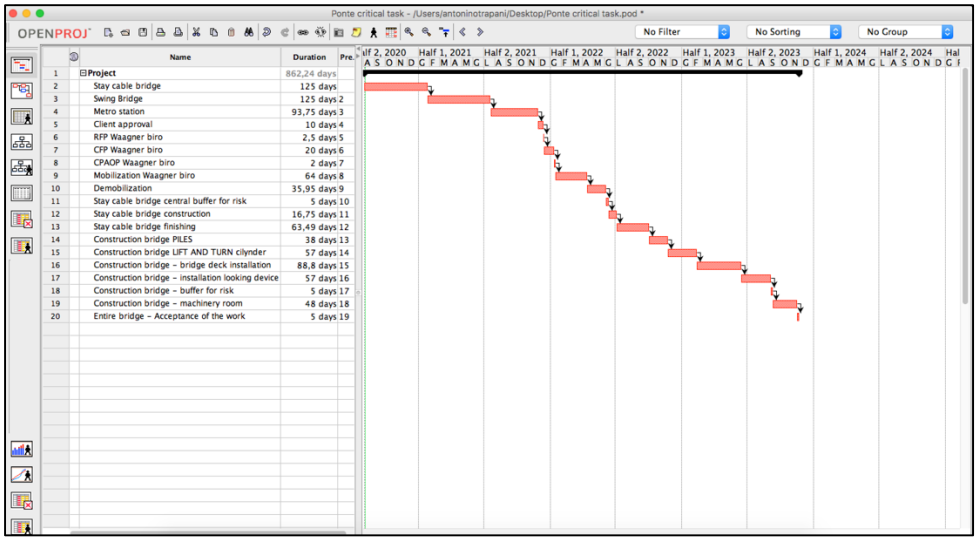



*Figura 24: Critical Task Construction Project*

In seguito come detto sono state considerate le durate ottimali, pessimistiche e probabile attraverso l'uso di appropriati scarti spanno metrici (*figura 21*).

| ID task | b | a | c |
|---|---|---|---|
| 2 | 125 | 124 | 126 |
| 3 | 125 | 124 | 126 |
| 4 | 93,75 | 92,75 | 94,75 |
| 5 | 10 | 9 | 11 |
| 6 | 2,5 | 1,5 | 3,5 |
| 7 | 20 | 19 | 21 |
| 8 | 2 | 1 | 3 |
| 9 | 64 | 63 | 65 |
| 10 | 35,95 | 34,95 | 36,95 |
| 11 | 5 | 4 | 6 |
| 12 | 16,75 | 15,75 | 17,75 |
| 13 | 63,49 | 62,49 | 64,49 |
| 14 | 38 | 37 | 39 |
| 15 | 57 | 56 | 58 |
| 16 | 88,8 | 87,8 | 89,8 |
| 17 | 57 | 56 | 58 |
| 18 | 5 | 4 | 6 |
| 19 | 48 | 47 | 49 |
| 20 | 45 | 44 | 46 |
| | **902,24** | **883,24** | **921,24** |

*Figura 25: PERT Analysis*

Nella *figura 25* i valori finali sono dati dalla relativa somma di colonna, invece i valori di a, b e c rappresenta rispettivamente i valori di durata ottimale, probabile e pessimistica.
Nell'applicazione dell'analisi PERT si assume che la distribuzione segua una distribuzione di probabilità di tipo beta (*figura 26*). È stata scelta questa distribuzione perché è una fra tutte le distribuzioni che al modificarsi dei parametri $\alpha$ e $\beta$ si adatta meglio ai dati che sono presenti nel DATASET. Inoltre questa distribuzione si distingue dalle altre perché come la normale è unimodale e siccome si deve definire una durata più probabile rispetto alle altre è perfetta per la programmazione e lo SCHEDULING di progetto, inoltre è una distribuzione di probabilità

definita non negativa e questa caratteristica va molto in linea con il fatto che le durate dei vari WP di un progetto non possono essere assolutamente negative.

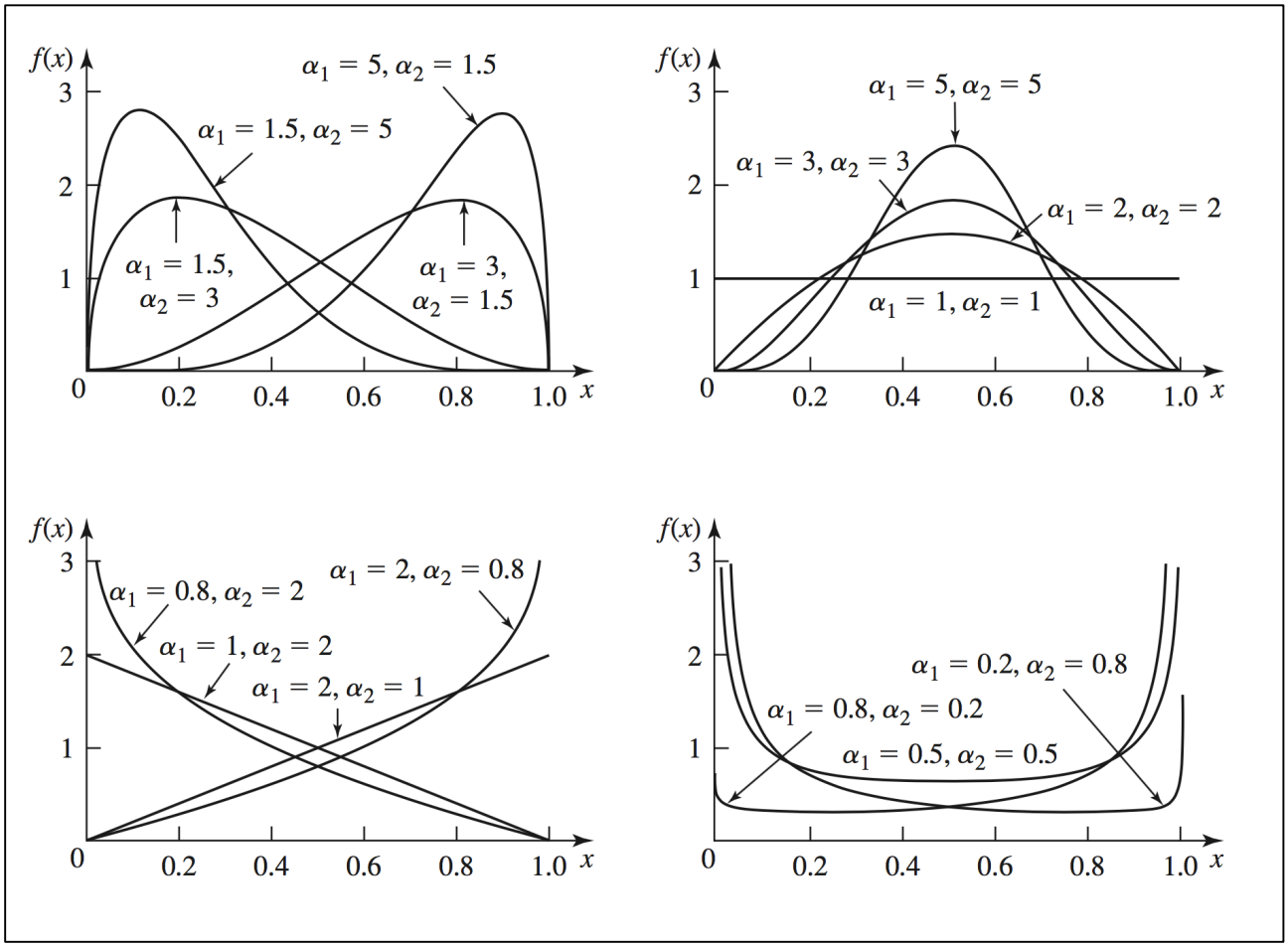



Figura 26: Distribuzione Beta

La distribuzione beta è definita tramite due parametri $\alpha$ e $\beta$ entrambi positivi, il dominio è sull'intervallo [0,1] con una funzione di densità di probabilità:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha,\beta)}$$

dove $B(\alpha,\beta)$ è definito come:

$$B(\alpha,\beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}\ dx$$

Quindi prima di calcolare le relative funzioni di densità devono essere calcolati i parametri $\alpha, \beta$. Le relative formule di calcolo, pertanto, sono:

$$\alpha = \frac{4b + c - 5a}{c - a}$$

$$\beta = \frac{5c - a - 4b}{c - a}$$

Così facendo i parametri (arrotondati) di a, b c e la relativa distribuzione beta opportunamente calcolata con la relativa funzione di EXCEL risultano essere (*figura 27*):

| | |
|---|---|
| a | 883 |
| b | 902 |
| c | 921 |
| apha | 3,0000 |
| beta | 3,0000 |
| Beta distribution | 902,1271228 |

*Figura 27: Parametri della distribuzione Beta*

Dopo ciò può essere sfruttato il modello Monte Carlo per simulare attraverso dei numeri casuali i vari valori di durata che potrebbe assumere il progetto, inserendo i valori di probabilità di accadimento direttamente dal simulatore di numeri casuali presente all'interno del software EXCEL. Ovviamente una delle caratteristiche dell'analisi Monte Carlo è che questa fornisce dei risultati più attendibili se il numero di RUN (ovvero di simulazioni che vengono effettuate tramite il calcolare) è molto elevato. Di contro il tempo di simulazione non è trascurabile molte volte, e quindi si deve cercare di arrivare ad un TRADEOFF tra numero di dati e tempo a disposizione per effettuare la simulazione. Inoltre, c'è anche un'altra limitazione di questo metodo ed è legata al concetto di casualità, infatti i numeri che servono per determinare la funzione di distribuzione normale sono i parametri ma i valori di probabilità vengono presi attraverso il comando CASUALE() all'interno di un generatore di numeri appunto casuali. La letteratura afferma che i numeri casuali in realtà non esistono in quanto sono generati attraverso delle vere e proprie formule matematiche ricorsive e quindi spesso si può incorrere al problema dell'estrazione dei numeri casuali simili tra loro proprio perché questi generatori hanno un'EFFICIENZA che non è infinita e pertanto il "periodo" di ripetizione potrebbe essere breve e quindi i numeri in realtà si ripetono in modo frequente e si perde il concetto di casualità, pertanto i generatori di numeri casuali quando sono progettati in modo da avere un periodo di ripetizione il più lungo possibile.
La simulazione che è stata effettuata è stata fatta considerando 4000 iterazioni, in seguito i dati simulati vengono analizzati attraverso comuni tecniche di statistica descrittiva in modo da conoscere in modo sintetico quello che è avvenuto all'interno dell'intera simulazione (*figura 28*).

| Analisi descrittiva simulazione Monte Carlo | |
|---|---|
| Media | 902,042 |
| Errore standard | 0,113924553 |
| Mediana | 902 |
| Moda | 902 |
| Deviazione standard | 7,205221357 |
| Varianza campionaria | 51,9152148 |
| Curtosi | -0,676664506 |
| Asimmetria | -0,001167146 |
| Intervallo | 36 |
| Minimo | 884 |
| Massimo | 920 |
| Somma | 3608168 |
| Conteggio RUN | 4000 |

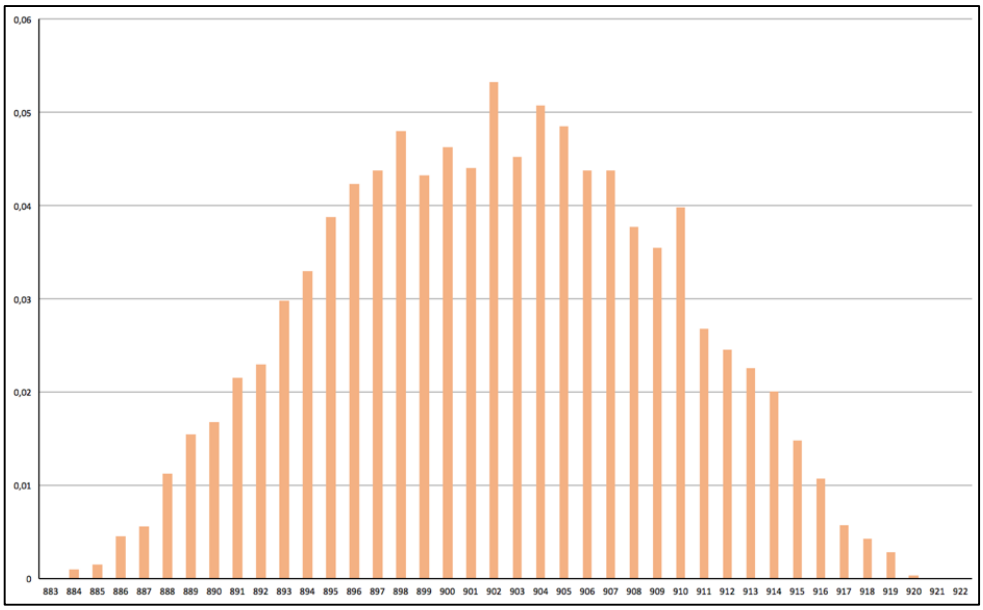
*Figura 28: Analisi descrittiva Simulazione Monte Carlo*

In quest'ultima figura si nota che il progetto ha una durata media di 902,042 giorni considerando i valori di scarto di 1 giorno iniziali.
Per avere un'idea migliore della durata del progetto la situazione è meglio descritta da grafici che sono stati generati contando quante volte il valore di durata è più probabile all'interno del progetto partendo ovviamente dal valore ottimale a quello pessimistico (*figura 29*).

| Numero | Frequenza | Percentuale | Cumulata |
|---|---|---|---|
| 883 | 0 | 0,00% | 0,00% |
| 884 | 4 | 0,10% | 0,10% |
| 885 | 6 | 0,15% | 0,25% |
| 886 | 18 | 0,45% | 0,70% |
| 887 | 22 | 0,55% | 1,25% |
| 888 | 45 | 1,13% | 2,38% |
| 889 | 62 | 1,55% | 3,93% |
| 890 | 67 | 1,68% | 5,60% |
| 891 | 86 | 2,15% | 7,75% |
| 892 | 92 | 2,30% | 10,05% |
| 893 | 119 | 2,98% | 13,03% |
| 894 | 132 | 3,30% | 16,33% |
| 895 | 155 | 3,88% | 20,20% |
| 896 | 169 | 4,23% | 24,43% |
| 897 | 175 | 4,38% | 28,80% |
| 898 | 192 | 4,80% | 33,60% |
| 899 | 173 | 4,33% | 37,93% |
| 900 | 185 | 4,63% | 42,55% |
| 901 | 176 | 4,40% | 46,95% |
| 902 | 213 | 5,33% | 52,28% |
| 903 | 181 | 4,53% | 56,80% |
| 904 | 203 | 5,08% | 61,88% |
| 905 | 194 | 4,85% | 66,73% |
| 906 | 175 | 4,38% | 71,10% |
| 907 | 175 | 4,38% | 75,48% |
| 908 | 151 | 3,78% | 79,25% |
| 909 | 142 | 3,55% | 82,80% |
| 910 | 159 | 3,98% | 86,78% |
| 911 | 107 | 2,68% | 89,45% |
| 912 | 98 | 2,45% | 91,90% |
| 913 | 90 | 2,25% | 94,15% |
| 914 | 80 | 2,00% | 96,15% |
| 915 | 59 | 1,48% | 97,63% |
| 916 | 43 | 1,08% | 98,70% |
| 917 | 23 | 0,58% | 99,28% |
| 918 | 17 | 0,43% | 99,70% |
| 919 | 11 | 0,28% | 99,98% |
| 920 | 1 | 0,03% | 100,00% |
| 921 | 0 | 0,00% | 100,00% |
| 922 | 0 | 0,00% | 100,00% |

*Figura 29: Percentuale di occorrenza delle durate*

*Figura 30: Grafico a barre percentuale di frequenza*




Inoltre, la durata di progetto pari a 902 giorni è inoltre attestata anche dai seguenti grafici di frequenza percentuale (*figura 30-31*).

Al termine della simulazione si può affermare che il metodo Monte Carlo è molto utile per predire la durata di progetto, senza che questo debba essere realizzato, perché ovviamente le simulazioni vengono fatte anche in fase di progettazione dell'opera da realizzare per questo motivo molto utili per stanziare delle somme di denaro.
Nell'esempio in questione si è visto, considerando gli scarti temporali inziali che il progetto anziché durare gli 863 giorni con la simulazione Monte Carlo considerando i relativi tempi di ritardo si arriva ad un risultato finale che è pari a 902 giorni, ovvero c'è un delta di durata che è pari a 39 giorni in più.
Infatti, questo aiuta ai decisori a predire che ci saranno delle risorse in più e dei costi in più da pagare ma sempre in funzione di quegli scarti di tempo iniziali che possono essere cambiati in base al livello di avversione del rischio.

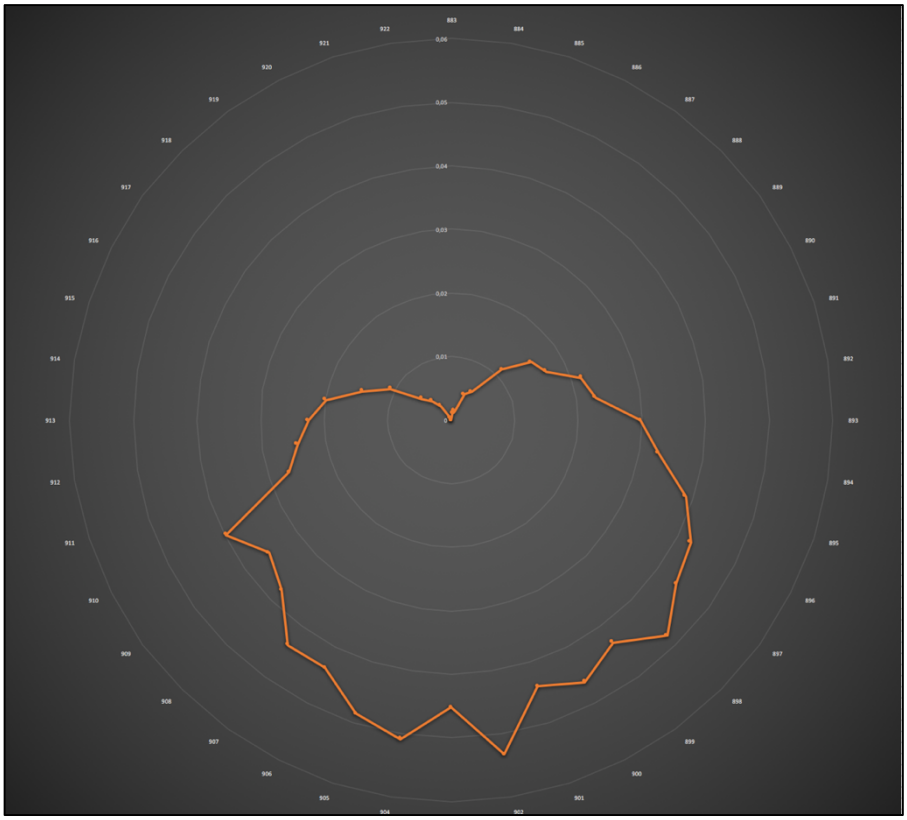


*Figura 31: Grafico di frequenza delle occorrenze delle durate*

## Modelli integrati per la stima di costi e tempi

Nella gestione dei progetti la stima dei costi e la pianificazione prima dell'esecuzione dei lavori sono due fasi che spesso e volentieri sono trattate separatamente anche per il fatto che riguardano fasi diverse della GdP.
Quando non esiste un collegamento così diretto tra la pianificazione e la stima dei costi di un progetto, il modello sviluppato non è in grado di cogliere completamente tutta l'incertezza e gli impatti dei rischi associati al progetto.
Infatti, alcune volte per la gestione di alcuni progetti particolari si adotta un modello che prende il nome di Activity Based Costing Simulation (sviluppato da Edward Back) in cui la stima dei costi di progetto e i modelli probabilistici vengono applicati simultaneamente ai vari WP di progetto.
Sostanzialmente questo metodo cerca di unire la modellazione probabilistica basata direttamente sul rischio con la stima dei costi che poi porterà al calcolo del contingency budget.
Touran ha introdotto un modello integrato di costi e durate per determinati programmi e tiene conto delle incertezze in termini di costi, pianificazione e aumento.
Questo metodo integrato utilizza la simulazione Monte Carlo per fornire una stima più accurata della modellizzazione delle incertezze.

## Metodi matematici moderni

### Tecniche Fuzzy

La teoria insiemistica fuzzy è una branca della matematica moderna che è stata introdotta nel 1975 da Zadeh. Questa tecnica fu sviluppata per eseguire delle analisi cognitive sul comportamento dell'uomo, per questo motivo oggi è molto utilizzata in ambito di risk management, in quanto in questo particolare contesto spesso quando non si hanno dei database di dati statistici si usano dei pareri di esperti che non sono altro che comportamenti di persone umane che quindi sono modellabili con l'ausilio di questa particolare tecnica.
Praticamente è una forma di "traduzione" in cui i giudizi qualitativi vengono trasformati in giudizi quantitativi.
Nella logica fuzzy i giudizi forniti dagli esperti sono tradotti in un formato simile a delle probabilità (ovvero utilizzando dei simboli che sono composti da combinazioni di numeri che sono compresi tra 0 e 1) nonostante il dominio di appartenenza dei numeri fuzzy sia compreso tra 0 e 1 questi non sono da considerarsi delle probabilità, perché non esiste proprio questo concetto i giudizi degli esperti sono classificati come delle certezze nel caso in cui si usano dei numeri vicini ad 1 quindi si parla praticamente di concetti che vanno a raggiungere dei veri e propri gradi di verità e non quindi di probabilità.
In alcuni tipi di progetti invece di usare le semplici probabilità ad esempio per affinare le tecniche di determinazione del rischio anziché utilizzare un singolo numero per la stima di un numero vengono raccolti tre numeri diversi in modo che si possa costruire anche un intervallo di confidenza.
Inoltre come ogni sistema di numerazione anche la logica fuzzy ha il suo sistema di operazioni un po' diverso rispetto al nostro sistema di numerazione ma che permette in modo migliore di modellizzare alcuni fenomeni.
Tuttavia il framework di identificazione dei rischi è diverso rispetto a quello canonico, infatti, molto spesso in letteratura si usano insieme alla logica fuzzy, quattro fasi di identificazione, valutazione e gestione dei rischi e infine si utilizza un insieme di logiche fuzzy utilizzate tutte insieme in modo da strutturare un modello per la determinazione del prezzo dei rischi di progetto andando così direttamente a definire il contingency budget

**Esempio esplicativo della metodologia fuzzy**

Il metodo Fuzzy AHP (per questo detto FAHP) è un metodo simili all'AHP con la differenza che invece di utilizzare i numeri comuni vengono utilizzate delle triplette di numeri che prendono il nome di numeri fuzzy tramite i quali vengono calcolati i pesi che porteranno ad eseguire una gerarchizzazione della tipologia di rischio di progetto.
Ad esempio, si supponga che un progetto sia costituito da 4 tipologie di rischio che per semplicità chiameremo type1, type2, type3 e type 4 come rappresentato dalla *figura 32*.

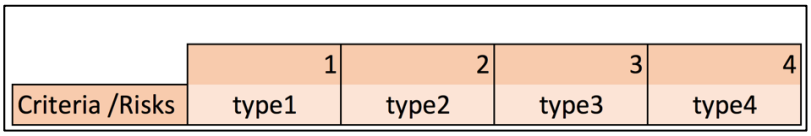



*Figura 32: Classificazione dei rischi di progetto*

Come per il metodo AHP, anche nel FAHP vengono fatti dei confronti a coppie tra i vari criteri analizzati adottando la seguente scala di importanza relativa modificata.
La scala di importanza che è utilizzata nella metodologia AHP è la seguente:

- **1**: importanza uguale
- **3**: importanza moderata
- **5**: importanza forte
- **7**: importanza molto forte
- **9**: importanza estrema
- **2, 4, 6, 8**: Valori intermedi
- **1/3, 1/5, 1/7, 1/9**: valori da adottare per la comparazione inversa tra criteri

Per quanto riguarda invece il metodo FAHP la scala non può essere la medesima in quanto il sistema di numerazione è differente rispetto a quello che si usa normalmente, per comprendere ciò è necessaria una spiegazione dei numeri fuzzy.
Un numero "fuzzy" è una generalizzazione di un numero reale, infatti esso non si riferisce ad un singolo valore bensì ad un insieme di valori in cui ogni valore ha un peso compreso tra 0 e 1.
Infatti la definizione ad esempio di un numero fuzzy $\tilde{A}$ è rappresentata dalla seguente relazione:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \tilde{A} = (1, 2, 3)$$

*Equazione 18: Definizione di un numero fuzzy*

Infatti, per la definizione di un'entità base del sistema fuzzy servono minimo tre valori, in cui il primo valore è il valore che ha meno peso dei tre ed è considerato un valore pessimistico, il secondo valore è quello più probabile e pertanto viene definito medio e infine il terzo valore è considerato un valore ottimistico.
La rappresentazione in un piano cartesiano di questo numero è descritta dalla *figura 33*:

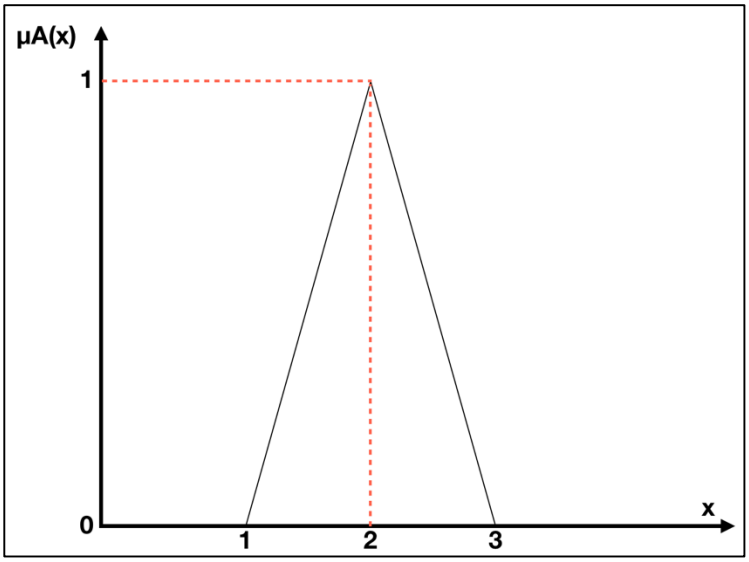


Figura 33: Rappresentazione di un numero fuzzy

Quindi dato che sia la rappresentazione che la definizione vera e propria di questa tipologia di numeri la scala di importanza relativa che viene adottata per il metodo FAHP risulta essere modificata, infatti si pensi che questa scala è stata adottata considerando che le importanze non sono classificabili semplicemente ma si muovono per triangoli successivi, come descritto dalla *figura 34*.

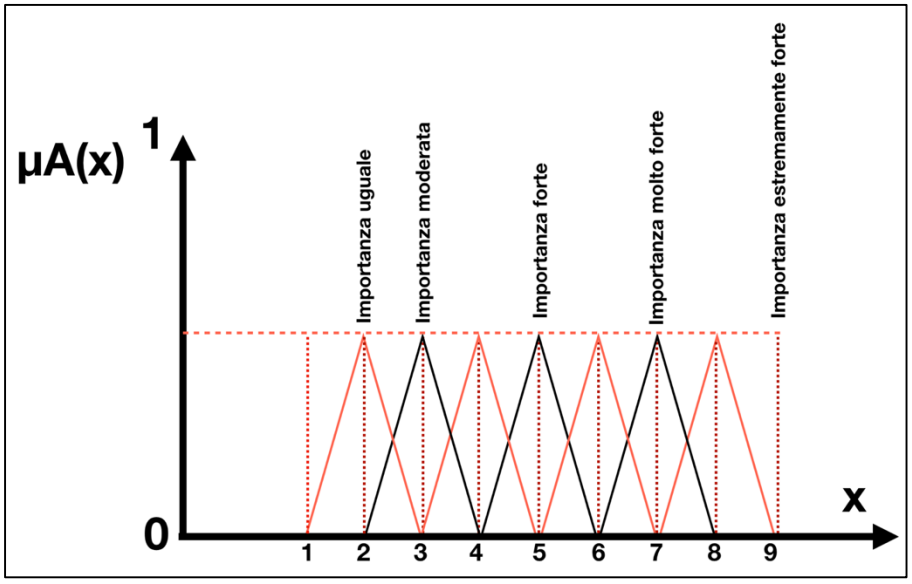


Figura 34: Rappresentazione scala di importanza

Quindi la scala dei numeri fuzzy per la comparazione a coppie risulta essere:

- **(1, 1, 1)**: importanza uguale
- **(2, 3, 4)**: importanza moderata
- **(4, 5, 6)**: importanza forte
- **(6, 7, 8)**: importanza molto forte
- **(9, 9, 9)**: importanza estrema
- **(1, 2, 3) ; (3, 4, 5) ; (5, 6, 7) ; (7, 8, 9)**: Valori intermedi

Considerando il seguente esempio descritto dalla matrice di confronto a coppie in cui si utilizza un sistema di numerazione normale e non fuzzy (*figura 35*)

| | type1 | type2 | type3 | type4 |
|---|---|---|---|---|
| type1 | 1 | 5 | 4 | 7 |
| type2 | 0,20 | 1 | 0,50 | 3 |
| type3 | 0,25 | 2 | 1 | 3 |
| type4 | 0,14 | 0,33 | 0,33 | 1 |

Figura 35: Matrice di confronto a coppie

Considerando la seguente matrice di trasformazione che trasforma un numero semplice (sistema di numerazione araba) in un numero fuzzy costituito da una tripla (*figura 36):*

| Importanza | Simple number | Fuzzy number |
|---|---|---|
| **Uguale** | 1 | (1, 1, 1) |
| **Moderata** | 3 | (2, 3, 4) |
| **Forte** | 5 | (4, 5, 6) |
| **Molto forte** | 7 | (6, 7, 8) |
| **Estremamente forte** | 9 | (9, 9, 9) |
| **Valori intermedi** | 2 | (1, 2, 3) |
| | 4 | (3, 4, 5) |
| | 6 | (5, 6, 7) |
| | 8 | (7, 8, 9) |

Figura 36: Schema di conversione da un numero semplice ad uno fuzzy

Quindi la matrice corrispondente a quella descritta dalla *figura 35* utilizzando la precedente tabella di trasformazione risulta essere (*figura 37*)

| | type1 | type2 | type3 | type4 |
|---|---|---|---|---|
| type1 | (1, 1, 1) | (4, 5, 6) | (3, 4, 5) | (6, 7, 8) |
| type2 | 0,2 | (1, 1, 1) | 0,5 | (2, 3, 4) |
| type3 | 0,25 | (1, 2, 3) | (1, 1, 1) | (2, 3, 4) |
| type4 | 0,1428571 | 0,3333333 | 0,3333333 | (1, 1, 1) |

*Figura 37: Matrice con fuzzy number*

Come si può notare la matrice precedente non è stata trasformata completamente in una matrice costituita solo da numeri fuzzy, in quanto per le trasformazioni di numeri il cui valore deriva da un rapporto si deve introdurre un altro tipo di trasformazione che può essere semplificato dalla seguente relazione matematica:

$$\widetilde{A}^{-1} = (l, m, u)^{-1} = (\frac{1}{u}, \frac{1}{m}, \frac{1}{l})$$

*Equazione 19: Inversione di un numero fuzzy*

In cui i termini l, m ed u stanno a rappresentare la vera e propria "composizione" del numero fuzzy, infatti la lettera l sta per lower, la lettera m per medium e la lettera u per upper.
Quindi ad esempio il valore 0,25 che deriva da 1/5 corrisponde al valore 5 (numero semplice) quindi prendendo il rispettivo fuzzy di 5 si ha (4, 5, 6).
Quest'ultimo numero fuzzy facendo l'operazione di inversione descritta dall'*equazione 19* si ha che il termine da inserire all'interno della matrice risulta essere (1/6, 1/5, 1/4), quindi andando a completare la matrice (*figura 37*) la matrice fuzzy di confronto a coppie risulta essere descritta dalla *figura 38*.

| | type1 | type2 | type3 | type4 |
|---|---|---|---|---|
| type1 | (1, 1, 1) | (4, 5, 6) | (3, 4, 5) | (6, 7, 8) |
| type2 | (1/6, 1/5, 1/4) | (1, 1, 1) | (1/3, 1/2, 1) | (2, 3, 4) |
| type3 | (1/5, 1/4, 1/3) | (1, 2, 3) | (1, 1, 1) | (2, 3, 4) |
| type4 | (1/8, 1/7, 1/6) | (1/4, 1/3, 1/2) | (1/4, 1/3, 1/2) | (1, 1, 1) |

*Figura 38: Matrice fuzzy completa*

Calcolata la matrice completa dei numeri fuzzy, si può procedere all'applicazione del metodo AHP tenendo sempre presente che il sistema di numerazione non è quello semplice a cui siamo abituati, quindi si deve tener conto che le operazioni classiche della matematica (somme, operazioni, moltiplicazioni e divisioni) possono subire delle variazioni non molto complesse in questo sistema nuovo.
I pesi dei vari criteri o rischi (type) vengono calcolati adottando delle medie statistiche, in questo caso per semplicità verrà adottata la media geometrica tramite la quale si calcoleranno i pesi fondamentali per la gerarchizzazione (prioritizzazione) dei criteri.
Infatti prima del calcolo dei pesi tramite media geometrica è necessario indicare l'operazione di moltiplicazione nel mondo fuzzy, che è descritta dalla seguente formula:

$$\widetilde{A_1} \otimes \widetilde{A_2} = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \cdot l_2, m_1 \cdot m_2, u_1 \cdot u_2)$$

*Equazione 20: Formula di prodotto nel sistema di numerazione fuzzy*

Ricordando che la definizione della media geometrica è la seguente (nel sistema di numerazione semplice): la media geometrica di n termini è la radice n-esima del prodotto degli n valori. Indicando con $M_g$ il valore della media geometrica, la definizione è rappresentata dalla seguente equazione:

$$M_g = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} x_i}$$

*Equazione 21: Formula canonica della media geometrica*

Ritornando nel sistema di numerazione fuzzy e indicando la media geometrica del primo criterio (prima riga della matrice di *figura 39*) la media geometrica risulta essere calcolata con il seguente metodo.
Considerando che la prima riga della tabella è la seguente:

| | type1 | type2 | type3 | type4 |
|---|---|---|---|---|
| type1 | (1, 1, 1) | (4, 5, 6) | (3, 4, 5) | (6, 7, 8) |

*Figura 39: Prima riga matrice fuzzy*

Generalizzando i vari termini in tabella 1:

| ***type 1*** | ***type 2*** | ***type 3*** | ***type 4*** |
|---|---|---|---|
| $({}^1l_1, {}^1m_1, {}^1u_1)$ | $({}^2l_1, {}^2m_1, {}^2u_1)$ | $({}^3l_1, {}^3m_1, {}^3u_1)$ | $({}^4l_1, {}^4m_1, {}^4u_1)$ |

Il valore della media geometrica calcolato nel sistema di numerazione fuzzy risulta essere:

$$\widetilde{r_1} = [({}^1l_1{}^2l_1{}^3l_1{}^4l_1)^{\frac{1}{4}}, ({}^1m_1{}^2m_1{}^3m_1{}^4m_1)^{\frac{1}{4}}, ({}^1u_1{}^2u_1{}^3u_1{}^4u_1)^{\frac{1}{4}}]$$

*Equazione 22: Calcolo parametrico fuzzy di una media geometrica*

Quindi considerando sempre la prima riga e sostituendo i numeri, si ha che:

$$\widetilde{r_1} = [(1 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 6)^{\frac{1}{4}}, (1 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 7)^{\frac{1}{4}}, (1 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 8)^{\frac{1}{4}}]$$

$$\widetilde{r_1} = [2.91, 3.44, 3.94]$$

*Equazione 23: Soluzione calcolo parametrico fuzzy di una media geometrica*

Svolgendo quindi tutti i calcoli per le varie righe della matrice le varie medie geometriche per i 4 criteri (rischi) risultano essere:

- $\widetilde{r_1} = [2.91, 3.44, 3.94]$
- $\widetilde{r_2} = [0.58, 0.74, 1]$
- $\widetilde{r_3} = [0.8, 1.11, 1.41]$
- $\widetilde{r_4} = [0.30, 0.35, 0.45]$

Per il calcolo dei pesi si adotta la seguente formula:

$$\widetilde{\omega_i} = \widetilde{r_i} \otimes (\widetilde{r_1} \oplus \widetilde{r_2} \oplus \dots \widetilde{r_n})^{-1}$$

*Equazione 24: Formula per il calcolo dei pesi*

Ma per l'applicazione di questa formula si deve introdurre l'operazione di somma di due numeri nel mondo fuzzy:

$$\widetilde{A_1} \oplus \widetilde{A_2} = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

*Equazione 25: Operazione somma numeri fuzzy*

Quindi applicando la precedente formula si ottiene che:

$$\widetilde{r_1} \oplus \widetilde{r_2} \oplus \widetilde{r_3} \oplus \widetilde{r_4} = (2.91 + 0.58 + 0.80 + 0.30, \\ 3.44 + 0.74 + 1.11 + 0.35, 3.94 + 1 + 1.41 + 0.45)$$

$$\widetilde{r_1} \oplus \widetilde{r_2} \oplus \widetilde{r_3} \oplus \widetilde{r_4} = (4.58, 5.64, 6.80)$$

Quindi $(\widetilde{r_1} \oplus \widetilde{r_2} \oplus \dots \widetilde{r_n})^{-1}$ risulta essere uguale a:
$(\widetilde{r_1} \oplus \widetilde{r_2} \oplus \widetilde{r_3} \oplus \widetilde{r_4})^{-1} = \left(\frac{1}{6.80}, \frac{1}{5.64}, \frac{1}{4.58}\right)$

Per il calcolo dei pesi finali quindi utilizzando la formula 12 si calcolano i quattro pesi tramite le seguenti relazioni:

- $\widetilde{\omega_1} = (2.91, 3.44, 3.94) \otimes \left(\frac{1}{6.80}, \frac{1}{5.64}, \frac{1}{4.58}\right)$
- $\widetilde{\omega_2} = (0.58, 0.74, 1) \otimes \left(\frac{1}{6.80}, \frac{1}{5.64}, \frac{1}{4.58}\right)$
- $\widetilde{\omega_3} = (0.8, 1.11, 1.41) \otimes \left(\frac{1}{6.80}, \frac{1}{5.64}, \frac{1}{4.58}\right)$
- $\widetilde{\omega_4} = (0.30, 0.35, 0.45) \otimes \left(\frac{1}{6.80}, \frac{1}{5.64}, \frac{1}{4.58}\right)$

Pertanto sfruttando l'operazione di prodotto si calcolano i seguenti pesi:

- $\widetilde{\omega_1} = (0.428, 0.610, 0.859)$
- $\widetilde{\omega_2} = (0.085, 0.131, 0.218)$
- $\widetilde{\omega_3} = (0.117, 0.196, 0.309)$
- $\widetilde{\omega_4} = (0.044, 0.063, 0.099)$

Quindi a questo punto del metodo, ci si ritrova con dei pesi che sono espressi tramite una notazione strana che non si sa spesso neanche interpretare. Pertanto, per comprendere il valore reale dei vari pesi si deve effettuare un meccanismo di De-Fuzzification tramite il quale si calcolano dei pensi e si può effettuare una sorta di gerarchizzazione dei rischi.
Il metodo di De-Fuzzification consiste, sostanzialmente, nel calcolare il centro dell'area del triangolo che rappresenta un numero fuzzy (*figura 29*), infatti si calcolerà per ogni criterio (type) un indicatore chiamato, appunto COA (Centre of Area) descritto dalla seguente formula:

$$\boldsymbol{Centre\ of\ Area\ (COA) = \ w_i = \left(\frac{l + m + u}{3}\right)}$$

*Equazione 26: Calcolo del COA*

dove i termini l, m ed u indicano i valori di lower, medium e upper del fuzzy number.
I pesi calcolati risultano essere:

- $\omega_1 = 0.633$
- $\omega_2 = 0.145$
- $\omega_2 = 0.207$
- $\omega_3 = 0.068$

Ovviamente i pesi non sono da considerarsi finali, in quanto si deve procedere eseguendo un processo di normalizzazione, ovvero sommando tutti i pesi (1.058) e dividendo ogni singolo peso per quest'ultima somma.
Quindi così facendo i pesi normalizzati risultano essere pari a:

- $\omega_1 = 60.1\%$
- $\omega_2 = 13.8\%$
- $\omega_2 = 19.7\%$
- $\omega_3 = 6.5\%$

Questi ultimi pesi possono essere utilizzati per la gerarchizzazione degli elementi di una qualsiasi matrice, come ad esempio la matrice RBM dei rischi o anche la stessa RBS in cui vengono catalogati tutti i rischi che possono incorrere all'interno di un progetto.

# CAPITOLO 2: METODI ALTERNATIVI E INNOVATIVI DI ANALISI DEL RISCHIO

## Risk management analysis con tecniche of Machine Learning

Lo sviluppo tecnologico ed informatico degli ultimi 20 anni ha portato l'utilizzo di tecniche innovative in molti contesti tecnologici ed ingegneristici.
Anche nell'ambito del Risk Management sono arrivate delle innovazioni che hanno permesso di accurare i metodi di ricerca dei rischi all'interno della gestione dei progetti.
Infatti, le tecniche di Intelligenza Artificiale, Big Data e Machine Learning sono ormai all'ordine del giorno per chi si ritrova ad affrontare problemi inerenti all'ambito del rischio.
Uno degli approcci che viene utilizzato usando tecniche di machine learning è la fase di risk management.
Una delle tecniche di machine learning adottate è quella che in gergo viene detta DNN ovvero Deep Neural Network.
Studi empirici dimostrano come queste nuove tecniche siano molto più precise e veloci rispetto alle tecniche standard che la letteratura proponeva.

### Introduzione al Machine Learning

Il machine learning o metodo di apprendimento automatico è una sottosezione del macro-filone dell'intelligenza artificiale.
Sostanzialmente il machine learning si discosta dalle tecniche di programmazione tradizionali in quanto in questo la macchina apprende qualcosa di nuovo direttamente dai dati e non segue delle istruzioni di codice pre-compilate precedentemente dal programmatore.
Il machine learning al suo interno racchiude molte altre tecniche: statistica computazionale, riconoscimento di pattern, reti neurali artificiali, data mining, algoritmi adattativi, teoria dei sistemi dinamici, elaborazione delle immagini…
Questa tecnica innovativa consiste nell'apprendimento automatico dai dati tramite algoritmi che riescano ad eseguire delle previsioni sui dati che appartengono al DATASET di partenza.
In particolare, nel contesto di Project Management l'apprendimento automatico viene usato per l'elaborazione di predizioni tramite l'uso di calcolatori elettronici, sovrapponendosi alla statistica computazionale.
Inoltre, i metodi in questione sono molto legati ai problemi di ottimizzazione matematica (Problemi di programmazione matematica).

## Reti neurali artificiali

### Il neurone artificiali e le reti neurali artificiali

Il primo modello di neurone artificiale (schema operativo in *figura 40*) fu introdotto nel 1943 da Warren McCulloch (neurofisiologo) e da Walter Pitts (matematico), il modello che venne creato riproduceva in un modo estremamente semplificato il funzionamento di un neurone biologico precedentemente descritto.

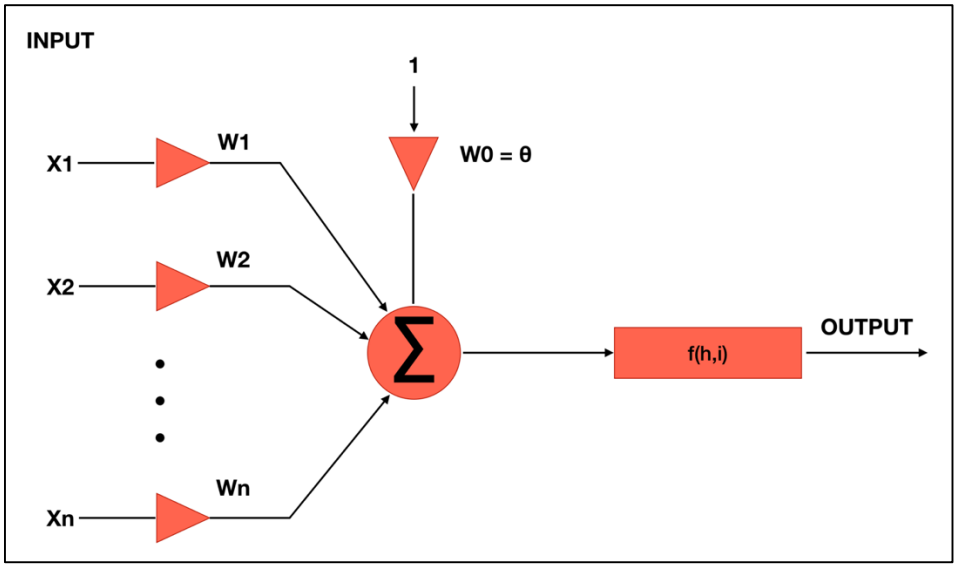


Figura 40: Neurone artificiale di McCulloch e Pitts

Il compito dell'unità funzionale del neurone artificiale è quella di effettuare una somma pesata dei segnali che provengono dall'esterno della rete oppure dai neuroni che sono collegati al neurone emettente.
Inoltre, in *figura 36*, appunto si può notare uno schema riassuntivo del funzionamento di un neurone artificiale la cui struttura ricorda molto quella del neurone biologico; in figura si nota che i dati in input presenti nel dataset della rete neurale sono indicati con x, i pesi di ogni singolo dato o variabile a seconda della tipologia di attributo sono pesati in modo diverso dalla rete che poi ne fa una somma ponderata in base a dei pesi relativi che sono denominati con la lettera w che sta per weight.
Se questa somma pesata supera il valore di soglia (target) che viene indicato con il simbolo greco $\theta$ l'uscita OUTPUT assume un valore unitario altrimenti assumerà un valore nullo, pertanto la funziona che effettua questo vero e proprio controllo in f*igura 36* è rappresentato dall'ultimo blocco prima dell'output caratterizzato dalla funzione $f(h,i)$.
Negli anni successivi alla nascita di questa struttura neurale, grazie alle ricerche di Hebb nel 1949, si intuì la possibilità che i pesi sinaptici e le soglie potevano variare opportunamente in modo da adattare la rete a gestire delle variazioni che potevano nascere durante la trasmissione dell'informazione dovute principalmente a delle variazioni impreviste nei segnali di ingresso alla rete (INPUT).
In seguito, Rosenblatt progetto la prima architettura neurale composta da due strati di neuroni artificiali chiamata Perceptron. La nascita del Perceptron porterà in seguito alla nascita delle reti MLP (Multi Layer Perceptron), descritte dalla *figura 41*, con la caratteristica che ogni neurone di ogni strato (livello) di cui è costituita la rete è completamente connesso ai neuroni dei soli strati precedente e successivo in questo modo le strategie di decision making hanno dei confronti elevati tra loro e c'è anche la possibilità di confrontare più scelte possibili tra loro.

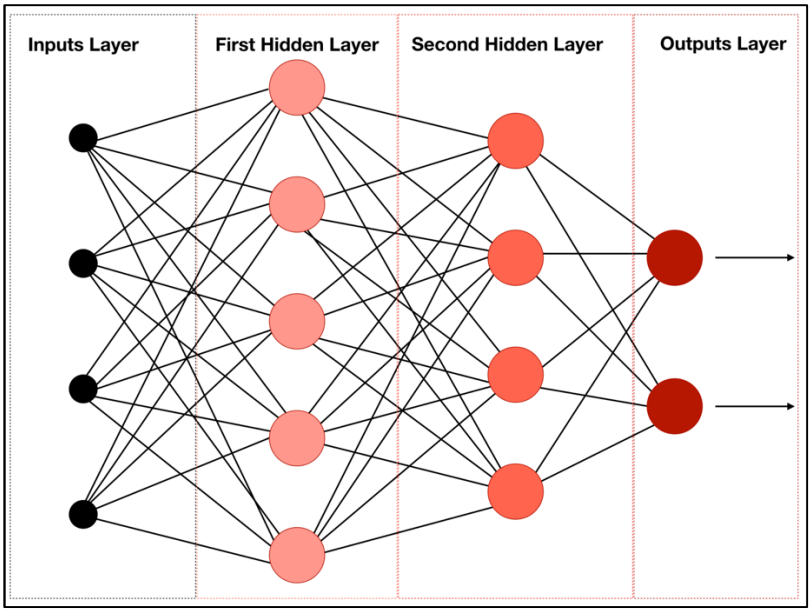


Figura 41: Struttura di una MLP

Il modello di rete MLP è stato applicato in moltissimi campi e ciò ha permesso una diffusione quasi globale del metodo.
Inoltre alla diffusione di queste architetture di rete innovative contribuì anche la ricerca svolta nello sviluppo di algoritmi per l'apprendimento automatico, tra questi un algoritmo che ancora oggi è alla base di molti altri strumenti di machine learning è l'Error Back Propagation che ha come soluzione ottima la configurazione dei pesi della rete che hanno come funzione obiettivo comune quella di minimizzare l'errore quadratico medio calcolato tra le uscite (OUTPUT) della rete e i dati reali immessi nel dataset di rete (INPUT).
Esistono anche altre tipologie di reti neurali che sono le DNN ovvero Deep Neural Network non è altro che una rete neurale artificiale (ANN) con più livelli tra i "nodi" principali di input e output. Sostanzialmente, rispetto al modello di ANN è un modello in cui si aggiunge, dentro la black box un'ulteriore insieme di connettore che sono in un livello più basso rispetto alle semplici connessioni, tutto ciò viene fatto per modellizzare delle situazioni particolari.

**Analisi di una rete neurale artificiale**

Una rete neurale è costituita da una funzione f(x) che è definita come una composizione di altre funzioni analitiche G(x) che a loro volta possono essere definite da una composizione di altre funzioni.
Infatti, matematicamente la funzione di partenza f(x) viene spesso rappresentata dalla seguente equazione:

$$f(x) = k\sum_{i} w_i g_i(x)$$

Equazione 27: Funzione di partenza

in cui k è una funzione matematica definita a priori, $w_i$ sono i pesi relativi delle varie componenti $g_i(x)$ che sommate linearmente insieme danno come risultato G(x).
Le reti neurali DEEP (DNN), sono delle varianti delle reti neurali "semplici" ANN con la differenza che i nodi di interconnessione tra input e output hanno più livelli gerarchici e non si fermano per definizione stessa ad un singolo nodo di interconnessione.
Infatti spesso le DNN tra i vari nodi di interconnessione possono essere caratterizzate da relazioni matematiche lineari e non, che collegano i nodi di input a quelli di output.

**Principio di funzionamento di una rete neurale feedforward**

Le reti neurali sia semplice che profonde (DEEP) hanno il loro principio di funzionamento simile a quello di una rete di neuroni artificiali opportunamente collegati tra di loro.
Il principio di funzionamento può essere sintetizzato dalla *figura 42*:

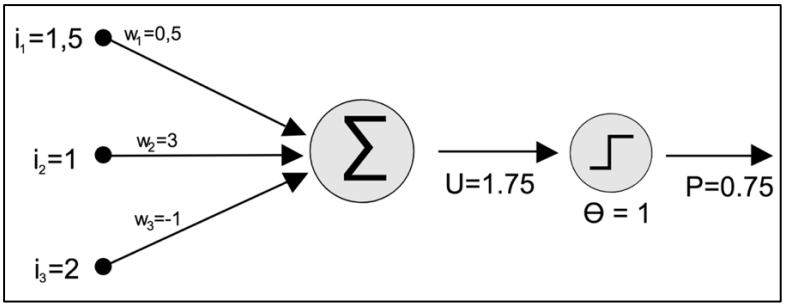



*Figura 42: Principio di funzionamento di una ANN*

I neuroni di INPUT ricevono in ingresso degli stimoli e li elaborano, l'elaborazione può essere molto complessa e varia da sistema a sistema; nei casi più semplici si può considerare che gli ingressi iniziali vengano moltiplicati per un determinato peso iniziale, il risultato delle moltiplicazioni viene sommato e se la somma supera una certa soglia il neurone si attiva mettendo la sua decisione in OUTPUT.
Nella struttura della rete stessa i neuroni che comunicano tra di loro più spesso sono quelli che avranno dei collegamenti il cui peso è maggiore rispetto a quello di altri, proprio perché quell'arco di collegamento si "illumina" maggiormente rispetto agli altri archi che costituiscono l'intera rete. Inoltre, la rete non fornisce un unico percorso di connessione bensì tutte le combinazioni avranno un certo peso e quindi contribuiscono al collegamento INPUT/OUTPUT.

**Applicazione delle reti neurali artificiali al risk management**

La struttura di una rete neurale, anche la più semplice possibile, è utilizzabile nel mondo del risk management in quanto la struttura vera e propria di rete è molto in linea con i concetti di risk Analysis come la RBM che non è altro che una grandissima sommatoria di probabilità per impatti di progetti categorizzati in base ai WP che costituiscono il progetto.

I metodi di machine learning vengono adottati soprattutto in contesti in cui degli algoritmi si possono adattare tramite degli esempi a dei casi di studio realistici e possono essere d'aiuto nella parte di decision making del team di progetto oppure delle parti interessate al progetto.

La strategia dell'utilizzo delle metodologie di reti neurali artificiali si basa sull'analizzare, appunto, dei progetti passati oppure degli esempi che sono costruiti in modo abbastanza realistico per far comprendere all'algoritmo delle azioni che come fine ultimo abbiano quello di portare al successo il progetto oppure il processo che si sta analizzando.

Infatti, prima l'apprendimento da esempi oppure da progetti passati viene fatto tramite un approccio che consiste nel calcolo delle probabilità di accadimento di un determinato progetto ex-post.

Quest'ultima strategia, ovvero quella di calcolare le probabilità di accadimento di un determinato rischio di progetto al termine della sua esecuzione è fondamentale per l'apprendimento da parte di un algoritmo.

Infatti, una delle strategie è quella di calcolare che il progetto abbia avuto successo. Se questa probabilità è superiore al 50% allora significa che i rischi si sono verificati e quelle categorie di rischi non possono essere tralasciati, anzi devono essere inseriti nel nuovo progetto e saranno quelli su cui in seguito si andrà a calcolare la contingency di progetto.

Se invece la probabilità di successo di un progetto passato si avvicina il più possibile ad 1 significa che i rischi relativi al triangolo di ferro, ovvero quelli legati a tempi, costi, qualità e scope possono essere tralasciati, ma ciò è molto difficile e capita di rado che la probabilità di successo di un progetto sia proprio uguale ad 1.

Ovviamente la probabilità di successo è un indicatore molto soggettivo, infatti deriva dall'unione di più KPI (Key Process/Project Indicator) che riguardano fattori importanti di progetto come la durata, il rendimento di progetto, i costi se sono stati in linea con i budget di progetto stabiliti ex-ante.

Sostanzialmente si fa un “matching” tra gli elementi di rischio di progetto o processo e gli elementi più importanti che costituiscono il progetto stesso principalmente infatti si fa un collegamento con gli obiettivi di progetto più importanti (*figura 43*).

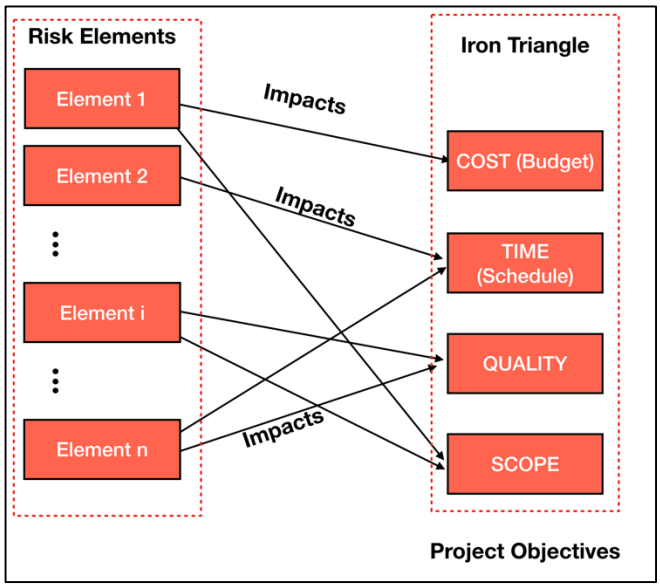



*Figura 43: Matching elementi di rischio vs elementi del triangolo di ferro*

L’uso delle reti neurali in questo ambito consiste nel valutare il valore dei rischi dell’insieme dei WP ma anche per verificare automaticamente se il progetto soddisfa o meno gli obiettivi dichiarati inizialmente nel progetto (gli obiettivi spesso sono sintetizzati con dei concetti direttamente legati alle dimensioni del triangolo di ferro).
Una verifica, che spesso, viene fatta nell’azione dei metodi neurali è quella del confrontare i pesi di ogni singolo arco di rete tra un progetto futuro ed uno passato, se questi pesi praticamente coincidono significa che i rischi sono stati analizzati con successo altrimenti se capita che gli indicatori KPI definiti durante lo svolgimento di un progetto e l’analisi delle probabilità a posteriori non coincidono significa che gli elementi con le categorie di rischio sono praticamente da rivedere oppure si deve fare un’analisi più minuziosa di progetto in quanto una discordanza su probabilità ex-post ed indicatore di performance crea un’incoerenza che non può sussistere e che deve essere superata perché altrimenti se non si interviene il processo di risk management non solo è scorretto ma si rivolta in modo pesante sulle decisioni di progetto e va ad intaccare anche le decisioni di determinazione del contingency.

**Applicazione del metodo**

Per quanto riguarda l'applicazione del metodo il primo STEP riguarda l'identificazione delle metriche di successo per la gestione di un progetto, in questo passo si possono seguire le logiche più svariate, una delle più usate è quella di individuare e calcolare le metriche di progetto per obiettivi.

Il secondo STEP è quello di individuare una funzione (lineare o non) soglia che permette di comprendere se le metriche si trovano in zona di successo oppure di fallimento.

Ad esempio una funziona soglia potrebbe essere quella di utilizzare una metrica che ci permette di comprendere se il progetto è in linea con la durata pianificata ex-ante (SPI index: Schedule Performance Index) oppure indici che permetto di capire se durante lo svolgimento di un determinato progetto si sta spendendo quando dichiarato inizialmente nel budget progettuale (CPI: Cost Performance index, trattato anch'esso nel capitolo successivo).

I fattori delle metriche che vengono utilizzate più aumenta e meno ci saranno errori nella stima del CONTINGENCY RISK BUDGET.

Il metodo delle reti neurali è proprio adottato anche per la stima di questa funzione soglia, infatti la definizione proprio matematica di questa funzione potrebbe arrivare tramite l'utilizzo di una tecnica semplice di regressione lineare, ma il problema è che spesso queste funzioni soglia hanno una forma matematica tutt'altro che semplice infatti per la loro stima e definizioni si deve ricorrere a tecniche che prevedono da un numero elevati dati e pertanto si adottano anche i metodi di machine learning.

Infatti, una delle applicazioni delle reti neurali è appunto la stima di funzione di regressione non lineari in modo più affidabile e computazionalmente più veloce e inoltre da non sottovalutare la capacità di sintesi da una quantità di dati e variabili non trascurabile.

L'impostazione della rete neurale per la stima della funzione di regressione non lineare del problema è presto fatta in *figura 44*.

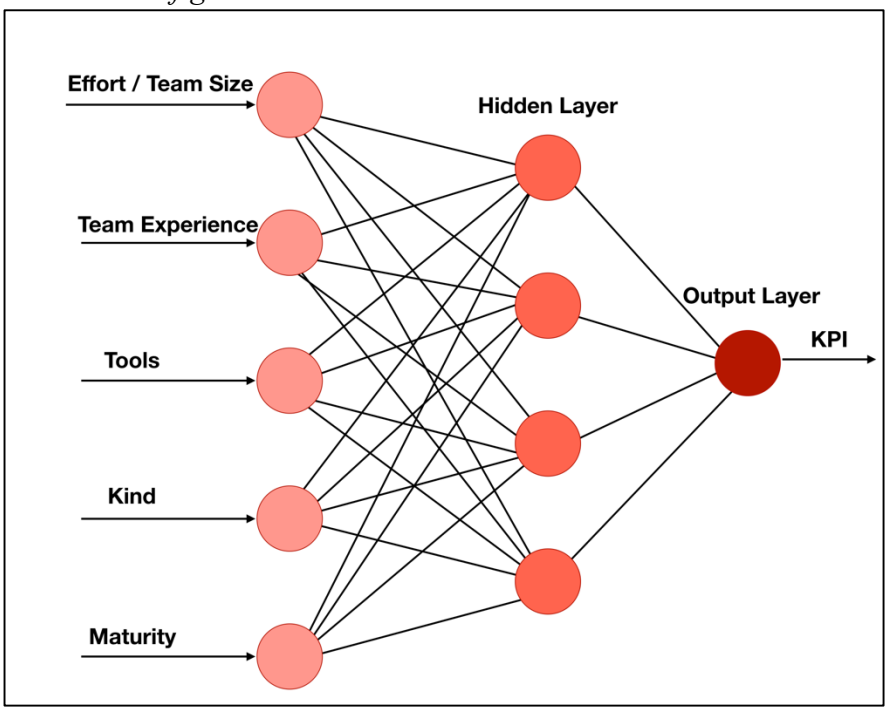



*Figura 44: MLP per stima della funzione di regressione*

La struttura della rete può essere costruita come segue: le variabili di input, sono i fattori di impatto legati agli obiettivi di progetto, l'output è invece appunto la stima della funzione di

regressione (sulla stima della metrica di successo del progetto precedente rispetto a quello in corso).
Tramite la stima della funzione di regressione sia essa lineare che non, si possono dividere i progetti passati tra quelli che sono andati a buon fine ovvero quelli che hanno riportato un successo e quelli che invece sono falliti, nel senso che le metriche che sono state definite in fase di analisi hanno riportato delle incoerenze con le metriche stabilite ex-ante all'inizio di ogni progetto.
Infatti, questa divisione è fatta in un modo molto semplice se la metrica analizzata si trova sopra la funzione di regressione stimata grazie al metodo di machine learning allora si considera che il progetto abbia dato un successo invece nel caso opposto significa che il progetto ha portato un fallimento, infatti in questo modo anche tramite l'uso di altre tecniche statistiche come l'uso delle componenti principali si può definire il numero di successo e di fallimenti seguendo una divisione in *figura 45* in cui la retta di regressione è puramente casuale, ma serve per far comprendere la divisione delle due tipologie di progetti.

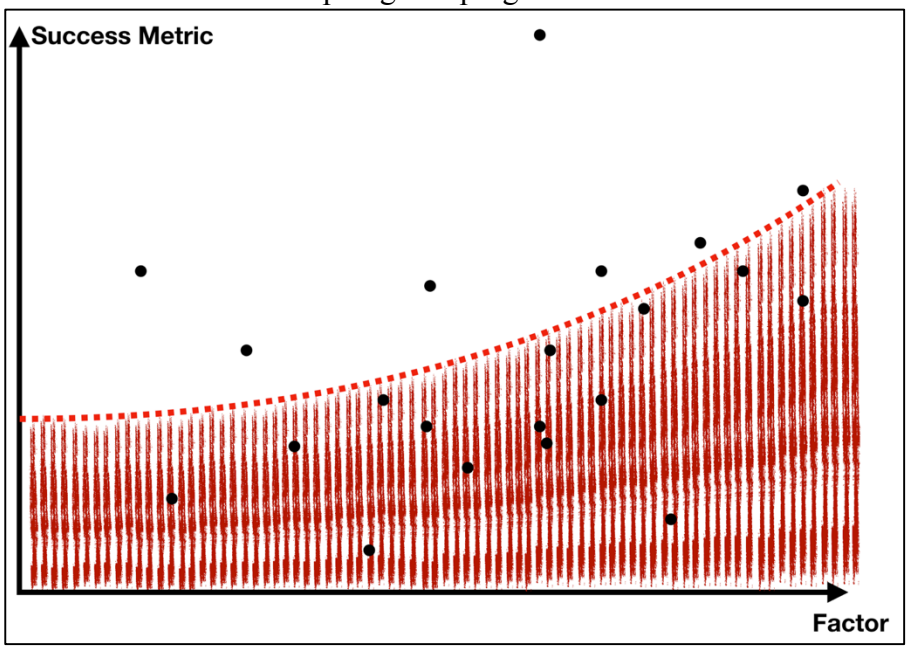



*Figura 45: Esempio di funzione soglia*

Ovviamente all'interno del modello potrebbero essere presenti degli OUTLIER che dovranno essere eliminati dal DATASET in modo che gli input non influenzino i risultati in modo scorretto.

**Costruzione della classificazione a due classi**

Il problema iniziale è stato trasformato in uno più semplice in cui si deve effettuare una discriminazione a due classi. Effettuata la discriminazione si deve costruire una nuova rete con cui si può prevedere dalle stime di successo o fallimento di progetto delle nuove stime di probabilità che possono essere usate per la determinazione delle probabilità di accadimento degli eventi rischiosi del nuovo progetto in questione.
Il metodo delle reti neurali come si vede anche dalla figura precedente che permette di comprendere l'uso della regressione lineare e non per la stima della funzione soglia, può essere adottato per la stima della probabilità ex-post da progetti già avvenuti e che sono volti a termine e che servono come esempi per l'autoapprendimento degli algoritmi.
A questo punto si deve stimare la probabilità a priori dell'accadimento di determinati rischi in un progetto che è in fase di progettazione e sta entrando nella fase di pianificazione ed è il momento di determinare le stime ex-ante delle probabilità.
Ogni singolo input della rete è un vettore V definito dalla seguente espressione:

$$\boldsymbol{V_i = (v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,n})}$$

dove ogni $\boldsymbol{V_i}$ è un generico vettore che rappresenta l'i-esimo progetto, mentre il secondo numero che va ovviamente da 1 ad n è il numero che indica le variabili in ingresso.
I valori del vettore V sono dei valori che spesso vengono anche chiamati Input Set.
Per fare un esempio all'interno dell'elemento di un generico vettore si può trovare uno degli indicatori di performance tipico della gestione dei progetti, come ad esempio:

$$\boldsymbol{v_{i,1} = \{Val(SPI)\} = \{0.9\}}$$

La cardinalità, ovvero la dimensione, di un Input Set è un numero finito, inoltre in alcuni casi non si trova il valore effettivo ma si trova un intervallo con cui si possono fare delle previsioni migliori se si ha anche il valore centrale per ogni elemento del vettore.
Per il calcolo della probabilità ex-ante si deve alimentare la rete ANN con il DATASET in input all'interno del vettore V ottenendo le cardinalità a seconda di determinati intervalli di valori sia delle classi che contengono progetti che hanno portato ad un successo sia di quelli che hanno portato ad un fallimento figura.

Il numero di questi successi e/o fallimenti è sintetizzato dalla seguente formula matematica in cui il termine card sta, appunto, per cardinalità:

$$\boldsymbol{N = Card\{v_1\} * Card\{v_2\} * \dots * Card\{v_n\}}$$

Infatti, questo sistema (algoritmo) è in grado di classificare i fattori se si trovano in due classi separate ed è in grado di comprendere che un fattore si trova nella classe A, ovvero quella dei successi se e solo se l'output che deriva dal calcolo della rete neurale progettata si trova all'interno dell'intervallo [0.5 ; 1], altrimenti se si trova nell'intervallo [0 ; 0.5[ l'INPUT considerato si trova all'interno della classe B.

Per il calcolo delle probabilità si indica con A il sottoinsieme del vettore V composto da tutti gli elementi che hanno portato successo a determinati progetti con B il sottoinsieme composto da tutti gli elementi del vettore V che hanno portato a dei fallimenti dei progetti *figura 46*.

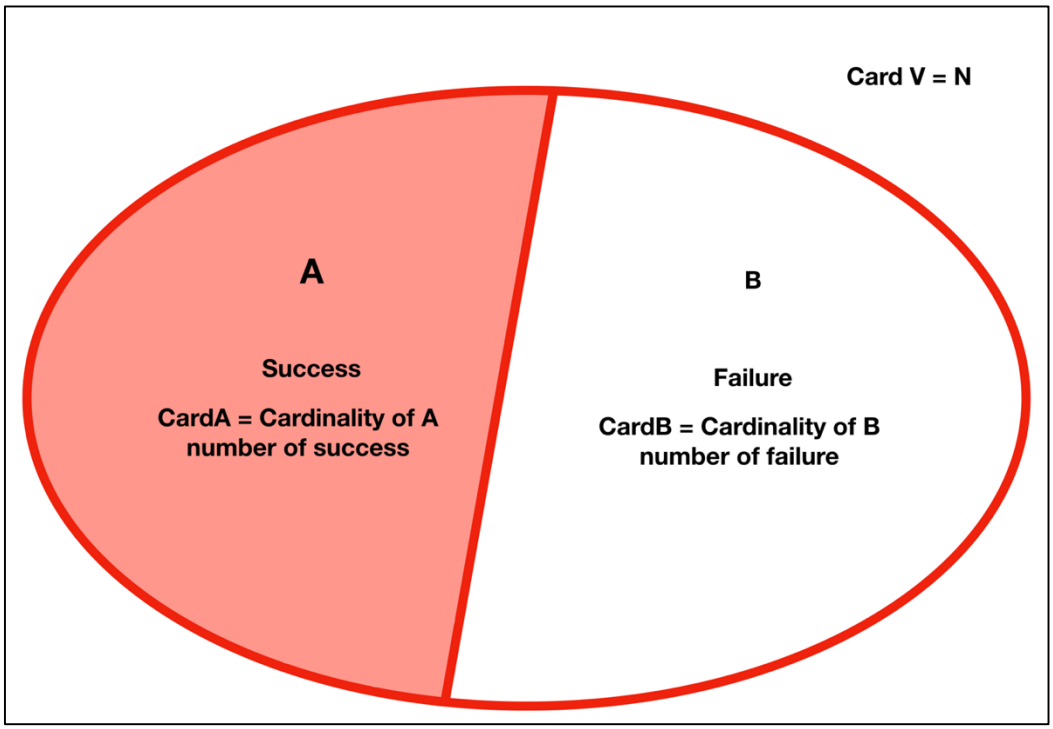



*Figura 46: Insieme V*

La relazione matematica che sintetizza la figura precedente e quindi il vettore di input set V può essere rappresentata dalla seguente formula in notazione insiemistica:

$$\{\boldsymbol{A}\} \cup \{\boldsymbol{B}\} = \{\boldsymbol{V}\}$$

Inoltre, considerato che le cardinalità dell'insieme A e dell'insieme B vengono denominate rispettivamente con $C_A$ e $C_B$ si possono calcolare le probabilità a priori di avere successo per raggiugere un determinato obiettivo descritto dal triangolo di ferro.
Le probabilità di accadimento degli eventi rischiosi nel progetto che si sta seguendo, calcolate a partire da dati passati di progetti sono calcolate con P(A) e P(B).

$$\boldsymbol{P(A) = \frac{Card(A)}{Card(V)} = \frac{C_A}{N}}$$

$$\boldsymbol{P(B) = \frac{Card(B)}{Card(V)} = \frac{C_B}{N} = 1 - P(A)}$$

Il valore di P(A) rappresenta la probabilità di successo che una determinata impresa (organizzazione) ha di portare a compimento un progetto prima dell'inizio (esecuzione) del progetto stesso.

## Dynamic System in Project Management

**Introduzione**

Una delle principali problematiche nella gestione dei progetti è che i costi e i tempi che vengono preventivamente ipotizzati nel 50% dei casi non corrispondono ai valori reali progettuali al termine dell'esecuzione dei lavori.
Oltre ai framework di risk management presentati ne esiste uno che si fonda sull'integrazione dei sistemi dinamici con la logica di rappresentazione fuzzy.

**System Dynamics (SD)**

Il concetto di SD venne per la prima volta introdotto da Forrester nel 1950 e serviva sostanzialmente d'aiuto ai manager a migliorare la comprensione sui processi industriali nei quali erano inseriti.
La SD serve per comprendere in modo schematico ed anche intuitivo il comportamento di sistemi complessi (processi industriali, progetti, ecc) nel tempo, attraverso l'utilizzo di metodi grafici e simulativi che permettono all'utente di vedere a colpo d'occhio tramite un diagramma a blocchi come è strutturata una determinata situazione complessa.

**Algoritmo del metodo SD**

Il metodo di System Dynamics segue un macro-algoritmo ed è costituito anche da delle strutture che verranno in seguito ampiamente descritte nella sezione "Elementi strutturali del metodo di SD".
L'algoritmo può essere rappresentato in *figura 47*.

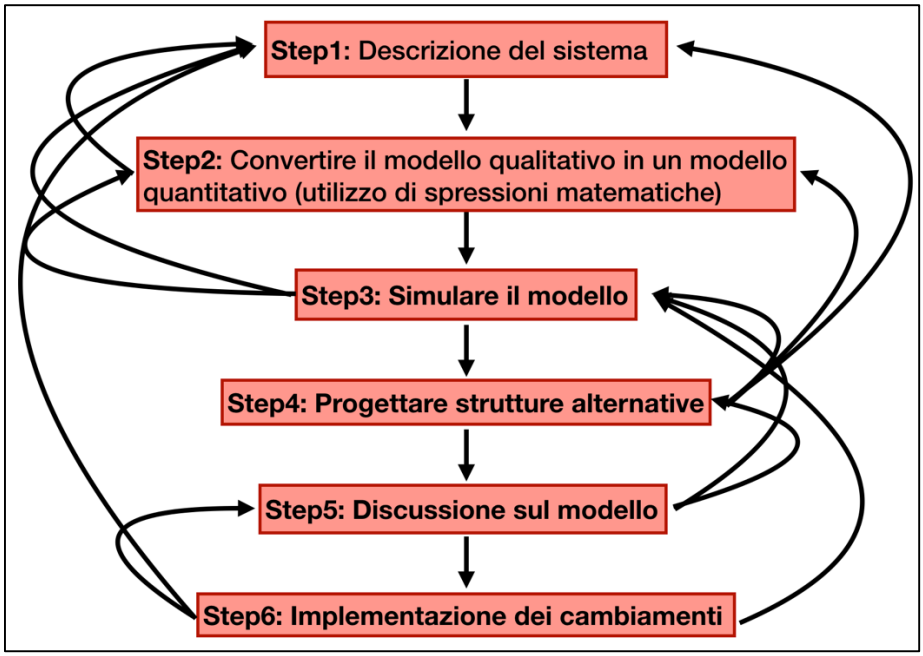



*Figura 47: Algoritmo di Dynamics System*

Il metodo di System Dynamics fu introdotto per analizzare il comportamento di sistemi complessi che variano nel tempo in particolari contesti industriali. Il fine principale per cui questo metodo venne creato era quello di analizzare e cercare di modellizzare con un

approccio matematico determinati feedbacks che vengono dall'ambiente esterno e come queste variano nel tempo.

**Elementi strutturali del metodo System Dynamics**

Gli elementi che costituiscono il metodo SD fondamentalmente sono tre semplici costrutti:

1) Positive Feedback (Reinforcing loops)
2) Negative Feedback (Balancing loops)
3) Delays

Il primo di questi costrutti (*figura 48*) è una struttura costituita da due variabili che sono legate da una diretta proporzionalità, ovvero quando una cresce (decresce) l'altra in modo monotono cresce (decresce)

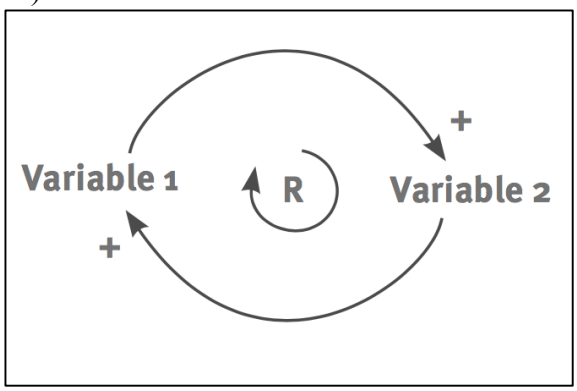



Figura 48: Reinforcing Loops

Inoltre nel costrutto del reinforcing loops le variabili in gioco crescono o decrescono esponenzialmente se non esiste un'influenza esterna al sistema che fa variare lo stato di queste due variabili.

Il secondo costrutto, balancing loops (*figura 49*), serve per far cambiare il valore corrente di una variabile attraverso l'esecuzione di un'azione che ne altera lo stato.

L'errore in questa struttura è definito come la differenza tra il valore desiderato e il valore corrente.

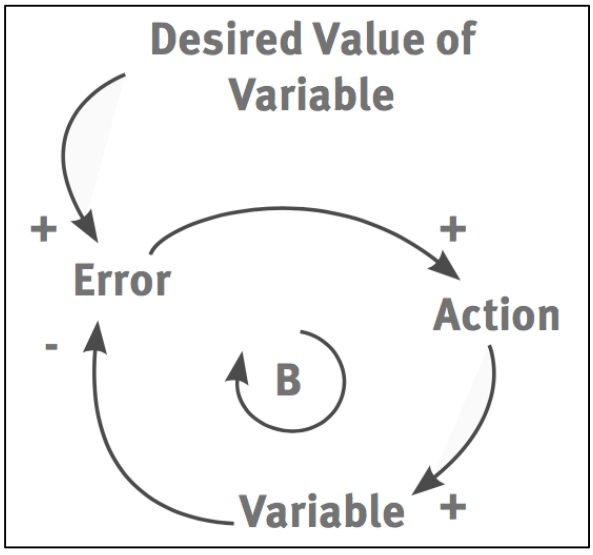



Figura 49: Balancing Loops

Il terzo costrutto, delay (ritardo, *figura 50*) serve per modellare il tempo che c'è tra causa ed effetto ed è indicato con una doppia linea. Inoltre, sono considerati come degli elementi negativi in quanto possono provocare un comportamento instabile del sistema.

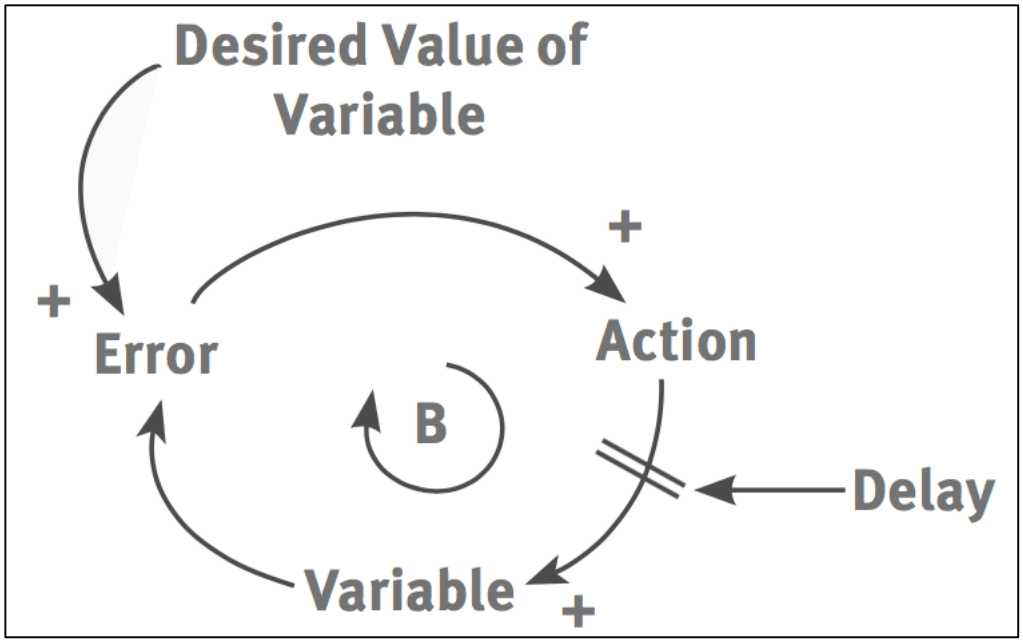



*Figura 50: Delays*

Una delle caratteristiche fondamentali dei metodi di Dynamics System è quella di cercare di comprendere come gli elementi esterni al sistema in analisi (progetto, processo) lo influenzino in negativo o positivo.
Ad esempio uno schema molto utilizzato (*figura 51*) per comprendere come fattori esterni ad un determinato progetto, come fattori sociali, condizioni metereologiche avverse e rischi ambientali impattino sull'esecuzione.

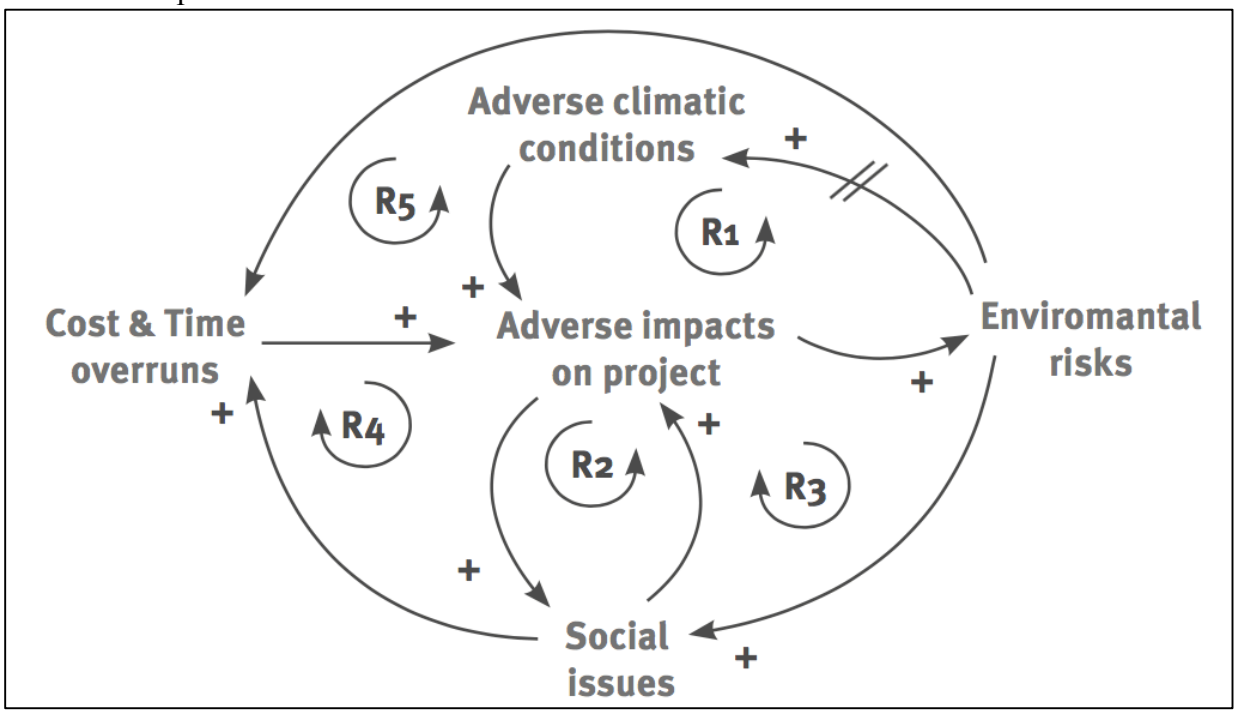



*Figura 51: influenza fattori esterni*

In *figura 5* ad esempio si può notare che quando aumentano i rischi ambientali si ha un aumento degli impatti negativi sul progetto, inoltre quest'ultimi impatti aumentano anche all'aumentare dei problemi sociali in un determinato contesto produttivo o progettuale.
Come si può notare dalla struttura del Casual Loops (ovvero della struttura del diagramma ciclico) tutti i problemi, in questo caso esterni che coinvolgono un progetto tendono a fare aumentare i costi di progetto e i tempi che sono stati preventivati.
Un uso dell'analisi del rischio tramite SD è fondamentale sia nella fase iniziale in cui vengono descritti i rischi di cui un progetto è costituito ma risulta essere anche di elevata importanza quando si deve effettuare il Monitoring&Control in modo da comprendere se i tempi e i costi che sono stati preventivati si stanno comportando nel modo corretto oppure se ci sono stati degli scostamenti importanti con i budget di progetto iniziali.

Uno dei diagrammi (*figura 52*) che viene spesso utilizzato in letteratura per l'analisi dei rischi è molto più complesso dei precedenti, ma serve ai Project Manager per non tralasciare alcuna informazione riguardante i rischi di progetto che in seguito potrebbero impattare in dei costi ingenti di progetto.

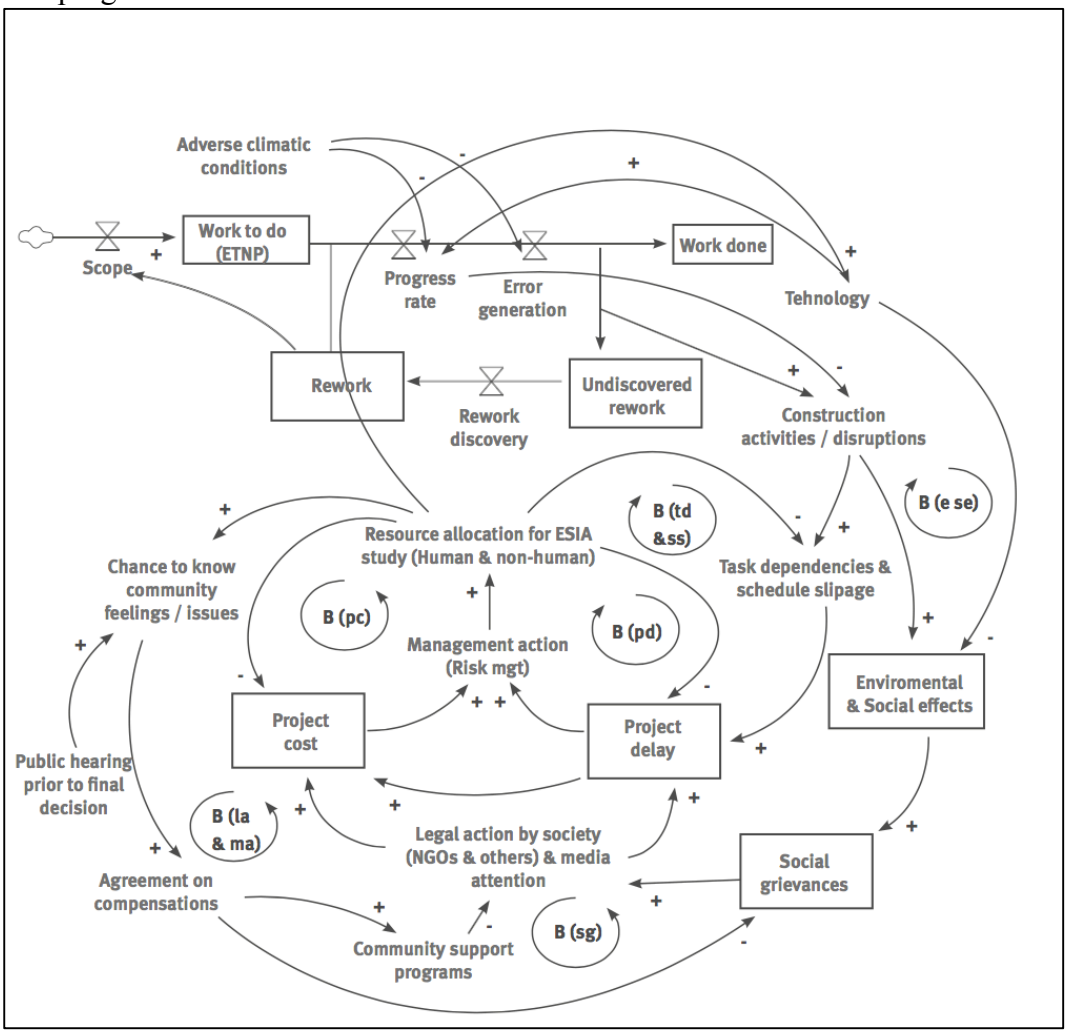



*Figura 52: Schema di riferimento per la gestione dei rischi ambientali e sociali in progetti di grandi dimensioni*

Nei progetti di grandi dimensioni, soprattutto in quelli relativi alla costruzione di un'opera è fondamentale un'analisi dei rischi sociali e soprattutto ambientali che possono andare a scalfire il valore dell'opera che si sta progettando.

Inoltre, in *figura 6*, sono utilizzati dei nuovi elementi grafici:

- Freccia ( ⟶ ): relazione casuale
- +/-: indica se l'effetto legato ad una determinata causa è positivo o negativo, ovvero se una variabile al seguito dell'accadimento di un evento cresce o decresce in base a questo.
- Valvola di flusso:
- Accumulo di tasks, costo di progetto, project delay

Ovviamente in base alla tipologia di progetto il diagramma di SD subisce delle variazioni più o meno grandi e cambia anche in base al contesto esterno in cui si svolge il progetto.
Uno degli elementi da non sottovalutare nella rappresentazione grafica è il concetto di valvola di flusso, infatti quando si trova una rappresentazione di questo elemento legato ad una freccia significa che il flusso di informazioni può essere più o meno ampio a seconda dei contesti, inoltre viene utilizzato anche per indirizzare in particolari flussi degli altri che provengono ad esempio da altre entità del sistema che si sta analizzando in modo da indirizzare, ad esempio, due flussi diversi in un unico flusso.
La struttura del Dyanamics System è molto orientata agli oggetti pertanto, risulta essere molto utile per la gestione del rischio nei progetti.
Una delle caratteristiche che mancano nella SD è la gestione delle variabili incerte ed aleatorie, pertanto in molti contesti si aggiungono dei metodi al metodo SD in modo da renderlo completo.
Infatti, uno strumento ibrido, **Fuzzy SD**, vede l'integrazione di questa logica con la logica "fuzzy" appunto per la gestione delle variabili incerte.

## Metodo Fuzzy SD

### Introduzione

Il metodo Fuzzy SD nasce dall'unione del metodo di Dynamics System con il metodo Fuzzy. Infatti, la mancata gestione delle variabili caratterizzate da incertezza (variabili casuali) all'interno del metodo SD viene compensata con l'integrazione del metodo Fuzzy in cui si ha a che fare con dei numeri che per definizione sono delle tuple in cui si trovano tre valori: uno pessimistico, uno ottimistico ed uno normale.
Questo metodo innovativo è stato creato ed implementato per l'esecuzione di diverse fasi di gestione del rischio, tra cui identificazione del rischio, analisi, pianificazione e controllo della risposta.
Dopo l'identificazione dei rischi, viene quantificato l'impatto dei diversi rischi in termini di tempo e costo.
Infatti il metodo fuzzy viene anche utilizzato per determinare delle risposte alternative che derivano da alcuni scenari diversi tipici del problema in questione.

## Algoritmo del metodo Fuzzy SD

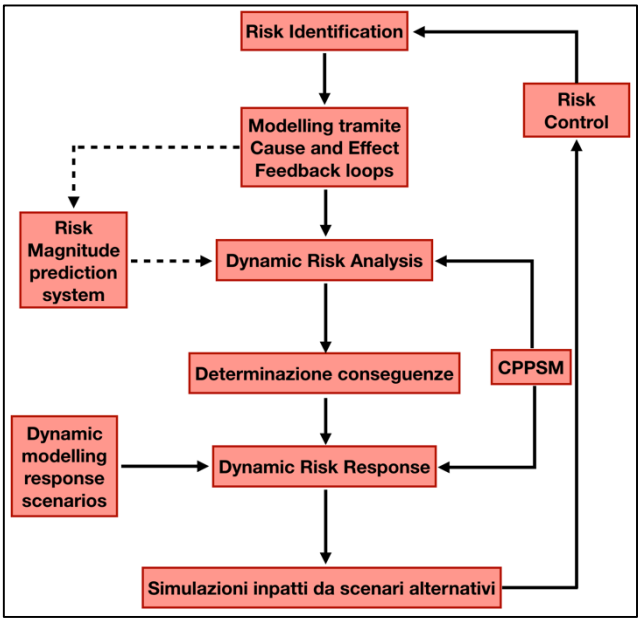



*Figura 53: Algoritmo del metodo Fuzzy SD*

L'algoritmo (in *figura 53*) esplica che il sistema dinamico di gestione del rischio esegue tutte le fasi del processo di risk management all'interno di un processo/progetto.
All'interno del sistema di gestione del rischio dinamico si trova un modello di simulazione: CPPSM (Construction Project Process Simulation Model).
Come si può notare sempre dalla struttura del flow chart il modello non presenta spunti di variabilità o aleatorietà, infatti questi concetti saranno implementati tramite la metodologia fuzzy, in cui appunto non si useranno dei numeri normali bensì dei costrutti matematici che permettono di ragionare tramite una logica intervallare in modo da introdurre nel mondo SD il concetto di incertezza.

## Algoritmi di IA riadattati all'analisi quantitativa del rischio

**Introduzione**

Oggigiorno, l'intelligenza artificiale sta prendendo il sopravvento nello sviluppo dei processi industriali. Infatti, anche con l'evoluzione dell'Industry 4.0 ovvero della fabbrica interconnessa con tramite un sistema costituito da sensori e un database che li mette in collegamento si possono analizzare una quantità elevata di dati che servono per prendere delle decisioni futuri anche in ambito di Project Management.
Esistono svariati algoritmi di IA, infatti lo scopo di questa parte è quello di descrivere determinati algoritmi di Intelligenza Artificiale e in seguito adattarli al mondo della gestione del rischio in modo da comprendere la vera utilità nel campo.

**Metodo K-Nearest Neighbors (KNN)**

Uno degli algoritmi più apprezzati e diffusi in ambito di intelligenza artificiale è l'algoritmo KNN (K-Nearest Neighbors).
È molto diffuso in quanto è molto semplice ed intuitivo ed inoltre funziona anche molto bene in delle situazioni che possono essere anche molto diverse tra di loro.
Il KNN è un algoritmo di apprendimento supervisionato, ovvero un programma informatico automatico che ha come obiettivo quello di fare apprendere ad un sistema informatico dei dati magari passati su determinati progetti ed elaborare delle previsioni sui valori di uscita di un sistema rispetto ad un input sulla base di alcuni esempi che vengono dati in pasto all'algoritmo.
Inoltre, il KNN è anche definito come un algoritmo di classificazione, in quanto vengono analizzati dei dati e si procede a una creazione di classi che accomuna i dati creano una "nuvola" di punti all'interno di un diagramma cartesiano. L'algoritmo ha il compito di comprendere, all'inserimento di un dato nuovo, dove si va a posizionare una nuova istanza conoscendo le coordinate dei punti che hanno precedentemente formato le classi, a questo punto si mettono a confronto le coordinate della nuova istanza con quelle di tutte le vecchie istanze (nel caso di algoritmo più completo) calcolandone la distanza euclidea.
La distanza tra la nuova istanza e l'insieme delle vecchie istanze che risulta minima determinerà la classe di appartenenza della nuova istanza (il metodo risulterà più semplice con un esempio tratto dalla letteratura: Zhongheng Zhang, 2016).
Si ricordi che l'algoritmo in questione fa anche parte dei cosiddetti algoritmi non parametrici, ovvero non si fa nessuna ipotesi sulla distribuzione dei dati che vengono analizzati.
Infatti, per questo motivo che potrebbe sembrare in prima battuta uno svantaggio, spesso in ambito di risk management non lo è affatto in quanto è proprio in questo contesto che non si conosce la distribuzione dei dati proprio per questo motivo l'algoritmo di classificazione fa si che si utilizzino tutti i dati, senza tralasciarne, in fase di addestramento dell'algoritmo.
Il parametro k indica il numero di istanze già presenti nel DATASET con cui si vuole confrontare la nuova istanza che viene inserita.
Il potere predittivo dell'algoritmo dipende dal parametro ***k*** che viene scelto inizialmente, per questo motivo per l'utilizzo del KNN spesso può essere richiesta una quantità elevata di memoria anche perché si devono eseguire svariate prove con questo parametro (k).
Quando k è piccolo, l'algoritmo di classificazione è più "miope" rispetto alla distribuzione generale.
Invece quanto k è grande, si riduce l'impatto della varianza causato dall'errore casuale, ma si ignorano dei dettagli che possono essere fondamentali nel problema (aumenta la grossolanità).

In letteratura per la definizione di k spesso viene utilizzato, in modo indipendente dal tipo di problema che si sta analizzando la seguente equazione:

$$k = \sqrt{n}$$

*Equazione 28: Determinazione del parametro k*

in cui n è il numero di osservazioni del set di dati di addestramento.

**Algoritmo del metodo KNN**

L'algoritmo del metodo descritto in *figura 54* permette di comprendere il funzionamento del KNN.

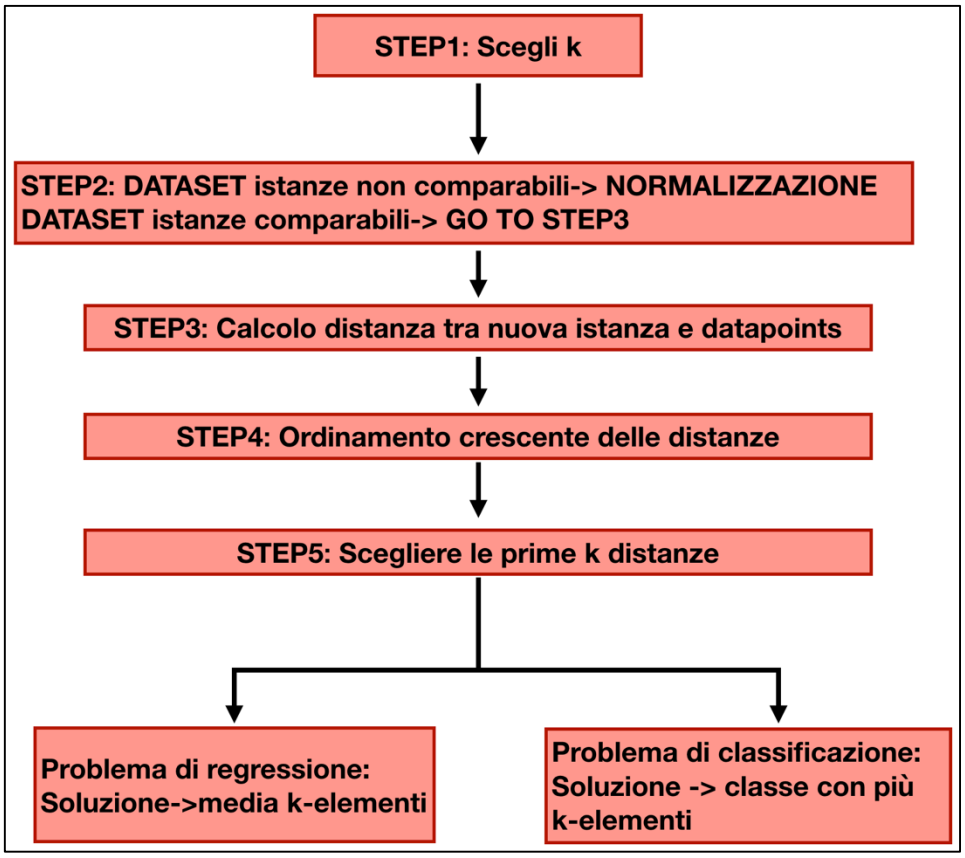



*Figura 54: FlowChart KNN*

Il seguente flow chart non tiene conto del fatto del metodo di calcolo della distanza tra le varie istanze, infatti, spesso negli articoli si trova il metodo della distanza euclidea ma non è vietato utilizzare altri metodi come la distanza di Hamming, Manhattan e Minkowsky o altri metodi di misurazione della distanza tra punti.
Inoltre, nello STEP 2 si fa riferimento ad una comparabilità del DATASET nel senso che la base di dati che si sta utilizzando per l'analisi dell'algoritmo specifico deve essere costituita da dati confrontabili che devono avere le stesse grandezze, nel caso di grandezze fisiche ad esempio il dataset deve essere costituito da una singola grandezza in modo da essere "universalmente" comparabile nel caso in cui ci siano delle grandezze che abbiamo diverse unità di misura tra di loro allora in questo caso si deve adottare una conversione oppure addirittura nel caso in cui questa non sia possibile si deve cercare un'altra grandezza comparabile o addirittura stravolgere tutto ed eliminarla o prendere un altro dataset, in questo particolare caso l'analisi degli input risulta essere fondamentale.

**Esempio applicativo del metodo KNN (Zhongheng Zhang, 2016)**

Il problema di natura vegetale che viene analizzato da questo articolo presente in letteratura ha il fine di predire in quale classe (frutta, verdura, grano) si colloca una nuova istanza che è la patata

Dentro ogni classe ci sono delle istanze, ovvero dei punti geometrici che hanno delle determinate coordinate.

Ad esempio le classi possono essere così suddivide:

- Classe FRUTTA: mela, uva, kiwi, banana, pera, arancia, mandarino, …
- Classe VERDURA: lattuga, carote, sedano, fagiolo, …
- Classe GRANO: mais, farina, …

Le variabili con cui sono state costruite le classi sono due ovvero la dolcezza e la "croccantezza", che possono essere utilizzate per un diagramma cartesiano. Infatti, si suppone che la dolcezza sia il riferimento per l'asse delle ordinate mentre la "croccantezza" per quello delle ascisse (*figura 55*).

In gergo, queste due variabili o le variabili in generale che costituiscono un problema sono denominate caratteristiche del problema.

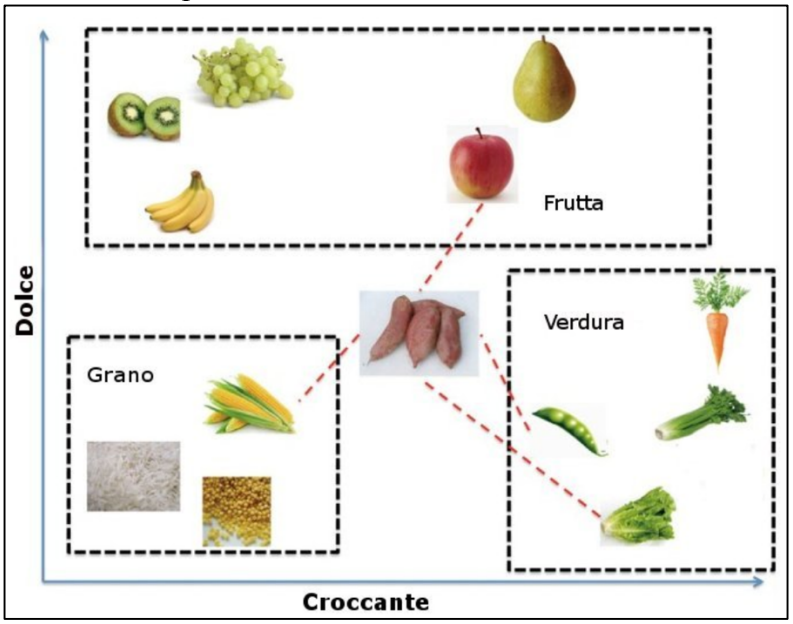



*Figura 55: Esempio Classificazione ORTAGGI*

Come rappresentato dalla *figura 55* si supponga che invece di considerare l'insieme di tutti i punti che costituiscono una determinata classe, si voglia confrontare l'istanza nuova (ovvero la patata) con una singola istanza appartenente ad una delle tre classi. Infatti, in questo caso l'istanza patata è stata confrontata con mela, mais e fagiolo.

In questo caso, l'algoritmo calcola la distanza euclidea tra la nuova istanza e le singole istanze considerate in questo esempio, o addirittura si può decidere un confronto 1 a 1 tra l'istanza che viene immessa nel sistema e quelle che costituiscono quelle passate.

In seguito al calcolo della distanza, che può essere effettuato o con il metodo euclideo (*equazione1*) o con altri metodi, il metodo trova la distanza minima tra tutti gli elementi del dataset passato o di apprendimento e colloca la nuova istanza in una classe predeterminata.

$$D(p,q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \cdots + (p_n - q_n)^2}$$

*Equazione 29: Distanza Euclidea*

Dove p e q sono gli elementi da confrontare con n caratteristiche. In questo caso ad esempio, l'algoritmo collocherà la nuova istanza all'interno della classe VERDURA in quanto la

distanza tra il fagiolo e la patata è minima rispetto a tutte quelle altre confrontate precedentemente.

**Scelta del parametro K**

Attualmente non esistono dei criteri esatti per la determinazione del parametro K che risulta fondamentale per l'utilizzo dell'algoritmo. Uno dei metodi più utilizzati in letteratura e spesso utilizzato anche in ambito aziendale (industriali, project management) è il "CROSS SECTION" (convalida incrociata).
Il metodo ha come concetto core (fondamentale) quello di dividere il campione di dati in un numero k di sotto-campioni che possono essere generati anche utilizzando delle stringhe di numeri casuali che determinano proprio la lunghezza del sotto-campione che servirà per la fase di training dell'algoritmo. In seguito si applicherà il modello KNN in modo da fare delle previsioni sul segmento k-esimo e se ne valuterà l'errore.
Sostanzialmente come nel caso del filone grandissimo della previsione si utilizzano due sottogruppi per dividere l'insieme di tutti i DATI.
Infatti, il DATASET è divisibile in due gruppi denominati: Training e Test (*figura 56*).

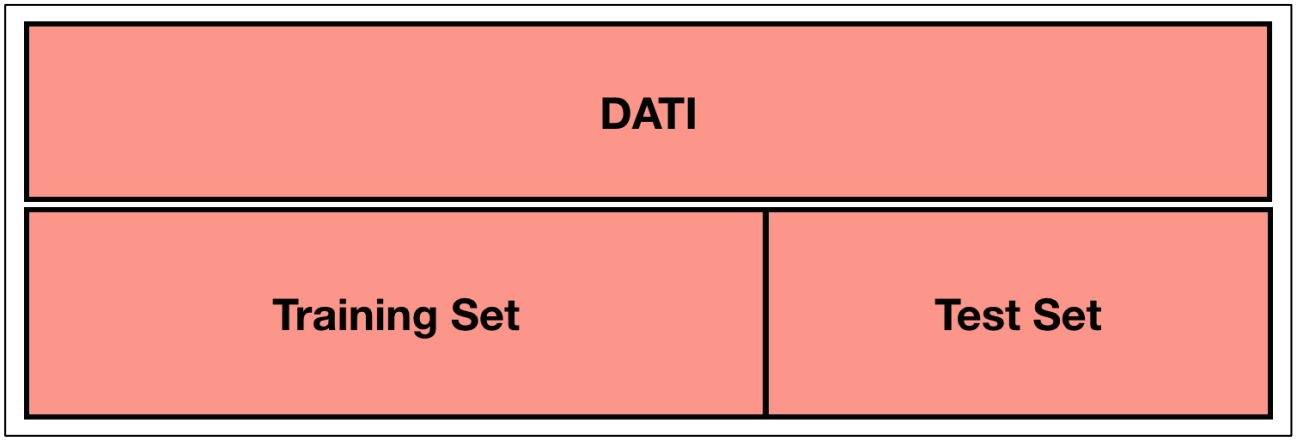



*Figura 56: Suddivisione DATASET*

Praticamente, ad ogni iterazione dell'algoritmo uno degli insiemi k viene usato come SET mentre i restanti k-1 gruppi vengono messi insieme per essere utilizzati come TRAINING.
Gli errori, al termine della procedura dell'algoritmo vengono mediati per comprendere quanto sia stabile ma soprattutto efficiente l'algoritmo che si sta utilizzando, infatti si cerca di comprendere "quanto sia bravo" l'algoritmo a prevedere le nuove istanze.
Invece di utilizzare il metodo di CROSS SECTION per la definizione del parametro k si potrebbe definire a priori o tramite l'esperienza passata in base alla tipologia di progetto oppure utilizzando direttamente la formula presente in letteratura (equazione 1) però assumendosi la responsabilità che quel k è stato determinato senza utilizzare un particolare metodo scientifico e quindi potrebbe anche portare a prendere delle decisioni sbagliate.
Inoltre, utilizzare il metodo di CROSS SECTION per la determinazione del parametro k ottimo potrebbe richiedere una quantità elevata di tempo e anche delle risorse hardware quindi è bene fare un'analisi a priori della situazione che si deve analizzare.

**Esempio algoritmo KNN utilizzando $k = \sqrt{n}$**

Come prima per comprendere meglio il funzionamento dell'algoritmo KNN è bene utilizzare degli esempi prima dell'applicazione finale in cui verrà utilizzato il dataset di un progetto in modo da comprendere come utilizzare l'algoritmo di KNN in un contesto di risk management.
Il problema in questione, molto adottato nei CASE STUDIES aziendali, è quello di un negozio che deve prevedere per un nuovo cliente in base all'altezza e al peso la taglia di una maglietta.
All'interno del negozio è presente una base dati in cui si trovano schedati le varie taglie delle magliette e per ognuna di questa c'è una rispettiva corrispondenza di altezza e peso (*figura 57*).

| k | Altezza (in cms) | Peso (in kgs) | T Shirt taglia |
|---|---|---|---|
| 1 | 158 | 58 | M |
| 2 | 158 | 59 | M |
| 3 | 158 | 63 | M |
| 4 | 160 | 59 | M |
| 5 | 160 | 60 | M |
| 6 | 163 | 60 | M |
| 7 | 163 | 61 | M |
| 8 | 160 | 64 | L |
| 9 | 163 | 64 | L |
| 10 | 165 | 61 | L |
| 11 | 165 | 62 | L |
| 12 | 165 | 65 | L |
| 13 | 168 | 62 | L |
| 14 | 168 | 63 | L |
| 15 | 168 | 66 | L |
| 16 | 170 | 63 | L |
| 17 | 170 | 64 | L |
| 18 | 170 | 68 | L |

*Figura 57: Dataset di partenza*

In base a ciò la predizione che si vuole fare è relativa ad un cliente che abbia i seguenti dati rispettivamente di altezza e peso 160cm e 58kg e si vuole prevedere in base ai dati passati quale sia la taglia adatta da ordinare.
K viene definito per semplicità uguale a 5 (STEP 1), successivamente (STEP2) si deve normalizzare in modo da rendere le istanze che sono presenti nel dataset comparabili tra loro pertanto si esegue una normalizzazione calcolando la media di colonna delle altezze e dei pesi e normalizzando le singole istanze adottando la formula canonica della normalizzazione.
Ovviamente, per eseguire il confronto si normalizzano, in base alla media già presente, i dati forniti che servono per eseguire la predizione del modello. A questo punto si calcola tramite una formula, nel caso specifico si è utilizzata quella relativa alla distanza euclidea (STEP3), le singole distanze tra i dati del nuovo cliente e i singoli dati normalizzati.

In seguito, tramite uno strumento di calcolo, in questo in excel è stato utilizzato il comando PICCOLO(matrice, k), si determinano i primi k valori della colonna delle distanze euclidee (STEP 5).

A questo punto dato che si tratta di un problema di classificazione, si ordinerà la taglia della maglietta a cui corrispondono più istanze, nel senso che si ordinerà la taglia corrispondente al numero massimo di occorrenze che si trovano in corrispondenza dei k valori minimi che sono stati trovati al passo 5.
I passi del metodo possono essere descritti dai calcoli presenti in *figura 58.*

STEP1 STEP2 STEP3 STEP4 STEP5

| k | Altezza (in cms) | Peso (in kgs) | T Shirt taglia | Altezza std | Peso std | T Shirt taglia | Distanza euclidea | primi k valori | ranking |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 158 | 58 | M | -1,39 | -1,64 | M | 0,462424565 | 0,3795626 | 2 |
| 2 | 158 | 59 | M | -1,39 | -1,27 | M | 0,598251013 | 0,4624246 | 3 |
| 3 | 158 | 63 | M | -1,39 | 0,25 | M | 1,953338525 | 0,5982510 | |
| 4 | 160 | 59 | M | -0,92 | -1,27 | M | 0,379562639 | 0,7591253 | 1 |
| 5 | 160 | 60 | M | -0,92 | -0,89 | M | 0,759125277 | 1,0283012 | 4 |
| 6 | 163 | 60 | M | -0,23 | -0,89 | M | 1,028301153 | 1,3333200 | 5 |
| 7 | 163 | 61 | M | -0,23 | -0,51 | M | 1,333320008 | 1,6226793 | |
| 8 | 160 | 64 | L | -0,92 | 0,63 | L | 2,277375832 | 1,9082879 | |
| 9 | 163 | 64 | L | -0,23 | 0,63 | L | 2,380666452 | 1,9533385 | |
| 10 | 165 | 61 | L | 0,23 | -0,51 | L | 1,622679314 | 2,2773758 | |
| 11 | 165 | 62 | L | 0,23 | -0,13 | L | 1,908287906 | 2,3806665 | |
| 12 | 165 | 65 | L | 0,23 | 1,01 | L | 2,897550693 | 2,3930041 | |
| 13 | 168 | 62 | L | 0,92 | -0,13 | L | 2,393004052 | 2,6501092 | |
| 14 | 168 | 63 | L | 0,92 | 0,25 | L | 2,650109161 | 2,8975507 | |
| 15 | 168 | 66 | L | 0,92 | 1,39 | L | 3,555520023 | 2,9912551 | |
| 16 | 170 | 63 | L | 1,39 | 0,25 | L | 2,991255065 | 3,2453586 | |
| 17 | 170 | 64 | L | 1,39 | 0,63 | L | 3,245358629 | 3,5555200 | |
| 18 | 170 | 68 | L | 1,39 | 2,15 | L | 4,444400028 | 4,4444000 | |
| MEDIA | 164 | 62,3333333 | | | | | | | |
| DEV.ST | 4,325029752 | 2,63461126 | | | | | | | |
| Domanda-> | 160 | 58 | | -0,924849 | -1,6448 | | | | |
| Predictions | M | | | | | | | | |

*Figura 58: Implementazione del metodo*

La soluzione del metodo come attestato dalla *figura 58* sarà quella di ordinare la taglia M, perché in questo caso tutti i k valori hanno la taglia M se ad esempio qualche istanza non possedeva questa determinata taglia l'ordine della maglietta non era semplice in quanto si parlava di ordine "probabilistico" in quanto entrava nel modello una componente aleatoria.

**Implementazione informatica semplice dell'algoritmo KNN (Python)**

Come già detto molte volte i metodi di IA e di apprendimento automatico, molto spesso vanno insieme alla programmazione in python che è stata sviluppata proprio con il fine di utilizzare dei pacchetti che racchiudono già dei pezzi di codice in modo da rendere la risoluzione del problema molto più veloce.

Infatti, in *figura 59* si può notare quanto è semplice ed intuitivo il codice che serve per far funzionare l'algoritmo di KNN adottando il linguaggio Python che ha al suo interno delle librerie preimpostate.

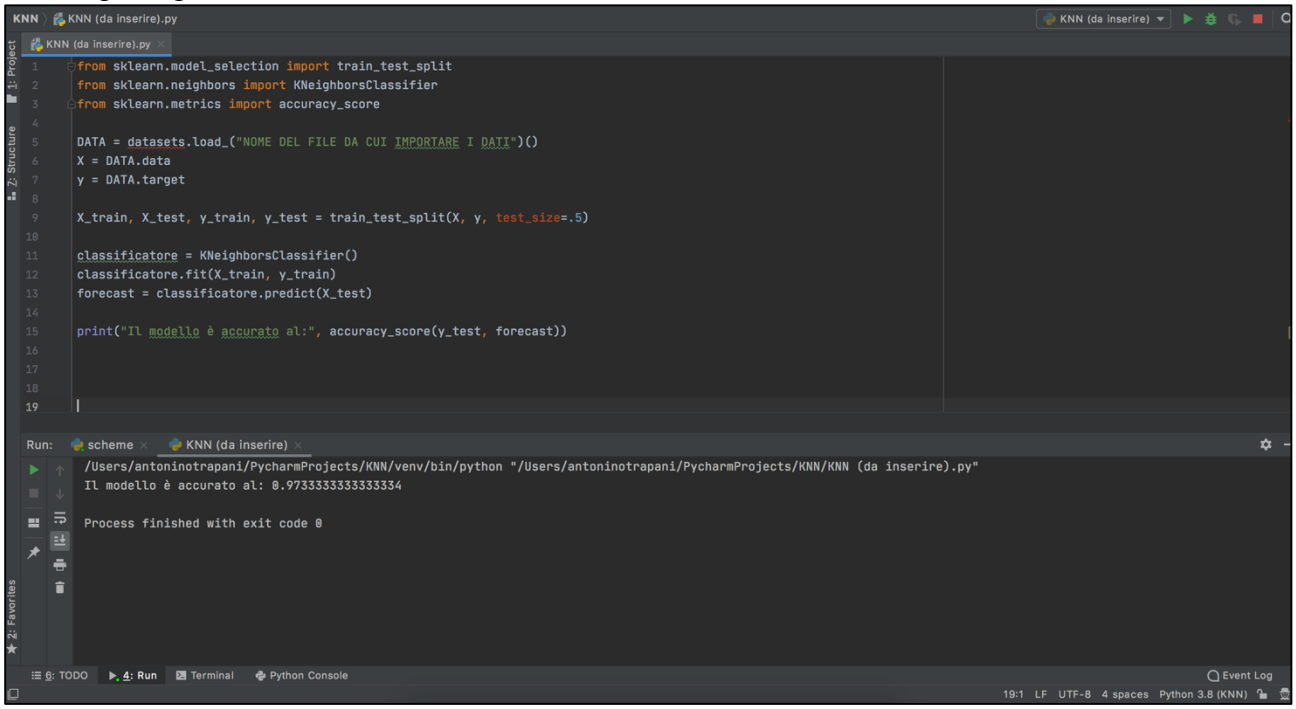



*Figura 59: Semplice implementazione dell'algoritmo KNN in python*

In questo caso è molto semplice ed intuitivo il codice, infatti seguirà una spiegazione del codice che come si vedrà è molto collegata al flow chart descritto in *figura 1*.

Il codice inizia con un'importazione delle librerie che servono per la determinazione del test set e del training set (riga 1), successivamente si aggiunge la libreria che permette di utilizzare l'algoritmo di KNN già preimpostato e infine in *riga 3* si utilizza la ***sklearn.metrics*** che serve per il calcolo dell'errore che c'è tra i risultati del test set e i dati reali confrontati.

In seguito dalla riga 5 alla riga 7 avviene l'inizializzazione delle variabili in cui sono memorizzati i dati del dataset di partenza.

Nella riga 9 avviene la divisione dei DATI in training e set e viene definito con il parametro **test_size** il valore del parametro k che serve per la divisione dei dati (*figura 3*). Infatti, il codice **test_size=0.5** sta semplicemente ad identificare il fatto che il 50% dei dati di cui è formato il nostro database è utilizzato per l'addestramento dell'algoritmo mentre la restante parte viene utilizzata per il testing.

A questo punto (*riga 11*) avviene semplicemente con una riga di codice l'inizializzazione del classificatore che utilizzare nel nostro caso specifico l'algoritmo di KNN.

Ovviamente i dati di X_train, y_train sono utilizzati per il testing, mentre i dati di X_test, y_test per il testing dell'algoritmo.

I dati a questo punto sono passati direttamente all'algoritmo di KNN (*riga 12, 13*) e infine nella *riga 15* che è da considerarsi come OUTPUT del sistema viene calcolato l'errore tra

y_test e forecast che è il valore della predizione attraverso il metodo di KNN. In questo caso l'accuratezza del modello è del 97,33%

## Algoritmo di IA per Risk Management predittivo

**Introduzione**

Principalmente per la classificazione dei rischi spesso in letteratura si segue uno schema (*figura 60*) che permette di comprendere tramite una rappresentazione dei singoli rischi nel piano cartesiano in cui l'asse delle ascisse è rappresentato dalle probabilità di accadimento e l'asse delle ordinate invece rappresenta gli impatti.

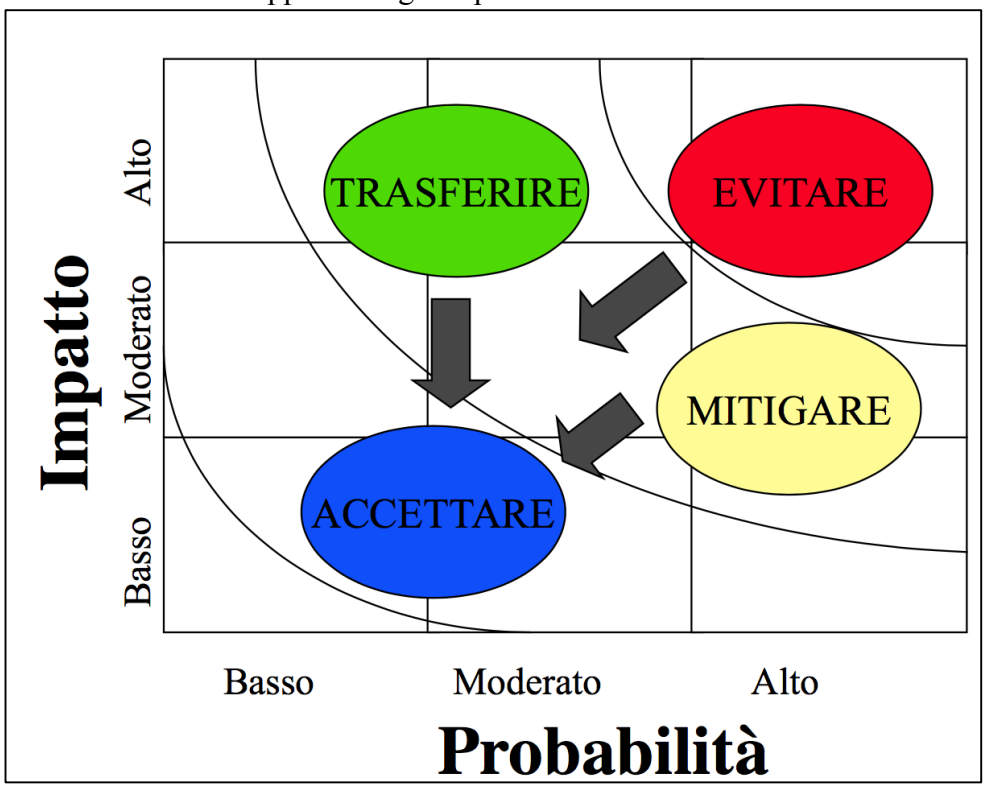



*Figura 60: Schema di classificazione*

Questo schema di classificazione si sposa molto bene con le nuove tecniche di IA in quanto in questo particolare caso, prendendo come riferimento dei dati di progetto si può andare a capire quale strategia applicare nel caso in cui si introduca un nuovo rischio all'interno del progetto.

L'algoritmo del KNN descritto in *figura 54* può essere ampliato anche al caso di rischio di progetto.

Infatti, in questa parte si partirà con la spiegazione dell'algoritmo KNN rivisitato per il caso di risk management in cui si sia deciso di utilizzare il metodo RBM, ovvero eseguendo il prodotto cartesiano tra la matrice RBS e la WBS e andando in seguito a classificare i vari rischi ed impatti all'interno di un grafico cartesiano.

Dopo la spiegazione dell'algoritmo che unisce sostanzialmente il metodo RBM con il metodo KNN si proverà ad utilizzare dei dati in modo da comprendere nel migliore dei modi la struttura dell'algoritmo.

**Algoritmo KNN combinato a RBM**

L'algoritmo da seguire nel caso in cui si vuole utilizzare il metodo KNN combinato al metodo RBM può essere rappresentato dal seguente pseudo codice (a vari step):

**STEP1**: Definire gli elementi della matrice RBS (Risk Breakdown Structure) e una matrice WBS

**STEP2**: Per la matrice RBS definire la probabilità di accadimento di ogni singola classe di rischio

**STEP3**: per ogni istanza della matrice WBS definire l'impatto che si potrebbe avere sull'intero progetto, per ogni Impatto e per ogni probabilità corrispondente calcolare il Rischio.

**STEP4**: per ogni colonna calcolare la somma di I e la somma pesata delle relative probabilità

**STEP5**: Rappresentare graficamente i punti trovati dalla tabella descritta dal punto 4

**STEP6**: Definire un valore di k (e una relativa strategia), che serve per l'implementazione dell'algoritmo KNN

**STEP7**: Normalizzazione dei dati per effettuarne il confronto, lo STEP può essere superato se i dati si trovano nella stessa unità di misura

**STEP8**: Calcolo della distanza (utilizzando la formula euclidea o calcoli simili) tra il punto della domanda di ricerca e singoli dati storici

**STEP9**: Ordinamento crescente delle k distanze e successiva scelta

**STEP10**: scelta della strategia da attuare, successivo inserimento del nuovo dato nel database "storico",

**IF** (SE) ci sono ancora dati nuovi **GO TO STEP 8**
**ELSE** (ALTRIMENTI) **STOP**.

**Esempio applicativo Algoritmo KNN combinato ad RBM**

Come descritto precedentemente si inizia proprio dall'analisi dei dati di un determinato progetto (si utilizzeranno dei dati relativi al project work Golden Horn Metro Crossing Bridge Construction Project).

Infatti dopo aver implementato la matrice di RBM (RBS+WBS) in modo corretto si è passato al raggruppamento dei dati (*figura 61*) che costituiscono il nostro vero e proprio DATASET.

| | Sum of p | Sum of I | | COST | |
|---|---|---|---|---|---|
| Supplier risks | 14 | 22 | ACCEPT | 1.798.257,36 | 18,16% |
| Ship/earth transportation | 42 | 14 | ACCEPT | 428.473,21 | 4,33% |
| delayed permits and authorization | 6 | 6 | ACCEPT | 5.890,05 | 0,06% |
| Wars and community protests | 75 | 50 | TRANSFER | 2.446.591,46 | 24,71% |
| Currency exchange rate volatility | 36 | 18 | ACCEPT | 415.661,26 | 4,20% |
| Visual impact | 2 | 2 | ACCEPT | 11.280,00 | 0,11% |
| Archaeological sites | 2 | 3 | ACCEPT | 18.000,00 | 0,18% |
| Weather condition | 24 | 12 | ACCEPT | 404335,82 | 4,08% |
| Earthquake | 102 | 41 | MITIGATE | 3.343.158,60 | 33,77% |
| Strike | 58 | 29 | MITIGATE | 308.320,05 | 3,11% |
| Disease and /or accident | 56 | 32 | MITIGATE | 326.669,05 | 3,30% |
| Failure in planning, request for changes | 12 | 6 | ACCEPT | 35.038,28 | 0,35% |
| Inadequate training | 7 | 19 | ACCEPT | 37.432,40 | 0,38% |
| Unavailability of equipment | 26 | 13 | ACCEPT | 319.759,68 | 3,23% |
| Contractual changes/error,disputes | 33 | 11 | ACCEPT | 727,20 | 0,01% |

*Figura 61: DATASET di partenza*

Per comprendere quale strategia di controllo del rischio adottare, facendo riferimento alla *figura 60* in modo anche da comprendere come saranno costruite le classi che poi risulteranno di fondamentale utilizzo per l'implementazione del metodo KNN i dati sono rappresentabili in un grafico cartesiano come in *figura 62* in cui per semplicità ogni rischio di progetto è stato sostituito dalle lettere dell'ordine alfabetico.

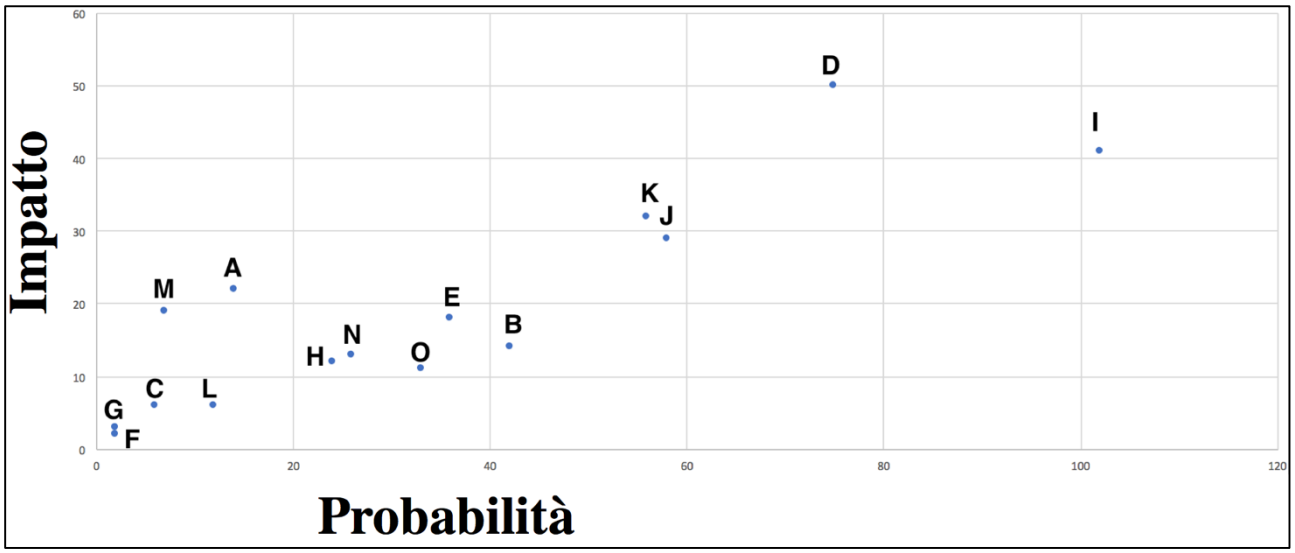



*Figura 62: Rappresentazione cartesiana DATASET*

A questo punto si può utilizzare lo schema presente in *figura 60* per creare una sorta di classificazione dei dati presenti in *figura 62*, per questo motivo utilizzando degli ovali che racchiudono i dati si ottiene una classificazione sommaria in *figura 63*.

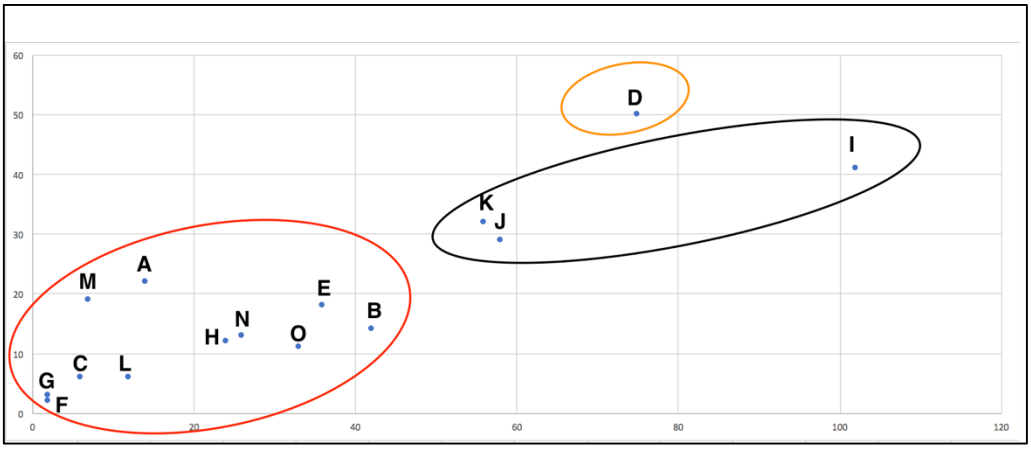



*Figura 63: Grafico di classificazione dei dati*

In *figura 63* i tre ovali in base ai colori rappresentano le categorie di:

- **ROSSO**: Accettazione del rischio, ovvero le classi di rischio che costituiranno quest'insieme porteranno alla stima del contingency budget e quindi andranno a costituire quella percentuale di progetto da accantonare

- **NERO**: Mitigazione del rischio, ovvero le classi di rischio che si trovano all'interno di quest'insieme saranno soggette a delle strategie di riduzione di rischio come ad esempio implementando dei corsi di formazioni degli operai oppure fornendo loro tutti i mezzi che cercano di ridurre il rischio in determinati contesti progettuali.

- **ARANCIONE**: Trasferimento del rischio, ovvero tutte le classi di rischio che cadranno in questo ovale saranno esternalizzati dall'impresa che sta conducendo il progetto tramite anche l'utilizzo di assicurazioni.

A questo punto si può applicare l'algoritmo KNN in modo da comprendere dove si va a posizionare un nuovo rischio relativo ad un progetto diverso ma della stessa tipologia (e quindi si possono utilizzare come dati storici i dati relativi alla costruzione del ponte), oppure se un nuovo rischio occorre direttamente nel nuovo progetto in fase di esecuzione di lavoro e quindi potrebbe portare scompiglio nel progetto.
La domanda di ricerca (obiettivo) del metodo è quella di andare a collocare un nuovo rischio di cui si conoscano la probabilità e l'impatto all'interno del diagramma di classificazione rappresentato dalla *figura 10* in modo da poterne determinare la strategia di controllo.
Il valore di k che serve per la definizione del metodo è stato posto uguale a 4 in quanto si è utilizzato l'approccio standard $k = \sqrt{n}$ con n = 15.
Quindi seguendo i passi dell'algoritmo rappresentati dalla *figura 1* e andando a normalizzare i dati di probabilità ed impatto in modo da renderli confrontabili e andando a calcolare prima la distanza euclidea tra le coordinate del nuovo punto e le singole coordinate dei punti "storici" e la distanza di Manhattan poi, si cerca di comprendere quale strategia adottare per il controllo del rischio.

Svolgendo i calcoli (*figura 64*) e considerando un nuovo rischio di coordinate (24;6) si ottiene che la strategia migliore per questo rischio è quella di accettare e di metterlo all'interno del contingency budget.

| | | DATASET | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Group Risk | k | probabilità | impatto | strategia | probabilità STD | Impatto STD | distanza euclidea | primi k valori | ranking | strategia | distanza manhattan | primi k valori | ranking | strategia |
| A | 1 | 14 | 22 | A | -0,648217735 | 0,246110888 | 1,186025178 | 0,409400675 | | | 1,477063635 | 0,40940067 | | |
| B | 2 | 42 | 14 | A | 0,307050506 | -0,321837315 | 0,836471885 | 0,425961152 | | | 1,182049215 | 0,42596115 | | |
| C | 3 | 6 | 6 | A | -0,921151518 | -0,889785518 | 0,614101012 | 0,469342124 | | | 0,614101012 | 0,56518812 | 4 | A |
| D | 4 | 75 | 50 | T | 1,432902362 | 2,233929598 | 3,575616325 | 0,501617139 | | | 4,863667983 | 0,61410101 | | |
| E | 5 | 36 | 18 | A | 0,102350169 | -0,037863214 | 0,94518809 | 0,614101012 | | | 1,261322979 | 0,66201813 | | |
| F | 6 | 2 | 2 | A | -1,05761841 | -1,173759619 | 0,802492036 | 0,780200554 | | | 1,034542005 | 0,96354848 | | |
| G | 7 | 2 | 3 | A | -1,05761841 | -1,102766094 | 0,780200554 | 0,802492036 | | | 0,96354848 | 1,03454201 | | |
| H | 8 | 24 | 12 | A | -0,307050506 | -0,463824366 | 0,425961152 | 0,836471885 | 2 | A | 0,425961152 | 1,18204922 | 2 | A |
| I | 9 | 102 | 41 | M | 2,35405388 | 1,594987869 | 3,640820696 | 0,94518809 | | | 5,145877773 | 1,26132298 | | |
| J | 10 | 58 | 29 | M | 0,852918073 | 0,743065565 | 2,002930294 | 1,090025414 | | | 2,792819662 | 1,47706363 | | |
| K | 11 | 56 | 32 | M | 0,784684627 | 0,956046141 | 2,144523284 | 1,186025178 | | | 2,937566792 | 1,50290012 | | |
| L | 12 | 12 | 6 | A | -0,716451181 | -0,889785518 | 0,409400675 | 2,002930294 | 1 | A | 0,409400675 | 2,79281966 | 1 | A |
| M | 13 | 7 | 19 | A | -0,887034795 | 0,033130312 | 1,090025414 | 2,144523284 | | | 1,502900119 | 2,93756679 | | |
| N | 14 | 26 | 13 | A | -0,23881706 | -0,39283084 | 0,501617139 | 3,575616325 | 4 | A | 0,565188123 | 4,86366798 | 3 | A |
| O | 15 | 33 | 11 | A | 0 | -0,534817891 | 0,469342124 | 3,640820696 | 3 | A | 0,662018133 | 5,14587777 | | |

| | | |
|---|---|---|
| media | 33 | 18,533333 |
| dev.st | 29,311139 | 14,085792 |

| new risk | probabilità | impatto |
|---|---|---|
| domanda-> | 24 | 6 |
| Predizione | A | |

| probabilità STD | Impatto STD |
|---|---|
| -0,307050506 | -0,889785518 |

*Figura 64: Calcoli RBM + KNN*

Il modello di distanza Manhattan (in cui la formula della distanza è: $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$) è stato utilizzato in quanto i dati relativi al rischio descritti da probabilità ed impatto spesso non si muovono sul continuo e spesso non è molto corretto utilizzare il principio di distanza euclidea perché i dati si possono muovere anche attraverso degli scalini, nel caso specifico adottando l'algoritmo KNN si ottiene la stessa predizioni, infatti eseguendo il ranking come viene fatto nei calcoli in entrambi i casi la predizione è la A (=Accettazione).
Ovviamente il metodo può essere utilizzato in modo iterativo, ovvero un determinato dato "nuovo" può andare ad arricchire il grafico di *figura 9* che in modo logico e diretto va a cambiare gli spazi di classificazioni rappresentati in *figura 10*.

# Arena Simulation Software for Project Management

## Introduzione

La simulazione è uno degli strumenti più utilizzati in ambito ingegneristico, in quanto si riesce a prevedere il comportamento di un determinato sistema reale senza che esso sia veramente esistente.
Con sistema s'intende un insieme di parti che sono organizzate per un determinato scopo (Coyle, 1996).
Inoltre esistono diversi tipi di simulazione, la parte che verrà trattata la simulazione ad eventi discreti in quanto è quella che più è applicabile al mondo della gestione dei progetti.
Sarà anche presentato un algoritmo che include la gestione del rischio all'interno dei progetti e il monitoraggio di tempo e costo in ogni fase di progetto, con il fine ultimo di controllare frequentemente lo stato del progetto.

## Elementi fondamentali di una simulazione

Gli elementi costituenti una simulazione ad eventi discreti sono tre:

- **Entità**: elemento che fluisce all'interno del sistema e cambia lo stato del sistema nel corso del tempo attraversando diversi processi

- **Risorse**: sono gli elementi che permetto di processare le entità precedenti e anno delle determinate proprietà ovvero i guasti o una schedulazione complessa.

- **Code**: sono delle strutture del modello che modellizzano un'area oppure un tempo in cui le entità aspettano che una risorsa si liberi per iniziare il processamento

## Simulazione ad eventi discreti

Esistono vari tipi di simulazione, ma quella che più si adatta al mondo del project management è la simulazione ad eventi discreti, ovvero una simulazione in cui le variabili (uno degli elementi fondamentali della simulazione che in seguito verrà ampiamente spiegato) di stato sono discrete e cambiano valore in corrispondenza di determinati eventi discreti.
La simulazione ad eventi discreti è modellabile fondamentalmente tramite due tecniche: utilizzando dei linguaggi general purpose in cui si formalizza con un codice informatico la simulazione oppure esistono dei software in cui il problema è definito tramite una struttura a blocchi e ci sono già delle funzioni direttamente utilizzabili dall'utente.
Inoltre, nel secondo filone di formalizzazione esistono due "worldviews", ovvero due modi di rappresentare il problema:

- **Process-Oriented worldview**: in questi modelli si rappresentano le entità con delle forme circolari e i vari processi in cui le entità sono processate vengono rappresentate con dei rettangoli, inoltre in questi processi si devono anche definire il numero di risorse che servono per la definizione di una determinata task

- **Event-oriented worldview**: invece di rappresentare i processi e le entità in questa visione si utilizzano una rappresentazione degli eventi, sostanzialmente si modellizza il cambio di variabile che avviene nel corso del tempo.

La worldview che verrà utilizzato, in quanto il software che verrà utilizzato è strutturato con questa logica, è la process-oriented.

## Arena simulation software

Uno dei software che viene spesso utilizzato per modellare dei sistemi in cui si vuole eseguire uno studio di simulazione discrete per vedere il loro comportamento nel corso del tempo è Arena.
Come detto prima il software è process-oriented ed è molto intuitivo per modellizzare dei processi o dei progetti.
Verrà presentato pertanto un algoritmo di come questo applicativo potrebbe essere utilizzato per il monitoraggio di un progetto e come un utente è in grado di aggiornare molto velocemente e conoscere il tempo e il costo di progetto.
Inoltre, all'interno di ogni processo (rettangolo) il programma permette l'inserimento sia di un tempo deterministico che di un tempo stocastico questo per modellizzare magari tramite l'analisi storica di progetti precedenti il tempo probabilistico di una determinata task.
Inoltre, è possibile inserire dei costi relativi all'utilizzo delle risorse in modo da comprendere anche quanto si spende in termini di costo.
Una delle peculiarità è che la simulazione può essere svolta in determinati fasi di progetto, ovvero si può fare una simulazione direttamente dopo la fase di progettazione per avere un'idea in base ad un'analisi di dati storici simili di quanto costerà e quanto tempo si impiegherà per un determinato progetto, oppure aggiornando con dei valori di tempo costanti se alcune attività sono già state effettuate e quindi si possono utilizzare già dei valori deterministici proprio perché l'attività è stata effettuata e vedere se si è in ritardo oppure no rispetto al tempo preventivato dalla prima simulazione.
Tramite questo tool si può quindi avere un'idea chiara sul progetto e come si sta evolvendo nel corso del tempo.

### Analisi dei dati in input

Una delle fasi più delicate e time consuming di una simulazione ad eventi discreti è la fase di analisi dei dati in input che spesso viene sottovaluta da parte di chi sta progettando un simulatore.
Questa fase consiste nell'analisi di dati storici che provengono da progetti passati e che permetteranno di introdurre dei parametri all'interno dei "box" di Arena.
Nel caso infatti in cui si vuole determinare infatti una distribuzione con determinati parametri da inserire all'interno dei blocchi "process" che verranno utilizzati per la modellizzazione delle attività di progetto si deve eseguire un'analisi su dati storici relativi ad una determinata task.
Ovviamente, nel caso del tempo serve solo prendere dei dati relativi a task simili e confrontarli tra loro tramite strumenti di Input Analysis che sono presenti in molti software (Arena Input Analyzer ed Expert fit).
Sostanzialmente i software di input analysis analizzano un array (vettore) di dati e da questo comprendono se i dati che sono stati inseriti sono relativi ad una distribuzione probabilistica e ne stimano gli errori tra i dati grezzi dell'array che è stato inserito e la funzione di distribuzione di probabilità che più si avvicina alla modellizzazione dei dati.
Dato che il software di modellazione che sarà trattato è Arena si utilizzerà l'input analyzer dello stesso software.

Praticamente i valori che dovranno essere inseriti in *figura 65* nel modulo di process saranno determinati tramite l'utilizzo di un input analyzer.

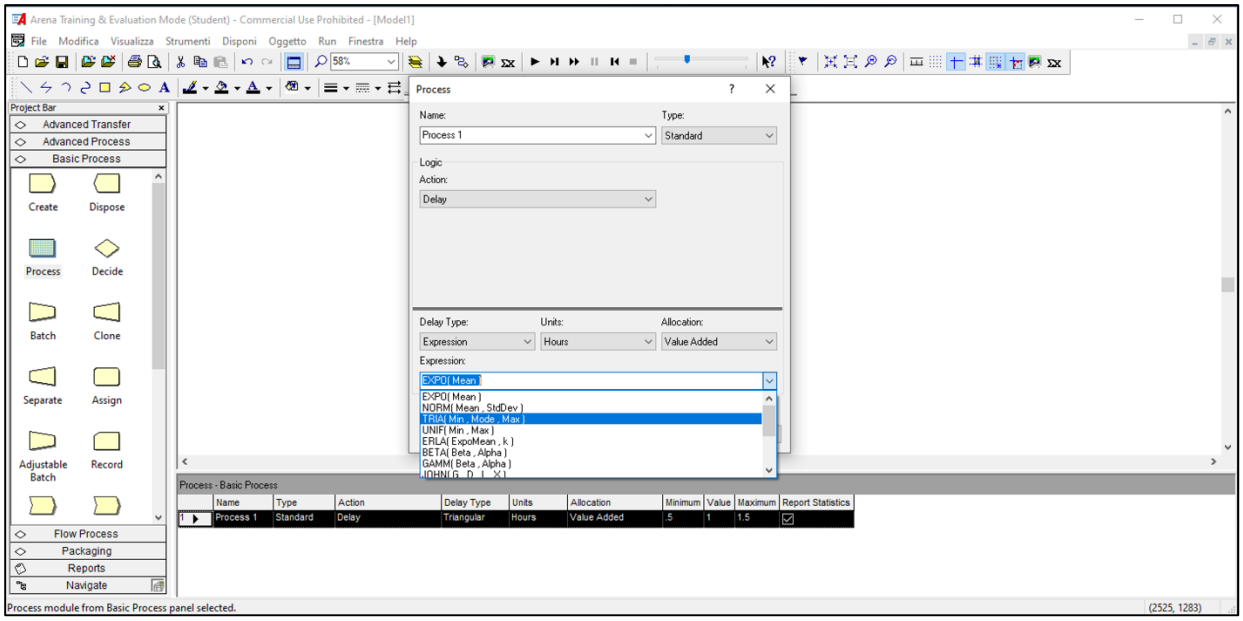



Figura 65: Modulo di Process

Pertanto per capire quale distribuzione utilizzare in base a dei dati precedenti si deve utilizzare un software di analisi degli input in grado di comprendere in primis la forma della distribuzione ed in secundis i parametri della distribuzione (*figura 66*), i dati che vengono messi in input possono derivare da database in cui sono presenti dei dati di progetto simili a quelli che si devono utilizzare nel progetto corrente.

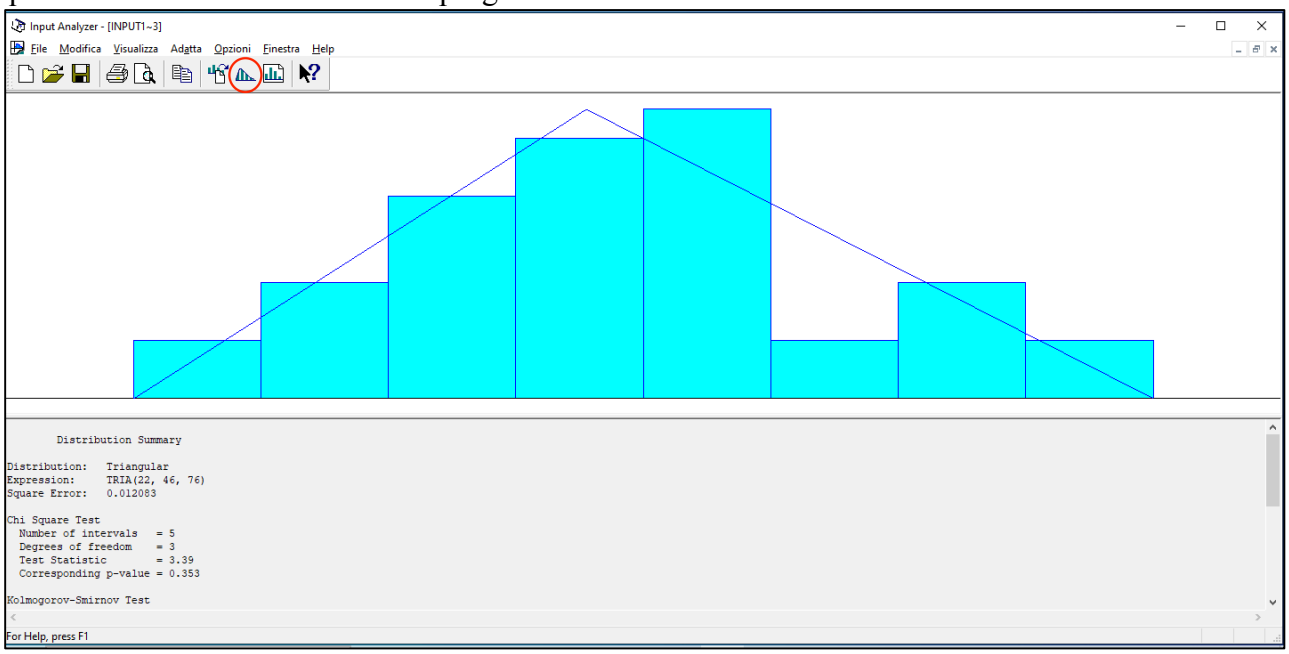



Figura 66: Input Analyzer Arena

In questo caso tramite l'utilizzo dell'analyzer risulta che la distribuzione che meglio fitta i dati è la distribuzione triangolare con parametri a=22, b=46 e c=76. Come si vede dai risultati del

fitting si nota una square error del 12,083% che misura appunto l'errore tra i dati empirici e la distribuzione fittata.
Infatti, se non si è convinti del tipo di distribuzione da usare si può eseguire anche un adattamento dei dati con una distribuzione che secondo l'esperienza può modellare al meglio i dati (normale, esponenziale, lognormale, uniforme, …).
Infatti, si possono eseguire delle prove cambiando la distribuzione ed eseguendo un adattamento, ad esempio se si vuole utilizzare per qualche motivo la distribuzione normale il fitting risulterà affetto da un maggiore errore (*figura 67*) infatti l'analyzer come square error fornisce il 12,286% maggiore anche se di poco di quello relativo al fitting con distribuzione triangolare.

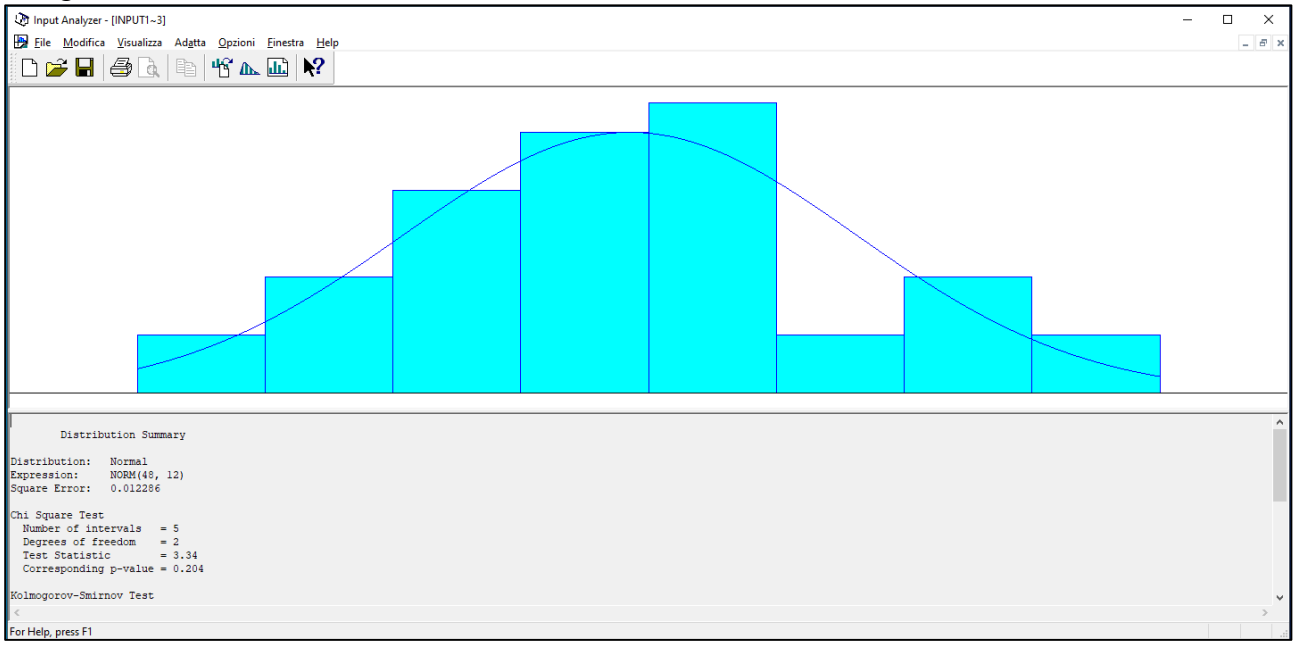



*Figura 67: Input Analyzer adattato alla distribuzione*

A questo punto si devono eseguire le analisi degli input dei vari task di progetto in modo da inserire nei moduli di process i tempi corretti. Ovviamente, il concetto di rischio è interno alla definizione di una determinata funzione di distribuzione di probabilità.

## Modello di simulazione

Dopo aver fatto in modo completo l'analisi degli input si passa allo studio del problema che si vuole simulare, in questo caso si vuole simulare l'andamento temporale di un progetto in cui la stessa flow unit ovvero l'entità che scorre all'interno del modello di simulazione è il progetto considerato come un punto che a seguito di determinate "lavorazioni" (che sono le vere e proprie task di progetto).
Come detto prima inizialmente al termine della fase di pianificazione prima di iniziare la vera e propria esecuzione del progetto si può utilizzare il software simulativo in varie tranches di tempo.
Il modello di simulazione per la rappresentazione nel caso più semplice possibile di un progetto è rappresentata dalla *figura 68*.

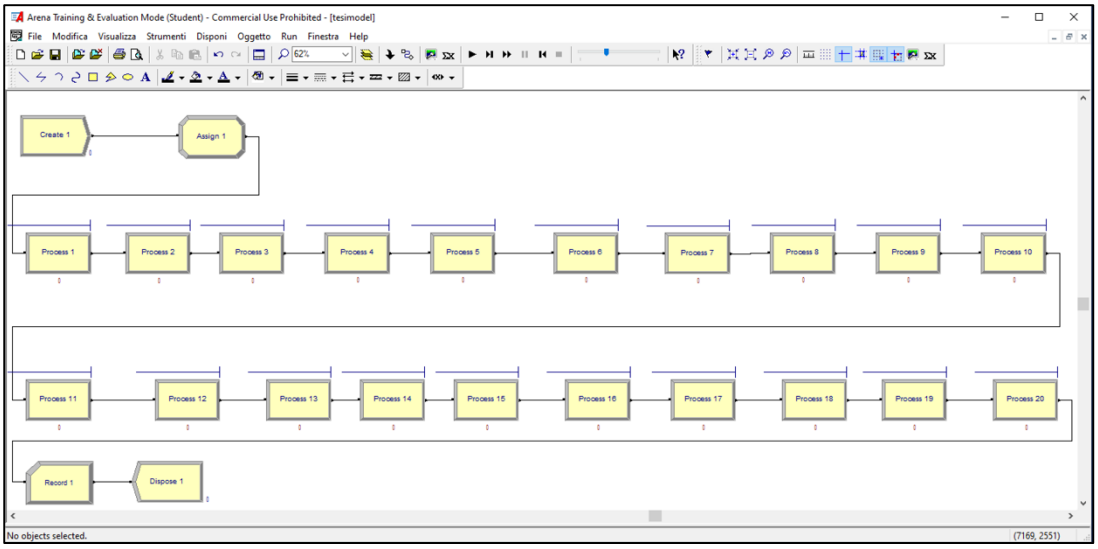



*Figura 68: Schematizzazione di progetto/processo*

Come si può vedere dalla precedente *figura 68* sono stati utilizzati, nel caso di modellizzazione semplice, 5 moduli standard del programma Arena.
Il primo modulo è il CREATE *figura 69* serve a generare le entità, le entità o la entità (come nel caso in esame) viene generata una volta sola e da quel momento in poi l'unità "fluisce" all'interno del sistema. Inoltre, l'entità può essere generata in base a determinati intervalli temporali e pertanto anche la generazione ad esempio nel caso della gestione di produzione il tempo di interarrivo tra un determinato componente segue una funzione di distribuzione di probabilità.

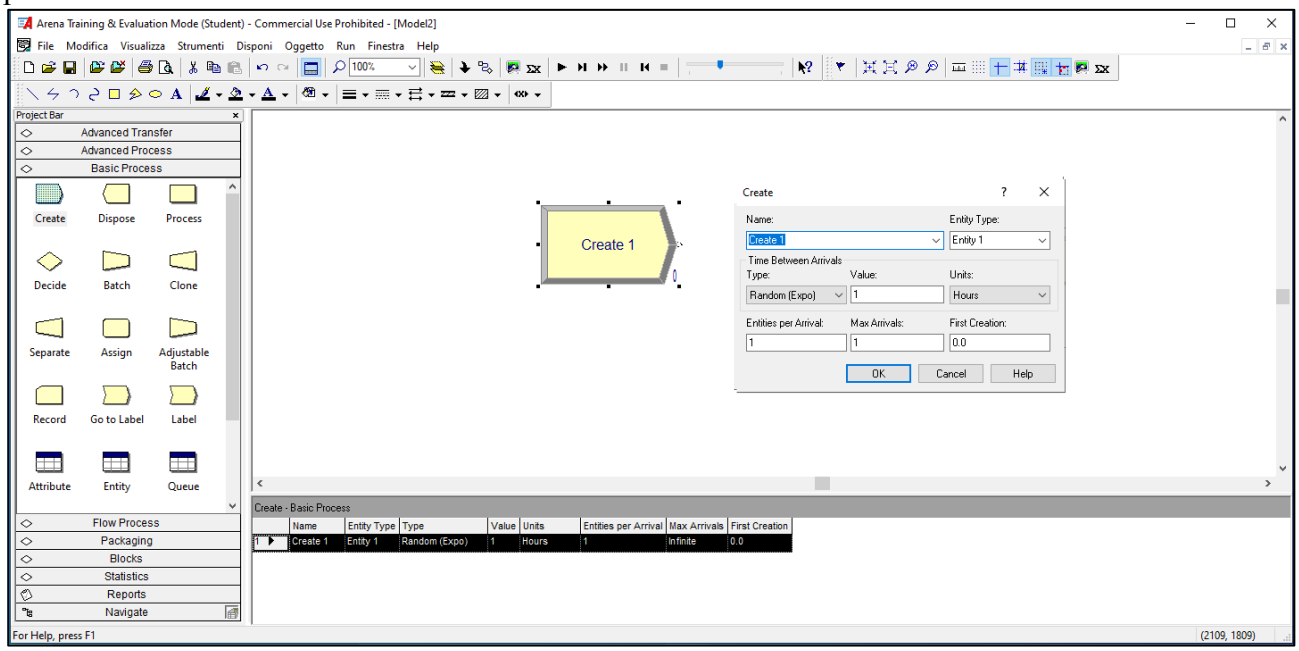



*Figura 69: Modulo di CREATE*

Nel caso specifico inoltre, è stato utilizzato un modulo si ASSIGN *figura 70* che serve ad assegnare nuovi valori alle variabili di stato oppure ad assegnare degli attributi, inoltre si possono anche fare delle assegnazioni multiple e si possono assegnare diversi parametri.
Nello specifico questo modulo è stato utilizzato per assegnare all'entità progetto il tempo di arrivo in modo da calcolare al termine della simulazione il tempo di attraversamento, che corrisponde con la stima di un tempo stimato per l'esecuzione del progetto.

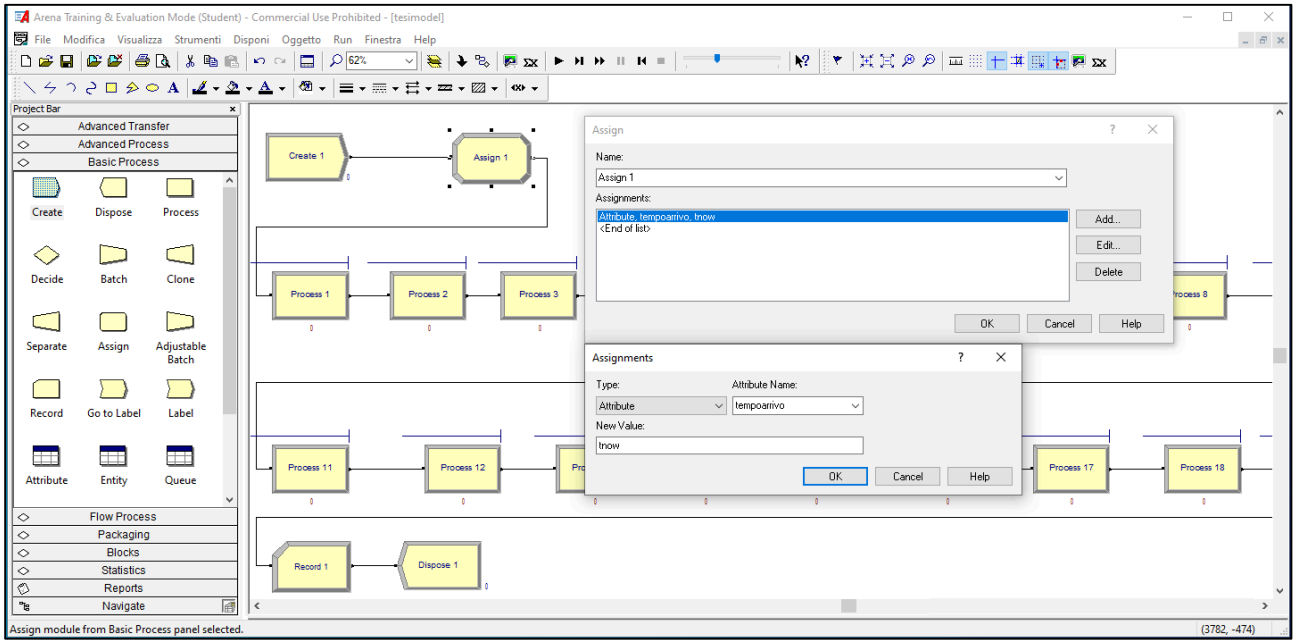



*Figura 70: Modulo di ASSIGN*

Il modulo che in questa rappresentazione è stato utilizzato più spesso è il modulo di PROCESS *figura 71* tramite il quale si modellizzano le varie tasks, in questo caso (per semplicità) si è considerato un progetto che abbia 20 task critiche che vengono analizzate in successione e ognuna di questa ha una distribuzione di probabilità a seconda dell'analisi dei dati in INPUT.
Questo modulo serve a simulare dei processi che richiedono l'utilizzo di risorse, spesso a questi processi possono essere associate delle code (come nel caso di modellazione di un sistema di produzione).

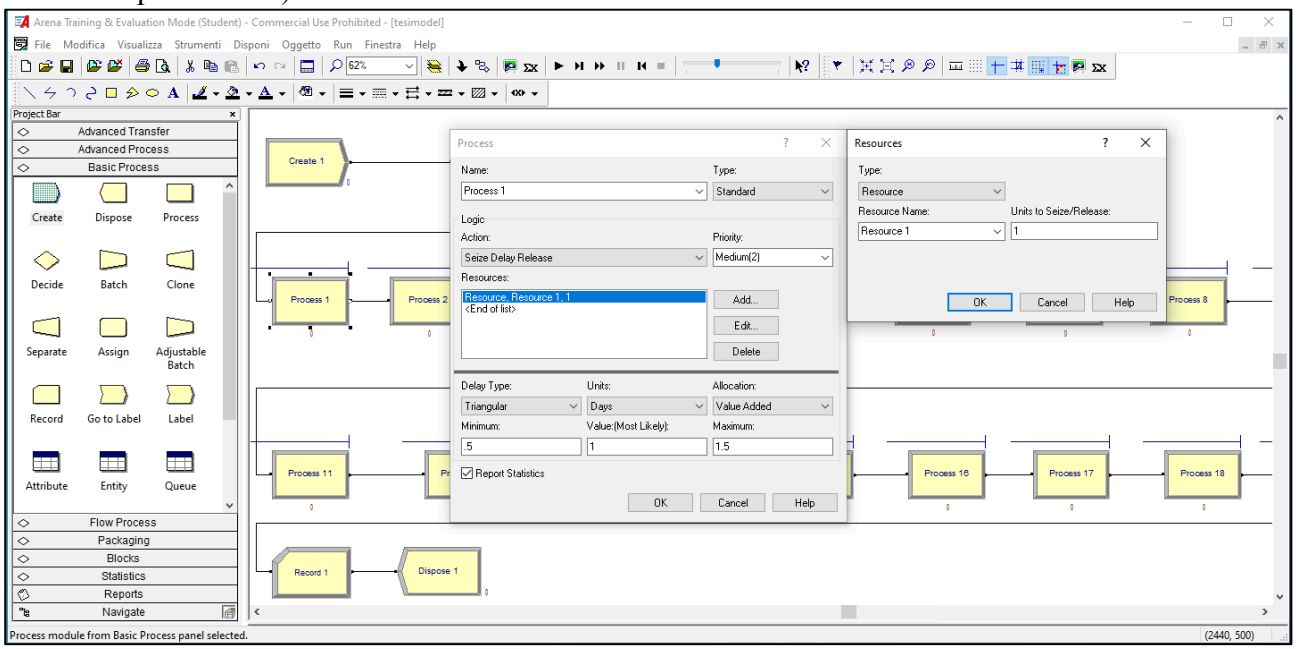



*Figura 71: Modulo di Process*

Il modulo di process è costituito da quattro tipologie: Delay (le entità subiscono un ritardo, le risorse non vengono impiegate), Seize Delay (le entità entrano all'interno della risorsa, a

risorsa viene occupata per il processamento ma non viene liberata), Delay Release (liberamento di una risorsa dopo che viene effettuato un Seize Delay) e Seize Delay Release (occupazione della risorsa, suo utilizzo e successivo rilascio).

Il quarto modulo utilizzato è il modulo di RECORD *figura 72* che viene utilizzato per la raccolta delle statistiche del modello. In questo modulo è possibile effettuare la raccolta di diversi tipi di statistiche, ma nel caso specifico verrà utilizzata la statistica di tipo TIME INTERVAL per calcolare il FLOW TIME del modello di simulazione, ovvero viene calcolato il tempo in cui l'entità attraversa tutto il sistema per poi uscire dal quinto modulo che è molto semplice in cui vengono raccolte le entità che è il modulo di DISPOSE.

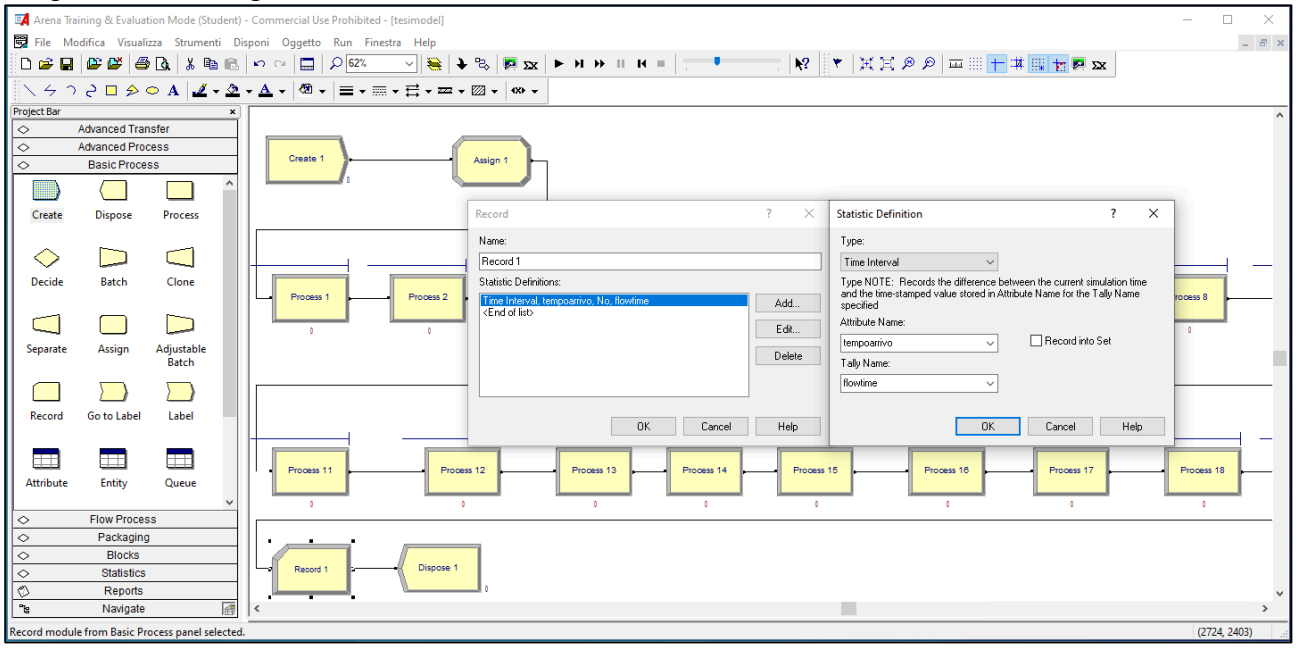



*Figura 72: Modulo di RECORD*

In seguito verrà descritto un algoritmo per l'uso di Arena in ambito di project management con l'obiettivo di effettuare delle simulazioni in corso d'opera, ad esempio anche quando ci si avvia alla fine dell'esecuzione dei lavori, in modo che con il trascorrere del tempo non si utilizzino più le funzioni di distribuzione di probabilità, bensì si utilizzino dei valori deterministici e altri no, in modo da comprendere l'andamento del progetto.

**Algoritmo Arena in Project Management**

In *figura 73* è riportato l'algoritmo da seguire per analizzare un generico problema di Project Management in cui i dati si aggiornano nel corso del tempo e il rischio delle funzioni di distribuzione di probabilità con il passare del tempo, dato che si passa da funzioni di distribuzione probabilistiche viene praticamente annullato al termine del progetto.

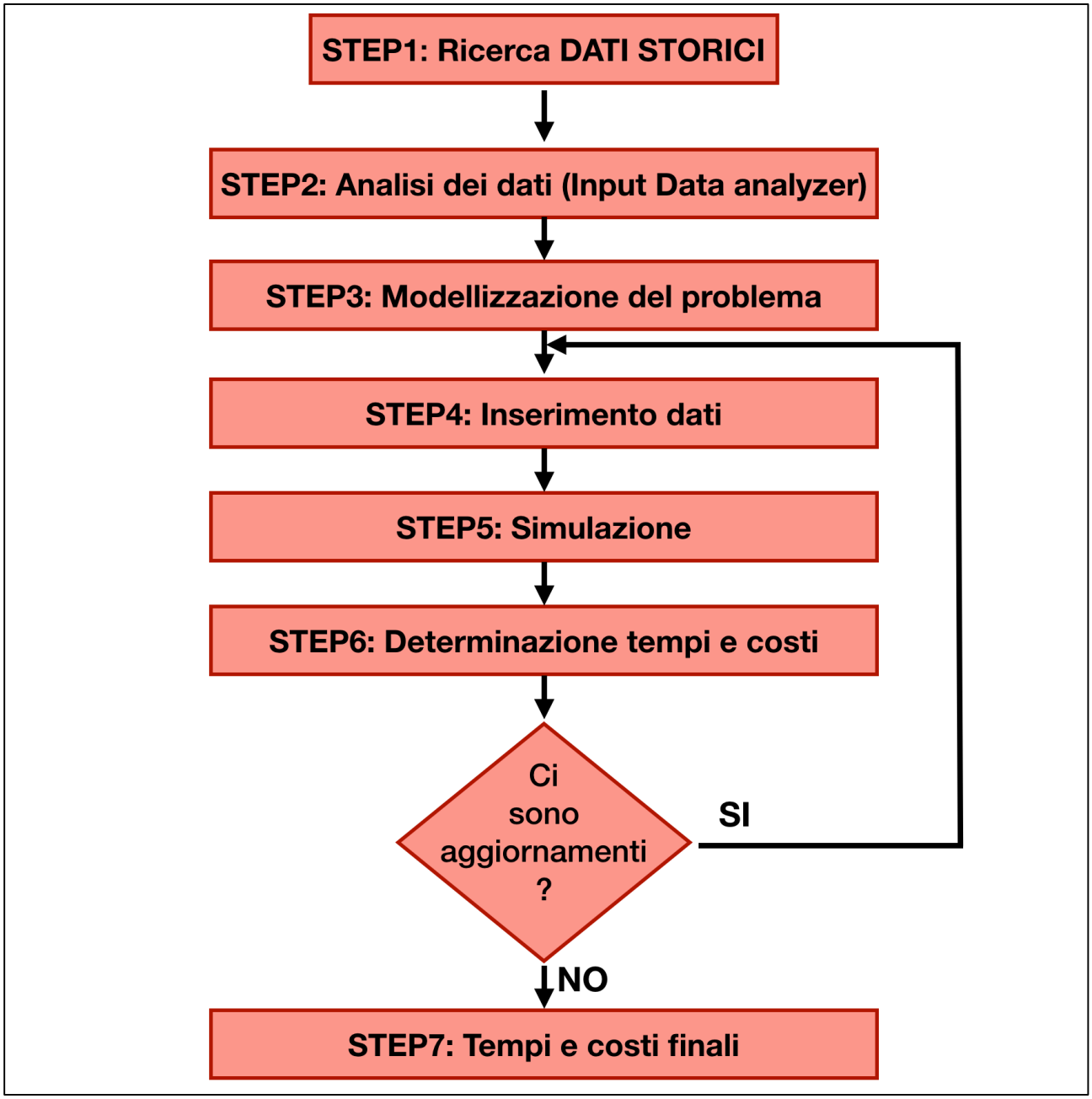



*Figura 73: Algoritmo Arena for Project Management*

Andando avanti nel tempo avviene i dati vengono affinati, facendo eseguire ogni singola simulazione il software genera un report in cui ci sono tutte le statistiche sui tempi e sui costi. Questo metodo può essere anche utilizzato per la stima dell'EAC (Estimate at Completion) in cui si cerca con il tempo di affinare sempre di più le stime di tempi e costi di progetto. Ovviamente, nel caso in cui non si hanno a disposizione delle stime storiche di progetti passati su tempi e costi, si ricorre al giudizio degli esperti.

## Ball Pattern Contingency Evaluation

**Introduzione**

Il modello di analisi del rischio e successivo calcolo del Contingency Budget consiste nell'utilizzare uno dei framework per l'analisi del rischio come ad esempio si può utilizzare una matrice simile alla matrice RBM (Risk Breakdown Matrix) descritta precedentemente.
Infatti, si può pensare di adottare un metodo in cui vengono classificati i WP di progetto e poi per ognuno di questi vengono definiti anche tramite l'utilizzo di un giudizio proveniente da esperti, anziché due dimensioni per l'analisi del rischio si può introdurre nel metodo una terza dimensione che è la conoscenza del rischio. Ovvero quanto un rischio è facile da "abbattere" anche utilizzando ad esempio delle tecniche che sono utilizzate in progetti precedenti.
L'utilizzo di questa terza dimensione del rischio non è del tutto nuovo in quanto i primi studi in cui compare come terza dimensione la "knowledge", infatti risalgono al 2019 (Paltrinieri, Comfort, Reniers).
Alle due dimensioni canoniche nel piano (*figura 74*) ovvero probabilità ed impatto si passa a dei punti che sono definiti nello spazio tridimensionale come attestato dalla *figura 75*.

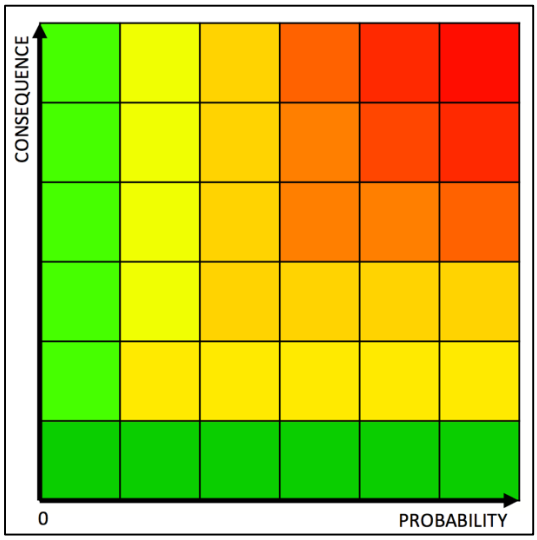



*Figura 74: Grafico in 2D di probabilità ed impatto*

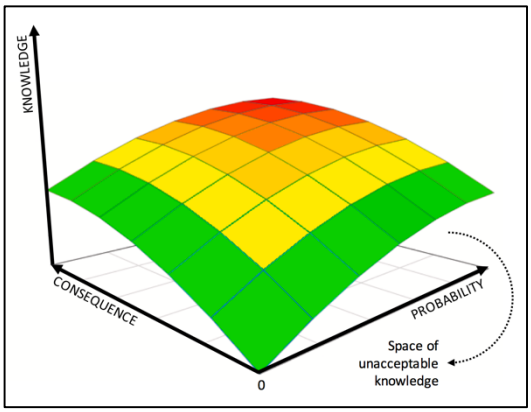



*Figura 75: Grafico in 3D di probabilità, impatto e knowledge*

## Spiegazione del metodo

Il primo passo da effettuare è quello di compilare la matrice RBM in cui il rischio cambia formula ma non così tanto, infatti la formula "nuova" rispetto a quella usata risulta essere:

$$\boldsymbol{R = p \times I \times k}$$

in cui p rappresenta la probabilità di accadimento di un determinato rischio, I rappresenta l'impatto ovvero la magnitudo del rischio spesso questo valore è espresso in termini di valore monetario e infine il "nuovo" termine k che rappresenta la knowledge è un valore ovviamente definito positivo, spesso espresso in valore percentuale da degli esperti.
Quindi a questo punto i PM (project manager) si trovano con una matrice in cui c'è una dimensione in più e quindi le decisioni devono essere prese in uno spazio tridimensionali.
Dopo che vengono stimati per ogni WP di progetto tutti e tre i parametri (tramite il giudizio di esperti oppure attingendo a dei database di progetti analoghi per tipologia o perché sono stati fatte da aziende simili tra loro) si passa alla stima del contingency budget.
Inoltre, questo passo del metodo può essere complicato, nel senso che anziché lavorare con un singolo valore stimato per p, I e k si può lavorare con una tripla di valori (a,b, e c ) in modo da applicare anche i metodi simulativi e la stessa analisi PERT per essere molto più precisi e dare anche un intervallo di confidenza del rischio che si può prendere l'OWNER di progetto o anche chi finanzia il progetto.

Arrivati a questo punto del metodo, per una comprensione migliore dei punti, tramite l'utilizzo di software statistici o grafici (o anche tramite l'utilizzo dello stesso excel).
Il modello consiste nel rappresentare in un piano 3D tutti i punti che sono stati identificati precedentemente e decidere in base ad un framework nuovo quali valori devono essere considerati per la definizione del contingency budget.
Infatti, prendendo come riferimento il modello presente in *figura 76*

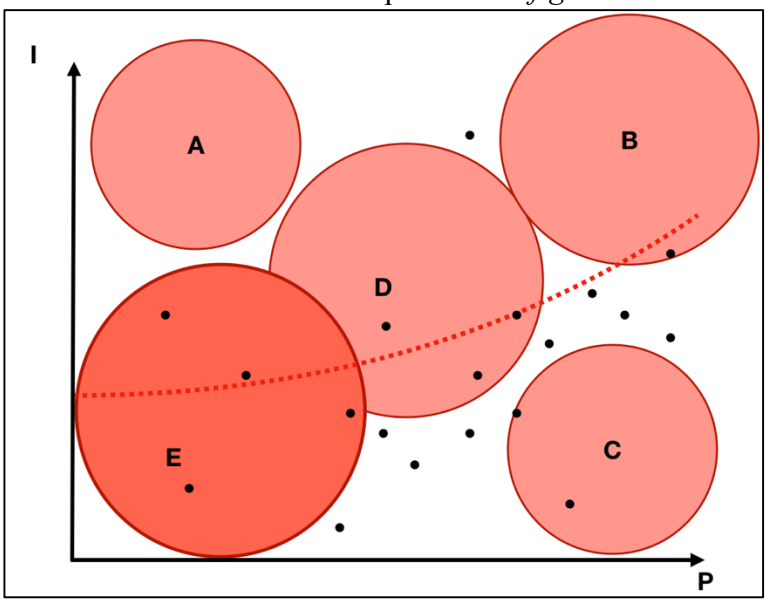



*Figura 76: Modello di stima del contingency*

Dalla *figura 76* si può vedere che il valore di Contingency da definire nel caso in due dimensioni per semplicità è definito come la somma di tutti i valori che si trovano all'interno della

circonferenza E effettuando una somma di tutte le probabilità per gli impatti utilizzando ad esempio il metodo dell'EMV.
Passando alle tre dimensioni come si può vedere in *figura 77*:

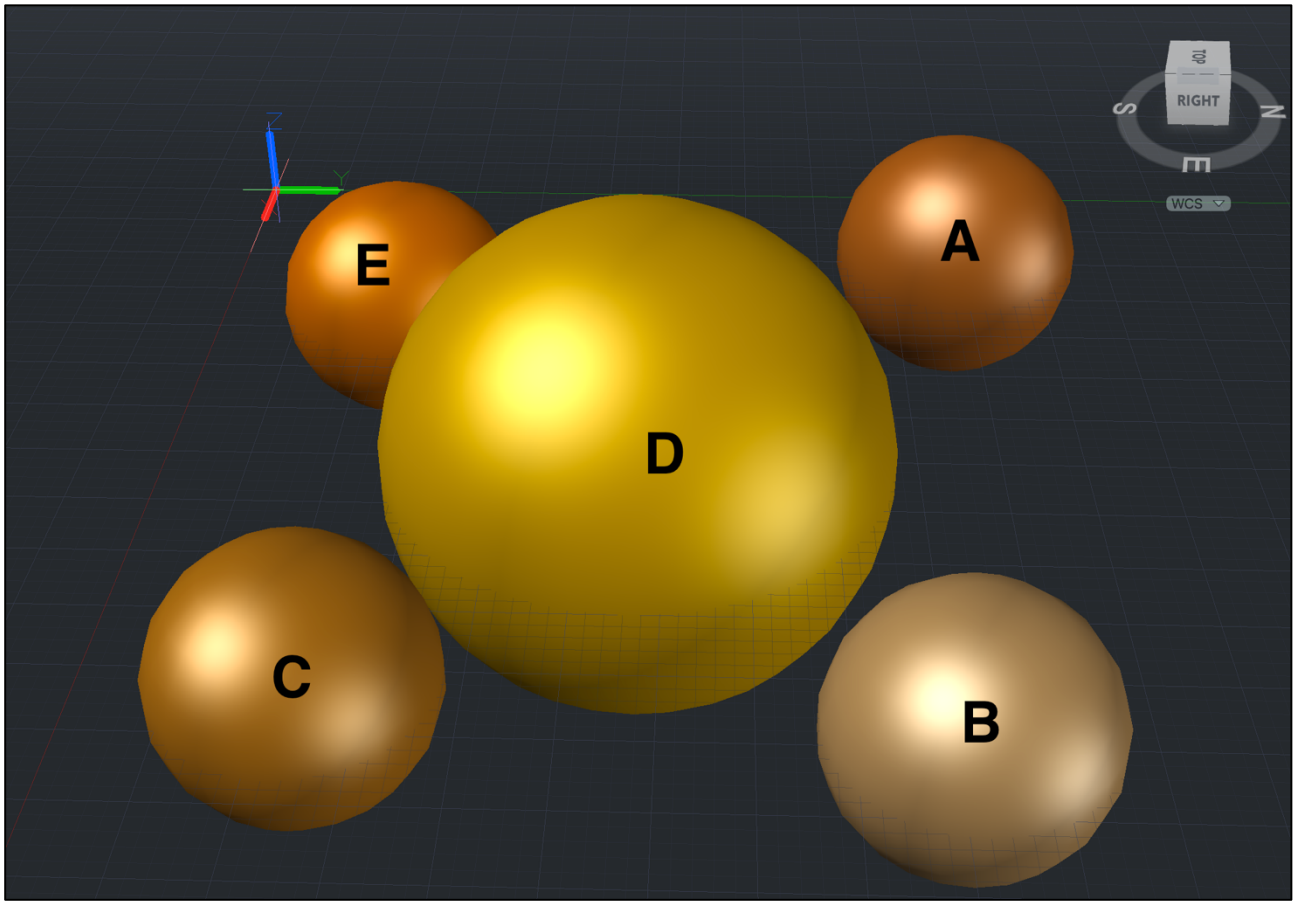



*Figura 77: 3D Ball Framework*

Considerando il modello nel suo caso più semplice ovvero che per ogni dimensione del rischio ci sia un singolo valore le dimensioni del contingency vengono effettuate facendo una somma come nel caso in 2D di tutti i vari prodotti delle tre dimensioni.
Ma non basta fermarsi a questo punto in quanto, nel caso di 3 dimensioni i decisori oppure il project manager insieme al team di progetto possono decidere di cambiare avversione al rischio.

**Concettualizzazione del modello matematico**

Il modello matematico è praticamente un modello di ottimo vincolato, in cui si vuole cercare di ridurre quanto più possibile il valore della "sfera di contingency" in modo da minimizzare il rischio.

Inoltre, un'espansione del modello potrebbe essere l'applicazione del modello in ottica multiperiodo, nel senso che in questo caso più semplice si sta considerando il progetto bloccato in un punto determinato del suo scheduling, ad esempio per semplicità ci metteremo nel punto 0 ovvero alla fine della pianificazione di progetto e quando il progetto dovrebbe partire e quindi abbiamo anche la definizione delle tre dimensioni ma dobbiamo stimare la prima stima di budget contingency che poi verrà "raffinata" nel tempo fino ad arrivare ad un valore pressoché nullo al termine dell'esecuzione del progetto.

Iniziando con la formalizzazione e partendo dal concetto di sfera, l'equazione semplice che determina una sfera in uno spazio tridimensionale è la seguente:

$$x^2 + y^2 + z^2 + \alpha x + \beta y + \gamma z + \delta = 0$$

*Equazione 30: Equazione canonica della sfera*

Da cui ricordando le semplici regole di geometria analitica le coordinate cartesiane del centro della sfera si possono ricavare facilmente dall'equazione 29 mentre la misura del raggio è definita dall'equazione matematica 30.

$$C\left(-\frac{\alpha}{2}\ ;\ -\frac{\beta}{2};\ -\frac{\delta}{2}\right)$$

*Equazione 31: Centro della circonferenza*

$$r = \sqrt{\frac{\alpha^2}{4} + \frac{\beta^2}{4} + \frac{\gamma^2}{4} - \delta}$$

*Equazione 32: Equazione del raggio della circonferenza*

I dati che si hanno dall'analisi del rischio e dalla RBM modificata non sono utilizzabili direttamente per il calcolo del raggio e del centro della circonferenza, infatti per la definizione del raggio si potrebbe utilizzare un modello che calcoli l'ampiezza massima tra i punti (tramite un modello di ottimizzazione come ad esempio il TABU SEARCH precedentemente analizzato) della matrice.

In seguito per la definizione delle coordinate del centro della circonferenza si potrebbe utilizzare un metodo di centratura come ad esempio adottando l'operatore media in cui per definire il centro si può pensare di effettuare una media per i valori di p, I e k arrivando a definire in questo modo il centro della sfera.

Un altro elemento che inseguito verrà utilizzato è il volume caratteristico della sfera, per definizione matematica di volume si utilizzi l'espressione presente all'interno dell'equazione 31 introducendo degli integrali tripli che poi saranno implementati correttamente tramite un software come MATLAB oppure qualunque risolutore di calcolo. Il volume della zona che ci interessa per la stima del contingency budget è calcolato ricordando le formule di analisi con il calcolo di un integrale triplo (ma ciò ovviamente non deve far preoccupare in quanto questo calcolo è fatto da software dedicati).

Ovviamente, se l'area di nostro interesse è racchiusa all'interno di un corpo sferico e avendo calcolato il raggio come suggerito precedentemente il volume della sfera è preso calcolato tramite la seguente equazione:

$$V = \frac{4\pi R^3}{3}$$

*Equazione 33: Volume della sfera*

Invece, nel caso più complicato il modello potrebbe essere matematicamente più complesso non a caso si dovrà utilizzare il concetto di integrale triplo per il calcolo di un volume minimo che racchiuda tutti i punti dello spazio.
Il volume di un solido nello spazio ridondando le formule di analisi è descritto dalla seguente equazione:

$$\int_S f(x,y,z)\,dx\,dy\,dz = \iiint_S f(x,y,z)\,dx\,dy\,dz$$

*Equazione 34: Volume di un solido nello spazio 3D*

L'equazione 34 è trasformata in base alle dimensioni del problema nell'equazione 36:

$$\int_S f(p,I,k)\,dp\,dI\,dk = \iiint_S f(p,I,k)\,dp\,dI\,dk$$

*Equazione 35: Volume di un solido nello spazio p, I, k*

Il simbolo S che sta nel pedice dell'integrale indica che il dominio di integrazione è uno spazio S che matematicamente in questo caso è definito come uno spazio tridimensionale: $S \in \mathbb{R}^3$.

Il modello consiste in una somma dei rischi considerando la formula che si trova all'inizio della spiegazione, ma i decisori possono anche decidere il livello di grandezza della sfera e il relativo intervallo di confidenza.
Sostanzialmente la funzione obiettivo del modello consiste nella determinazione del minimo volume che racchiude dei punti, un modello più complesso potrebbe essere effettuato non considerando una sfera semplice ma un solido tridimensionale che racchiuda tutti i valori e che abbia il minimo volume rappresentabile.
Infine il valore di contingency che viene stimato è dato dal minimo valore della funzione obiettivo di un modello di programmazione matematica in cui come funzione obiettivo si ha la minimizzazione del rischio (quindi si potrebbe considerare direttamente la semplice equazione di Rischio vista come prodotto delle tre dimensioni) e soggetta a diversi vincoli, come ad esempio il primo riguarda il volume entro cui non si può uscire (volume della sfera oppure del solido tridimensionale), i vincoli di non negatività delle tre dimensioni e un vincolo di ottimizzazione per il calcolo del raggio minimo.
Ovviamente il modello come risultato avrà una percentuale di contingency che è il valore che esce fuori dalla variabile R e sommato per ogni WP rappresenterà la percentuale dei costi totali da accantonare (mentre nel modello che si aggiorna con il tempo si può lavorare anche ad incrementi di contingency).

Inoltre, ovviamente il modello matematico dell'equazione della sfera del centro e del raggio considerando che le tre dimensioni del rischio sono p, I e k le equazioni 28, può essere riscritta nella forma riportata nell'equazione 34 bis:

$$p^2 + I^2 + k^2 + \alpha p + \beta I + \gamma k + \delta = 0$$

*Equazione 36: Equazione canonica della sfera nel piano p, I, k*

Invece, le equazioni 29,30 rimangono tali anche perché non compaiono le dimensioni cartesiane del metodo.
Per semplicità l'equazione canonica della sfera che costituirà uno dei vincoli del modello viene riscritta considerando di avere un centro C di coordinate:

$$\boldsymbol{C\ (p_0;\ I_0;\ k_0)}$$

*Equazione 37: Coordinate del centro nello spazio p, I, k*

L'equazione della sfera può essere semplicemente riscritta come (equazione 36):

$$\boldsymbol{(p-p_0)^2+(I-I_0)^2+(k-k_0)^2=r^2}$$

*Equazione 38: Equazione del raggio nello spazio p, I, k*

Il modello di programmazione matematica, considerando quanto descritto prima può essere scritto nel seguente modo (F.O. sta per funzione obiettivo e in seguito sono riportati tutti i vincoli del problema):

$$\boldsymbol{F.O.} \qquad \boldsymbol{\min \sum_{i=1}^{n} R_i}$$

$$\boldsymbol{s.t}$$

$$\boldsymbol{(p_i-p_0)^2+(I_i-I_0)^2+(k_i-k_0)^2 \le r^2} \qquad \boldsymbol{\forall i}$$

$$\boldsymbol{p_i \ge 0}$$

$$\boldsymbol{I_i \ge 0}$$

$$\boldsymbol{k_i \ge 0}$$

*Modello 5: Modello di Ball Pattern Contingency Evaluation*

Nel modello i indica l'i-esimo WP con cui è scompattata l'intera WBS
Ovviamente l'unità di misura del risultato dipende da quella delle dimensioni, nel caso più semplice si può pensare che se la magnitudo descritta da I è espressa sotto forma di valori economici allora il risultato sarà già il valore di contingency budget da stimare nel progetto, mentre nel caso in cui la I viene determinata come una percentuale del valore di danno che potrebbe arrecare all'intero progetto studiato allora il risultato finale del modello è una percentuale di costo e il relativo budget di rischio deve essere calcolato moltiplicando i costi diretti di progetto con questa percentuale trovata.

## Modello multiperiodale

Nel modello multiperiodale considerare che il volume della sfera (o del solito che si sta considerando) varia con il passare del tempo infatti, a differenza del modello basic precedente si inserisce all'interno del modello di programmazione matematica la variabile tempo, e in base all'occorrenza si deve definire il livello di contingency che con il tempo sarà decurtato oppure incrementato a seconda se alcuni rischi sono accaduti o meno.

Infatti questo modello si può applicare nel seguente modo: i rischi che già sono avvenuti vengono sottratti alla funzione obiettivo di minimizzazione di rischio ogni volta che avvengono oppure durante la "schedule" di progetto, questi possono essere incrementati nel caso in cui si presenta un nuovo rischio.

Quindi questo modello sostanzialmente deve seguire la pianificazione del progetto ma soprattutto deve essere in perfetta linea con la schedulazione che è stata definita in fase di pianificazione del progetto.

L'obiettivo di entrambi i modelli, è quello di minimizzare il rischio di progetto come già si nota dalla funzione obiettivo ma il fine ultimo del modello è arrivare ad avere l'ultimo giorno di esecuzione dei lavori un contingency budget che è praticamente nullo, quindi si può anche pensare di implementare un software in cui la matrice in cui si trovano le nostre tre dimensioni sia fatta variare giornalmente e ci sia un aggiornamento continuo da parte del PM.

# CAPITOLO 3: Stima del budget totale di progetto

## Calcolo dell'Accuracy e altre riserve per il rischio di progetto

### Introduzione

Una delle prime schematizzazioni di progetto viene fatta dai project manager attraverso l'uso della WBS, una sorta di distinta base che permette di comprendere la struttura di progetto e lo scompatta in delle forme più semplici per la gestione di tempi, costi, qualità che sono i WP (work-package).
Per ogni WP i PM devono assegnare un determinato costo e tempo in modo da creare tramite delle regole dal basso verso l'alto oppure viceversa una struttura almeno di tempo/costo in modo da avere un'idea dei costi totali diretti di progetto.
Ovviamente in ogni WP gli elementi che non devono mancare in termini di costo sono la manodopera che serve per ogni determinato pacchetto, i materiali e i costi indiretti.
Il costo netto di ogni WP viene calcolato moltiplicando il costo unitario di lavoro, ad esempio, per la quantità di lavoro che serve per la realizzazione di un determinato pacchetto.
Infatti, il costo netto (Net Cost) è la somma del valore monetario delle risorse (umane, materiali e immateriali) per un determinato lavoro senza una tolleranza o un margine di errore, pertanto viene chiamato costo netto perché in questo non sono presenti i rischi o le opportunità che possono incorrere durante l'esecuzione di quel determinato WP.
Effettivamente i concetti di errore e tolleranza devono essere compresi all'interno del costo totale di progetto e pertanto solitamente vengono inclusi all'interno di una riserva addizionale che prende il nome di "ALLOWANCE" (indennità)che può variare nel tempo che può essere sia la contingency ma addirittura anche un'altra riserva che serve per contenere proprio l'incertezza.
L'incertezza è un altro elemento fondamentale nei progetti, questa può essere contenuta all'interno di una specifica riserva oppure può confluire direttamente all'interno del contingency budget, l'unica preoccupazione che devono avere i manager di progetto è quella di non considerare due volte il valore in termini di costo/tempo di questa riserva.
La somma algebrica di allowance e di costo netto porta alla determinazione di una quantità di costo che viene denominata PE (Point Estimate) ovviamente la riserva per il rischio nella trattazione successiva sarà considerata a latere di questa.
Per semplicità descrittiva si considera la riserva dell'accuracy direttamente legata alla determinazione dei costi diretti di progetti anche se sostanzialmente è una piccola riserva per le coperture da rischi di progetti derivanti da incertezze, errori umani.
Il budget totale di progetto, ovvero il numero che dovrà essere scritto all'interno dei documenti di una specifica gara d'appalto o semplicemente il numero indicativo che viene richiesto dai committenti dell'opera è uguale alla somma di PE e riserve per il rischio.
Infatti, per la stima del PE si deve tener conto di una nuova quantità che racchiude altri fattori di incertezza di progetto che è l'accuracy.
Inoltre, la componente di rischio di progetto è divisibile in due grandi macro-categorie. Una è rappresentata dalla riserva di contingency ovvero quella riserva di copertura del rischio che permette di attivare delle strategie che servono per diminuire l'impatto dei rischi che sono stati identificati ovvero i rischi che si conoscono.

Per di più esiste un'altra riserva che permette una copertura un po' più particolare che è destinata a tutti quei rischi che non sono identificati nella prima riserva e che sono molto difficili da stimare, questa riserva prende il nome di "MANAGEMENT RESERVE" e sostanzialmente il valore economico che viene accantonato all'interno di questa riserva è pari ad una percentuale dei costi totali di progetto in base alla tipologia e all'esperienza dei decisori.
Il budget di base di progetto viene definito dalla somma di PE e del contingency budget.
La "management reserve" non viene inclusa nel budget di base del progetto viene invece inclusa nel budget totale di progetto come descritto dalla *figura 78.*

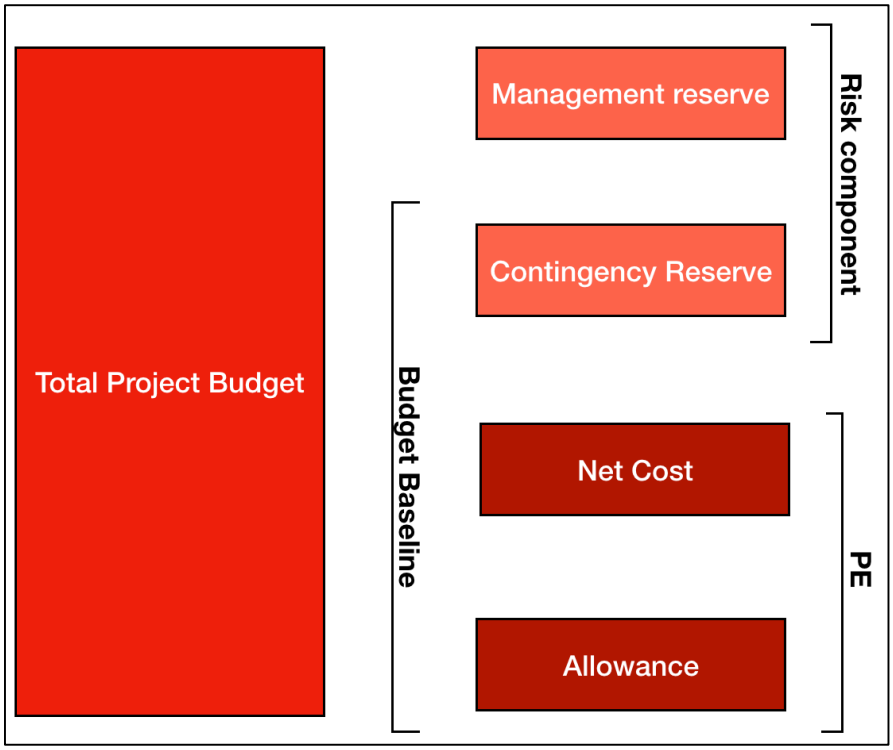



*Figura 78: Totale Project Budget*

## Modello per la stima del budget di progetto considerando l'accuracy

L'accuracy e la precisione sono delle variabili molto importanti nella gestione dei progetti in quanto tramite questi si minimizza la varianza intrinseca nei costi di progetto.
Il modello che sarà presentato è un modello che cerca di diminuire la deviazione standard di una lista di costi di progetto.
Per la descrizione del modello si consideri che i costi attuali di progetto siano descritti da una variabile casuale $X_i$ con una relativa densità di probabilità $f_i$.
Per definizione del teorema del limite centrale se il numero degli elementi (WP) di una WBS aumenta allora la distribuzione dei costi totali che costituiscono la WBS è approssimabile ad una distribuzione normale con una specifica media $\mu$ ed una varianza $\sigma^2$.
Per la stima della funzione di densità di probabilità dei costi di progetto si utilizza una stima a tre punti che deriva, ad esempio, da tre valori che possono essere dati da esperti del settore e che quindi possono essere descritti tramite la distruzione triangolare.
L'obiettivo principale del modello è quello di minimizzare la probabilità che il progetto abbia dei ritardi o degli anticipi elevati in termini di durata e in termini di budget si vuole minimizzare l'overrun dei costi cercando di minimizzare le variazioni di costo e la relativa varianza.

La funzione di distribuzione cumulata di un i-esimo progetto è rappresentabile dall'*equazione 37.*

$$\boldsymbol{F_i(x_i) = \int_0^{x_i} f_i(t)dt}$$

*Equazione 39: Funzione di distribuzione cumulata dei costi*

Introducendo due termini di errore nella gestione di progetto:

- $\boldsymbol{\alpha}$**: Costi del lavoro non pianificato che derivano da errori di stima di PE**
- $\boldsymbol{\varepsilon}$**: Costi del lavoro non pianificato che derivano da errori di stima del rischio di progetto**

Considerando che PE sta per Point Estimate e RC per Risk Contingency.
La funzione di distribuzione cumulata dei costi di progetto per un i-esimo progetto ovvero il risultato dell'integrale dell'equazione 37 può essere riscritto come nell'equazione 38.

$$\boldsymbol{F_i(x_i) = (PE \pm \alpha) + (RC \pm \varepsilon) = (PE + RC) \pm (\alpha + \varepsilon)}$$

*Equazione 40: Calcolo costo totale di progetto considerando le riserve per accuratezza e rischi*

Le variabili introdotte di errore sono definite positive (o pari a 0, ma ciò non capita quasi mai) e sono da considerarsi iid (indipendentemente identicamente distribuite).
Il valore di $\alpha$ per definizione è da considerarsi come l'insieme degli errori che derivano dalla stima di PE questo può essere ridotto con l'esperienza, la conoscenza, al contrario il valore di $\varepsilon$ non può essere assolutamente ridotto in quanto non si conoscono le cause che potrebbero generare questa componente di rischio pertanto il valore non può essere modificato.
A livello grafico il problema di minimizzare il budget totale di progetto è rappresentato dalla *figura 79*.

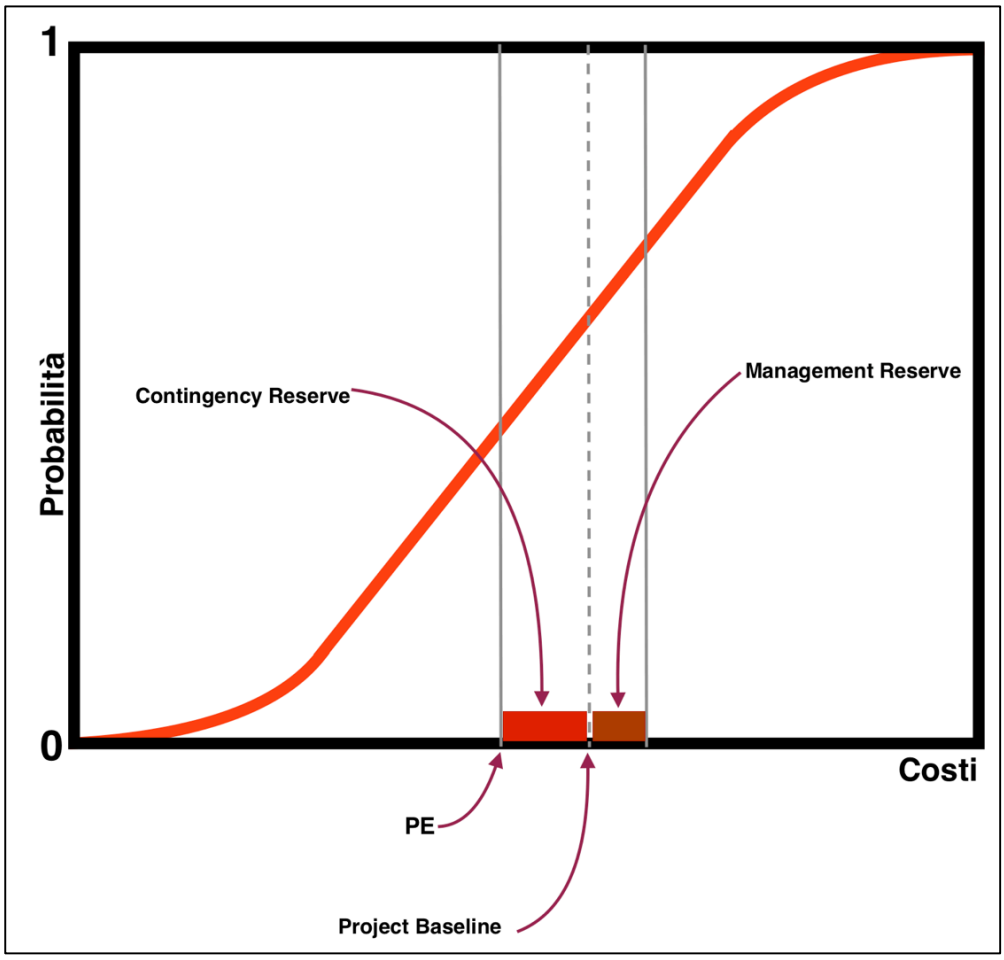



*Figura 79: Rappresentazione grafica dei costi totali di progetto*

## Calcolo dei costi del rischio usando il metodo della stima a tre punti

La tecnica della stima a tre punti viene utilizzata per il calcolo del PE per ogni WP di progetto ma può anche essere utilizzata per stimare i costi del rischio.
I tre valori che vengono usati sono:

- valore più probabile è il valore che si basa su una stima realistica del pacchetto di costo che si sta analizzando
- valore ottimistico (low value) è quel valore che si basa su uno scenario ottimistico per una determinata attività
- valore pessimistico (high value) è il valore che deriva dal calcolo di costo/tempo considerando uno scenario peggiore di progetto.

Il fattore, accennato prima, della precisione è un fattore che riguarda la stima dei costi e considera l'incertezza intrinseca che ci può essere in una determinata stima.
La differenza tra il valore low e high misura appunto la precisione nella stima dei costi
Il valore dei costi attuali di progetto può essere calcolato tramite un RANGE che riprende l'equazione 39.

$$(\boldsymbol{PE}-\boldsymbol{\alpha})+(\boldsymbol{RC}-\boldsymbol{\varepsilon}) \leq \boldsymbol{ACWP} \leq (\boldsymbol{PE}+\boldsymbol{\alpha})+(\boldsymbol{RC}-\boldsymbol{\varepsilon})$$

*Equazione 41: Stima degli ACWP considerando le incertezze*

Infatti, se si vuole descrivere l'equazione tramite una rappresentazione grafica ciò è sintetizzato nella *figura 80.*

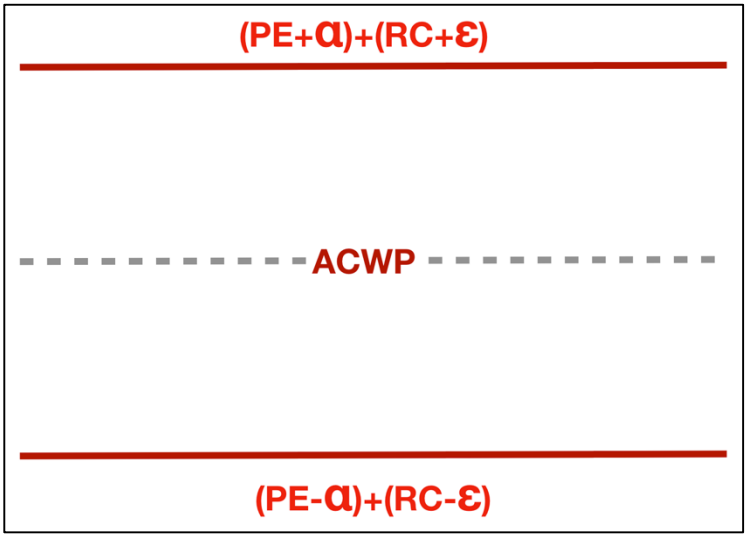



*Figura 80: Limiti di stima di costo*

In *figura 80* si può notare come il metodo che viene utilizzato può essere anche ampliato tramite l'utilizzo di uno strumento molto presente nella stima delle tolleranze nei settori industriali e manifatturieri, ovvero il metodo delle carte di controllo che ha le sue radici nel metodo 6-sigma. Sostanzialmente il metodo di stima della precisione cerca di non intaccare le riserve dei rischi di progetto in modo che l'ammontare economico rimanga tali e non venga richiesto ai committenti di immettere ulteriore denaro nel progetto.

## Calcolo di Net Cost, PE e Allowance

Il costo netto di ogni WP può essere calcolato in base a quanto riportato nella progettazione, l'allowance può essere calcolata dai manager in base alla loro esperienza oppure può essere determinata grazie all'aiuto di esperti.
Inoltre la PE può essere calcolato o con dei metodi simulativi utilizzando tecniche come la simulazione Monte Carlo oppure utilizzando come sempre il giudizio di esperti del settore.
Un esempio di calcolo del PE potrebbe essere quello di calcolarlo attraverso i valori di costo medio o più probabile di ogni WP (*equazione 40*).

$$PE = \max(media, \tilde{p})$$

*Equazione 42: Calcolo del PE*

In cui la media è considerabile come la media di tutti i valori dei WP che costituiscono la WBS di progetto, mentre $\tilde{p}$ è il valore più ricorrente tra i WP all'interno del progetto.
Da non dimenticare che l'altra componente dell'*equazione 40* è la componente relativa al rischio, ovvero RC.
RC è calcolato come la probabilità che il costo effettivo di progetto superi il costo target di progetto che è stato preventivato in fase di pianificazione.
Infatti, l'obiettivo del modello è anche quello di prevedere dei costi aggiuntivi che devono essere effettuati nel caso in cui avvenga un rischio con una determinata probabilità e un relativo impatto.
Ovviamente i piani di risposta al rischio sono molto variabili appunto a seconda della probabilità e dell'impatto e costo e tempo di risposta variano al variare di questi due fattori.
Sostanzialmente quando accade un rischio per capire quanto valore si deve sborsare per far fronte a quel determinato rischio, prima si calcola il valore di PE e dopo si calcola tramite la tecnica di EMV oppure altre tecniche di quantificazione del rischio quanto è il valore economico minimo che serve per coprirsi da quel determinato rischio che è capitato.
Ovviamente quando i rischi avvengono il budget finale di progetto deve essere necessariamente riformulato aggiungendo delle quantità, ma siccome si parla sempre di rischio non si deve mai dimenticare l'altra faccia della medaglia ovvero il concetto di opportunità.
Infatti, il rischio non è detto che avvenga in senso negativo ai fini di progetto, potrebbe avvenire un evento che favorisce lo svolgimento di un determinato progetto come ad esempio un calo nel costo della manodopera, oppure nel caso in cui il costo dei materiali è stato sovrastimato e quindi scende in corso d'opera a vantaggio dell'impresa che li acquista, in questo caso i valori che sono stati considerati in eccesso possono essere utilizzati in un'altra area del progetto, oppure il prezzo finale dell'opera terrà conto alla fine di una determinata diminuzione a vantaggio in questo caso del committente stesso che risparmierà.

## Implementazione metodo predittivo con Rstudio

Esistono moltissimi modelli che sfruttano dei software per predire la durata finale di un progetto oppure studiano l'andamento dei costi per predire il costo finale di progetto.
Nella maggior parte dei casi questi metodi predittivi utilizzano come modello la regressione sia nella sua forma lineare che in quella multipla.
Prendendo come esmepio un dataset randomico costituito da due colonne a, b (che può essere generato facilmente usando Excel) questo può essere "importato" all'interno del software Rstudio come descritto dalla *figura 81* e prima di essere importato definitivamente la struttura è visibile nello stesso ambiente (*figura 82*).

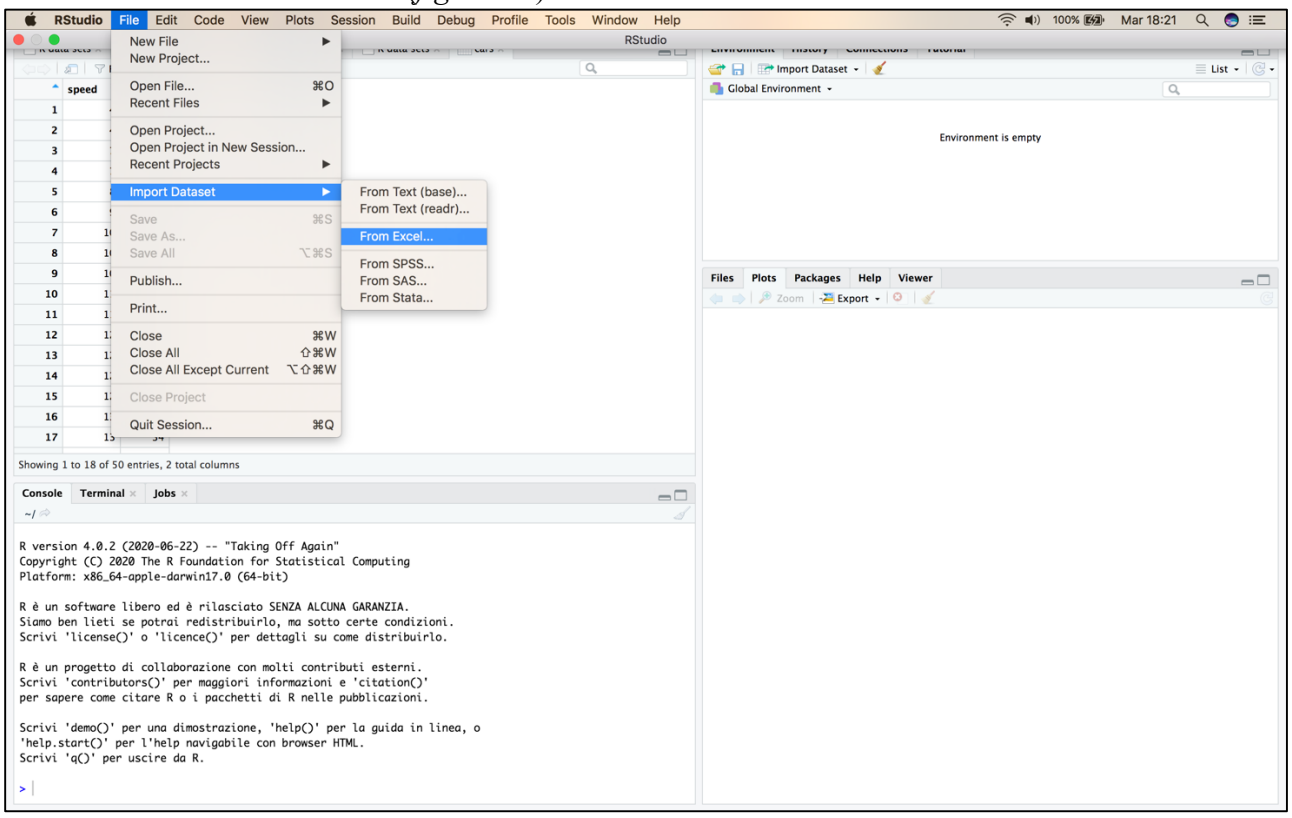



*Figura 81: Importazione di un dataset in R studio*

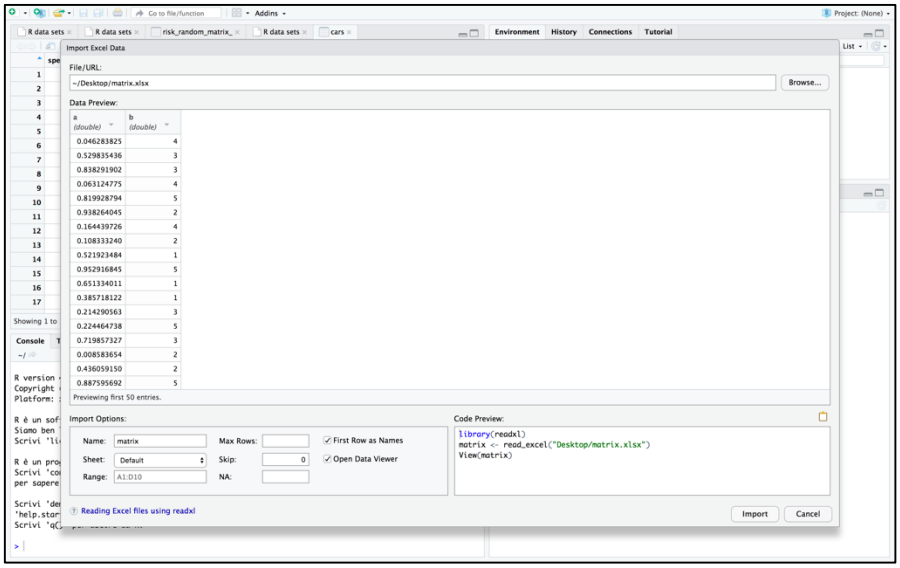



*Figura 82: Visualizzazione Dataset*

Per conoscere la relazione lineare se c'è tra gli elementi in questione si utilizza la funzione lm che appunto viene utilizzata per fittare modelli lineari, ovvero permette di eseguire una regressione lineare in questo caso tra le due variabili a, b.
Per eseguire la funzione e per visualizzare il grafico di regressione, occorre seguire i comandi che devono essere inseriti nella console di Rstudio come descritto dalla *figura 83*.

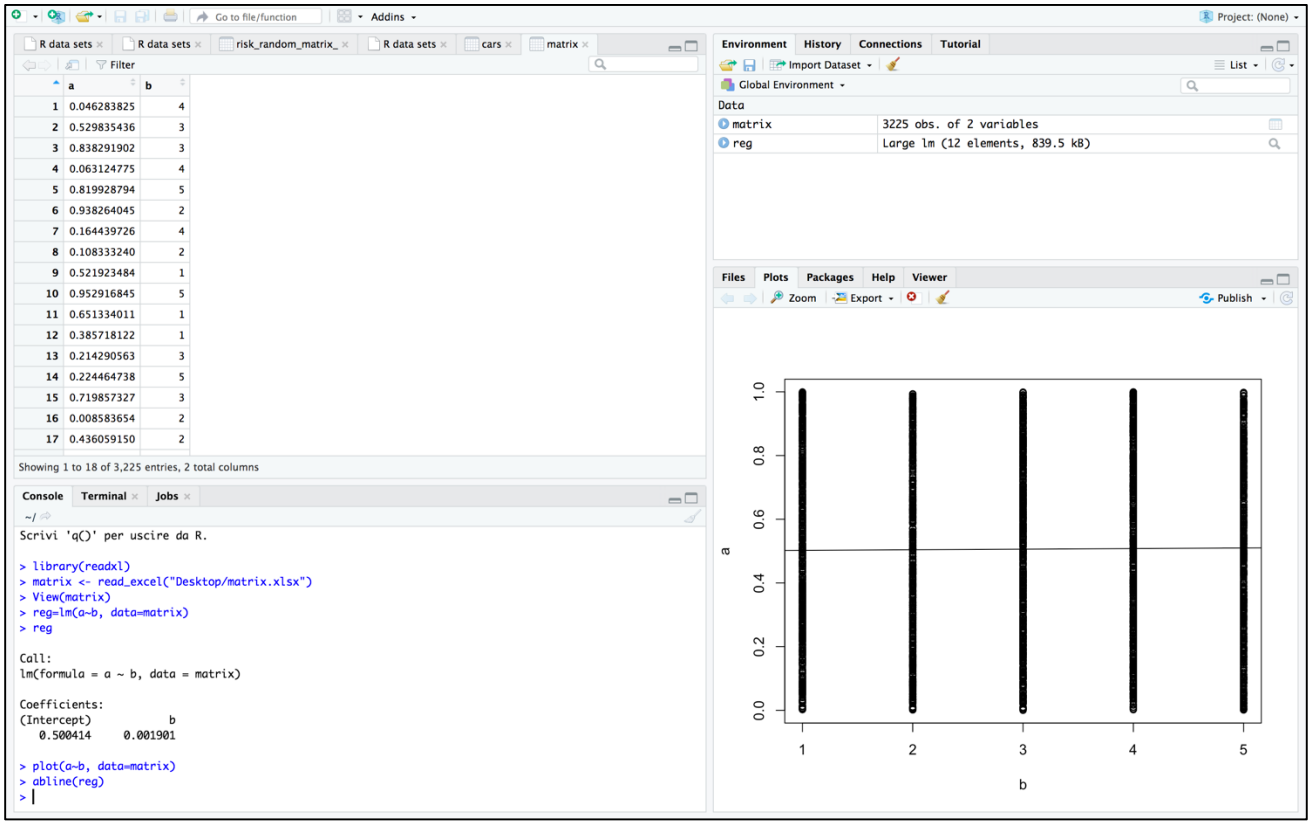



Figura 83: Comandi per regressione tramite Rstudio

In seguito utilizzando il comando predict, con la seguente sintassi:

```
predict(model, newdata=new.a)
```

In cui i valori di new.a possono essere inseriti a mano, ovvero i valori per cui si vuole conoscere la previsione di b in base ai valori di a (che vengono inseriti o che possono essere inseriti tramite un database o foglio elettronico) sfruttando l'equazione di regressione trovata.
La sintassi che si deve utilizzare per eseguire quest'ultima previsione risulta essere la seguente (nel caso in cui i valori di previsione siano pochi e si voglia inserirli a mano direttamente nella console di Rstudio):

```
new.a<-data.frame(
a=c(val1, val2, val3)
)
```

In cui i valori che devono essere inseriti dopo la c, che è la sintassi utilizzata per scrivere un vettore, sono i valori in verde val1, val2 e val3. Il programma, in automatico svolgerà una previsione in base all'equazione di regressione trovata precedentemente.
Questo tipo di modello di regressione può essere utilizzato per effettuare delle previsioni sulle durate di progetto ma anche sui costi di progetto analizzando un andamento temporale durante lo svolgimento del progetto.

## Monitoraggio e prevenzione dei rischi in tempo reale nei progetti di costruzione

In un progetto sia esso di piccole o grandi dimensioni i rischi vengono analizzati nella fase di pianificazione, ma ovviamente in corso d'opera possono accadere delle situazioni in cui alcuni rischi che non erano stati preventivati accadono e quindi portano ad un aumento istantaneo del contingency budget e della riserva per i rischi.
Infatti, ad esempio oggi, grazie allo sviluppo tecnologico vengono utilizzate delle tecniche che cercano di prevedere i rischi che avvengono in esecuzione dei progetti.
Ad esempio, nel caso dei progetti di costruzione soprattutto quelli di grandi dimensioni come ponti, grandi trafori, impianti industriali, grattacieli ecc. si utilizzano degli strumenti che permettono di monitorare in tempo reale la struttura in modo da comprendere se ci sono per esempio delle oscillazioni e quindi magari se il sito in cui si sta costruendo l'opera si trova in una zona sismica si dovranno effettuare dei rinforzi nella struttura.
Spesso si utilizzano degli strumenti come sensori o accelerometri per prevedere anche dei cedimenti nella struttura.
Ovviamente, questo lavoro di previsione dei rischi in progetti anche di grandi dimensione viene eseguito da un team multidisciplinare in cui ci siano le competenze adatta all'analisi di questo genere di problemi.
Un altro strumento molto adottato per la prevenzione dei rischi è il BIM (Building Information Model) ovvero uno strumento che permette di modellizzare le informazioni che riguardano una costruzione utilizzando dei software, inoltre gli esperti di progettazione possono fare anche delle considerazioni avendo un modello 3D a loro disposizione.
In questo modo avendo anche una rappresentazione più vicina alla realtà, possono nascere dei rischi che prima in fase di pre-identificazione magari non erano stati identificati (esempio in *figura 84*).

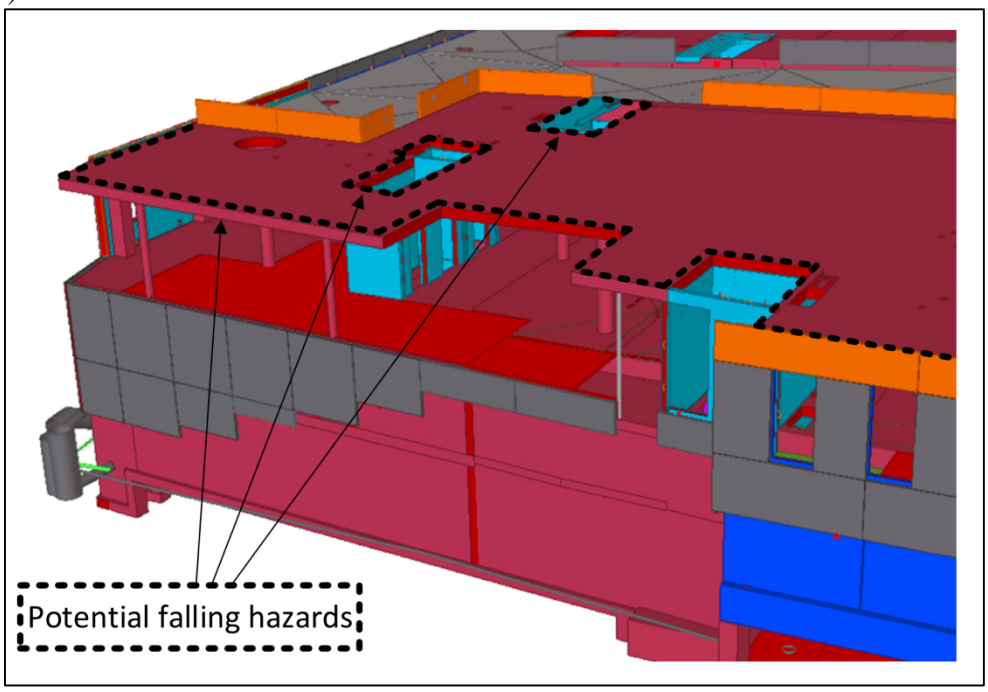



Figura 84: Esempio di BIM

Inoltre, il BIM è integrato con dei dispositivi che sono sia messi nel luogo di costruzione ma anche con dei dispositivi che sono destinati al personale di lavoro.
Infatti tutto il sistema cerca di prevenire ad esempio che i lavoratori svolgano le proprie mansioni nelle aree rischiose e nel caso in cui questi devono necessariamente farlo, li avvisa di fare ulteriori attenzione.
Un'altra funzionalità di questo sistema integrato è quella di consigliare dei percorsi (*figura 85*) agli addetti ai lavori in modo da ridurre in questo modo ulteriormente il rischio di danno sia a cose ma anche a persone proprio per il fatto che le zone "rischiose" sono inserite in fase di progettazione all'interno del software integrato di BIM.

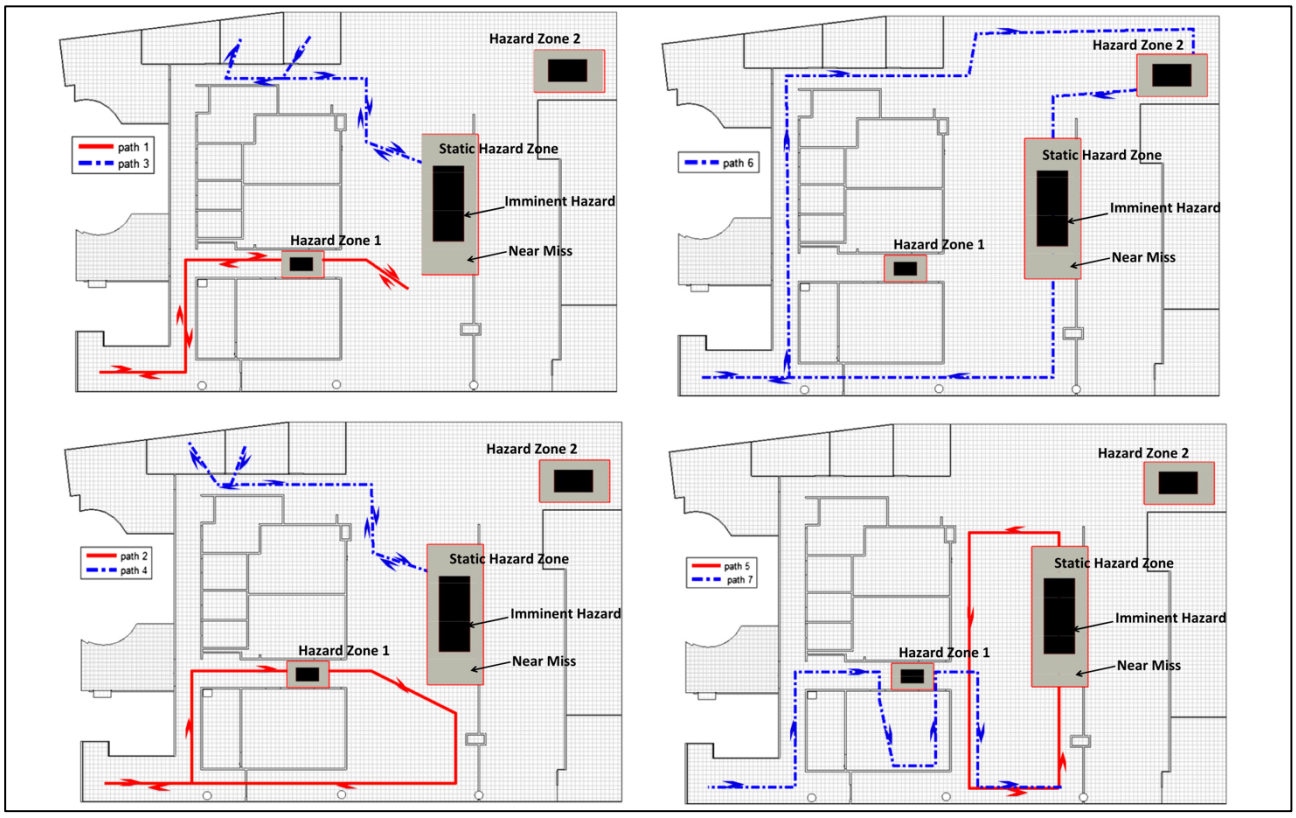



*Figura 85: Percorsi consigliati dal BIM*

In questo paragrafo, una delle cose fondamentali da comprendere è quanto sia importante la sicurezza all'interno di un progetto indipendentemente dalle dimensioni, e quanto investire in sicurezza sia fondamentale per ridurre i rischi di progetto cercando di non far aumentare il rischio di contingency.
Inoltre, all'interno del BIM prima di utilizzare direttamente i percorsi che vengono consigliati agli addetti ai lavori si fanno delle simulazioni dei percorsi in modo che si crei uno schema dettagliato di percorso in modo che si riduca il rischio di progetto.
Una caratteristica da non sottovalutare di questo modello informatico è che tutti i professionisti che lavorano in un determinato progetto hanno del materiale condiviso che può essere visionato e revisionato da tutti, infatti l'aggiornamento è di tipo continuo questo per far si che gli obiettivi siano allineati al massimo in modo da non creare anche dei disallineamenti nell'avanzamento del progetto.

Infatti, ad esempio come nel caso della *figura 86* una carenza di informazioni o anche un errore nella fase di progettazione e gestione del sito di lavoro porta a delle situazioni di incidenti che possono finire nell'impattare nel progetto in termini di costi e tempi, mentre magari investendo in dei dispositivi di sicurezza e in un software che sia condiviso e aggiornato in tempo reale certi problemi neanche verrebbero a crearsi.

*Figura 86: Pala gommata ribaltata a causa della larghezza della carreggiata insufficiente*

Inoltre oltre ad essere un elemento fondamentale per la buona riuscita dei progetti, la sicurezza è anche importantissima per gli investitori che decidono di finanziare un progetto proprio per il fatto che soprattutto questa nel caso di mega progetti impatta molto sul triangolo di ferro dei progetti, soprattutto in termini di costo.
Per di più uno dei rischi che maggiormente è entrato all'interno dei progetti nell'ultimo decennio è il rischio ambientale. Infatti, quando si procede con la costruzione di impianti industriali di grandi dimensioni si deve tener conto di tutti gli incidenti che potrebbero accadere durante la costruzione, spesso in questi casi addirittura viene creata una riserva di manutenzione che gli appaltatori devono seguire per un determinato periodo dopo la fine del progetto.
Infatti utilizzare dei criteri di salvaguardia dell'ambiente non solo è fondamentale per la salute della popolazione che abita nei pressi del sito e l'ambiente stesso ma a volte gli investitori sono molto attenti a questi parametri che oggi, data la presenza di un elevato inquinamento diventano essenziali per i progetti.
Un'altra cosa che porta un incremento del budget totale di progetto è la presenza di corsi di formazione per i lavoratori.
Spesso molti progetti sono innovativi e i corsi di formazione per gli addetti ai lavoratori dagli operai agli ingegneri che progettano sono fondamentali per la buona riuscita del progetto.

## Confronto tra i metodi di framework analysis e contingency budget

### Introduzione

I metodi descritti nel presente elaborato sono dei metodi che permettono l'analisi del rischio all'interno dei progetti.
Ci sono alcuni metodi che vengono spesso utilizzati per un'analisi preliminare, per comprendere quali sono i veri rischi che possono cambiare le sorti di un determinato progetto mentre ci sono alcuni metodi che forniscono un vero e proprio risultato finale definendo così un budget di contingency che deve essere accantonato per coprirsi da eventuali rischi di progetto.
Inoltre, si deve considerare che alcuni metodi si devono utilizzare in determinate fasi di progetto, alcuni metodi sono utilizzabili con poche risorse mentre altri richiedono un numero elevato di risorse.
Ancora, ci sono delle tecniche che permettono di ottenere un risultato in poco tempo mentre altre che sono time-consuming, inoltre ci possono essere delle metodologie che oltre a richiedere del tempo richiedono anche degli investimenti onerosi.
Qualunque metodo descritto ha sicuramente il compito di guidare meglio decisori, project teams, project manager e così via alla stima di una riserva che non è assolutamente trascurabile in determinati progetti.
Si pensi ad esempio ad un progetto di grosse dimensioni come un'infrastruttura importante in un paese emergente che sia di vitale importanza per la popolazione che vive nel luogo, magari oltre ad essere un paese emergente il luogo di costruzione ha problemi politici, guerre in corso oppure condizioni naturali sfavorevoli per l'esecuzione del progetto.
Ecco che in questo caso, la riserva e stima del CONTINGENCY budget alcune volte risulta veramente decisiva nel caso in cui ci si presenta ad una gara d'appalto, perché spesso ci sono condizioni in cui l'analisi dei rischi è una delle parti più importanti del progetto.
Come detto prima, durante le fasi di un progetto, si possono utilizzare delle tecniche piuttosto che delle altre e spesso risulta fondamentale la scelta del metodo giusto che riesca a cogliere il problema nel migliore dei modi in poco tempo e magari a basso costo.
In letteratura esistono molti framework, per la scelta della tecnica corretta in una determinata fase del progetto.
**Uno dei framework validi è contenuto all'interno dell'articolo "A framework to Select Tecniques Supporting Project Risk Management" di Grimaldi, Rafele e Cagliano.**

**A framework to Select Tecniques Supporting Project Risk Management**

In questo framework per la decisione di quale tecniche di analisi del rischio adottare vengono considerate sostanzialmente tre dimensioni che caratterizzano le tecniche di risk management:

1) **La fase del processo di risk management**
2) **La fase del ciclo di vita di un progetto**
3) **La maturità dell'impresa nella gestione del rischio**

Infatti, considerando i metodi descritti l'uso di questi in un determinato momento del progetto può essere sintetizzato graficamente dalla *figura 87*:

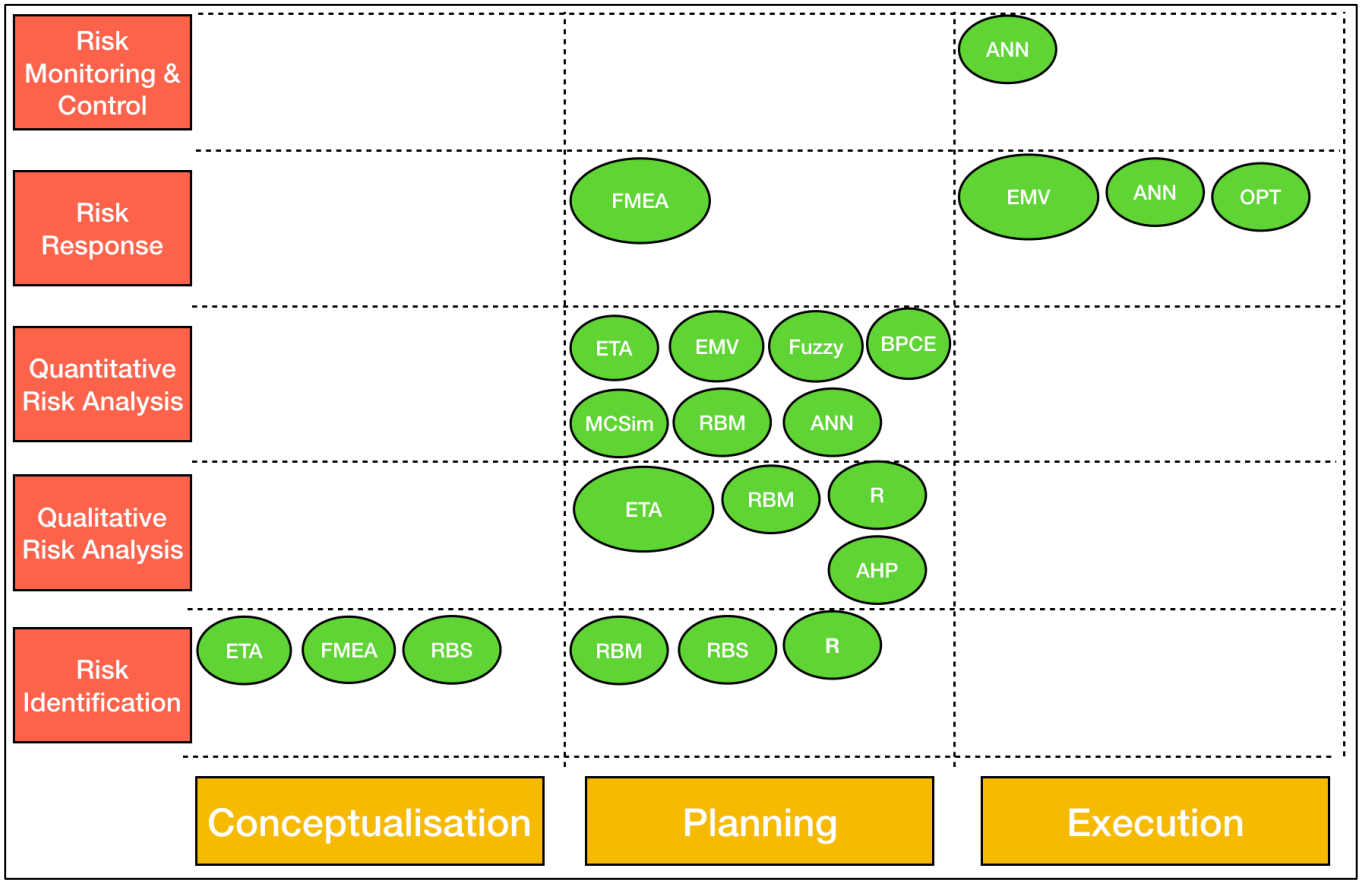



*Figura 87: Framework per selezionare le tecniche di risk management*

In questa figura pertanto vengono utilizzate due delle tre dimensioni accennate precedentemente, infatti nell'asse dell'ordinate sono riportate le varie fasi del processo di risk management mentre nell'asse delle ascisse la dimensione adottata è quella delle fasi che rappresentano il ciclo vita di un qualunque progetto che si sta analizzano.
Gli ovali in verde, invece rappresentano le varie tecniche che possono essere adottate incrociando una fase di risk management con una di svolgimento del progetto.

Gli acronimi adottati stanno per:

- **ETA = Event Tree Analysis**
- **FMEA = Failure Modes and Effects Analysis**
- **RBS = Risk Breakdown Structure**
- **RBM = Risk Breakdown Matrix**
- **EMV = Expected Monetary Value**
- **ANN = Artificial Neural Network**
- **Fuzzy = Fuzzy Method**
- **MCSim = Simulazione Monte Carlo**
- **R = Risk Index**
- **AHP = Analytic Hierarchy Process**
- **OPT = Optmization Techniques**
- **BPCE = Ball Pattern Contingency Evaluation**

Ovviamente alcune tecniche che sono state inserite all'interno del framework non sono riportate nel framework originale, ma per analogia sono con le tecniche presenti sono state anch'esse inserite in modo da poter fornire ai decisori delle alternative all'uso delle tecniche.
Una delle strategie che decisori e PM dovrebbero seguire è quella di utilizzare delle tecniche analoghe in modo da avere diverse visioni del concetto di rischio.
Addirittura nel caso di stima del CONTINGENCY budget si possono utilizzare diversi metodi di calcoli ed effettuare degli algoritmi che si basano anche sul concetto di media pesata per determinare la stima finale della riserva di rischio da accantonare in un determinato progetto.
Prendendo come riferimento il framework precedente ed aggiungendo una dimensione da inserire all'interno del grafico cartesiano come ad esempio Risorse & Capacità, in tre intervalli (Low, Medium e High) in modo da descrivere se un metodo per essere usato deve avere bisogno di più o meno risorse il grafico risulta essere descritto dalla *figura 88*.
Con risorse s'intendono sia le risorse umane, ovvero le persone che servono per l'attuazione di un metodo che le risorse materiali ovvero calcolatori, programmi specifici per l'applicazione del metodo, tools informatici.
Con capacità s'intende la formazione che le risorse umane ad esempio devono avere per saper applicare quel determinato metodo.
Ovviamente, se un metodo incrocia nell'asse delle ascisse, ovvero delle risorse, l'intervallo di LOW significa che le risorse per utilizzare quel metodo non sono numerose e non devono essere neanche tanto specializzate inoltre gli strumenti a supporto sono molto semplici da usare e spesso non c'è la necessità di avere delle licenze per software costose per l'impresa che ha l'incarico di gestire il rischio in un determinato progetto.

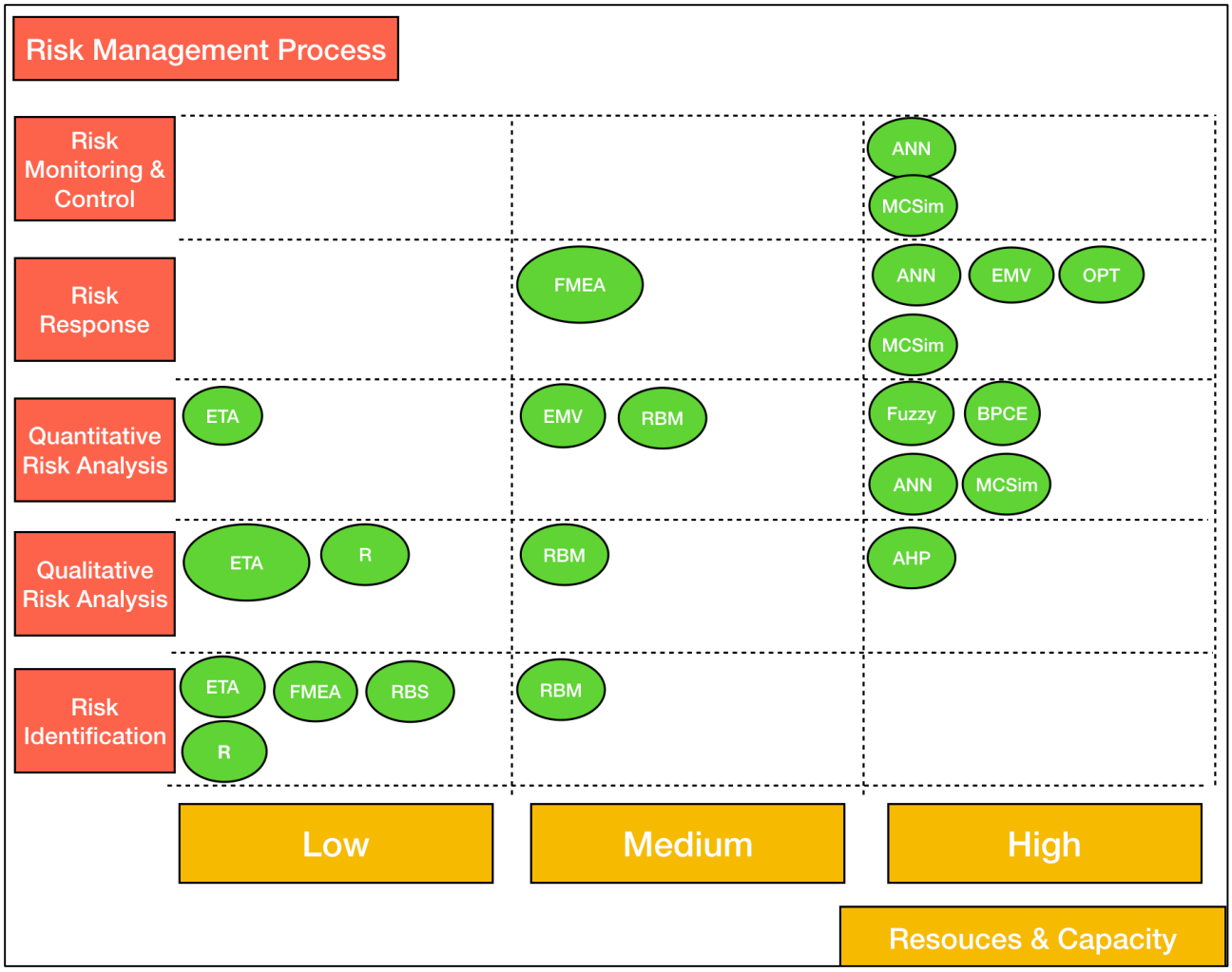



*Figura 88: Framework per selezionare le tecniche di risk management con dimensione Resources & Capacity*

In questa figura come si può vedere i metodi che richiedono maggiore specializzazione sono la simulazione e i metodi di ottimizzazione.
Ciò accade perché i metodi simulativi spesso sono applicabili solo nei casi in cui si abbia a disposizione una licenza software che nella maggior parte delle volte è considerabile come un costo economico per l'impresa, anche se cono lo sviluppo tecnologico questo riquadro sicuramente andrà a spostarsi verso sinistra in quando sono presenti molti pacchetti anche se a pagamento, ma la cifra è irrisoria, che permettono di avere gli stessi risultati che si hanno con un software proprietario.
Inoltre, le risorse che utilizzano la simulazione Monte Carlo sicuramente devono essere formate in quando la simulazione è uno strumento potentissimo che se non usato correttamente può provocare dei danni abbastanza importanti all'impresa che gestisce i rischi di progetto.
Un altro metodo che è abbastanza "Resource Consuming" è il metodo Fuzzy in quanto anche se molto semplice nell'applicazione, la comprensione del metodo e la sua struttura non è per nulla banale oltre al fatto che si deve avere una certa confidenza con il sistema di numerazione fuzzy che è un po' diverso da quello normale.
L'altro metodo che ha bisogno di alcune competenze non banali è l'ANN, ovvero l'applicazione delle reti neurali.
Infatti, per l'applicazione di questo metodo, di frequente servono delle competenze di informatica perché non basta solo l'algoritmo di costruzione del metodo bensì servono delle implementazioni dirette che consistono nella "traduzione" di un determinato algoritmo in un codice che costituisce, ad esempio un'interfaccia grafica che possa far comprendere all'utente

dopo l'inserimento di determinati dati in input, la situazione dei rischi di progetto e magari dare una stima del contingency da determinare per lo svolgimento del progetto.
Infatti, framework come quelli presentati precedentemente risultano essere indispensabile per una comprensione veloce del progetto.
Spesso ad esempio tecniche come l'Expert Judgement una delle tecniche anche se più semplici che viene molto spesso utilizzata in fase di identificazione del rischio che consiste sostanzialmente nel raccogliere dei giudizi di alcuni esperti perché magari non si hanno dei dati a sufficienza per la descrizione del problema e quindi si chiede il giudizio degli esperti che possono fornire, ad esempio, una durata spanno metrica di progetto o una stima di costo in base alla loro esperienza.
Questa tecnica anche se semplice in alcuni concetti di assoluta incertezza costituisce un modo per "far luce" sul progetto e quindi anche se all'apparenza è banale e semplice, spesso risulta essere uno strumento fondamentale per il processo di risk management.
Quindi in tema di rischio tutte le tecniche risultano essere di elevata importanza e non c'è una tecnica migliore dell'altra, ogni tecnica ha un determinato obiettivo ed un compito per l'identificazione del rischio totale di progetto in modo da essere utilizzata come guida per la gestione del progetto.
Ovviamente oltre alla fase di esaminazione e determinazione del rischio in fase di progettazione e pianificazione, il rischio deve essere aggiornato costantemente nella fase di esecuzione monitorandolo con delle strategie che saranno discusse in seguito.

## Classificazione qualitativa dei metodi di gestione del rischio

**Introduzione**

I progetti esistono sin dall'antichità ma quello che è cambiato molto nel corso del tempo sono state le tecniche di gestione.
La gestione dei progetti, si è andata con il tempo sempre più ad evolvere e anche grazie allo sviluppo tecnologico alcune parti che la compongono e che permettono in generale il successo generale di un determinato progetto si sono sviluppate molto, tra tutte un sottogruppo che costituisce la GdP che si è particolarmente sviluppato è composto dalle tecniche di risk management.
A seconda della tipologia di progetto vengono utilizzate delle differenti tecniche sia di gestione dei progetti che di gestione del rischio.
Il concetto stesso di rischio ha avuto un'evoluzione enorme nel tempo, si pensi che secondo alcune ricerche della fine degli anni 90 già i nostri antenati organizzati in gruppi e specializzati in determinate discipline avevano pensato al concetto di rischio.
Inizialmente ovviamente in tempi molto antichi i modelli di rischio neanche esistevano e non si pensava neanche che ci fossero dei modelli in grado di minimizzare il rischio di un singolo progetto.
Infatti, inizialmente proprio negli anni della costruzione dei primi grandi progetti come ad esempio si pensi alla costruzione delle piramidi si pensi che c'erano delle figure che dovevano gestire l'approvvigionamento dei materiali di costruzione e che dovevano "prevedere" che in corso d'opera ci fossero dei problemi che potevano richiedere una quantità maggiore di uno specifico materiale.
Con il tempo e anche con lo sviluppo sociale ed economico delle prime città sono nati e sono stati sviluppati i primi modelli di gestione del rischio.
Inizialmente come detto, il rischio era una componente che non era proprio formalizzata in dei modelli ma c'erano dei concetti simili alla nostra percezione di rischio che addirittura risalgano al 3200 a.C.
Ma le prime formalizzazioni vere e proprie sono piuttosto recenti, anche se i modelli ad esempio molto simili alla classificazione e al ranking deciso dagli esperti non hanno una datazione certa e sono molto antichi, si pensi che uno dei primi metodi che venne formalizzato per la gestione del rischio che poteva scaturire dal lancio di un ordigno atomico sopra una cittadina di una determinata quantità di persone risale al 1940 quando venne formalizzato da Enrico Fermi e dal suo team di ricerca il metodo di simulazione Monte Carlo che permetteva di comprendere inizialmente il funzionamento delle reazioni che avvenivano in una bomba nucleare e ne simulava il danno totale che poteva provocare in un determinato contesto sotto alcune condizioni particolari (scenario).
Nel 1949 venne introdotto il metodo FMEA per la gestione dei guasti soprattutto in ambito bellico in modo da ridurre le spese che i paesi dovevano fare gestendo i guasti che si verificavano in una determinata quantità di materiale bellico.
In seguito un altro metodo che oggi viene utilizzato in ambito di risk management collegato direttamente alla gestione di un progetto è il metodo PERT che venne formalizzato per diminuire i tempi e i costi dei sottomarini nucleari della marina americana che venivano progettati intorno al 1958.
Inoltre, poco dopo nel 1970 venne sviluppato il metodo AHP un metodo di classificazione del rischio che permetteva di comprendere quali rischi erano più "importanti" in un progetto e quale invece erano meno impattanti per un determinato progetto in modo da creare un vero e proprio ranking di rischio all'interno di un progetto.
Di più recente pubblicazione sono i metodi di RBM e RBS che attualmente secondo alcuni studi (che hanno analizzato dei questionari a cui sono stati sottoposti dei PM di categorie diverse sia

per tipologia che per dimensione) sono i più adottati dalle imprese di management che si occupano di gestire grandi progetti anche a volte di diversa tipologia.
Infatti, questi metodi che oggi sono tra i più diffusi anche perché pubblicati nel PMBook del 2000 in quanto permettono di comprendere anche grazie all'utilizzo di calcolatori quale è il livello di rischio complessivo di progetto e tramite anche il metodo di EMV (Expected Monetary Value) in cui sostanzialmente si introducono delle maggiorazioni dei costi diretti di progetto ad ogni eventuale WP si comprende quanta percentuale dei costi diretti deve essere accantonata per il rischio.
Ultimamente con lo sviluppo dell'intelligenza artificiale (IA) e del machine learning si stanno sviluppando in molti contesti aziendali dei metodi di gestione del rischio innovativi.
Infatti, grazie all'utilizzo di nuovi algoritmi che sono in grado di "apprendere" da una grande quantità di dati si riesce a conoscere la percentuale che deve essere deliberata per la copertura dei rischi.
Gli algoritmi che sono tradotti in codice da sviluppatori e programmatori cercano di apprendere il comportamento dei dati da un database che contiene progetti simili per tipologia o dimensione, ad esempio, e hanno come obiettivo quello di prevedere il comportamento del progetto corrente alla sua chiusura in modo da accantonare con anticipo una cifra corretta di rischio.
C'è da dire che le tecniche di risk management non sono sicure al 100%, in quanto c'è una componente aleatoria all'interno di questi metodi pertanto ci sono dei metodi che sono abbastanza precisi mentre altri in cui questa precisione non è assolutamente fornita.
Si pensi ad esempio che metodi come l'expert judgment che si fonda sul giudizio degli esperti è molto meno preciso ad esempio di una simulazione Monte Carlo in cui addirittura si conosce il livello di confidenza degli intervalli delle soluzioni.
Inoltre, c'è anche da dire che i progetti inizialmente venivano gestiti "a mano" e quindi erano molto più utilizzati i metodi di gerarchizzazione e "prioritizzazione" dei rischi e spesso venivano utilizzati dei metodi singolari che venivano creati ad hoc che dovevano essere veloci e poco costosi.
Invece con lo sviluppo dei calcolatori che hanno permesso una gestione più grande di dati si stanno sviluppando dei metodi ibridi come ad esempio l'unione di RBS, RBM e EMV oggi utilizzata da molte imprese.

**Metodo di classificazione qualitativa**

I metodi più importanti di Risk Management che sono stati analizzati nel corso dell'elaborato sono stati classificati in base a dei fattori che ne hanno permesso una classificazione qualitativa (anche utilizzando dei dati presenti in letteratura).
I fattori che sono stati utilizzati per eseguire la classificazione sono:

1) **Momento di utilizzo all'interno del progetto (Utilizzo)**
   - Utilizzo nella fase di Risk Assessment
   - Utilizzo nella fase di Risk Control
2) **Risorse**
   - Tempo
   - Costo
   - Expertise
3) **Comprensione da parte del cliente**

Ogni singolo fattore ha inoltre un peso nel framework di classificazione (*figura 89*), in modo anche da dare il giusto peso in determinati contesti progettuali (ad esempio si vuole dare più importanza alle risorse rispetto al fattore scalabilità).
Il primo fattore, il momento di utilizzo all'interno del progetto, indica la fase progettuale di risk management in cui viene utilizzato un metodo piuttosto che un altro.
Infatti, questo è diviso in due sotto-fattori: Risk Assessment e Risk Control, ovvero le vere e proprie fasi di gestione del rischio all'interno della gestione di un determinato progetto.
Per quanto concerne le Risorse, sono stati considerati tre sotto-fattori: il tempo, il costo e l'expertise.
Con il tempo si indica quanto tempo reale serve per l'applicazione del metodo, con il costo si indica l'ammontare monetario e con l'expertise si indica quanto capacità /formazione serve alle risorse umane per l'implementazione del metodo.
Inoltre, con la comprensione da parte del cliente appunto si indica la facilità di comprensione di funzionamento del metodo da parte di un cliente o anche degli stakeholders esterni che partecipano al progetto, questo fattore può essere anche inteso come un'approssimazione della semplicità del metodo di risk management.

| | | UTILIZZO | | RISORSE | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| # | Metodo | Risk Assessment | Risk Control | Tempo (-) | Costo (-) | Expertise (-) [HR] | Comprensione per gli stakeholders | Scalabilità in altre tipologie di progetti |
| 1 | Brainstorming | | | | | | | |
| 2 | ETA | | | | | | | |
| 3 | AHP | | | | | | | |
| 4 | FMEA | | | | | | | |
| 5 | RBM (RBS+WBS) | | | | | | | |
| 6 | MCSim | | | | | | | |
| 7 | EMV | | | | | | | |
| 8 | OPT | | | | | | | |
| 9 | **DI** | | | | | | | |
| 10 | ML (KNN, ANN) | | | | | | | |
| 11 | DS | | | | | | | |
| 12 | PERT | | | | | | | |
| Pesi Singoli | | 25% | 25% | 5% | 5% | 5% | 20% | 15% |
| Pesi Blocchi | | 50% | | 15% | | | 20% | 15% |

*Figura 89: Classificazione qualitativa dei metodi di risk management*

**Scala dei punteggi per la classificazione**
Per la classificazione dei metodi di gestione del rischio riportati qui di seguito:

1) **Brainstorming**
2) **ETA: Event Tree Analysis**
3) **AHP: Analytic Hierarchy Process**
4) **FMEA: Failure Modes and Effect Analysis**
5) **RBM**
6) **Software di simulazione (Arena, MCSim)**
7) **EMV: Earning Monetary Value**
8) **OPT: Optimization Techniques**
9) **Diagramma di Ishikawa (DI)**
10) **RBM+KNN (Machine Learning)**
11) **Dynamic System (DS)**
12) **PERT: Program Evaluation and Review Technique**

Si è utilizzata una scala di intensità costituita da valori numerici che va dal valore numerico 1 al 5 rappresentata dalla seguente *figura 90*.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| LOW | | INTERMEDIATE | | HIGH |

*Figura 90: Scala dei punteggi*

Per la classificazione sono stati utilizzati indicatori di tipo somma e media in modo da eseguire un ranking tra i metodi di risk management.
Dato che gli indicatori di media e anche di somma sono caratterizzati da un'operazione di addizione tra i vari fattori che costituiscono il framework di classificazione, per il macro-fattore risorse si è utilizzata la scala in senso inverso, nel senso che: nel caso del fattore di comprensione del metodo la sono stati assegnati i punteggi in modo crescente ovvero ad una maggiore comprensione del metodo corrispondono dei punteggi superiori; nel caso invece del tempo se un metodo ha un punteggio di tempo, costo o expertise maggiore di un altro significa che il primo metodo ha un tempo, costo o expertise maggiore dell'altro.

## Applicazione del metodo di classificazione qualitativa dei metodi di risk management

Applicando il framework del metodo rappresentato dalla *figura 89* ai 12 metodi di risk management più importanti il risultato è riportato in *figura 91.*

| | | UTILIZZO | | RISORSE | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| # | Metodo | Risk Assessment | Risk Control | Tempo (-) | Costo (-) | Expertise (-) [HR] | Comprensione per gli stakeholders | TOTALE (sum) | AVG | AVGW | Ranking (SUM) | Ranking (AVG) | Ranking (AVGW) |
| 1 | Brainstorming | 3 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 20 | 3,33333333 | 3,60 | 4 | 4 | 4 |
| 2 | ETA | 1 | 5 | 3 | 3 | 1 | 4 | 17 | 2,83333333 | 2,80 | 9 | 9 | 10 |
| 3 | AHP | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 18 | 3 | 3,00 | 7 | 7 | 7 |
| 4 | FMEA | 2 | 5 | 3 | 3 | 5 | 4 | 22 | 3,66666667 | 3,70 | 3 | 3 | 2 |
| 5 | RBM (RBS+WBS) | 5 | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 | 23 | 3,83333333 | 3,70 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | MCSim | 3 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 14 | 2,33333333 | 2,40 | 12 | 12 | 12 |
| 7 | EMV | 1 | 1 | 3 | 4 | 3 | 4 | 16 | 2,66666667 | 3,00 | 11 | 11 | 7 |
| 8 | OPT | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 18 | 3 | 3,00 | 7 | 7 | 7 |
| 9 | **DI** | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 26 | 4,33333333 | 4,40 | **1** | **1** | **1** |
| 10 | ML (KNN, ANN) | 1 | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 19 | 3,16666667 | 3,20 | 5 | 5 | 6 |
| 11 | DS | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 17 | 2,83333333 | 2,80 | 9 | 9 | 11 |
| 12 | PERT | 3 | 1 | 4 | 4 | 3 | 4 | 19 | 3,16666667 | 3,40 | 5 | 5 | 5 |
| Pesi Singoli | | 10,00% | 10,00% | 20,00% | 20,00% | 20,00% | 20% | **100%** | | | | | |
| Pesi Blocchi | | 20% | | 60% | | | 20% | **100%** | | | | | |

*Figura 91: Applicazione del metodo di classificazione qualitativa*

Consultando i dati presenti in letteratura e facendo un confronto qualitativo tra i metodi analizzati risulta che uno dei metodi migliori in ambito di risk management è il diagramma di Ishikawa.
Ciò può essere dovuto alla semplicità ed efficacia del metodo ma sicuramente è dovuto anche per il fatto che insieme al metodo dell'RBM sono praticamente dei metodi standard in quanto inseriti all'interno del PM book che sostanzialmente è il libro che di base ogni project manager dovrebbe utilizzare.
I metodi innovativi di machine learning (ML) in cui può rientrare anche il metodo KNN+RBM trattato all'interno del presente elaborato, anche in base ad alcuni articoli presenti in letteratura non vengono utilizzati per progetti di piccoli dimensioni bensì si preferisce applicarli a progetti di grandi dimensioni.
Infine per avere un'idea più chiara dei metodi è possibile utilizzare un altro tipo di framework di classificazione qualitativa.

**Classificazione dei metodi di risk management per caratteristiche**

Un'altra rappresentazione di classificazione dei metodi di risk molto più qualitativa rispetto alla precedente è quella di considerare delle caratteristiche dei metodi e confrontarli tra loro tramite l'utilizzo di una griglia di tipo SI/NO in base alla presenza o meno di suddette caratteristiche.

Le caratteristiche che sono state inserite all'interno di questa tabella sono:

- Conoscenza di linguaggi informatici
- Implementazione veloce
- Poche risorse occupate per lo sviluppo
- Elevata semplicità del metodo
- Costo dello sviluppo del metodo contenuto
- Funzionamento senza utilizzo di BIG DATA storici

Infatti, in base a questi fattori in corrispondenza del metodo se una determinata caratteristica è presente al suo interno viene colorata la cella corrispondente (*figura 92*).

| # | Metodo / Caratteristiche | Conoscenza di linguaggi informatici | Implementazione veloce | Poche risorse occupate per lo sviluppo | Elevata semplicità del metodo | Costo sviluppo contenuto | Funzionamento senza BIG DATA (storici) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Brainstorming | | | | | | |
| 2 | ETA | | | | | | |
| 3 | AHP | | | | | | |
| 4 | FMEA | | | | | | |
| 5 | RBM (RBS+WBS) | | | | | | |
| 6 | MCSim | | | | | | |
| 7 | EMV | | | | | | |
| 8 | OPT | | | | | | |
| 9 | DI | | | | | | |
| 10 | ML (KNN, ANN) | | | | | | |
| 11 | DS | | | | | | |
| 12 | PERT | | | | | | |

*Figura 92: Metodo di classificazione per caratteristiche*

Anche dalla precedente figura si conferma quanto analizzato precedentemente con la tabella in *figura 91*.

I metodi innovativi di Machine Learning sono attualmente ancora in via di sviluppo soprattutto nell'ambito di progetti di piccole dimensioni in quanto le imprese di piccola o media dimensione sono avverse all'utilizzo di questi metodi in quanto ciò comporta degli investimenti in tecnologia e pertanto preferiscono utilizzare dei metodi di gestione del rischio molto più antichi di cui già ne conoscono i metodi di sviluppo e di applicazione.

## Strumenti di Risk Management più utilizzati nel settore edile

Nel 2018 è stata condotta un'indagine da parte della School of Management del New York Institute of Technology con il fine di comprendere quale sia realmente la metodologia di risk management che abbia portato più contributi positivi in termini di performance all'interno del processo di project management di un progetto.
Sono stati creati dei questionari sottoposti ai più importanti project manager a livello mondiale che hanno avuto esperienza nel settore high tech.
Il questionario ha l'obiettivo di eseguire un ranking tra i metodi di gestione del rischio più utilizzati nel mondo del project management.
Infatti, per definire una sorta di vera e propria classifica si è utilizzata la scala Likert con valori che vanno da 1 a 5, 1 se il contributo è ritenuto di poca importanza per il progetto e 5 se invece al contrario il contributo relativo all'uso del metodo è risultato fondamentale per la gestione dei rischi all'interno del project management.
Inoltre i metodi che sono stati analizzati sono stati catalogati sempre in base a delle domande poste nell'apposito questionario in 6 gruppi (Analysis, Background, Control, Identification, Planning, Tracking) in base alla fase di progetto in cui il metodo è stato utilizzato.
Dall'analisi dei questionari inoltre è stata eseguita una media sui 384 project manager che hanno risposto al questionario con riferimento sempre alla scala Likert in cui quindi è da considerare come metodo che ha contribuito alla gestione del progetto in modo positivo il valore 5 e quindi è stato possibile effettuare una gerarchizzazione dei metodi effettuando un ranking (*figura 93*).

| # Ranking Position | Nome del metodo | Group | Breve descrizione del metodo |
|---|---|---|---|
| 1 | **Simulation** | Background | Tecnica statistica utilizzata in quei contesti in cui ci sono delle stime di progetto molto incerte, in cui si ha anche l'obiettivo di ridurne il livello di incertezza attraverso una serie di simulazioni probabilistiche |
| 2 | **Configuration Control** | Background | Gestione delle configurazioni di prodotto/servizio in corso d'opera. Nella maggior parte dei casi si utilizza un sistema informativo in grado di gestire i cambiamenti e le modifiche che avvengono dal design iniziale di progetto cercando di raggiungere gli obiettivi definiti ad inizio progetto |
| 3 | **Responsability Assignment** | Planning | RAM, RACI: utilizzo di matrici per la distinzione dei ruoli all'interno del progetto: R (Responsible), A (Accountable), C (Consulted) e I (Informed). Il metodo viene utilizzato per definire i ruoli che devono avere le risorse umane nel progetto |
| 4 | **Quality Control** | Background | Utilizzo di metodologie legate al controllo statistico della qualità: Carte di controllo, dati sulle performance, analisi del raggiungimento di KPI sulla qualità |
| 5 | **Prototyping** | Background | Ottenimento di un feedback veloce sui requisiti fornendo un modello 2D o 3D generato da computer in modo da comprendere al cliente se i requisiti sono soddisfatti. Possono essere fatti più modelli durante lo sviluppo di progetto |
| 6 | **Subcontractor Management** | Background | Insieme di modelli per eseguire una gestione preliminare di un progetto. (Introduction - Organization - SubContractor Management - Acceptance Process) |
| 7 | **Critical risk reporting to senior management** | Tracking | Meccanismi di comunicazione di elementi caratterizzanti la gestione del rischio attraverso un sistema ERM aziendale in cui si informano i senior manager della presenza di un (nuovo) rischio di progetto |
| 8 | **Planning for risk mitigation** | Planning | Processo di sviluppo di azioni volte a migliorare le opportunità e ridurre le minacce per un progetto. Per ogni rischio viene redatto un rispettivo piano di mitigazione del rischio. |
| 9 | **Requirements management** | Background | Processo di documentazione analisi, tracciabilità e prioritizzazione dei requisiti. Il processo continua per tutto il progetto e si ha un aggiornamento continuo dei requisiti del cliente che in corso d'opera potrebbero anche cambiare |
| 10 | **Risk impact assessment** | Analysis | Valutazione dell'impatto del rischio progettuale (scomposizione per ogni WP). Definizione della scala di utilizzo per la determinazione degli impatti da assegnare per ogni rischio. |
| 11 | **Brainstorming** | Identification | Raccolta di idee per l'analisi dei rischi progettuali. Lo sviluppo delle idee viene fatto molto spesso all'interno di team di progetto. Una prima definizione dei rischi spesso viene fatta grazie all'esperienza. Si utilizzano molto degli strumenti intuitivi. |
| 12 | **Time limited action-item lists** | Planning | Definizione di un piano strategico in cui vengono determinate per ogni elemento di rischio in corrispondenza di ogni WP delle azioni di risposta al rischio utilizzando un vincolo temporale limitato. |
| 13 | **Benchmarking** | Background | Confronto dei rischi progettuali tra loro e categorizzazione/prioritizzazione successiva oppure confronto di rischi progettuali tra progetti diversi ma di uguale tipologia |
| 14 | **Quality Management** | Background | Tecniche per aumentare il livello di qualità del progetto, analisi di tecniche/strategie/mezzi per ottenere un miglioramento della qualità. |
| 15 | **Risk probability assessment** | Analysis | Valutazione delle probabilità di accadimento di un determinato rischio per ogni WP. |
| 16 | **Revision of risk assessments** | Tracking | Revisione della valutazione del rischio di progetto in corso d'opera in modo da introdurre eventuali cambiamenti. |
| 17 | **Periodic risk status reporting** | Tracking | Identificazione continua dei rischi, invio delle voci di rischio periodicamente su delle apposite schede informative sui rischi. |
| 18 | **Customer satisfaction surveys** | Background | Utilizzo di questionari che servono per analizzare la soddisfazione del cliente al termine del progetto, in modo da evitare dei possibili errori in progetti futuri. |
| 19 | **Ranking of risks** | Analysis | Prioritizzazione dei rischi attraverso dei metodi di ranking, tra quelli più utilizzati spicca la metodologia AHP. |
| 20 | **Project re-planning for risk mitigation** | Planning | Processo di ripianificazione di progetto a seguito di strategie di mitigazione del rischio |
| 21 | **Periodic document review** | Tracking | Strumenti per l'analisi dei documenti redatti ad inizio progetto in modo continuo durante il proseguimento del progetto. |
| 22 | **Training programs** | Background | Programmi di apprendimento per l'analisi dei rischi |
| 23 | **Cost-Benefit analysis during risk control** | Control | Analisi dei costi e dei benefici di progetto |
| 24 | **Periodic reporting of risk mitigation plans** | Tracking | Definizione e aggiornamento strategie di mitigazione del rischio durante il proseguo del progetto |
| 25 | **Project re-planning** | Control | Ripianificazione del progetto dopo aver introdotto i cambiamenti dovuti all'accadimento di rischi non previsti prima della fase di controllo |
| 26 | **Periodic risk reporting** | Identification | Reportistica periodica aggiornata dei rischi con il fine di identificare nuovi rischi di progetto |
| 27 | **Cost-Benefit assessment during risk planning** | Planning | Analisi dei costi e dei benefici futuri di progetto |
| 28 | **Analysis of trends, deviations and exceptions** | Control | Analisi dello scheduling di progetto e confronto tra quanto descritto in fase di pianificazione e quanto accaduto realmente |
| 29 | **Risk time frame assessment** | Analysis | Processo di analisi che serve a comprendere il tempo durante il quale può avvenire un rischio e quali impatti questo può avere all'interno del progetto |
| 30 | **Periodic trend reporting** | Tracking | Analisi continua del rischio attraverso l'utilizzo di strumenti che ne permettano il confronto tra fase finale e fase preventivata. |
| 31 | **Risk Documentation form** | Identification | Raccolta di templates preimpostati che vengono utilizzati con il fine dell'identificazione dei rischi di progetto |
| 32 | **Cause and effect analysis during risk planning** | Planning | Identificazione delle cause che possono generare degli effetti che ancora non si sono verificati ma che è probabile che si verifichino in corso d'opera |
| 33 | **Contingency plan for risk mitigation failure** | Control | Definizione delle strategie di risposta ai relativi rischi analizzati. Le strategie sono utilizzate quanto le cose vanno male e per anticiparle inoltre servono a definire tutte le coperture necessarie per non incorrere a degli ammontari economici elevati. |
| 34 | **Risk Classification** | Analysis | Classificazione dei rischi in base alla tipologia, utilizzo di strumenti di analisi come RBS o RBM. |
| 35 | **Procedure for closing risks** | Control | Insieme delle tecniche per procedere alla chiusura di un rischio e stabilire le strategie di risposta dei relativi rischi |
| 36 | **Cause and effect analysis during risk control** | Control | Diagramma di Ishikawa in cui vengono analizzate le possibili cause (Personale, Macchinari, Metodi, Materiali) che hanno generato un determinato effetto. |
| 37 | **Checklists** | Identification | Strumento per l'identificazione degli elementi necessari per la definizione dei rischi di progetto. Si usano dei modelli per la gestione dei rischi di progetti che solitamente vengono fatti compilare agli stakeholders di progetto più importanti. |
| 38 | **Graphic presentation of risk information** | Analysis | Utilizzo di tools grafici per l'analisi del rischio come diagrammi, istogrammi, aerogrammi |

*Figura 93: Ranking dei metodi di Risk Management*

Come si percepisce dalla seguente classifica il metodo più utilizzato da project manager nell'ambito del settore edile è la simulazione mentre neanche appaiono in classifica i metodi di gestione del rischio attraverso tecniche di intelligenza artificiale e Machine Learning ad esempio.
Inoltre, questi non sono da considerarsi i metodi più diffusi nell'ambito del risk management ma quelli che devono essere utilizzati per avere delle performance positive di progetto.
Come si può anche notare dalla *figura 93* uno dei metodi che viene utilizzato maggiormente nella fase di pianificazione è quello del "Responsability Assessment" ciò ci fa comprendere quanto sia importante nel contesto del settore edile comprendere e soffermarsi in fase di

pianificazione ad una corretta descrizione dei ruoli in modo anche da ridurre il problema della "sovra-allocazione" di risorse che può portare ad un aumento delle quantità monetarie investite e anche a volte di tempo. Una matrice RACI redatta in modo eccellente e che viene poco variata dall'inizio di progetto porta a delle performance rilevanti.
Un'altra cosa molto interessante è l'elevato utilizzo del "Critical Risk Reporting" nella fase di tracking (monitoraggio).
Infatti, una delle fasi da non sottovalutare assolutamente nel processo di risk management è quella di monitoraggio del rischio in cui una delle cose che non deve sicuramente mancare è quella del coordinamento tra gli stakeholders di progetto.
Una delle fasi principali di questa tecnica è quella di raccogliere i dati che provengono dal campo e catalogarli in modo da eseguire un confronto tra indicatori di rischio di progetto predefiniti dal Program Manager (Senior) per capire se si deve intervenire all'interno del contesto progettuale, una delle peculiarità è anche il tempo di risposta ad eventuali cause che potrebbero generare degli effetti negativi.

## Avversità delle imprese all'utilizzo di tecniche innovative di Machine Learning

Un'altra ricerca effettuata nel 2019 dall'Asia Pacific University of Technology & Innovation in merito all'utilizzo delle tecniche innovative di machine learning, Intelligenza Artificiale e Data Mining, all'interno di progetti gestite da piccole e medie imprese attesta che esiste una sorta di avversità all'utilizzo di queste tecniche in quanto si preferisce l'utilizzo di metodi classici per la gestione dei progetti e anche per la gestione di tutto l'ambiente di risk management.
Uno dei problemi principali, come anche detto prima è legato all'investimento in risorse sia umane che non nel mondo della gestione dei progetti, infatti, nonostante è appurato che i metodi di project management "automatici" sono molto più precisi di quelli classici ancora si tende ad utilizzare degli strumenti "arcaici".
Il problema che viene affrontato all'interno del paper è legato anche all'utilizzo di software che ormai sono diventati una vera e propria "tradizione" all'interno delle imprese.
Infatti, le nuove metodologie di project management sono viste con un occhio un po' perplesso e di sfiducia in quanto sono considerate delle vere e proprie tecnologie distruttive, in quanto si dovrebbero rimodulare le imprese dal punto di vista delle risorse umane con il fine di assunzione di nuove risorse che abbiamo delle competenze specifiche che spesso non sono molto facile da reperire ma magari ciò cambierà dato anche il cambio dell'offerta formativa di molte università a livello mondiale.
Il punto principali che viene analizzato è anche relativo alla non presenza di software "standardizzati" che si basino sull'intelligenza artificiale o tecniche affini.
Infatti, è stato analizzato il problema relativo all'uso di MS project (*figura 94*) che è un software diffusissimo all'interno delle imprese sia di piccole che anche di grandi dimensioni e che viene spesso utilizzato insieme a dei tools per la gestione del rischio.

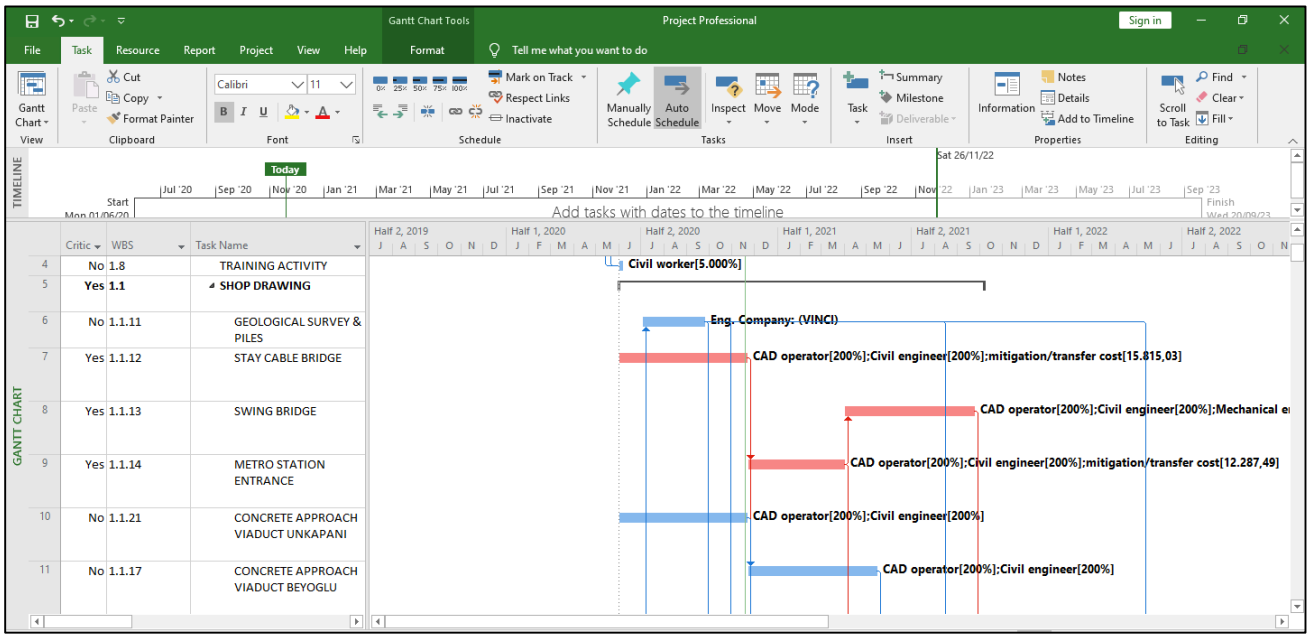


*Figura 94: Schermata MS Project Professional*

MS Project ha molti aspetti positivi: è molto utilizzato per il coordinamento di un portfolio di progetti, è molto intuitivo per la gestione delle risorse all'interno di un progetto e può essere utilizzato per un progetto dall'inizio fino alla fine.

Accanto a questi aspetti positivi ci sono dei contro, uno tra tutti è legato alla mancanza di integrazione con software strettamente legati ad un contesto industriale singolare, ovviamente non possiede degli automatismi o delle estensioni in cui viene utilizzata l'IA o tecniche affini.
Per quanto concerne, invece, a tutti i processi di risk management le imprese preferiscono utilizzare dei software di gestione del rischio "standard" oppure che anche sono installabili tramite delle estensioni a MS Project in quanto sono avverse a sviluppare dei programmi unicamente per un progetto.
Uno degli sviluppi futuri potrebbe essere quello di utilizzare dei software di machine learning che siano standardizzati anche per tipologia di progetta ma ciò è molto complesso da sviluppare.
Inoltre uno dei problemi principali dell'applicazione dei metodi di machine learning come ad esempio lo stesso algoritmo di KNN è quello dei dati.
Il problema dei dati non è da sottovalutare soprattutto in un contesto reale in cui c'è una grande quantità di dati disponibile ma che spesso non corrisponde all'utilizzo ideale che potrebbero avere questi dati.
Infatti, spesso le imprese raccolgono grandi quantità di dati senza avere in mente a cosa potrebbero servire.
Un grossissimo svantaggio del machine learning è appunto quello di avere dei dati di training in cui l'algoritmo cerca di apprendere la logica di decision making che sta dietro a determinati processi. Pertanto, al problema dell'investimento in risorse che devono avere una determinata formazione in ambiti informatici si aggiunge anche il problema di raccolta dati che spesso non è così facile come sembra.
La raccolta dati spesso è molto complessa in tutti quegli ambiti in cui non c'è neanche un sistema di controllo dei dati e di monitoraggio di questi, si pensi alle imprese di piccole dimensioni. Perciò proprio in questi contesti è molto dispendioso sia in termini monetari che temporali costruire un sistema di raccolta dati efficiente.
Questi problemi di investimento potrebbero essere coperti da una gestione più accurata in termini di project management in quanto utilizzando dei software ad-hoc si arriva ad una migliore accuratezza.

## SWOT Analysis Machine Learning

Come si può comprendere dalle analisi precedenti, le tecniche di ML sono importantissime e nei casi in cui sono applicate hanno portato un aumento delle performance non da sottovalutare però comunque restano dei punti oscuri, come detto nella diffusione.
Pertanto per comprendere meglio i punti di forza, le debolezze, le minacce e le opportunità di queste tecniche è stata fatta una sintesi attraverso un'analisi SWOT qualitativa rappresentata in *figura 95*.

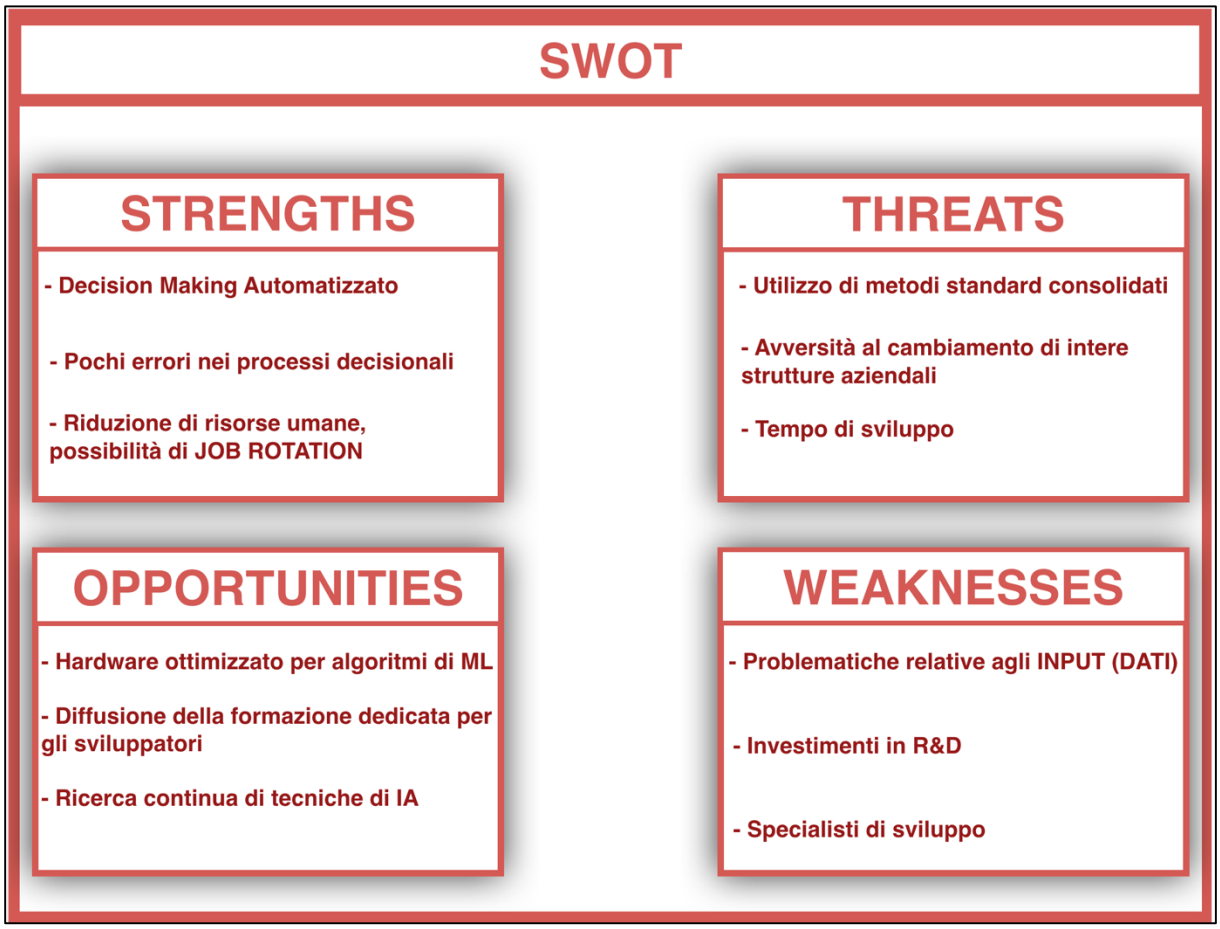



*Figura 95: Analisi SWOT Machine Learning*

## Conclusioni finali

Al termine di questa classificazione si evince come le imprese preferiscano l'utilizzo di metodi "canonici" per l'analisi del rischio soprattutto per il fatto che questi sono ormai assodati all'interno dei contesti aziendale.
Inoltre, spesso si utilizzano anche dei software per la gestione integrata del rischio come il software @Risk, anche lo stesso MS Project può essere integrato con il suddetto software.
Il mondo del Machine Learning e quello dell'intelligenza artificiale sono in via di sviluppo in tutto l'ambito del risk management, ma le imprese sono piuttosto avverse all'utilizzo di questi metodi.
I settori che investono maggiormente in tecniche informatiche per la gestione del rischio sono i le aziende finanziarie come banche, assicurazioni e istituti di credito in cui si adottano tecniche come il Value at Risk (VaR) che è una componente di rischio di fondamentale per aziende di questo tipo.
Le tecniche di intelligenza artificiale, inoltre hanno anche bisogno di figure nuove che praticamente sono i Data Scientist ovvero quelle figure informatiche che sviluppano dei software di gestione dati e implementano i software di intelligenza artificiale a volte costruendoli ad hoc.
Ancora oggi nonostante la presenza di molti metodi di analisi del rischio, la quota di contingency da accantonare all'interno di un determinato progetto viene decisa in base all'esperienza.
Infine, una delle cose da ricordare sempre è che anche utilizzando il metodo più sofisticato di risk management oppure quello migliore che porta ad una soluzione migliore rispetto ad un altro metodo sicuramente non si arriverà mai all'opzione di rischio zero bensì si arriverà ad una soluzione tendente a questo zero ma che non la tocca mai perché ci potrà essere sempre una situazione che porterà il parametro di contingency budget a salire o diminuire.

## Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro di tesi è doveroso, innanzitutto, ringraziare le persone che mi hanno permesso di realizzarlo e che mi hanno seguito nell'evoluzione e trattazione dello stesso: il professore e relatore Alberto De Marco che mi ha fatto conoscere il mondo del Project Management tramite l'insegnamento della materia Gestione dei Progetti e mi ha dato la possibilità di svolgere questo lavoro di tesi ed il co-relatore prof. Filippo Maria Ottaviani che mi ha seguito nella realizzazione dell'elaborato dandomi sempre dei consigli fondamentali.
Inoltre, volevo ringraziare i miei genitori che mi hanno sempre sostenuto nel mio percorso universitario dandomi sempre i giusti consigli e se oggi sono arrivato a questo punto è anche merito loro.
Un particolare ringraziamento va a mio zio Gianni che data la sua esperienza personale è stato un po' come una guida in questo percorso.
Volevo anche ringraziare i miei amici/coinquilini Alessio, Simone, Michele e Adriano con i quali ho condiviso questi 5 anni ricchi di gioie e anche dolori.
Ringrazio tutti: gli amici del mio paese, i colleghi universitari e tutte le persone che ho conosciuto durante questo percorso, ognuno dei quali ha contribuito a farmi diventare la persona che sono oggi.

## Bibliografia

Anna Corinna Cagliano, Sabrina Grimaldi & Carlo Rafele (2015) Choosing project risk management techniques. A theoretical framework, Journal of Risk Research, 18:2, 232-24

Ali Touran, A mathematical structure for modeling Uncertainty in cost, schedule, and escalation factor in a portfolio of projects, Construction Research Congress 2014

Joshua T. Cohen , Michael A. Lampson & Teresa S. Bowers (1996): The use of two-stage Monte Carlo simulation techniques to characterize variability and uncertainty in risk analysis, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2:4, 939-971

Young, Hoon Kwak, Lisaa Ingall Exploring Monte Carlo Simulation Applications for project Management, Risk Management (2007) 9, 44-57

H. Murat Gunaydın, S. Zeynep Dogan, A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings, International Journal of Project Management 22 (2004) 595–602

Xiao-Hua Jin, Guomin Zhang, Modelling optimal risk allocation in PPP projects using artificial neural networks, International Journal of Project Management 29 (2011) 591–603

Nicola Paltrinieri, Louise Comfort, Genserik Reniers, Learning about risk: Machine learning for risk assessment, Safety Science 118 (2019) 475-486

Payam Bakhshi, Ali Touran, An overview of budget Contingency Calculation Methods in construction industry, Procedia Engineering 85 (2014) 52 – 60

Salvatore Alessandro Sarcià, Giovanni Cantone, Victor R. Basili, A Statistical Neural Network Framework for risk management process

Alberto De Marco, Project Management for Facility Constructions, A Guide for Engineers and Architects, Springer, 2011

Ali Touran, M. ASCE, Probabilistic Model for Cost Contingency, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 129, No. 3, June 1, 2003

Shih-Hua Wei, Shyi-Ming Chen, Fuzzy Risk analysis based on interval-valued fuzzy numbers, Expert Systems with Applications 36 (2009) 2285-2299

Saman Aminbakhsh, Murat Gunduz, Rifat Sonmez, Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects, Journal of Safety Research 46 (2013) 99-105

Ali Touran, Calculation of Contingency in Construction Projects, IEEE Transactions on engineering management, Vol. 50, No. 2, May 2003

Marco Better, Fred Glover, Gary Kochenberger, Haibo Wang, Simulation Optimization:

applications in risk management, International Journal of Information Technology & Decision Making, Vol. 7, No. 4 (2008) 571-587

Thomas A. Carbone & Donald D. Tippett (2004) Project Risk Management Using the Project Risk FMEA, Engineering Management Journal, 16:4, 28-35

Vargas, R. V. (2015). Applying neural networks and analogous estimating to determine the project budget. Paper presented at PMI® Global Congress 2015—North America, Orlando, FL. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

England, K. & Moreci, J. (2012). Contingency—are you covered? Paper presented at PMI® Global Congress 2012—North America, Vancouver, British Columbia, Canada. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

Aziz S., Dowling M. (2019) Machine Learning and AI for Risk Management. In: Lynn T., Mooney J., Rosati P., Cummins M. (eds) Disrupting Finance. Palgrave Studies in Digital Business & Enabling Technologies. Palgrave Pivot, Cham

Hyukchun Kwon, Chang Wook Kang, Improving Project Budget Estimation Accuracy and Precision by Analyzing Reserves for both identified and unidentified risks, Project Management Journal Vol. 50(1)1-15.

Hassan Malekitabar, Abdollah Ardeshir, Mohammad Hassan Sebt, Rudi Stouffs, Construction safety risk drivers: A BIM approach, Safety Science 82 (2016) 445-455.

JeeWoong Park, S.M.ASCE, Kyungki Kim, Young K.Cho, A.M.ASCE, Framework of Automated Construction-Safety Monitoring Using Cloud-Enabled BIM and BLE Mobile Trascking Sensors, Journal of Construction Engineering and Management 05016019-1.

T. Raz, E. Micheal, Use and benefits of tools for project risk management, International Journal of Project Management 19 (2001) 9-17

Dale F. Cooper, Stephen Grey, Geoffrey Raymond, Phil Walker, Project Risk Management Guidelines, Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements (2004, Wiley)

Mohammad Reza Ghaeli, The advantage of project risk management tools, Journal of Project Management 3 (2018) 121-124.

Wang Wei, Muhammad Ehsan Rana, Software Project Schedule Management Using Machine Learning & Data Mining, International Journal of Scientific & Technology Research Volume 8, September 2019

## Sitografia

https://www.pmi.org/