



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

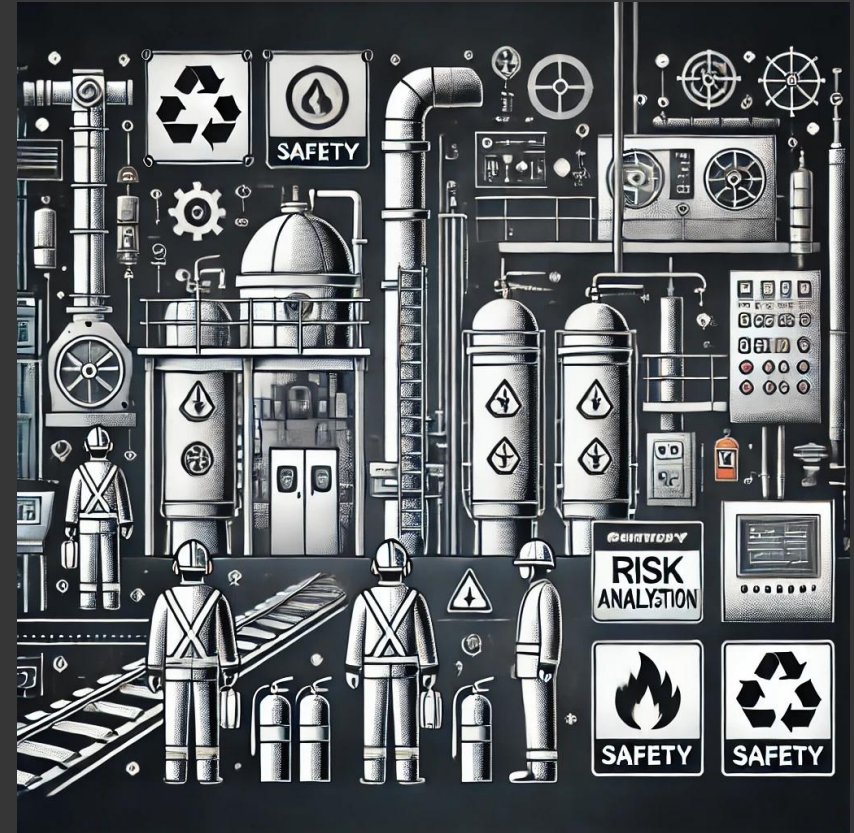
Prof. Claudio Pantanali, PhD

cpantanali@units.it

SICUREZZA INDUSTRIALE

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Vol. II





DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Prof. Claudio Pantanali, PhD

cpantanali@units.it

GLI STRUMENTI DI RISK ASSESSMENT

Principali metodologie per l'identificazione e la
valutazione dei rischi



In letteratura esistono diversi metodi finalizzati all'analisi del rischio; in generale si può affermare che ne esistono due tipi:

Metodo deduttivo: I metodi deduttivi partono da una situazione generale (di solito un evento o un guasto noto) e analizzano le possibili cause che potrebbero averlo originato. Si basano su un ragionamento top-down (dall'evento al dettaglio), cercando di esplorare i possibili percorsi che possono portare a un fallimento o rischio.

Metodo induttivo: I metodi induttivi procedono invece in senso opposto rispetto a quelli deduttivi: partono dalle singole cause o dai dettagli di un sistema (elementi base) per giungere a una valutazione delle possibili conseguenze e degli eventi che potrebbero verificarsi. Si basano su un ragionamento bottom-up, andando dal particolare al generale.



Differenze principali tra metodi deduttivi e induttivi:

- **Prospettiva di analisi:** i metodi deduttivi partono da un guasto noto e cercano le cause; i metodi induttivi partono dalle cause (o componenti del sistema) e identificano i potenziali guasti.
- **Applicabilità:** i metodi deduttivi sono più utili in fase di risoluzione dei problemi e per comprendere eventi noti, mentre i metodi induttivi sono più adatti durante la progettazione per esplorare cosa potrebbe andare storto.
- **Ragionamento:** i metodi deduttivi utilizzano un ragionamento top-down (dall'evento alle cause), mentre i metodi induttivi utilizzano un approccio bottom-up (dalle cause agli effetti).

In conclusione, sia i metodi deduttivi che induttivi sono essenziali per una valutazione completa e robusta dei rischi. La scelta del metodo dipende dal contesto e dagli obiettivi dell'analisi, e spesso è utile utilizzare una combinazione di entrambi per ottenere una visione completa dei potenziali rischi e delle loro cause.

All'interno di questa distinzione generale poi esistono ulteriori diversi metodi per valutare i rischi; quelli più frequenti possono essere ripartiti in cinque categorie:

- tecniche di creatività: brainstorming, tecnica Delphi, matrice morfologica;
- analisi di scenario: root cause analysis, albero dei problemi e analisi dei processi, analisi worst case;
- analisi degli indicatori: critical incidents reporting system, change based risk, management;
- analisi dei rischi: FMEA, analisi dei rischi, HAZOP, HACCP;
- analisi statistiche: deviazione standard, intervallo di fiducia, simulazione Monte Carlo



Volendo “**classificare**” i metodi di analisi del rischio in un altro modo questi si possono distinguere in:

Metodi quantitativi: si basano sull’analisi quantitativa del rischio $R = f(P, D)$, in cui:

- la funzione **f può assumere una forma anche complessa**, che tenga conto della maggior parte dei parametri che intervengono nella nascita e nello sviluppo del rischio, quali: fattore umano, materiali, macchina, processo e ambiente;
- vengono considerati, oltre alla probabilità di accadimento e gravità del danno, anche altri fattori quali: estensione del danno, frequenza e durata di esposizione, possibilità di evitare o limitare il danno, ecc.

Tale tipologia di valutazione viene effettuata quando si vuole valutare il rischio in modo molto dettagliato e analitico, lasciando poco spazio alla soggettività del valutatore.

Metodi qualitativi: tali modelli non utilizzano espressioni matematiche del tipo $R = f(P, D)$ per valutare i diversi rischi, ma effettuano un’analisi qualitativa verificando la conformità alle norme vigenti (leggi, decreti o norme di buona tecnica). Il punto di arrivo è un giudizio qualitativo della situazione che si sta valutando.

Metodi semi-quantitativi (o semi-qualitativi): si basano su un’analisi quantitativa, in cui il rischio è $R = f(P, D)$, ma con approccio leggermente semplificato. I dati a disposizione sono quelli rilevati al momento dell’indagine ed i parametri di confronto sono quelli che prescrivono le norme tecniche, dipendenti sempre dalla probabilità di accadimento e del danno conseguente.

Metodi multi-criterio: consentono di prendere in considerazione contemporaneamente diversi fattori attraverso la formulazione del problema decisionale in una struttura gerarchica. Essi senza perdere di rigore quantitativo e senza ridurre i fattori di analisi coinvolti, mantengono una visione sintetica della percezione del rischio. Un approccio di questo tipo appare in grado di fornire una metodologia flessibile e di facile comprensione con cui analizzare i pericoli e le loro cause e definire conseguentemente delle azioni correttive congruenti.



Metodi qualitativi e metodi quantitativi nella valutazione dei rischi rappresentano due approcci distinti per analizzare e gestire i rischi. La differenza principale tra questi due approcci sta nel tipo di dati utilizzati e nel modo in cui i rischi vengono valutati.

Metodi Qualitativi

I **metodi qualitativi** si basano su valutazioni soggettive, descrittive e non numeriche per analizzare i rischi. L'obiettivo è classificare o descrivere i rischi in modo da poterli confrontare e gestire, ma senza quantificare esattamente l'entità del rischio in termini numerici.

Caratteristiche principali dei metodi qualitativi:

- **Soggettività:** I rischi sono valutati sulla base di giudizi esperti, opinioni o esperienze precedenti. Non si usano dati numerici precisi ma piuttosto descrizioni verbali o categorie.
- **Classificazione del rischio:** I rischi vengono generalmente classificati in categorie come *basso*, *medio*, *alto* o *critico*. Questo tipo di classificazione è utile per dare priorità ai rischi, ma non fornisce una misura precisa.
- **Facilità di applicazione:** I metodi qualitativi sono spesso più semplici e meno costosi da applicare, poiché non richiedono raccolta e analisi di dati numerici complessi.
- **Utilità in mancanza di dati:** Sono particolarmente utili quando non ci sono dati sufficienti o quando i rischi sono difficili da quantificare in termini numerici (ad esempio, rischi derivanti da fattori sociali o comportamentali).

Esempi di metodi qualitativi:

- **Analisi SWOT** (punti di forza, debolezze, opportunità, minacce): identifica i principali rischi e opportunità in modo descrittivo.
- **Matrice del rischio:** combina la probabilità di un evento e l'impatto associato in una matrice, utilizzando scale qualitative (ad esempio, *probabilità bassa*, *media*, *alta* e *impatto lieve*, *moderato*, *grave*).
- **Checklist o analisi delle deviazioni:** utilizza elenchi di controllo per identificare i rischi potenziali senza misurazioni quantitative.

Vantaggi:

- **Facilità d'uso:** richiede meno risorse e tempo per essere implementato.
- **Flessibilità:** può essere applicato anche quando i dati quantitativi non sono disponibili.

Svantaggi:

- **Soggettività:** i risultati possono variare a seconda delle opinioni e dell'esperienza degli analisti.
- **Mancanza di precisione:** non permette di avere una stima numerica precisa dell'entità del rischio.



I **metodi quantitativi**, al contrario, utilizzano dati numerici e misurazioni per valutare i rischi. Questi metodi cercano di quantificare la probabilità e l'impatto dei rischi in termini matematici o statistici.

Caratteristiche principali dei metodi quantitativi:

- **Oggettività:** Si basano su dati misurabili e metodi analitici. I risultati sono numerici e meno soggetti a interpretazioni.
- **Misurazione precisa del rischio:** I rischi vengono valutati in termini quantitativi, come ad esempio la probabilità espressa in percentuali o frequenze e l'impatto misurato in unità economiche o tecniche.
- **Utilizzo di modelli matematici/statistici:** Si utilizzano modelli e simulazioni per stimare le probabilità e le conseguenze di un rischio. Tecniche come la **simulazione Monte Carlo** o l'**analisi decisionale** basata sui dati possono essere utilizzate per valutare i rischi.
- **Dati storici e statistici:** I metodi quantitativi richiedono spesso grandi quantità di dati storici o empirici per essere accurati e affidabili.

Esempi di metodi quantitativi:

- **Analisi del Valore Atteso (Expected Value Analysis):** valuta il rischio come prodotto della probabilità di un evento e del suo impatto economico, fornendo una stima numerica.
- **Simulazione Monte Carlo:** utilizza modelli probabilistici per simulare migliaia di possibili esiti di un evento rischioso, fornendo distribuzioni di probabilità sui risultati.
- **Analisi di regressione o analisi statistica:** modelli statistici che permettono di identificare e quantificare le relazioni tra diverse variabili di rischio.

Vantaggi:

- **Precisione:** fornisce stime numeriche esatte del rischio, che possono essere molto utili per prendere decisioni.
- **Affidabilità:** con dati sufficienti, i risultati possono essere più robusti e meno soggetti a interpretazioni personali.

Svantaggi:

- **Richiede molti dati:** senza una quantità sufficiente di dati affidabili, i risultati possono essere imprecisi o inutili.
- **Maggiore complessità:** richiede competenze tecniche e strumenti analitici più avanzati, il che può rendere il processo costoso e dispendioso in termini di tempo.



Differenze principali tra metodi qualitativi e quantitativi

Caratteristica	Metodi Qualitativi	Metodi Quantitativi
Tipo di dati	Descrittivi, soggettivi	Numerici, misurabili
Valutazione del rischio	Categorizzazione (basso, medio, alto)	Quantificazione precisa
Applicabilità	Quando non ci sono dati sufficienti	Quando sono disponibili dati
Esempi	SWOT, Matrice del rischio	Simulazione Monte Carlo, Valore Atteso
Vantaggi	Facilità d'uso, flessibilità	Precisione, affidabilità
Svantaggi	Soggettività, imprecisione	Richiede molti dati, complessità

In sintesi, i metodi qualitativi sono ideali quando non ci sono dati sufficienti o quando è necessaria una valutazione rapida e meno complessa.

I metodi quantitativi sono invece più utili quando si hanno dati numerici solidi e si desidera una stima più precisa del rischio. Spesso, una combinazione di entrambi gli approcci fornisce una valutazione più completa e robusta dei rischi.



I vari metodi di valutazione dei rischi si differenziano per scopo, completezza ed utilizzo ma tutti presentano la stessa sequenza di passi logici articolandosi in tre passi principali:

Identificazione dei pericoli: si individuano in modo sistematico tutti i pericoli legati all'attività in esame ed i fattori di rischio connessi (in questa fase si usano prevalentemente check-list, dati storici sugli incidenti, casi simili ecc.).

Valutazione del rischio: si stima il rischio per ogni pericolo individuato; questa fase comprende anche il giudizio sul grado di accettabilità del rischio stesso.

Definizione delle priorità degli interventi correttivi: i pericoli vengono ordinati per valori di rischio decrescenti e per tutti i casi in cui tale livello risulta inaccettabile si individuano azioni correttive adeguate.

In termini analitici il Rischio viene sempre definito come funzione della probabilità di accadimento e della magnitudo (severità del danno) relativi al singolo pericolo attraverso l'espressione:

$$R=f(M,p)$$

R: magnitudo del rischio

M: magnitudo del danno potenziale

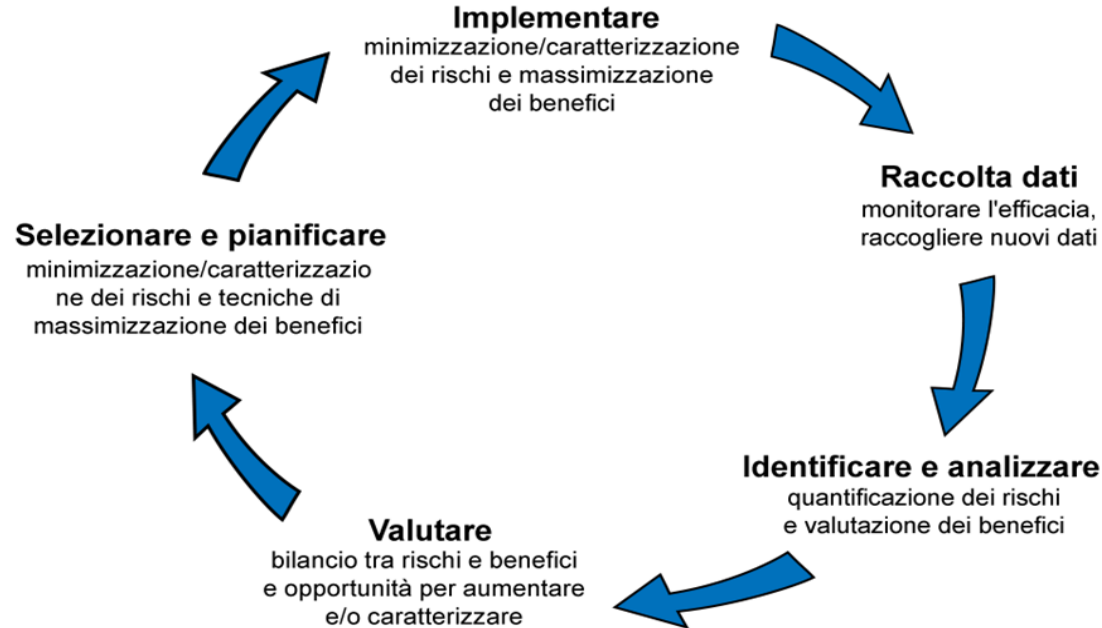
p: probabilità di accadimento del danno

In relazione alla tipologia di rischio da analizzare R è esprimibile in forma quantitativa, semi-quantitativa o, in alcuni casi, soltanto qualitativa.





Il ciclo di gestione del rischio



Il processo di valutazione del rischio



Richiedono la formazione di un gruppo formato in genere da persone che hanno progettato e da utenti presenti o futuri dell'oggetto in analisi (impianto, edificio di lavoro, sistema hardware e software, processo industriale).

Una prima fase consiste in un brainstorming controllato, il cui scopo è quello di compilare un elenco di tutti i rischi percepiti da progettisti e utilizzatori.



Tutte le tecniche riconoscono che l'interazione fra progettisti, utilizzatori e manutentori di un sistema porta a una conoscenza del sistema maggiore della somma delle conoscenze dei singoli partecipanti!



Metodo Proposto dalla Norma UNI EN 12100

La norma UNI EN 12100 fornisce le linee guida per l'identificazione dei pericoli, i criteri per la valutazione del rischio e la selezione di adeguate misure di sicurezza in relazione a rischi e vincoli imposti da fattori di natura tecnica ed economica; quindi descrive una serie di metodologie di analisi associate alla valutazione del rischio sia di tipo quantitativo che qualitativo.

Il metodo approfondito è di natura semi-quantitativa, è stato proposto per l'analisi del rischio nell'utilizzo delle macchine utensili e va ad integrare le prescrizioni della norma che, proprio per i suoi scopi di carattere generale, non può essere adeguatamente analitica.

Le attività e le operazioni a cui questo metodo si rivolge sono quelle tipicamente svolte sulle macchine utensili e riguardano:

- il prelievo, la movimentazione ed il posizionamento dei pezzi, degli attrezzi, ecc.. eventualmente con l'ausilio di carrelli e/o carroponti;
- la movimentazione, la disposizione ed il montaggio sulla macchina degli utensili necessari alla lavorazione specifica;
- la registrazione, regolazione e programmazione della macchina utensile;
- il comando e governo della macchina, il controllo delle lavorazioni eseguite (visive, strumentali, ecc.);
- il riordino della macchina e del posto di lavoro;
- la manutenzione.



L'analisi proposta si articola principalmente in tre passi successivi:

1. identificazione dei fattori di rischio;
2. valutazione del rischio;
3. selezione delle misure di sicurezza.

Modalità di Applicazione

IDENTIFICAZIONE DEI FATTORI DI RISCHIO

Questo passo si prefigge lo scopo di individuare tutti gli aspetti delle fasi di lavoro che possono essere fonte di pericolo; in questa fase possono offrire un valido ausilio le liste di controllo (check list). In effetti si tratta di elencare potenziali fattori di rischio (ad es. rumore, sostanze pericolose, contatti elettrici, ecc.) e di analizzarli mediante una lista che passi in rassegna le questioni più importanti relative alla sicurezza.

La stesura delle liste, che sono caratterizzate da semplicità e versatilità d'uso, facilità di aggiornamento e semplicità nella successiva trattazione dei dati, deve avvenire tenendo presenti una serie di riferimenti:

- richieste specifiche della normativa in vigore
- standard internazionali di buona tecnica
- rispondenza al "buon senso" sotto il profilo tecnico-ingegneristico
- standard e leggi specifiche di settori e/o settori particolari

Il processo valutativo comincia individuando ed analizzando tutti i possibili fattori di rischio che scaturiscono dall'uso della macchina. Un valido aiuto, in questa fase conoscitiva, è offerto dall'elenco (ovviamente non esaustivo) riportato nella norma EN 414 "Sicurezza del macchinario. Regole per la stesura e la redazione di norme di sicurezza" che contiene le principali tipologie di rischio presenti nell'utilizzo di macchine insieme con le specifiche norme tecniche di riferimento. Tale lista dovrà essere integrata con la segnalazione di eventi e situazioni che, associati ad un pericolo, possono essere causa di un danno (es. errori umani, erronee procedure di lavoro, avaria ai dispositivi di sicurezza, intralcio tra addetti alle operazioni, ecc.).

In generale la fase di identificazione dei pericoli deve prevedere:

- sopralluoghi presso le stazioni di lavoro, con rilevazioni visive;
- interviste al personale addetto, al medico competente, al responsabile della sicurezza;
- analisi dei dati storici su infortuni avvenuti in azienda.



Valutazione del rischio

Identificati i fattori di rischio connessi con l'utilizzo della macchina si procede alla valutazione del rischio stesso.
La misura del rischio associata a ciascun pericolo è espressa tramite la:

$$R = f(D, A)$$

dove:

R = magnitudo del rischio

D = severità del danno

A = probabilità di accadimento del danno

L'aspetto più importante, in questo stadio dell'analisi, è l'oggettivazione della misura del rischio che spesso è affidata a valutazioni meramente qualitative e fortemente dipendenti dalla sensibilità del valutatore.

Di conseguenza il primo passo riguarda l'identificazione dei parametri che influenzano D e A.

Il secondo passo consiste nel calcolo di D e A, in funzione dei valori assunti dai parametri che li influenzano.

Infine il terzo passo prevede l'identificazione del legame funzionale f che consentirà la stima quantitativa del rischio R.



Severità del danno: D

La severità del danno è considerata funzione di due parametri:

DP: massimo danno prevedibile. Misura le conseguenze provocate dall'evento (in termini di effetti temporali dell'infortunio)

Massimo infortunio prevedibile	DP
fino a 3 giorni di invalidità	1
da 4 a 40 giorni di invalidità	2
oltre 40 giorni di invalidità	3

ED: massima estensione del danno. Misura il numero di persone coinvolte

Massima estensione del danno	ED
individuo singolo	1
due o più individui	2

La valutazione di questi fattori può essere effettuata con l'ausilio di scale semiquantitative come quelle riportate.



La probabilità di accadimento del danno è considerata funzione di quattro parametri:

FA: frequenza di accesso ai luoghi pericolosi

TP: tempo di permanenza, cioè tempo di esposizione al pericolo

IO: indice di occorrenza dell'evento che causa il danno, valuta la probabilità di accadimento dell'evento pericoloso

Indice di prevenzione			IP
Formazione	DPI*	Evitabilità del danno	
scarsa	inidonei	molto bassa	1
idonea	idonei	Limitata	2

Probabilità di accadimento del danno : A

Accesso ai luoghi	FA
saltuario	1
frequente	2
continuo	3

Tempo di permanenza	TP
fino a 5 secondi	1
da 5 a 60 secondi	2
oltre 60 secondi	3

Probabilità dell'evento-causa	IO
bassa	1
media	2
elevata	3

IP: indice di prevenzione, valuta la possibilità di prevenzione del danno. Quest'ultimo indice è legato al grado di formazione degli addetti, alla idoneità dei dispositivi di protezione individuale, e alla possibilità di evitare il danno una volta che l'evento causante si sia manifestato.



Per tali parametri si possono utilizzare le scale semiquantitative sopra proposte. Per l'effettuazione della vera e propria stima del rischio si può far riferimento alla seguente tabella:

VALUTAZIONE DEI RISCHI MACCHINA											
PERICOLI		Localizzazione Pericoli	FATTORI DETERMINANTI LA SEVERITA' DEL DANNO		Severità danno D=f(DP, ED)	FATTORI DETERMINANTI L'ACCADIMENTO DEL DANNO				Accadimento danno A=f(FA,TP, IO,1/IP)	VALUTAZIONE RISCHIO R=F (D,A)
			Max danno prevedibil e DP	Max estensione del danno ED		INDICI ESPOSIZIONE		Indice di occorrenza IO	Indice di prevenzione IO		
						Frequenza di accesso FA	Tempo di permanenz a TP				
1	Pericoli di natura meccanica										
1.1	Pericoli di schiacciamento										
1.2	Pericoli di impigliamento										
1.3	Pericoli di scivolamento										
1.4	Pericoli di attrito o abrasione										
2	Pericoli di natura elettrica										
2.1	Contatto elettrico										
2.2	Fenomeni elettrostatici										
3	Pericoli di natura termica										
3.1	Superfici radianti										
3.2	Contatto con fiamme										
4	Pericoli generati dal rumore										
5	Pericoli generati da vibrazioni										
6	Pericoli derivanti da radiazioni elettromagnetiche										
6.1	Archi elettrici										
6.2	Laser										
6.3	Radiazioni ionizzanti										
7	Pericoli generati da materiali e sostanze										
7.1	Contatto o inalazione di fluidi, gas fumi e polveri										
7.2	Incendio o esplosione										
8	Pericoli provocati dall'inosservanza dei principi ergonomici										
8.1	Posture errate o sforzi eccessivi										
8.2	Mancato uso dei DPI										
8.3	Illuminazione insufficiente										
8.4	Errori umani										

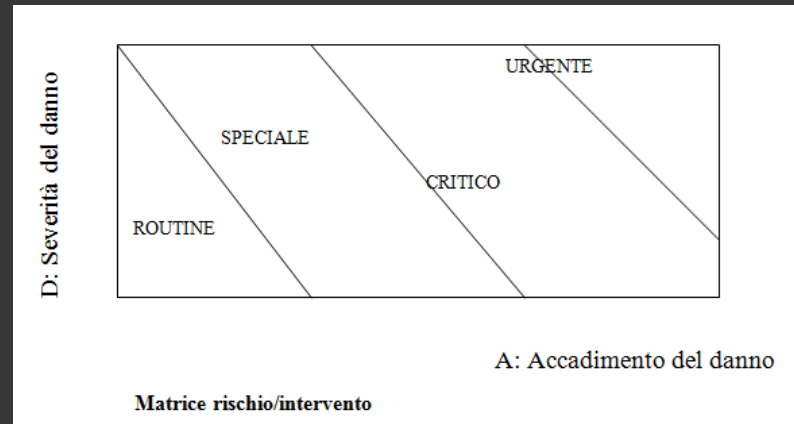


La misura del rischio associato a ciascun pericolo esaminato sarà ricavata attraverso legami funzionali tra i fattori di rischio. Tali legami possono essere di varia natura, possono essere descritti da relazioni matematiche più o meno semplici.

Con riferimento all'impiego di macchine **utensili i legami funzionali sono esprimibili, nella maggior parte dei casi, attraverso relazioni matematiche elementari (prodotto).**

I legami funzionali quindi devono essere tali da permettere di ottenere valori che rispecchino la situazione reale ed inoltre dovranno tenere conto dei risultati di analisi condotte in merito ad infortuni, della tipologia delle lavorazioni e dei dati storici. Sulla base di tali considerazioni **si potrà scegliere la funzione matematica più idonea alla rappresentazione dei dati** e, rappresentandola in forma grafica sarà possibile rendere immediato il concetto di priorità di intervento.

In genere la funzione f consente di costruire una matrice rischio/intervento che permette di evidenziare le aree di criticità segnalando, in tal modo, il grado di urgenza degli interventi.





Relazione tra rischio e intervento

La relazione tra rischio e intervento descrive come un intervento specifico (una misura di controllo, prevenzione o mitigazione) possa influenzare il livello di rischio associato a una determinata situazione.

L'obiettivo principale di qualsiasi intervento è quello di ridurre il rischio, agendo su uno o più elementi che contribuiscono a esso. Un rischio è generalmente definito come una combinazione di probabilità di un evento e il danno potenziale associato, e l'intervento mira a modificare questi due fattori per diminuire l'entità complessiva del rischio.

Di seguito, esploreremo più in dettaglio come gli interventi agiscono su diversi componenti del rischio e quale tipo di relazione può essere rappresentata per modellare tale effetto.

Il rischio è generalmente definito come la combinazione di probabilità e impatto di un evento indesiderato:

$$\text{Rischio} = \text{Probabilità} \times \text{Impatto Rischio}$$

Modello di Rischio di Base

Il rischio è comunemente descritto dalla formula:

Un intervento può agire riducendo la probabilità dell'evento, l'impatto, o entrambi.

Gli interventi possono essere suddivisi in categorie, come misure di prevenzione, che mirano a ridurre la probabilità, e misure di protezione, che mirano a ridurre l'impatto.

$$R = P \times I$$

Dove:

- R = Rischio
- P = Probabilità che l'evento si verifichi
- I = Impatto o conseguenze dell'evento



Funzioni che esprimono la relazione tra rischio e intervento

Le funzioni che esprimono la relazione tra rischio e intervento sono strumenti utili per rappresentare in modo quantitativo o qualitativo come un intervento (ad esempio, una misura di prevenzione o protezione) possa ridurre o influenzare il rischio associato a un determinato evento o situazione. Queste funzioni aiutano a comprendere il legame tra la probabilità di un rischio e le azioni intraprese per mitigarlo, e spesso costituiscono la base per la decisione su quali interventi siano più efficaci e necessari. Il rischio è generalmente definito come la combinazione di probabilità e impatto di un evento indesiderato:

$$\text{Rischio} = \text{Probabilità} \times \text{Impatto}$$

Quando si interviene per ridurre il rischio, solitamente si cerca di agire su una o entrambe le componenti della formula:

- Ridurre la probabilità che l'evento si verifichi (ad esempio, migliorando i controlli o implementando sistemi di sicurezza).
- Ridurre l'impatto di un eventuale evento avverso (ad esempio, installando barriere fisiche o piani di emergenza).

Funzione di riduzione della probabilità

La funzione di riduzione della probabilità descrive come un intervento riduce la probabilità che si verifichi un evento indesiderato. Si applica in situazioni in cui l'intervento agisce direttamente sulla causa del rischio.

$$P_{\text{rischio ridotto}} = P_{\text{rischio iniziale}} \times (1 - \alpha)$$

Dove:

- $I_{\text{rischio ridotto}}$ è l'impatto ridotto dopo l'intervento,
- $I_{\text{rischio iniziale}}$ è l'impatto iniziale senza intervento,
- β rappresenta l'efficacia dell'intervento nel ridurre l'impatto.

Esempio: Un sistema di evacuazione ben progettato riduce l'impatto di un disastro, come un'esplosione, di un 60%, quindi:

$$I_{\text{rischio ridotto}} = I_{\text{rischio iniziale}} \times (1 - 0.6)$$



Funzione combinata di riduzione di probabilità e impatto: Alcuni interventi agiscono su entrambi i fronti, riducendo sia la probabilità che l'impatto dell'evento. La funzione che rappresenta questo intervento combinato può essere espressa come:

$$R_{\text{rischio ridotto}} = (P_{\text{rischio iniziale}} \times (1 - \alpha)) \times (I_{\text{rischio iniziale}} \times (1 - \beta))$$

Dove:

- $R_{\text{rischio ridotto}}$ è il rischio totale ridotto dopo l'intervento,
- α è l'efficacia dell'intervento nel ridurre la probabilità,
- β è l'efficacia dell'intervento nel ridurre l'impatto.

Esempio: Se una serie di interventi riduce la probabilità di un crollo strutturale del 40% e allo stesso tempo riduce l'impatto di un eventuale crollo del 50%, il rischio complessivo ridotto sarà

$$R_{\text{rischio ridotto}} = (P_{\text{rischio iniziale}} \times (1 - 0.4)) \times (I_{\text{rischio iniziale}} \times (1 - 0.5))$$



Funzioni basate su costi e benefici dell'intervento

Un'altra relazione importante tra rischio e intervento può essere espressa attraverso un'**analisi costi-benefici**. In questo caso, la funzione analizza l'efficacia dell'intervento in termini di costo rispetto alla riduzione del rischio, considerando se l'investimento in un intervento sia giustificato dai benefici in termini di riduzione del rischio.

Una funzione utile per esprimere questo concetto è la **funzione del Valore Atteso del Rischio (VARV)**, che calcola il costo associato a un rischio e lo confronta con il costo dell'intervento:

$$VAR = \text{Probabilità evento} \times \text{Costo evento}$$

L'intervento viene valutato se il **beneficio atteso** derivante dalla riduzione del rischio supera il **costo** dell'intervento:

$$\text{Costo dell'intervento} < \Delta VAR = VAR_{iniziale} - VAR_{ridotto}$$

Conclusioni

Le funzioni che esprimono la relazione tra rischio e intervento servono a quantificare l'effetto degli interventi sulla riduzione del rischio. Questo permette alle organizzazioni di prendere decisioni informate su quali azioni intraprendere per gestire in modo efficace i rischi. Che si tratti di ridurre la probabilità di un evento, minimizzare l'impatto, o di ottimizzare i costi rispetto ai benefici, queste funzioni offrono un quadro matematico per gestire il rischio in modo strutturato e mirato.



Effettuata la valutazione del rischio e analizzata la priorità degli interventi da eseguire, **la riduzione del rischio può avvenire in due direzioni, l'una volta a ridurre la probabilità di accadimento del danno (prevenzione) e l'altra volta invece a contenere le eventuali conseguenze (protezione).**

Ciò nonostante la scelta relativa al tipo di intervento da effettuare dovrà seguire rigorosamente la successiva sequenza logica:

- eliminazione del pericolo
- riduzione del pericolo
- riduzione del rischio alla fonte
- gestione ottimale della situazione pericolo
- protezione personale
- informazione-formazione

In generale, quindi, dovranno essere privilegiate quelle misure che consentono la riduzione del rischio alla fonte³.

Per i pericoli che non possono essere eliminati o sufficientemente ridotti si dovrà ricorrere alle "protezioni" (ripari o dispositivi di sicurezza).

Pregi e Limiti/Inconvenienti/Difficoltà d'uso PREGI

Semplicità di applicazione

Possibilità di integrare, nella valutazione, fattori che concorrono alla determinazione del rischio tra di loro eterogenei (gravità del danno, formazione del personale, estensione del danno, probabilità del verificarsi dell'evento causa del danno, ecc)

Possibilità di utilizzare rappresentazioni grafiche che guidino la fase decisionale fornendo, alla direzione aziendale, razionali indicazioni di priorità per una coerente pianificazione degli interventi di prevenzione di prevenzione e/o protezione.

Limiti/Inconvenienti/Difficoltà d'uso

Questo metodo, così come tutti quelli di natura semi-quantitativa **si basa su un'interpretazione "soggettiva"** della probabilità basata sul "grado di fiducia" che il valutatore assegna al verificarsi di un evento ed alla gravità delle sue conseguenze. E' da notare che il termine "soggettivo" non è da considerare come arbitrario ma come **"giudizio esperto"**, cioè legato al grado di conoscenza e competenza sui molteplici fattori che intervengono e compongono il sistema oggetto di analisi.

Nell'applicazione in esame non vengono considerati:

- i rischi derivanti dall'ambiente di lavoro (Layout, illuminazione, rumore, microclima, ecc.);
- i rischi connessi al fattore umano (adattamento fisico e psichico del lavoratore alla mansione assegnata, organizzazione del lavoro);

Infine questa metodologia appare poco flessibile infatti è stata espressamente realizzata per essere applicata ai rischi connessi con l'impiego di macchine



Analisi causa-effetto

CARATTERISTICHE

Partendo da un evento stabilito (incidente), ne studia contemporaneamente le possibili vie di sviluppo tramite un procedimento che è una combinazione tra il “pensare in anticipo” dell’ETA (Event Tree Analysis) e il “pensare a ritroso” dell’FTA, (Fault Tree Analysis). Il risultato è un diagramma che si sviluppa appunto in due direzioni, perché considera l’interrelazione tra le conseguenze dell’incidente e le cause su cui queste si basano. La sequenza dell’incidente è scomposta in una serie di eventi, ognuno dei quali rappresenta l’evento “top” per un’analisi del tipo FTA.

VANTAGGI

E’ uno strumento molto duttile che racchiude in sé alcuni vantaggi sia dell’ETA che dell’FTA. Come analisi può essere utilizzata per fare una previsione della frequenza di accadimento delle conseguenze.

SVANTAGGI

Risulta essere piuttosto complessa anche se utilizzata in sequenze relativamente semplici. Presenta tutti gli svantaggi dell’ETA e dell’FTA.(vedi).

APPLICAZIONE

Rara, può essere attuata sia nella fase di disegno dell’impianto che in piena operatività per valutarne i potenziali incidenti. Il team addetto all’analisi è preferibilmente costituito da 2-4 persone con svariate esperienze: una persona pratica di ETA e di FTA e le altre esperte delle interazioni tra i sistemi oggetto dell’analisi.

COMMENTI

La sua complessità logica ne rende difficile l’utilizzo al fine di ottenere una visione completa e più incisiva delle sequenze evolutive o causali. Un’analisi dettagliata può richiedere alcune settimane, essendo in relazione soprattutto alla complessità del supporto fornito dall’FTA



I **diagramma di causa ed effetto**, anche conosciuto come **diagramma a lisca di pesce** o **diagramma di Ishikawa**, è uno strumento visuale utilizzato per identificare, analizzare e rappresentare le cause principali di un problema o di un fenomeno. È molto utile per le indagini di qualità, gestione del rischio e risoluzione dei problemi, in quanto permette di esplorare tutte le potenziali cause che contribuiscono a un evento o a un rischio.

Che cos'è il diagramma di Ishikawa

Il diagramma di Ishikawa prende il nome dal suo ideatore, **Kaoru Ishikawa**, un ingegnere giapponese che sviluppò questo metodo negli anni '60. Il suo nome comune di "lisca di pesce" deriva dalla struttura grafica del diagramma che ricorda la spina dorsale e le costole di un pesce.

Lo scopo principale del diagramma è quello di trovare la causa radice di un problema, invece di limitarsi ad affrontare i sintomi. Questa tecnica viene utilizzata per comprendere in modo sistematico tutte le possibili cause che possono portare a un determinato effetto, con l'obiettivo di trovare la radice del problema e intervenire in modo efficace.

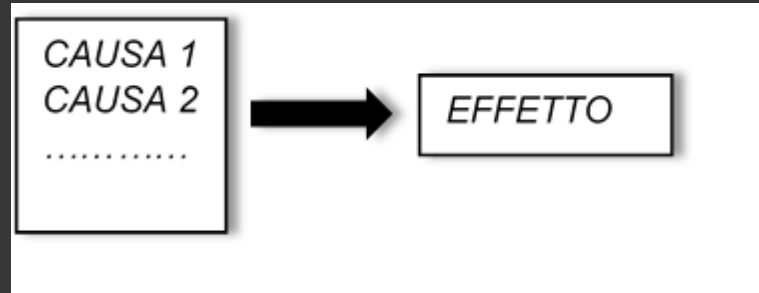
Struttura del diagramma

Un diagramma di causa ed effetto è formato da diversi elementi chiave:

1. **Effetto:** È il problema o l'obiettivo che si vuole indagare e che si posiziona all'estremità destra della "lisca". Può essere un guasto, un difetto, una diminuzione della qualità, o qualsiasi risultato non desiderato.
2. **Spina dorsale centrale:** Parte dal problema (l'effetto) e si estende a sinistra, rappresentando la direzione dell'analisi. Da questa spina dorsale si diramano i diversi fattori che potrebbero influenzare l'effetto.
3. **Causa principale:** Le cause principali, note anche come categorie, si collegano alla spina dorsale come le "costole" di un pesce. Le cause principali possono essere raggruppate in macro-categorie.
4. **Cause secondarie:** Ogni causa principale può avere sotto-cause che influenzano indirettamente l'effetto. Le cause secondarie si collegano alle cause principali come ulteriori ramificazioni della lisca.



Questo diagramma è stato introdotto per la prima volta in Giappone da Kaoru Ishikawa. E' **estremamente semplice da realizzare e permette una rapida analisi delle possibili cause** che possono generare un determinato effetto.



Vediamo passo per passo come costruire questo diagramma.

- 1) Stabilito l'effetto che vogliamo studiare (un problema, una caratteristica qualitativa, un obiettivo da raggiungere, ecc.), scriviamo questo effetto sul lato destro di un foglio o di una lavagna (testa del pesce);
- 2) Tracciamo una linea orizzontale al centro del foglio, che partendo da sinistra termini sulla "testa del pesce";





Principali categorie del diagramma

Le categorie principali del diagramma variano in base al contesto, ma solitamente, nella produzione e nella gestione della qualità, si utilizzano le cosiddette **6M**. Queste categorie possono essere personalizzate a seconda del settore (ad esempio, servizi, sanità, IT, ecc.), ma le 6M forniscono una buona base:

1. **Materiali:** Le materie prime o i materiali utilizzati nei processi produttivi. Errori nei materiali possono influenzare il risultato finale (es. difetti nella qualità delle materie prime).
2. **Metodi:** Le procedure, i processi e i metodi operativi. Un metodo inefficace o scorretto può portare a errori e difetti (es. procedure non ottimali o non standardizzate).
3. **Macchinari:** L'attrezzatura e i macchinari utilizzati per produrre beni o fornire servizi. Guasti o malfunzionamenti delle macchine possono influenzare la qualità del prodotto o la sicurezza del processo.
4. **Manodopera (o Persone):** Fattori umani come competenze, formazione, esperienza e comportamento del personale. Errori umani o mancanza di competenze possono contribuire a problemi (es. errori operativi o mancanza di formazione).
5. **Misure (o Metriche):** Le modalità con cui si misurano i risultati e si controllano i processi. Misurazioni imprecise o inadeguate possono portare a errori nella valutazione del risultato finale.
6. **Ambiente:** Condizioni ambientali, interne o esterne, che possono influenzare il risultato (es. condizioni climatiche, illuminazione, rumore, temperatura).

Oltre alle 6M tradizionali, in alcuni settori vengono aggiunte categorie come **Management** o **Fornitori o risorse economiche**

Man	Uomo
Machine	Macchina
Method	Metodo
Material	Materiale
Measurement	Misurazione
Mother Nature (environment)	Ambiente
Management	Responsabili
Money	Denaro

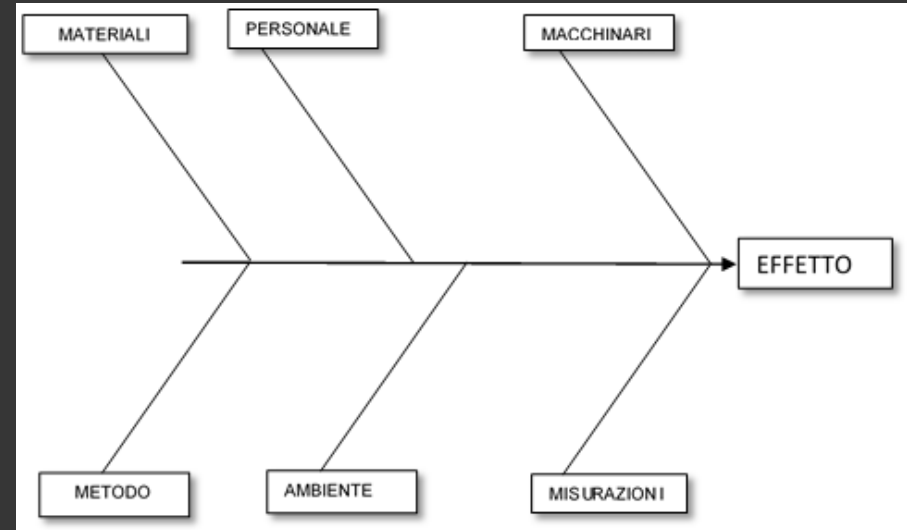


A volte, alcuni sinonimi vengono “forzati” al fine di avere un elenco di nomi che inizino con stessa lettera.

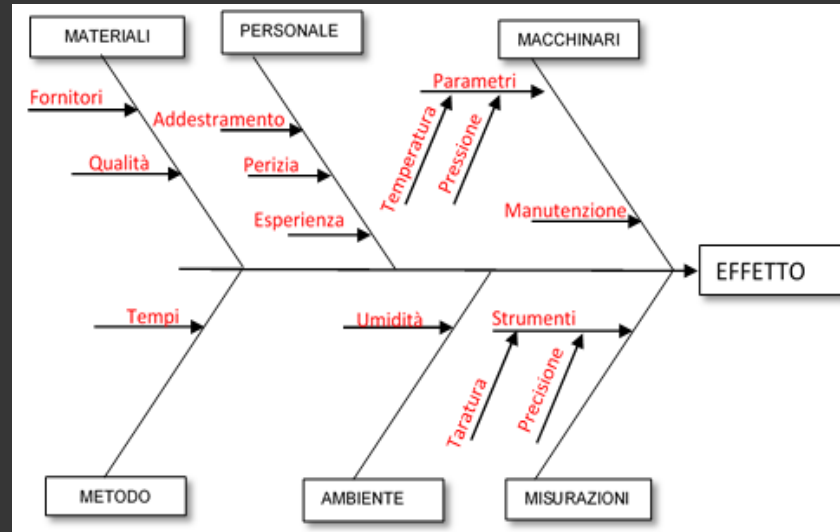
In questo modo è più facile ricordare l'elenco. In realtà queste classi standard servono solo per riferimento. E' chiaro che poi ognuno, a secondo del campo di applicazione di questa tecnica, si sceglie le classi standard che ritiene utili al suo caso.

Come costruire un diagramma di causa ed effetto

- 1. Identificare il problema o l'effetto:** Iniziare definendo chiaramente il problema o l'effetto che si vuole analizzare. Questo diventa il "testa" del diagramma, situato all'estrema destra.
- 2. Identificare le categorie principali:** Scegliere le cause principali o le categorie (come le 6M o altre categorie rilevanti per il settore). Queste categorie sono posizionate come ramificazioni che partono dalla spina dorsale centrale.
- 3. Esplorare le cause secondarie:** Per ogni categoria principale, esplorare le cause più specifiche che potrebbero contribuire al problema. Continuare il processo fino a identificare le cause a livello più granulare.
- 4. Analisi e discussione:** Una volta completato il diagramma, il passo successivo è analizzare le cause per determinare quali sono più probabili o rilevanti. Questo spesso richiede la collaborazione di più team o esperti per raccogliere tutte le prospettive.



Si passa quindi alla fase chiave dell'analisi, cioè all'individuazione, per ogni categoria fissata, delle possibili cause che possono produrre il nostro effetto. Premesso che questa è una tecnica che può essere usata anche in analisi individuali, è importante sottolineare che il **diagramma di Ishikawa** ha la massima efficacia quando alla sua costruzione partecipa un team di persone. Queste devono essere parte in causa del problema. Ad esempio, se sulla linea di produzione di un certo pezzo meccanico si riscontrano dei problemi nella fase di saldatura, è fondamentale che alla ricerca delle cause partecipino, oltre ai vari responsabili, anche gli operatori addetti a quella fase. Man mano che i partecipanti individuano una possibile causa, questa deve essere riportata sul diagramma inserendola nella sua categoria. Si ottiene così un qualcosa del genere:





Ecco un esempio di come applicare il **diagramma di causa ed effetto (o di Ishikawa)** in un'industria **metalmeccanica** per affrontare il problema di **difetti di saldatura** nei componenti metallici. Questo tipo di problema può portare a scarti di produzione, ritardi e, in alcuni casi, al fallimento dei prodotti finiti.

Problema: Difetti di saldatura nei componenti metallici

In questo caso, l'**effetto** (ovvero il problema) è rappresentato dai **difetti di saldatura**. L'obiettivo è identificare le cause principali che portano a questo problema, suddividendo il diagramma in categorie principali e approfondendo con le possibili cause secondarie.

Categorie principali (6M)

Per un'industria metalmeccanica, le categorie principali che si possono utilizzare nel diagramma di causa ed effetto per il problema dei difetti di saldatura sono le seguenti:

1. **Materiali:** Riguarda la qualità dei materiali di base (metallo e materiali per la saldatura) utilizzati.
2. **Metodi:** Si riferisce alle tecniche e procedure di saldatura adottate.
3. **Macchinari:** Coinvolge l'attrezzatura di saldatura utilizzata.
4. **Manodopera:** Riguarda le competenze, l'esperienza e la formazione degli operatori addetti alla saldatura.
5. **Misure:** Si riferisce agli strumenti di controllo qualità e monitoraggio del processo.
6. **Ambiente:** Riguarda le condizioni ambientali che potrebbero influenzare il processo di saldatura.



Cause principali e cause secondarie

Vediamo come si possono esplorare le cause secondarie per ciascuna categoria:

1. Materiali

- **Materiale base:** Metallo di bassa qualità o contaminato (presenza di impurità, ossidazione sulla superficie).
- **Materiali di consumo:** Fili o elettrodi di saldatura di qualità scadente o incompatibili con il materiale di base.
- **Stoccaggio:** Materiali di saldatura o metallo di base conservati in ambienti umidi che causano ossidazione o degrado.

2. Metodi

- **Parametri di saldatura errati:** Impostazioni scorrette per la temperatura, la velocità di avanzamento o l'intensità della corrente.
- **Tecnica di saldatura:** Errori nel posizionamento o nell'angolo della torcia di saldatura, che può portare a giunzioni deboli o imperfette.
- **Sequenza di saldatura:** Esecuzione non corretta della sequenza di saldatura, che può provocare tensioni nel metallo o deformazioni.

3. Macchinari

- **Macchinari non calibrati:** Saldatrici o attrezzature che non sono state calibrate correttamente per la lavorazione specifica.
- **Usura delle attrezzature:** Ugelli o parti della saldatrice usurati o danneggiati, che possono influire sulla precisione e sulla qualità della saldatura.
- **Mancanza di manutenzione:** Attrezzature che non ricevono manutenzione regolare, portando a malfunzionamenti o scarsa performance.

4. Manodopera

- **Operatore non formato:** Operatori con scarsa esperienza o formazione insufficiente sulle tecniche corrette di saldatura.
- **Affaticamento dell'operatore:** Lavoro prolungato senza pause, che può ridurre la concentrazione e la precisione dell'operatore.
- **Turnover elevato:** Cambi frequenti nel personale, che portano a una mancanza di continuità nelle competenze.

5. Misure

- **Controllo qualità inadeguato:** Controlli insufficienti o non sistematici sui giunti saldati.
- **Strumenti di misurazione non calibrati:** Dispositivi come misuratori di spessore o test di tensione non correttamente calibrati, che possono fornire dati errati sulla qualità del giunto saldato.
- **Frequenza dei controlli:** Ispezioni della qualità effettuate troppo di rado o troppo tardi, quando i difetti sono già estesi.

6. Ambiente

- **Umidità elevata:** L'umidità nell'aria può compromettere la qualità della saldatura, causando difetti come porosità o inclusioni.
- **Temperatura:** Temperature troppo basse o troppo alte nell'ambiente di lavoro possono influenzare le proprietà del materiale durante la saldatura.
- **Ventilazione inadeguata:** Mancanza di ventilazione adeguata che può portare alla contaminazione del metallo durante il processo di saldatura.



Costruzione del diagramma di causa ed effetto

Immaginiamo ora la rappresentazione del diagramma di Ishikawa per questo caso. A destra del diagramma, c'è l'**effetto** (difetti di saldatura) e, da lì, si dipanano le **sei categorie principali** (materiali, metodi, macchinari, manodopera, misure, ambiente) con le relative **cause secondarie**. Ogni categoria principale si ramifica in ulteriori cause che descrivono i fattori specifici all'interno di ciascun ambito.

Esempio grafico del diagramma :

- **Effetto (testa del pesce):** Difetti di saldatura
- **Spina dorsale:** Problema centrale (difetti di saldatura)
 - **Categoria 1: Materiali**
 - Sotto-cause: Metallo di base contaminato, fili di saldatura di bassa qualità, materiali non adeguatamente conservati.
 - **Categoria 2: Metodi**
 - Sotto-cause: Parametri di saldatura errati, tecnica di saldatura sbagliata, sequenza non corretta.
 - **Categoria 3: Macchinari**
 - Sotto-cause: Macchine non calibrate, usura delle attrezzature, mancanza di manutenzione.
 - **Categoria 4: Manodopera**
 - Sotto-cause: Operatori non formati, affaticamento, turnover elevato.
 - **Categoria 5: Misure**
 - Sotto-cause: Controllo qualità inadeguato, strumenti non calibrati, controlli poco frequenti.
 - **Categoria 6: Ambiente**
 - Sotto-cause: Umidità elevata, temperatura inadeguata, scarsa ventilazione.



Analisi del diagramma

Dopo aver costruito il diagramma, il team può analizzare ogni categoria e sotto-categoria per capire quali sono le cause più probabili o influenti. In un'industria metalmeccanica, spesso è utile concentrarsi su una combinazione di **metodi**, **macchinari** e **formazione del personale**, poiché errori in questi ambiti sono frequentemente la causa dei difetti di saldatura.

Vantaggi del diagramma di causa ed effetto nel contesto metalmeccanico:

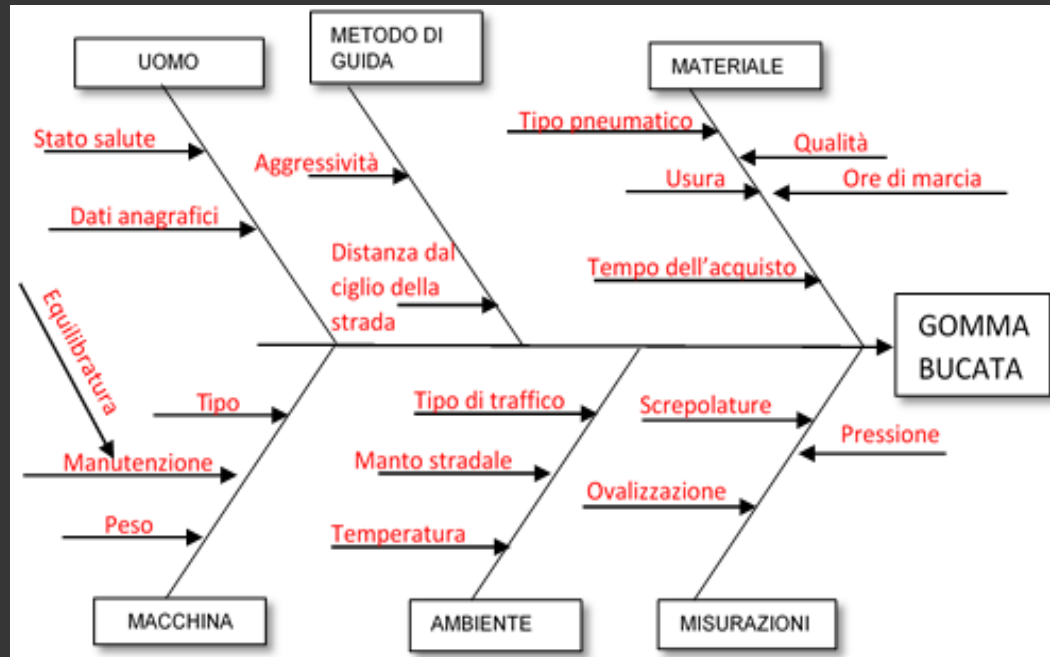
- **Identificazione sistematica delle cause:** Aiuta il team a visualizzare chiaramente tutte le possibili cause, comprese quelle meno ovvie, che potrebbero contribuire ai difetti.
- **Miglioramento del processo produttivo:** Individuando le cause principali, è possibile implementare misure correttive mirate, migliorando l'efficienza produttiva e riducendo i difetti.
- **Collaborazione tra team:** Favorisce la collaborazione tra ingegneri, tecnici e operatori per risolvere i problemi a livello radice.

Conclusione

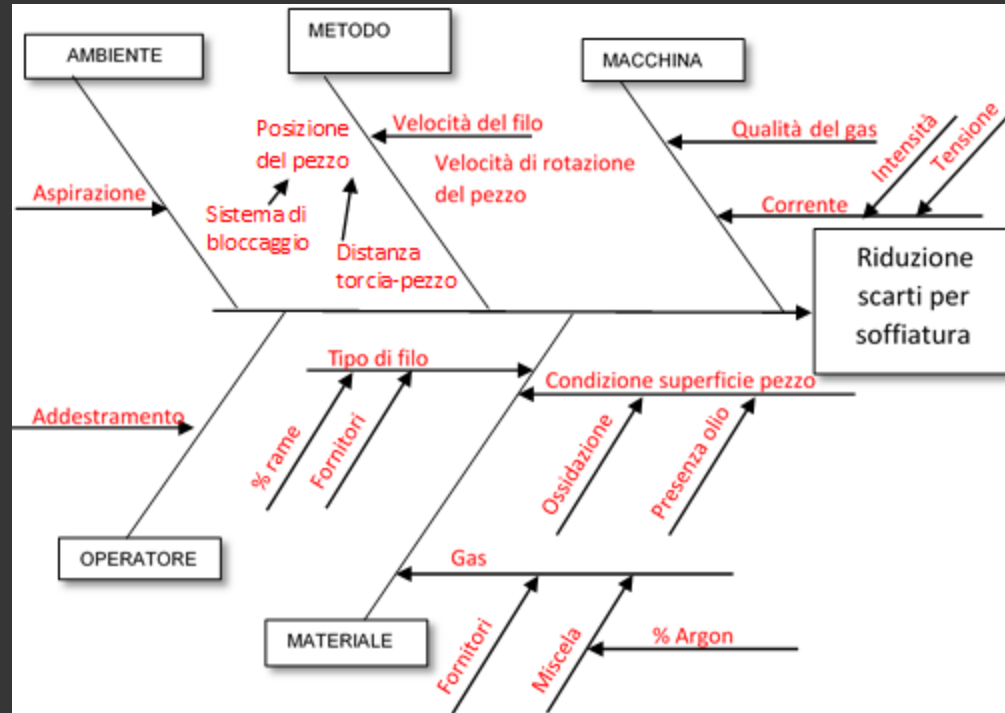
Il **diagramma di causa ed effetto** è uno strumento efficace per identificare e risolvere problemi di qualità come i **difetti di saldatura** nell'industria **metalmeccanica**. Attraverso un'analisi approfondita delle cause, il team può intervenire in modo mirato su materiali, processi, macchinari e formazione per migliorare la qualità complessiva e ridurre i costi associati a prodotti difettosi.

Vediamo ora un altro esempio.

ESEMPIO: analizzare le possibili cause che possono produrre la foratura di una gomma



ESEMPIO 2: In un processo di saldatura su tavola rotante, analizzare quali sono le possibili cause su cui agire per ridurre gli scarti per soffiatura:





Osservazione: Il diagramma può presentare degli squilibri tra i vari rami.

Ad esempio, può accadere che il ramo “Materiale” sia molto più carico di fattori causali rispetto al ramo “Operatore”. Non è detto che ciò dipenda dal fatto che ci sono elementi a cui “**non abbiamo pensato**”. E’ una situazione che si presenta spesso in questo tipo di diagramma ed è una caratteristica dell’oggetto sotto esame.

Quando si costruisce **un diagramma di Ishikawa è molto importante che tutte le idee sulle cause vengano accettate.**

Ognuno deve poter apportare il suo contributo e veder scritto la sua idea sul diagramma (naturalmente l’idea deve essere coerente coll’oggetto in discussione).

Non ci deve essere una fase di dibattito come invece avviene nel “brainstorming”.

Da tale punto di vista, il diagramma di Ishikawa è molto utile in tutti quei casi in cui nascono delle discussioni intorno alle cause di un certo problema.

Ognuno ha la sua teoria ed è convinto che sia migliore di quella degli altri. Il diagramma di causa-effetto mette tutte le idee sullo stesso piano e anzi, ne stimola delle nuove. Il diagramma diventa dunque un ottimo punto di partenza di un processo di PROBLEM SOLVING (vedi CICLO DI DEMING). Una volta elencate tutte le possibili cause si passa ad analizzarle una per una e a verificarne la consistenza attraverso dati oggettivi.



L'**analisi statistica** è uno degli strumenti più potenti e versatili per l'**analisi del rischio**. Attraverso l'applicazione di metodi statistici, è possibile quantificare l'incertezza, stimare le probabilità di eventi indesiderati, analizzare i dati storici e determinare le relazioni tra diversi fattori di rischio. Gli studi statistici sono fondamentali nella valutazione del rischio perché consentono di prendere decisioni basate su evidenze quantitative, anziché su mere supposizioni.

Di seguito esploreremo i principali metodi e tecniche statistiche utilizzati per l'**analisi del rischio**, spiegando come ciascuno può essere applicato in diversi contesti.

CARATTERISTICHE

Con questa metodologia viene esaminata l'esperienza acquisita in passato relativa ad una certa tipologia di impianti, da cui trarne poi dati analizzabili in modo sistematico.

VANTAGGI

Risulta essere **rapida** da un punto di vista qualitativo. Nel caso in cui si possano avere sufficienti informazioni e realizzare una buona similitudine di impianto in cui operare, si possono ottenere dati realmente affidabili e difficilmente contestabili.

SVANTAGGI

La **validità dei risultati è strettamente correlata alla qualità del data-base disponibile**. Si possono presentare frequentemente difficoltà di comparazione di un dato storico alla situazione contingente inoltre, non è utile ai fini dello studio di eventi a bassa probabilità di accadimento. L'utilizzo di dati relativi a situazioni non perfettamente identiche porta a giudizi soggettivi, a volte anche molto fuorvianti.

APPLICAZIONE

Abbastanza frequente.

COMMENTI

Non possono essere utili nell'applicazione alle tecnologie più nuove. Sono spesso usati solo per fornire il data/base a metodologie più articolate quali l'FTA e l'ETA, ecc.



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Prof. Claudio Pantanali, PhD

cpantanali@units.it

ANALISI – STUDI STATISTICI



Concetti di Base del Calcolo delle Probabilità

Il **calcolo delle probabilità** è una branca della matematica che si occupa di misurare l'incertezza. I suoi concetti fondamentali sono:

1.1 Esperimento e Spazio Campionario

- **Esperimento casuale:** Un'attività o processo che produce un risultato incerto. Ad esempio, il lancio di un dado.
- **Spazio campionario (S):** L'insieme di tutti i possibili risultati di un esperimento casuale. Ad esempio, per il lancio di un dado a sei facce, $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.

1.2 Evento e Probabilità

- **Evento:** Un sottoinsieme dello spazio campionario, ossia un insieme di risultati desiderati. Ad esempio, l'evento di ottenere un numero pari lanciando un dado: $A = \{2, 4, 6\}$.
- **Probabilità (P):** Una misura numerica che descrive la possibilità che un evento accada. La probabilità di un evento A è data da:

$$P(A) = \frac{\text{Numero di esiti favorevoli a } A}{\text{Numero totale di esiti nello spazio campionario}}$$

La probabilità varia tra 0 e 1:

- $P(A) = 0$: L'evento non può accadere.
- $P(A) = 1$: L'evento sicuramente accadrà.

Probabilità Condizionata e Indipendenza

Probabilità condizionata ($P(A|B)$): La probabilità che un evento A si verifichi dato che un altro evento B è già avvenuto. Si calcola come:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$$

Eventi indipendenti: Due eventi sono indipendenti se il verificarsi di uno non influenza la probabilità dell'altro. Se A e B sono indipendenti:

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B)$$



Distribuzioni di Probabilità

Le **distribuzioni di probabilità** descrivono come è distribuita la probabilità su tutti i possibili risultati di una variabile casuale. Una **variabile casuale** può essere discreta o continua:

Variabili Casuali Discrete

Una **variabile casuale discreta** assume valori distinti e numerabili. Le distribuzioni discrete più comuni sono:

•Distribuzione Binomiale:

- Descrive il numero di successi in n prove indipendenti, ognuna con probabilità di successo p .
- Funzione di probabilità di massa (PMF):

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

Dove $\binom{n}{k}$ è il coefficiente binomiale.

Distribuzione di Poisson:

Modella il numero di eventi che si verificano in un intervallo di tempo o spazio, quando gli eventi sono rari e indipendenti.

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

Dove λ è il numero medio di eventi.



Variabili Casuali Continue

Una **variabile casuale continua** può assumere qualsiasi valore all'interno di un intervallo. Le distribuzioni continue più comuni sono:

•Distribuzione Normale (o Gaussiana):

- È la distribuzione più importante nelle statistiche, utilizzata per modellare molti fenomeni naturali.
- La curva ha forma a campana ed è simmetrica rispetto alla media μ . La funzione di densità di probabilità (PDF) è data da:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Dove μ è la media e σ è la deviazione standard.

Distribuzione Uniforme:

- Ogni valore all'interno di un intervallo ha la stessa probabilità.
- Funzione di densità di probabilità per l'intervallo $[a,b]$

$$f(x) = \frac{1}{b-a}, \quad \text{se } a \leq x \leq b$$

Distribuzione Esponenziale:

- Utilizzata per modellare il tempo di attesa fino al verificarsi di un evento.
- Funzione di densità di probabilità:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x \geq 0$$

Dove λ è il tasso medio di occorrenza.



Parametri della Distribuzione

I parametri più comuni per descrivere le distribuzioni di probabilità includono:

- **Media (μ):** Il valore atteso della variabile casuale, che rappresenta la "posizione centrale" della distribuzione.

$$\mu = E(X) = \sum_i x_i P(x_i) \quad (\text{per variabili discrete})$$

$$\mu = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \quad (\text{per variabili continue})$$

- **Varianza (σ^2):** Una misura della dispersione dei valori attorno alla media.

$$\sigma^2 = E[(X - \mu)^2] = \sum_i (x_i - \mu)^2 P(x_i) \quad (\text{per variabili discrete})$$

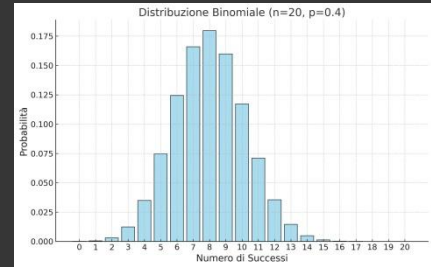
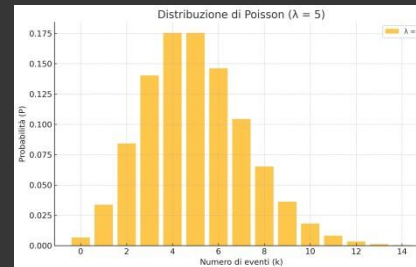
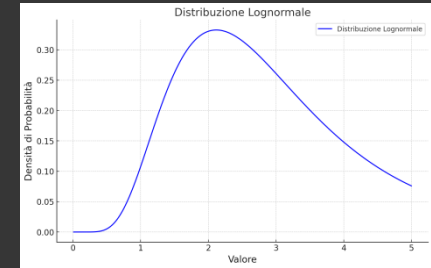
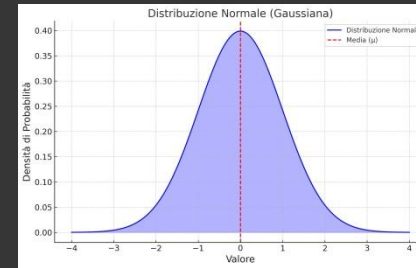
$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (\text{per variabili continue})$$

- **Deviazione Standard (σ):** La radice quadrata della varianza, che fornisce una misura della dispersione nella stessa unità della variabile casuale.

Distribuzioni di Probabilità

Le **distribuzioni di probabilità** rappresentano il punto di partenza per molte analisi statistiche del rischio. Permettono di modellare l'incertezza relativa agli eventi che si vogliono analizzare. Le distribuzioni più comuni utilizzate nell'analisi del rischio sono:

- **Distribuzione Normale (Gaussiana):** Utilizzata quando i dati sono distribuiti simmetricamente attorno a una media. È adatta per eventi in cui la variabilità attesa è concentrata attorno alla media, come il rendimento finanziario annuale.
- **Distribuzione Log normale:** Utile per modellare eventi con variabilità asimmetrica, dove i valori non possono essere negativi, come il costo di progetti o la durata di attività.
- **Distribuzione di Poisson:** Adatta per modellare il numero di eventi rari che si verificano in un determinato intervallo di tempo o spazio, come il numero di guasti di una macchina in un mese.
- **Distribuzione Bernoulli/Binomiale:** Utilizzata per eventi che hanno solo due possibili esiti (es. successo/fallimento, presenza/assenza di rischio).
- Queste distribuzioni permettono di stimare la probabilità di un evento specifico e sono fondamentali per le simulazioni che vedremo in seguito.





La **simulazione Monte Carlo** è una tecnica probabilistica utilizzata per risolvere problemi complessi attraverso la simulazione e la statistica. Questo metodo è particolarmente utile per affrontare situazioni con elevata incertezza e per problemi che non possono essere risolti facilmente con approcci deterministici. Viene ampiamente utilizzato in molteplici campi, come la finanza, l'ingegneria, la fisica e la gestione del rischio.

E' una tecnica utilizzata per valutare la probabilità di risultati diversi di un sistema o processo, tenendo conto dell'incertezza dei parametri in ingresso.; nella simulazione Monte Carlo:

1. Si definiscono le **variabili chiave** e le loro **distribuzioni di probabilità**.
2. Si effettuano numerose **iterazioni (o simulazioni)** per generare possibili scenari.
3. Ogni iterazione estrae casualmente valori per le variabili d'ingresso dalle distribuzioni definite.

Il **metodo Monte Carlo** consiste nell'utilizzare ripetute **simulazioni stocastiche** per stimare il comportamento di un sistema o di un processo. Prende il nome dal casinò di **Monte Carlo** nel Principato di Monaco, famoso per il gioco d'azzardo, per via del coinvolgimento della casualità nei suoi calcoli.

L'**idea centrale** è quella di generare un gran numero di **scenari casuali** che rappresentano possibili esiti di un sistema, e quindi analizzare questi scenari per ottenere stime attendibili delle caratteristiche del sistema, come la media, la varianza, o la probabilità che si verifichi un certo evento.

Il **metodo Monte Carlo** è un potente strumento per analizzare e comprendere sistemi complessi caratterizzati da **incertezza**. Utilizzando la simulazione di numerosi scenari possibili, il metodo fornisce una comprensione più completa della distribuzione dei possibili risultati e del rischio associato. Viene utilizzato per supportare decisioni strategiche in settori come la finanza, l'ingegneria, la gestione del rischio e l'ottimizzazione delle risorse. La sua capacità di incorporare incertezze e variabilità lo rende estremamente utile in un contesto in cui le decisioni devono essere prese con informazioni incomplete.



Applicazioni del Metodo Monte Carlo

Il metodo Monte Carlo è utilizzato in una vasta gamma di applicazioni:

1. **Ingegneria e Fisica:** Per risolvere problemi di calcolo integrale complessi, modellare la diffusione delle particelle e ottimizzare progetti ingegneristici.
2. **Gestione del rischio:** Per stimare la probabilità e l'impatto di scenari di rischio in progetti, come la costruzione di infrastrutture o la gestione di grandi eventi.
3. **Produzione e Manutenzione:** Per prevedere il tempo di vita delle macchine, analizzare la manutenzione e i guasti, e ottimizzare il rendimento della produzione.
4. **Finanza:** Per valutare il prezzo delle opzioni, simulare il valore di portafogli finanziari e analizzare i rischi legati agli investimenti.

Principali Passi del Metodo Monte Carlo

Il metodo Monte Carlo segue una serie di passi che possono essere sintetizzati come segue:

1. Definizione del Problema e delle Variabili di Input:

1. Identificare il problema da risolvere.
2. Definire le **variabili casuali** che influenzano il sistema, insieme alle loro **distribuzioni di probabilità**. Le variabili casuali possono seguire distribuzioni normali, lognormali, uniformi, ecc., a seconda del tipo di incertezza da modellare.

2. Generazione di Valori Casuali:

1. Utilizzare un **generatore di numeri casuali** per estrarre campioni dalle distribuzioni di probabilità delle variabili.
2. Ogni campione rappresenta un **possibile scenario** del sistema.

3. Simulazione:

1. Per ciascuno scenario generato, viene effettuato un **calcolo deterministico** per determinare l'output.
2. La simulazione viene ripetuta per un numero molto elevato di volte (ad esempio 10.000 o 100.000 iterazioni) per ottenere una gamma di possibili risultati.

4. Analisi dei Risultati:

1. Analizzare i risultati simulati. I risultati possono essere rappresentati graficamente attraverso **istogrammi** o **curve di distribuzione**.
2. Calcolare parametri statistici come la **media**, la **varianza**, la **deviazione standard**, o il **percentile** (ad esempio, il valore al 95° percentile, che rappresenta il livello oltre il quale si verifica il 5% degli esiti peggiori).



Vantaggi del Metodo Monte Carlo

1. **Incorpora l'incertezza:** A differenza dei metodi deterministici, il metodo Monte Carlo include l'incertezza nella sua analisi, fornendo una gamma di possibili risultati piuttosto che una singola stima.
2. **Flessibilità:** Può essere applicato a un'ampia varietà di problemi complessi in diversi settori.
3. **Quantificazione del Rischio:** Aiuta a comprendere la distribuzione del rischio e a determinare i valori probabili, migliori e peggiori (ad esempio, scenari di "worst-case" e "best-case").

Limiti del Metodo Monte Carlo

1. **Elevata Capacità Computazionale:** Richiede molte simulazioni, e per problemi molto complessi può richiedere un'elevata capacità di calcolo, anche se oggi questo è spesso mitigato dalla potenza dei computer moderni.
2. **Affidabilità delle Distribuzioni:** L'accuratezza dei risultati dipende dalla corretta definizione delle **distribuzioni di probabilità** delle variabili di input. Se queste distribuzioni sono imprecise, anche i risultati saranno meno attendibili.
3. **Richiede una Buona Conoscenza del Sistema:** È fondamentale avere una comprensione chiara e accurata del sistema o processo che si vuole simulare, per definire correttamente le variabili e le loro relazioni.

Tecniche di Ottimizzazione basate sul Metodo Monte Carlo

Oltre alla valutazione del rischio, il metodo Monte Carlo può essere utilizzato per **ottimizzare** processi o decisioni:

- **Monte Carlo Tree Search (MCTS):** Utilizzato nei giochi e nell'intelligenza artificiale per esplorare possibili mosse e determinare la migliore strategia.

Software per la Simulazione Monte Carlo

Per implementare il metodo Monte Carlo, esistono diversi strumenti e software. Alcuni dei più utilizzati includono:

- **Microsoft Excel:** Con l'uso di componenti aggiuntivi come @RISK o Crystal Ball, è possibile effettuare simulazioni Monte Carlo direttamente su fogli di calcolo.
- **Python:** Python offre numerose librerie come **NumPy**, **SciPy**, e **SimPy**, che sono ampiamente utilizzate per simulazioni Monte Carlo.
- **Matlab e R:** Sono strumenti potenti per effettuare analisi statistiche e simulazioni stocastiche.



Analisi della Regressione

L'analisi della regressione è utilizzata per **determinare le relazioni tra diverse variabili e per prevedere i valori di una variabile dipendente basandosi su una o più variabili indipendenti**. Esistono diverse tipologie di regressione:

- **Regressione Lineare:** Modella la relazione tra una variabile dipendente e una indipendente con una retta. È utile quando si vuole stimare il comportamento del rischio al variare di un fattore chiave.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

Dove:

- Y è la variabile dipendente (ad esempio il rischio),
 - X è la variabile indipendente (ad esempio, l'età di una macchina),
 - β_0 è l'intercetta, β_1 è il coefficiente di regressione, e ϵ è l'errore.
- **Regressione Logistica:** Utilizzata quando la variabile dipendente è categorica (es. rischio presente o assente). Questo tipo di regressione è utile per calcolare la probabilità che un determinato evento si verifichi.
 - **Analisi di Regressione Multivariata:** Utilizzata per comprendere come più variabili indipendenti influenzano un rischio (variabile dipendente). È adatta per scenari complessi in cui il rischio è influenzato da molteplici fattori, come il rischio operativo di una fabbrica.



Analisi di Sensibilità

L'analisi di sensibilità valuta come la **variazione di una o più variabili di input influenzi il rischio o il risultato finale**. Questa tecnica è particolarmente utile per capire quali variabili hanno il maggiore impatto sul rischio e quindi quali aree richiedono una maggiore attenzione.

Esempio: Nella pianificazione di un progetto, è possibile analizzare come la variazione nei tempi di approvvigionamento dei materiali influenzi il rischio di ritardo del progetto. Questo permette di individuare i **fattori critici** su cui concentrare gli sforzi per la mitigazione.

Analisi del Valore Atteso

Il Valore Atteso (Expected Value) è utilizzato per quantificare il rischio tenendo conto sia della probabilità di un evento che del suo impatto:

$$\text{Valore Atteso del Rischio} = P(\text{Evento}) \times \text{Impatto}(\text{Evento})$$

Questa analisi è spesso utilizzata per valutare e dare priorità ai rischi, ad esempio per determinare quali rischi necessitano di maggiori interventi di mitigazione. Se il valore atteso del rischio supera una determinata soglia, il rischio viene considerato inaccettabile.

Alberi di Decisione e Analisi di Scenario

Gli alberi di decisione sono rappresentazioni grafiche utilizzate per valutare diverse opzioni decisionali e i relativi rischi e benefici, considerando le probabilità associate agli scenari.

- Ogni nodo rappresenta una decisione o un evento casuale.
- Ogni ramo rappresenta una possibile scelta o risultato.

Gli alberi di decisione aiutano nella valutazione del rischio complessivo di ciascuna opzione e nella scelta della migliore azione possibile.



Analisi Bayesiana

L'**analisi bayesiana** è un approccio probabilistico che utilizza il **teorema di Bayes** per aggiornare la stima della probabilità di un evento alla luce di nuove informazioni o evidenze. Questo approccio è particolarmente utile quando le informazioni sono incomplete o in evoluzione.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)}$$

Nel contesto della probabilità e della statistica, l'uso di due lettere divise da un trattino verticale, come ad esempio $P(A|B)$, indica la probabilità condizionata.

In questo caso:

- A rappresenta un evento.
- B rappresenta un altro evento.
- $P(A|B)$ si legge come "la probabilità di A dato B" o "la probabilità che si verifichi l'evento A sapendo che l'evento B è già avvenuto".

Conclusione

L'uso di analisi statistiche per l'analisi del rischio fornisce una base oggettiva per comprendere e gestire l'incertezza associata a eventi futuri. **Questi strumenti permettono di quantificare la probabilità e l'impatto dei rischi, identificare le variabili chiave e valutare il valore delle diverse azioni di mitigazione.** L'approccio quantitativo non solo migliora la precisione della valutazione del rischio, ma consente anche di prendere decisioni informate che migliorano la sicurezza e la resilienza dell'organizzazione.



La **funzione di verosimiglianza** è un concetto fondamentale della **statistica inferenziale**, utilizzato per **stimare i parametri di un modello probabilistico basato sui dati osservati**. A differenza della probabilità, che si riferisce alla possibilità che si verifichino determinati eventi dati i parametri di un modello, la **verosimiglianza** misura quanto è plausibile che un particolare insieme di parametri abbia generato i dati osservati.

Cos'è la verosimiglianza?

La **verosimiglianza** rappresenta una misura che ci dice "**quanto è probabile**" che i dati osservati provengano da un modello specifico con determinati parametri. La funzione di verosimiglianza, quindi, esprime questa plausibilità in termini matematici, e viene utilizzata per stimare i **parametri più plausibili** di un modello.

Differenza tra probabilità e verosimiglianza

- **Probabilità:** Data una distribuzione o un modello con determinati parametri, la probabilità ci dice **quanto è probabile osservare determinati dati**. Ad esempio, se sappiamo che la moneta è equa (parametro $p=0.5$), possiamo calcolare la probabilità di ottenere un certo numero di teste in un certo numero di lanci.
- **Verosimiglianza:** Dati alcuni dati osservati (ad esempio, un certo numero di teste ottenute lanciando una moneta), la verosimiglianza ci dice **quanto è probabile che quei dati siano stati generati da un particolare insieme di parametri**. Ad esempio, dopo aver osservato i risultati di una serie di lanci, possiamo usare la verosimiglianza per stimare il parametro p (la probabilità di ottenere testa).



Come funziona la funzione di verosimiglianza?

Immaginiamo di avere un modello probabilistico con alcuni parametri sconosciuti che vogliamo stimare, e un insieme di **dati osservati**. La funzione di verosimiglianza è una funzione che dipende dai parametri del modello e dai dati osservati.

1. **Modello probabilistico**: Si parte da un modello che descrive la distribuzione dei dati, ad esempio una distribuzione normale con media μ e varianza σ^2 , o una distribuzione binomiale con parametro di successo p .
2. **Dati osservati**: Si raccolgono i dati effettivamente osservati. Ad esempio, supponiamo di aver osservato n lanci di una moneta e abbiamo contato il numero di teste ottenute.
3. **Verosimiglianza**: La funzione di verosimiglianza esprime quanto è plausibile che questi dati osservati siano stati generati da un modello con determinati parametri. In pratica, la funzione di verosimiglianza è data dal **prodotto delle probabilità** di osservare ogni dato, dato il modello e i suoi parametri.

4. Formula della funzione di verosimiglianza

Se consideriamo $X_1, X_2, \dots, X_n$ come un insieme di dati osservati e θ come un insieme di parametri del modello, la **funzione di verosimiglianza** è generalmente espressa come:

$$L(\theta \mid X_1, X_2, \dots, X_n) = P(X_1, X_2, \dots, X_n \mid \theta)$$

Questa espressione rappresenta la probabilità di osservare i dati $X_1, X_2, \dots, X_n$, dati i parametri θ . In pratica, si calcola questa probabilità per ogni possibile valore dei parametri θ , cercando il valore che rende la funzione di verosimiglianza massima.



Esempio: Moneta con bias sconosciuto

Immagina di lanciare una moneta $n=10$ volte e di ottenere $k=7$ teste. Vuoi stimare il parametro p , cioè la probabilità di ottenere testa. I dati osservati sono i risultati dei lanci, e il modello che descrive questi dati è una distribuzione binomiale:

$$P(X = k \mid n, p) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

La funzione di verosimiglianza è quindi:

$$L(p \mid k = 7, n = 10) = \binom{10}{7} p^7 (1-p)^3$$

Questa espressione ci dice quanto è plausibile che la probabilità di ottenere testa sia p , dato che abbiamo osservato 7 teste su 10 lanci.

Massimizzazione della funzione di verosimiglianza

L'obiettivo della massima verosimiglianza è trovare il valore del parametro p che massimizza la funzione di verosimiglianza, cioè il valore di p che rende più plausibili i dati osservati. Si calcola quindi il valore di p che rende massima l'espressione della funzione di verosimiglianza.

Nel caso di una moneta con bias, possiamo derivare la funzione di verosimiglianza rispetto a p e trovare il valore di p che massimizza la verosimiglianza. In questo caso, il valore che massimizza la funzione è semplicemente

$$p = \frac{k}{n}, \text{ cioè } \frac{7}{10} = 0.7$$

che rappresenta la nostra stima di massima verosimiglianza per la probabilità di ottenere testa.

Funzione di log-verosimiglianza

Poiché la funzione di verosimiglianza è spesso un prodotto di molte probabilità, i numeri coinvolti possono diventare molto piccoli. Per semplificare i calcoli, si utilizza spesso la log-verosimiglianza, che è semplicemente il logaritmo naturale della funzione di verosimiglianza. La log-verosimiglianza mantiene le stesse proprietà della funzione di verosimiglianza (massima nello stesso punto), ma è più facile da manipolare matematicamente.



Nota: In probabilità e in combinatoria, una notazione con una parentesi che racchiude due numeri sovrapposti, come:

$$\binom{n}{k}$$

viene chiamata **coefficiente binomiale** o **combinazione**. Essa rappresenta il numero di modi in cui è possibile scegliere k elementi da un insieme di n elementi, senza tener conto dell'ordine.

La formula per calcolare il coefficiente binomiale è:

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

dove $n!$ indica il **fattoriale** di n , ossia il prodotto di tutti i numeri interi positivi da 1 a n .

Esempio:

Se volessimo calcolare il numero di modi per scegliere 3 elementi da un insieme di 5 elementi, scriveremmo:

$$\binom{5}{3} = \frac{5!}{3!(5-3)!} = \frac{5!}{3!2!} = \frac{120}{6 \cdot 2} = 10$$

Quindi, ci sono 10 modi diversi di scegliere 3 elementi da un insieme di 5.

In generale, il coefficiente binomiale è molto usato nel **calcolo delle probabilità** quando si calcolano eventi in cui l'ordine non è rilevante.



Applicazioni della funzione di verosimiglianza

La funzione di verosimiglianza ha numerose applicazioni in statistica e machine learning, tra cui:

- **Stima dei parametri:** Come abbiamo visto, la stima dei parametri di distribuzioni probabilistiche (normale, binomiale, Poisson, ecc.) si basa sulla massimizzazione della funzione di verosimiglianza.
- **Inferenza statistica:** La verosimiglianza è alla base di molti test statistici, come il **Likelihood Ratio Test** (test del rapporto di verosimiglianza), che confronta due modelli statistici.
- **Modelli di regressione:** Nella regressione logistica, ad esempio, i parametri vengono stimati massimizzando la funzione di verosimiglianza.
- **Machine learning:** In molti modelli di apprendimento automatico, come le reti neurali e i modelli di classificazione, la massimizzazione della verosimiglianza viene utilizzata per ottimizzare i parametri del modello.

La **funzione di verosimiglianza** è un potente strumento per stimare i parametri di un modello statistico, basandosi su dati osservati. Il suo obiettivo è trovare i parametri che rendono i dati osservati i più plausibili, e la **massima verosimiglianza** è il valore dei parametri che massimizza questa funzione. Questo concetto è alla base di gran parte della statistica inferenziale e ha applicazioni in vari campi, dalla modellazione statistica all'apprendimento automatico.

La **funzione di verosimiglianza** può essere utilizzata nella **valutazione del rischio**, specialmente in contesti dove i rischi sono modellati tramite distribuzioni probabilistiche e dove è necessario stimare i parametri che descrivono la probabilità di eventi rischiosi. Vediamo più nel dettaglio come questo metodo può essere applicato alla valutazione del rischio.



La **funzione di verosimiglianza** può essere utilizzata quindi nella **valutazione del rischio**, specialmente in contesti dove i rischi sono modellati tramite distribuzioni probabilistiche e dove è necessario stimare i parametri che descrivono la probabilità di eventi rischiosi. Vediamo più nel dettaglio come questo metodo può essere applicato alla valutazione del rischio.

Come la verosimiglianza si collega alla valutazione del rischio

La **valutazione del rischio** spesso implica la modellizzazione della probabilità di eventi sfavorevoli e la loro gravità. Per stimare la probabilità che certi eventi accadano, possiamo basarci su dati storici, esperienze passate o modelli probabilistici. La funzione di verosimiglianza entra in gioco quando vogliamo stimare i parametri di questi modelli probabilistici basandoci su dati osservati.

Ad esempio:

Se vogliamo stimare il rischio che una macchina si guasti entro un certo intervallo di tempo, possiamo utilizzare un modello statistico (come una distribuzione esponenziale o Weibull) per rappresentare il tempo tra i guasti. Utilizzando dati storici sui tempi di guasto, possiamo applicare la **massima verosimiglianza** per stimare i parametri della distribuzione e, di conseguenza, quantificare il rischio di futuri guasti.

Se vogliamo stimare il rischio di eventi estremi (come disastri naturali o gravi incidenti industriali), possiamo utilizzare la funzione di verosimiglianza per stimare i parametri di una distribuzione che modelli questi eventi rari, come la distribuzione di Gumbel o la distribuzione dei valori estremi (EVT).



Esempio pratico nella valutazione del rischio

Immaginiamo di voler valutare il rischio che una macchina industriale si guasti durante un determinato intervallo di tempo. Possiamo raccogliere i dati storici sui tempi di guasto della macchina e poi utilizzare la funzione di verosimiglianza per stimare la distribuzione del tempo tra i guasti.

Passaggio 1: Modello probabilistico

Supponiamo di modellare il tempo tra i guasti come una **distribuzione esponenziale** con parametro λ , che rappresenta il tasso di guasto (numero di guasti per unità di tempo). La probabilità che la macchina si guasti entro un certo tempo t è descritta dalla funzione di densità di probabilità:

$$f(t | \lambda) = \lambda e^{-\lambda t}$$

Passaggio 2: Raccolta dei dati

Abbiamo raccolto i tempi di guasto $t_1, t_2, \dots, t_n$ della macchina da dati storici. Il nostro obiettivo è stimare il parametro λ , che descrive il tasso di guasto, usando la funzione di verosimiglianza.

Passaggio 3: Definizione della funzione di verosimiglianza

La funzione di verosimiglianza, in questo caso, è la probabilità congiunta di osservare i dati $t_1, t_2, \dots, t_n$ dati il parametro λ :

$$L(\lambda | t_1, t_2, \dots, t_n) = \prod_{i=1}^n \lambda e^{-\lambda t_i}$$

La funzione di verosimiglianza misura quanto è plausibile che il tasso di guasto λ abbia generato i tempi di guasto osservati $t_1, t_2, \dots, t_n$.



Passaggio 4: Massimizzazione della verosimiglianza

Il passo successivo è massimizzare la funzione di verosimiglianza per ottenere la stima del parametro λ . Per semplicità, possiamo utilizzare la **log-verosimiglianza**, che è il logaritmo della funzione di verosimiglianza:

$$\ell(\lambda \mid t_1, t_2, \dots, t_n) = \sum_{i=1}^n \log(\lambda) - \lambda \sum_{i=1}^n t_i$$

Per trovare il valore di λ che massimizza la log-verosimiglianza, deriviamo l'espressione rispetto a λ e la uguagliamo a zero:

$$\frac{d}{d\lambda} \ell(\lambda \mid t_1, t_2, \dots, t_n) = \frac{n}{\lambda} - \sum_{i=1}^n t_i = 0$$

Da qui, otteniamo la **stima di massima verosimiglianza** per λ :

$$\hat{\lambda} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i}$$

Questa è la stima del tasso di guasto basata sui dati osservati.

Passaggio 5: Valutazione del rischio

Ora che abbiamo la stima di λ , possiamo calcolare il **rischio di guasto** della macchina entro un certo periodo di tempo T . La probabilità che la macchina si guasti entro T è data dalla funzione di ripartizione della distribuzione esponenziale:

$$P(\text{guasto entro } T) = 1 - e^{-\hat{\lambda}T}$$

Questa probabilità rappresenta il rischio di guasto della macchina entro il tempo T , dato il tasso di guasto stimato $\hat{\lambda}$.

L'accento circonflesso (o "cappello") sopra un simbolo è un modo convenzionale per indicare che si tratta di una **stima puntuale** o di una **stima basata sui dati campionari** di quel parametro.



Utilizzo della verosimiglianza in altri contesti di valutazione del rischio

Vantaggi dell'uso della funzione di verosimiglianza nella valutazione del rischio

1. **Stime basate sui dati:** La funzione di verosimiglianza permette di stimare i parametri di un modello probabilistico **direttamente dai dati osservati**, senza dover fare assunzioni forti sui parametri stessi.
2. **Flessibilità:** Può essere applicata a una vasta gamma di modelli probabilistici, dai modelli per il tempo di guasto a quelli per eventi estremi o per la diffusione di malattie.
3. **Inferenza statistica:** Utilizzando la massima verosimiglianza, si ottengono **stime ottimali** dei parametri del modello, che possono essere utilizzate per fare previsioni sul rischio futuro.
4. **Test di ipotesi:** La verosimiglianza consente anche di confrontare diversi modelli di rischio tramite test statistici, come il test del rapporto di verosimiglianza, che permette di determinare quale modello descrive meglio i dati.

Conclusione

La **funzione di verosimiglianza** è uno strumento estremamente utile nella valutazione del rischio, specialmente quando il rischio è descritto tramite modelli probabilistici e si dispone di dati osservati. Applicando la **massima verosimiglianza** ai dati, è possibile stimare i parametri di questi modelli e, di conseguenza, quantificare il rischio di eventi futuri. Questo approccio trova applicazioni in vari campi, come l'analisi di affidabilità, la finanza, l'epidemiologia e la gestione del rischio industriale.



Esempio: Valutazione del Rischio di Guasto di una Pressa Meccanica

Consideriamo una **pressa meccanica** che viene utilizzata per produrre componenti metallici. Uno degli aspetti critici in questo contesto è la **continuità operativa** del macchinario: il rischio che la macchina si guasti può avere impatti significativi sulla produzione. Vogliamo utilizzare i dati storici per stimare il **tempo medio tra i guasti** (Mean Time Between Failures, MTBF) e quantificare il rischio di guasto nel futuro.

Passo 1: Raccolta dei Dati

Supponiamo di avere dati storici sul **tempo di funzionamento tra i guasti** per la pressa meccanica. I dati raccolti sono i seguenti (in ore):

- $t_1=150$ ore
- $t_2=200$ ore
- $t_3=175$ ore
- $t_4=220$ ore
- $t_5=180$ ore

Questi tempi rappresentano la durata di funzionamento della pressa tra un guasto e l'altro.

Passo 2: Modello Probabilistico

Per modellare il tempo tra i guasti, assumiamo che il comportamento del guasto della macchina segua una **distribuzione esponenziale**. Questa è una scelta comune per modellare il tempo di guasto di apparecchiature quando i guasti si verificano in modo casuale e indipendente.

La funzione di densità di probabilità (PDF) per la distribuzione esponenziale è:

$$f(t | \lambda) = \lambda e^{-\lambda t}$$



dove:

t è il tempo di funzionamento tra i guasti.

λ è il **tasso di guasto** (ovvero, il numero medio di guasti per unità di tempo). Questo è il parametro che vogliamo stimare.

Passo 3: Funzione di Verosimiglianza

La **funzione di verosimiglianza** per stimare il parametro λ basata sui dati osservati (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) è il prodotto delle probabilità di osservare ciascun valore:

$$L(\lambda \mid t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) = \prod_{i=1}^5 \lambda e^{-\lambda t_i} = \lambda^5 e^{-\lambda(t_1+t_2+t_3+t_4+t_5)}$$

Passo 4: Log-Verosimiglianza

Per semplificare i calcoli, lavoriamo con la **log-verosimiglianza**:

$$\ell(\lambda \mid t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) = 5 \log(\lambda) - \lambda \sum_{i=1}^5 t_i$$

$$\ell(\lambda \mid t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) = 5 \log(\lambda) - \lambda(150 + 200 + 175 + 220 + 180)$$

$$\ell(\lambda \mid t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) = 5 \log(\lambda) - \lambda \times 925$$



Passo 5: Massimizzazione della Log-Verosimiglianza

Per trovare la stima di **massima verosimiglianza** del parametro λ deriviamo la log-verosimiglianza rispetto a λ e la uguagliamo a zero:

$$\begin{aligned}\frac{d\ell(\lambda)}{d\lambda} &= \frac{5}{\lambda} - 925 = 0 \\ 5 &= 925\lambda \\ \hat{\lambda} &= \frac{5}{925} \approx 0.0054 \text{ guasti/ora}\end{aligned}$$

Passo 6: Interpretazione di λ e Calcolo del MTBF

Il parametro λ rappresenta il tasso di guasto. Possiamo anche calcolare il **tempo medio tra i guasti** (MTBF), che è l'inverso di λ :

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{1}{0.0054} \approx 185 \text{ ore}$$

MTBF (Mean Time Between Failures)

Questo significa che, in media, ci aspettiamo che la pressa meccanica funzioni per circa **185 ore** tra un guasto e l'altro.



Passo 7: Valutazione del Rischio di Guasto

Ora possiamo utilizzare la stima di λ per calcolare il rischio di guasto della pressa meccanica in un determinato intervallo di tempo futuro. Ad esempio, vogliamo calcolare la probabilità che la macchina si guasti entro le prossime $T=100$ ore.

La probabilità che la macchina si guasti entro un certo tempo T è data dalla funzione di ripartizione cumulativa (CDF) della distribuzione esponenziale:

$$P(\text{guasto entro } T) = 1 - e^{-\lambda T}$$

Sostituendo il valore stimato di λ :

$$P(\text{guasto entro 100 ore}) = 1 - e^{-0.0054 \times 100}$$

$$P(\text{guasto entro 100 ore}) = 1 - e^{-0.54} \approx 1 - 0.583 = 0.417$$

Quindi, la probabilità che la pressa meccanica si guasti entro le prossime **100 ore** è circa **41,7%**.

Conclusioni sull'Utilizzo della Verosimiglianza nella Valutazione del Rischio

- **Stima Parametrica:** Utilizzando la funzione di verosimiglianza, siamo stati in grado di stimare il tasso di guasto λ della macchina, basandoci sui dati storici. Questo ci ha permesso di calcolare il tempo medio tra i guasti (MTBF) e valutare il rischio di un guasto futuro.
- **Quantificazione del Rischio:** La stima della verosimiglianza ci consente di **quantificare** il rischio di guasto della macchina entro un determinato intervallo di tempo. Questo è molto utile per la pianificazione della **manutenzione preventiva** e per la gestione della produzione.
- **Supporto alla Decisione:** Conoscere il rischio di guasto permette al management di prendere decisioni informate su quando intervenire con la manutenzione, pianificare gli interventi di manutenzione preventiva o di sostituire componenti critici del macchinario.

Applicazione Pratica nel Settore Metalmeccanico

In un contesto industriale reale, questi calcoli possono aiutare a **ottimizzare il ciclo di vita delle attrezzature**, **migliorare la sicurezza degli operatori** (riducendo la probabilità di guasti inaspettati e quindi potenziali incidenti), e **massimizzare l'efficienza produttiva** riducendo i tempi di inattività. La funzione di verosimiglianza fornisce un metodo statistico rigoroso per trasformare i dati storici di guasto in informazioni pratiche per la gestione del rischio.



La **valutazione del rischio con il metodo delle conseguenze** è una tecnica utilizzata per analizzare e gestire i rischi in contesti di sicurezza, project management o altre aree di interesse, considerando in modo specifico le **conseguenze** che un determinato rischio potrebbe avere. Questo metodo si concentra non tanto sulla probabilità di un evento rischioso, ma sull'impatto che potrebbe generare se si verificasse.

Fasi del metodo delle conseguenze

1. Identificazione del rischio:

Il primo passo consiste nell'individuare i rischi o gli eventi potenzialmente pericolosi. Si identificano tutte le possibili situazioni che potrebbero portare a conseguenze negative.

2. Valutazione delle conseguenze:

Una volta individuati i rischi, si valuta il **tipo di conseguenze** che potrebbero verificarsi se il rischio si concretizzasse. Le conseguenze possono essere classificate in base alla loro gravità o entità, come ad esempio:

Conseguenze lievi: danni minimi o irrilevanti.

Conseguenze moderate: danni che richiedono interventi, ma che non comportano perdite significative.

Conseguenze gravi: danni importanti che possono coinvolgere gravi perdite economiche, danni ambientali o compromissioni della sicurezza.

Conseguenze catastrofiche: effetti di vasta portata che possono coinvolgere perdite di vite umane, distruzioni massicce o fallimenti operativi.

3. Classificazione della gravità delle conseguenze:

Si assegna una valutazione numerica o qualitativa alle conseguenze (ad esempio, da 1 a 5, dove 1 rappresenta una conseguenza lieve e 5 una conseguenza catastrofica). Questa classificazione è utile per ordinare i rischi in base alla loro potenziale gravità.

4. Valutazione della probabilità:

Anche se il metodo delle conseguenze si focalizza sull'impatto, spesso si considera comunque la **probabilità** che l'evento si verifichi. Questo consente di creare una **matrice di rischio**, dove vengono incrociate probabilità e conseguenze per avere una visione complessiva del rischio.



5. Matrice del rischio (facoltativo):

Una volta valutate conseguenze e probabilità, si può costruire una matrice del rischio, dove si associano le due dimensioni (probabilità e conseguenze) per identificare i rischi più gravi e prioritari.

6. Azioni di mitigazione:

Infine, si pianificano le azioni per mitigare i rischi che presentano conseguenze significative. Queste azioni possono ridurre la gravità delle conseguenze, la probabilità dell'evento o entrambe.

Vantaggi del metodo delle conseguenze

Focalizzazione sull'impatto: È particolarmente utile in situazioni in cui è più importante considerare l'entità del danno che la probabilità dell'evento.

Gestione delle emergenze: Viene spesso utilizzato per gestire scenari ad alto impatto (ad esempio, disastri naturali, incidenti industriali) dove il focus principale è su come ridurre i danni, piuttosto che sulla prevenzione dell'evento.

Chiarezza e semplicità: Permette di classificare i rischi in modo intuitivo, aiutando a prendere decisioni rapide basate sull'entità delle conseguenze.

Esempio pratico

In una fabbrica, potrebbe essere identificato il rischio di incendio. Se l'incendio si verificasse:

- Le **conseguenze lievi** potrebbero essere limitate a danni minori alle attrezzature senza feriti.
- Le **conseguenze gravi** potrebbero includere la distruzione di una parte dello stabilimento e danni agli operai.
- Le **conseguenze catastrofiche** potrebbero comportare la distruzione dell'intero sito e la perdita di vite umane.

Questo approccio permette di concentrare gli sforzi di prevenzione sugli scenari con conseguenze più gravi.



Esempio: Rischio di infortunio durante l'uso di una pressa meccanica

1. Identificazione del rischio:

Il rischio identificato è un **potenziale infortunio** durante l'uso di una pressa meccanica in una fabbrica metalmeccanica. Questo tipo di macchinario, utilizzato per lavorare metalli, può causare seri infortuni agli operatori se non utilizzato correttamente o se ci sono malfunzionamenti.

2. Valutazione delle conseguenze:

Le conseguenze di un infortunio con la pressa possono variare in gravità:

- **Conseguenze lievi:** Ferite superficiali come tagli o contusioni che possono essere trattati con il pronto soccorso aziendale senza conseguenze a lungo termine.
- **Conseguenze moderate:** Fratture o lesioni agli arti che richiedono cure mediche, ma senza perdita permanente di capacità lavorative.
- **Conseguenze gravi:** Lesioni gravi agli arti, come l'amputazione di un dito o una mano, con conseguente disabilità parziale o temporanea.
- **Conseguenze catastrofiche:** Morte o lesioni irreversibili, come la perdita di un arto, che compromettono gravemente la qualità della vita e la capacità di lavorare.

3. Classificazione della gravità delle conseguenze:

Si assegna una scala di gravità alle conseguenze:

- Conseguenze lievi = 1
- Conseguenze moderate = 2
- Conseguenze gravi = 4
- Conseguenze catastrofiche = 5



4. Valutazione della probabilità:

Si valuta la probabilità che un infortunio si verifichi durante l'uso della pressa. Questo può essere basato su dati storici aziendali o rapporti sull'affidabilità del macchinario:

Probabilità bassa: L'infortunio si verifica in meno dello 0,5% dei casi, grazie all'uso corretto della macchina e a misure di sicurezza adeguate (pulsanti di emergenza, barriere protettive).

Probabilità media: L'infortunio si verifica tra lo 0,5% e il 2% dei casi, dovuto a un'eventuale mancanza di attenzione degli operatori o a usura della macchina.

Probabilità alta: L'infortunio si verifica in oltre il 2% dei casi, per mancanza di manutenzione o per una formazione inadeguata degli operatori.

5. Matrice del rischio:

A questo punto, si può costruire una matrice del rischio per incrociare la **gravità delle conseguenze** con la **probabilità**:

Gravità/Probabilità	Bassa	Media	Alta
Lieve (1)	1	2	3
Moderata (2)	2	3	4
Grave (4)	4	6	8
Catastrofica (5)	5	7	10

Esempio di interpretazione della matrice:

Un rischio con conseguenze catastrofiche e probabilità alta ha un valore di rischio pari a 10 (massima priorità per le azioni di mitigazione).

Un rischio con conseguenze lievi e probabilità bassa ha un valore pari a 1 (rischio minimo).



6. Azioni di mitigazione:

Una volta completata la valutazione del rischio, si pianificano azioni per mitigare i rischi con conseguenze più gravi e probabilità più alte:

Misure preventive:

- Installazione di **barriere di sicurezza** attorno alla pressa per evitare che l'operatore possa avvicinarsi alle parti mobili mentre la macchina è in funzione.
- **Pulsanti di emergenza** accessibili che permettono di bloccare immediatamente la macchina in caso di malfunzionamento o incidente.
- **Sensori di presenza** che bloccano la pressa se rilevano la presenza di mani o arti vicino alle parti pericolose.

Manutenzione regolare: Programmare interventi di manutenzione preventiva per assicurarsi che il macchinario sia sempre in perfette condizioni operative.

Formazione degli operatori: Offrire una formazione continua e obbligatoria per l'uso sicuro della macchina, incluse simulazioni di emergenza e istruzioni sull'uso corretto dei dispositivi di sicurezza.

Pianificazione delle emergenze: Implementare procedure chiare per l'evacuazione e la gestione degli infortuni, in modo che gli operatori sappiano cosa fare in caso di incidente.

Conclusione:

In questo esempio, il metodo delle conseguenze permette di dare priorità ai rischi con conseguenze **gravi o catastrofiche**. Di conseguenza, l'azienda si focalizza su **misure preventive robuste**, come l'installazione di sistemi di sicurezza sulla pressa meccanica, la manutenzione costante e la formazione del personale. I rischi più gravi, come l'amputazione o la morte, sono quelli che



La **valutazione del rischio con il metodo Safety Review** è una tecnica di analisi dei rischi utilizzata prevalentemente in settori ad alta intensità tecnologica o con requisiti di sicurezza stringenti, come l'industria chimica, petrolchimica, metalmeccanica o aerospaziale. Questo metodo si basa su una **revisione sistematica** delle operazioni, dei processi e delle attrezzature per identificare i rischi e definire le misure di controllo necessarie per prevenirli o mitigarli.

Obiettivo del metodo Safety Review

L'obiettivo della **Safety Review** è identificare e valutare i rischi presenti in un processo o in un sistema complesso, ponendo particolare attenzione alla conformità normativa e alla sicurezza operativa. Si concentra sull'individuazione di difetti, anomalie o vulnerabilità che potrebbero compromettere la sicurezza e su come correggerli in modo preventivo.

Fasi del metodo Safety Review

1. Formazione del team di revisione:

Il primo passo consiste nel creare un team multidisciplinare che includa esperti di sicurezza, operatori esperti, tecnici di manutenzione e responsabili di processo. La diversità di competenze è cruciale per garantire una revisione completa e accurata.

2. Raccolta delle informazioni:

Si raccolgono tutte le informazioni rilevanti sui processi o sugli impianti, come diagrammi di flusso, layout delle attrezzature, procedure operative standard (SOP), manuali di manutenzione, incidenti precedenti e report di audit. Questi dati permettono di avere una panoramica dettagliata del sistema da esaminare.

3. Identificazione dei rischi:

Durante la revisione, il team analizza il sistema o il processo in questione per individuare potenziali rischi. Questo include:

- **Condizioni pericolose** (ad esempio, aree dove i lavoratori sono esposti a temperature elevate, macchinari non protetti, sostanze chimiche pericolose).
- **Errori procedurali** (procedure operative che possono essere eseguite in modo non sicuro).
- **Guasti tecnici** (macchine soggette a guasti, dispositivi di sicurezza inadeguati).
- **Cause esterne** (ad esempio, rischi ambientali o naturali come incendi, allagamenti, terremoti).



4. Analisi dei rischi:

Una volta identificati i rischi, il team valuta sia le **conseguenze** di ciascun rischio che la **probabilità** che si verifichi. Viene utilizzata una metodologia simile a quella delle **matrici di rischio**, dove i rischi sono classificati in base alla loro gravità e probabilità.

5. Revisione della conformità normativa:

Il team verifica anche la **conformità** del processo o del sistema rispetto alle normative di sicurezza locali, nazionali e internazionali. Questo include le regolamentazioni in tema di salute e sicurezza sul lavoro (es. OSHA, ISO, EN) e standard specifici del settore (come ATEX per atmosfere esplosive).

4. Individuazione delle misure di controllo:

Per ogni rischio identificato, il team stabilisce le **misure di controllo** da implementare. Queste misure possono essere:

- **Prevenzione:** modifiche al processo o all'equipaggiamento per eliminare la fonte del rischio.
- **Protezione:** installazione di dispositivi di sicurezza come barriere fisiche, allarmi o interruttori di emergenza.
- **Procedure operative:** miglioramento delle procedure per garantire che le operazioni siano condotte in modo sicuro, compresa la formazione del personale.
- **Manutenzione preventiva:** implementazione di piani di manutenzione regolari per ridurre la probabilità di guasti.

5. Documentazione dei risultati:

Al termine della revisione, viene redatto un report dettagliato che descrive i rischi identificati, le loro cause, le conseguenze, le misure di controllo suggerite e le responsabilità per la loro implementazione. Questo report serve come base per l'implementazione delle azioni correttive e per il monitoraggio dei rischi nel tempo.

6. Follow-up e monitoraggio:

Dopo l'implementazione delle misure di controllo, è fondamentale eseguire un **follow-up** per verificare l'efficacia delle azioni intraprese. Il monitoraggio continuo assicura che i rischi restino sotto controllo e che eventuali modifiche nel processo vengano riviste in termini di sicurezza.



Esempio pratico: Industria metalmeccanica - Revisione di una linea di saldatura robotizzata

1. Formazione del team:

Il team è composto da un ingegnere di sicurezza, un operatore della linea, un tecnico manutentore e un responsabile di produzione.

2. Raccolta delle informazioni:

Si raccolgono i manuali di funzionamento della macchina di saldatura robotizzata, i diagrammi di flusso della linea di produzione, i dati sugli incidenti passati e le procedure operative standard.

3. Identificazione dei rischi:

Il team individua diversi potenziali rischi, tra cui:

Rischi fisici: L'operatore potrebbe entrare nell'area di saldatura del robot senza che quest'ultimo si fermi, rischiando di essere colpito dal braccio meccanico.

Rischi elettrici: Possibilità di corto circuito durante la manutenzione, con potenziale esposizione a scosse elettriche.

Fumo e gas tossici: Rilascio di fumi di saldatura che potrebbero non essere adeguatamente aspirati, esponendo i lavoratori a sostanze nocive.

4. Analisi dei rischi:

Il rischio di ingresso non autorizzato nell'area di saldatura è classificato come **grave** con una probabilità **media**.

Il rischio di fumi tossici è classificato come **moderato** con una probabilità **alta** a causa di un sistema di ventilazione non ottimale.

5. Revisione della conformità normativa:

Il team verifica che l'attuale sistema di saldatura rispetti le normative ISO e OSHA in tema di dispositivi di sicurezza (sensori di presenza, barriere fisiche) e protezione dei lavoratori dai fumi tossici.

6. Individuazione delle misure di controllo:

Per il rischio fisico: Si installano barriere fisiche attorno all'area di saldatura e sensori di movimento per fermare automaticamente il robot se un operatore si avvicina troppo.

Per il rischio di fumi tossici: Si migliora il sistema di aspirazione, garantendo che i fumi siano raccolti e filtrati in modo efficace.

7. Documentazione dei risultati:

Il team redige un report dettagliato che documenta i rischi identificati, le loro conseguenze e le misure correttive suggerite. Si assegnano responsabilità precise per la messa in atto delle modifiche.

8. Follow-up e monitoraggio:

Dopo l'installazione delle barriere e del sistema di aspirazione, il team esegue controlli periodici per verificare l'efficacia dei dispositivi di sicurezza e raccoglie feedback dagli operatori.

Conclusione

Il metodo Safety Review permette di identificare, analizzare e gestire i rischi in modo sistematico, prevenendo incidenti e garantendo che le operazioni siano sicure e conformi alle normative. Nell'industria metalmeccanica, questo approccio aiuta a evitare infortuni legati a macchinari complessi come saldatrici robotizzate o altre apparecchiature pesanti, migliorando sia la sicurezza che l'efficienza operativa.



CARATTERISTICHE

Consiste essenzialmente nel **controllo degli aspetti tecnici e/o operativi di un impianto** sotto l'aspetto della sicurezza eseguita da un gruppo di **esperti in chiave di brainstorming**; comprende generalmente una serie di interviste rivolte al personale presente all'interno dell'impianto quali lo staff della sicurezza, gli ingegneri, gli addetti all'amministrazione e altri operatori a seconda del tipo di organizzazione.

E' generalmente adottata in fase di progettazione.

VANTAGGI

Questo metodo risulta **molto efficace nell'impiego dell'esperienza ingegneristica**, in quanto, basandosi sul contributo di più gruppi di persone nell'ambito dello stesso impianto, dà la possibilità di ottenere un controllo particolareggiato sotto vari punti di vista.

SVANTAGGI

Non è garante né di completezza né di sistematicità, inoltre, essendo utilizzata soprattutto in fase di progettazione, non prende in considerazione i rischi probabili legati per esempio all'ingrandimento dell'impianto o all'utilizzo di nuove tecnologie.

APPLICAZIONE

Il ricorso a questa **metodologia è relativamente frequente** ed in particolare si applica ai processi operativi degli impianti ma anche ai laboratori, alle attrezzature di immagazzinamento, agli impianti pilota e alle funzioni di supporto.

Una analisi completa di questo genere richiede un gruppo di 2-5 persone esperte.

COMMENTI

Le persone designate per l'effettuazione della revisione **devono avere una buona esperienza in procedure e modelli di sicurezza** e hanno il compito di stendere un rapporto finale che includa tutte le variazioni dei procedimenti rispetto a quanto pianificato in origine. Raramente il procedimento e i risultati sono formalizzati. Nel corso della revisione possono essere utilizzate tecniche di valutazione dei rischi quali "Checklists" e "What-if".



L'**AHP** (Analytic Hierarchy Process, o **Processo Gerarchico Analitico**) è un **metodo strutturato e quantitativo** utilizzato per l'**analisi del rischio** e il **processo decisionale**. È particolarmente utile quando le decisioni coinvolgono criteri multipli e quando c'è bisogno di considerare aspetti sia qualitativi che quantitativi. L'AHP è stato sviluppato da Thomas Saaty negli anni '70 ed è ampiamente utilizzato in molti campi, tra cui gestione del rischio, project management, pianificazione strategica e ingegneria.

Obiettivo dell'AHP

L'obiettivo dell'AHP è fornire un framework sistematico per prendere decisioni complesse, **suddividendo il problema in una gerarchia di criteri e sottocriteri**. Attraverso confronti a coppie tra questi elementi, l'AHP consente di assegnare pesi relativi a ciascun criterio, facilitando la scelta della migliore alternativa in base agli obiettivi prefissati.

Struttura dell'AHP

L'AHP suddivide il problema decisionale in una struttura gerarchica composta da tre livelli principali:

- **Obiettivo:** il fine ultimo della decisione.
 - **Criteri e sottocriteri:** i fattori che influenzano la decisione, che possono essere suddivisi ulteriormente in sottocriteri più specifici.
 - **Alternative:** le opzioni che vengono confrontate per determinare quale sia la migliore in base ai criteri.
- Ogni livello è collegato a quello superiore in modo gerarchico. Ad esempio, i criteri influenzano il raggiungimento dell'obiettivo, e le alternative vengono valutate rispetto a tali criteri.



Definizione del problema e costruzione della gerarchia:

- Il primo passo consiste nel definire chiaramente il problema da risolvere e creare una gerarchia che includa l'obiettivo principale, i criteri di valutazione e le alternative. La gerarchia deve rappresentare tutte le componenti chiave che influenzano la decisione.

Confronto a coppie:

- Gli elementi in ciascun livello della gerarchia (criteri, sottocriteri e alternative) vengono confrontati a coppie rispetto al livello superiore. Ad esempio, se abbiamo tre criteri, verranno eseguiti confronti di ciascun criterio rispetto agli altri due, esprimendo il grado di preferenza di uno rispetto all'altro. I confronti sono generalmente fatti su una scala da 1 a 9:

1: i due elementi sono ugualmente importanti.

3: uno è moderatamente più importante dell'altro.

5: uno è fortemente più importante dell'altro.

7: uno è molto fortemente più importante.

9: uno è estremamente più importante.

Valori intermedi (2, 4, 6, 8) rappresentano situazioni di preferenza intermedia.

Creazione della matrice dei confronti:

- I confronti a coppie vengono inseriti in una matrice di confronto a coppie. Nella matrice, gli elementi vengono confrontati l'uno con l'altro e i risultati del confronto sono posizionati in corrispondenza delle righe e delle colonne della matrice.

Giudizi Linguistici	Grado di importanza o verosimiglianza
Ugualmente importante/verosimile	1
Moderatamente più importante/verosimile	3
Sensibilmente più importante/verosimile	5
Molto più importante/verosimile	7
Estremamente più importante/verosimile	9
Valori intermedi possono venire utilizzati per generare ulteriori livelli di discriminazione	
Scala numerico-linguistica	



Calcolo dei pesi relativi:

Viene calcolato il **peso relativo** di ciascun criterio o alternativa utilizzando metodi matematici (ad esempio, il calcolo del vettore autovettoriale della matrice). I pesi rappresentano l'importanza relativa di ciascun criterio o alternativa rispetto agli altri.

Verifica di coerenza:

Uno degli aspetti chiave dell'AHP è la **consistency ratio** (CR), che misura quanto i confronti a coppie siano coerenti tra loro. Il metodo di Saaty include una procedura per verificare se i confronti a coppie sono stati fatti in modo logico e coerente. Se il CR è troppo alto (solitamente sopra 0,1), i confronti a coppie potrebbero essere incoerenti, e sarà necessario riesaminare la valutazione.

Le informazioni derivanti dal confronto a coppie, che forniscono l'importanza relativa tra gli elementi, vengono organizzate in una struttura a matrice (A) ed utilizzate per ottenere i pesi di priorità assoluti (il vettore W) che verranno usati per calcolare la classifica globale delle alternative.

A tal fine si utilizza il *metodo dell'autovalore* (Saaty, 1980).
Data la matrice A, della forma

$$\begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & \dots & & & & \\ & & 1 & & a_{ij} & \\ & & & \dots & & \\ & & 1/a_{ij} & & 1 & \\ & & & & & \dots \\ & & & & & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_i \\ w_j \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = AW$$



Calcolo dei punteggi finali:

I pesi relativi dei criteri vengono utilizzati per calcolare un punteggio aggregato per ciascuna alternativa. Questi punteggi vengono poi utilizzati per determinare quale alternativa è la migliore in base all'obiettivo definito.

Selezione dell'alternativa ottimale:

L'alternativa con il punteggio più alto viene scelta come soluzione ottimale per il problema.

Esempio di AHP nell'analisi del rischio

Immaginiamo di dover effettuare una valutazione del rischio per scegliere il fornitore di materiali per una fabbrica. L'obiettivo è minimizzare i rischi legati alla catena di approvvigionamento. I criteri di valutazione sono: **affidabilità, costo, qualità dei materiali e tempi di consegna**. Le alternative sono tre fornitori diversi: A, B e C.

Passaggio 1: Creazione della gerarchia

Obiettivo: Selezionare il fornitore con il minor rischio complessivo.

Criteri:

- Affidabilità
- Costo
- Qualità dei materiali
- Tempi di consegna

Alternative:

- Fornitore A
- Fornitore B
- Fornitore C



Passaggio 2: Confronti a coppie

I membri del team di valutazione confrontano i criteri tra loro a coppie, decidendo ad esempio quanto l'affidabilità è più importante rispetto al costo, alla qualità dei materiali o ai tempi di consegna. Questo viene fatto anche per le alternative, rispetto a ciascun criterio.

Confronto tra criteri	Affidabilità	Costo	Qualità	Tempi di consegna
Affidabilità	1	3	5	7
Costo	1/3	1	2	4
Qualità	1/5	1/2	1	3
Tempi di consegna	1/7	1/4	1/3	1

Questo confronto suggerisce che l'affidabilità è il criterio più importante, seguito dal costo, dalla qualità e infine dai tempi di consegna.

Passaggio 3: Creazione della matrice dei confronti a coppie

Ogni criterio e alternativa viene inserito nella matrice dei confronti. Ad esempio, per il criterio "affidabilità", i fornitori A, B e C vengono confrontati a coppie.

Passaggio 4: Calcolo dei pesi relativi

I confronti a coppie vengono utilizzati per calcolare il peso relativo di ciascun criterio. Questi pesi rappresentano quanto ciascun criterio contribuisce all'obiettivo complessivo.



il **metodo dell'autovalore** é viene utilizzato all'interno del processo per **calcolare i pesi relativi** di ciascun criterio o alternativa. Più precisamente, il calcolo dei pesi nella matrice di confronto a coppie viene effettuato tramite l'utilizzo del **vettore autovettore** principale associato all'**autovalore massimo** della matrice. Vediamo in che modo avviene questo passaggio.

Collegamento tra AHP e metodo dell'autovalore

Quando si usa il metodo AHP, le valutazioni dei confronti a coppie tra i criteri o le alternative vengono raccolte in una **matrice quadrata**. Ogni elemento della matrice rappresenta la preferenza relativa tra due criteri. Ad esempio, la matrice di confronto a coppie per tre criteri può essere del tipo:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

Dove:

- Ogni elemento a_{ij} rappresenta quanto il criterio i è più importante del criterio j .
- Gli elementi sulla diagonale principale della matrice sono sempre 1 (perché ogni criterio è uguale a se stesso).
- Gli elementi della matrice sono reciprocali rispetto alla diagonale, ovvero $a_{ij} = 1/a_{ji}$.



Autovalori e Autovettori

Per determinare i **pesi relativi** di ciascun criterio (ovvero quanto ciascun criterio contribuisce all'obiettivo), è necessario trovare il **vettore autovettore principale** associato all'**autovalore massimo** della matrice dei confronti.

Il processo in sintesi è:

Calcolo del vettore autovettore principale:

- Si calcola l'**autovalore** massimo della matrice dei confronti a coppie. L'autovalore massimo è quello che meglio rappresenta la coerenza e l'importanza complessiva dei confronti.
- Viene calcolato l'**autovettore** corrispondente a questo autovalore massimo. L'autovettore viene poi normalizzato (ovvero, i suoi elementi sono resi tali che la somma sia pari a 1) per rappresentare i **pesi relativi**.

Determinazione dei pesi:

- Gli elementi del vettore autovettore principale normalizzato rappresentano i pesi relativi di ciascun criterio o alternativa. Questo vettore riflette la priorità di ogni criterio rispetto all'obiettivo complessivo.

Utilizzo dell'autovalore per la coerenza:

- L'autovalore massimo è anche utilizzato per calcolare il rapporto di consistenza (CR) dell'AHP. Questo rapporto viene usato per verificare la coerenza dei giudizi a coppie effettuati dagli esperti. Se la coerenza è troppo bassa, è un segnale che i confronti potrebbero essere stati incoerenti o contraddittori, e potrebbe essere necessario ripeterli.



Un esempio pratico di calcolo dei pesi usando gli autovalori

Supponiamo di avere una matrice di confronto a coppie come quella a lato:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ \frac{1}{3} & 1 & 2 \\ \frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 1 \end{bmatrix}$$

Per trovare i pesi relativi:

Calcolo degli autovalori e degli autovettori:

- È possibile utilizzare metodi matematici per calcolare gli autovalori e gli autovettori di questa matrice.
- Dato che la matrice non è simmetrica, la soluzione esatta può richiedere strumenti di algebra lineare, come l'uso del **metodo delle potenze** per trovare l'autovalore dominante.

Autovalore massimo e vettore autovettore:

- Dall'autovalore massimo, si può ottenere un autovettore.
- L'autovettore viene poi normalizzato, dividendo ciascun elemento per la somma degli elementi dell'autovettore, per rappresentare i pesi relativi di ciascun criterio. Questi pesi indicano la priorità relativa di ciascun criterio.



Passaggio 5: Verifica della coerenza

Si verifica se i confronti sono coerenti utilizzando il rapporto di consistenza. Se il CR è accettabile (inferiore a 0,1), si può procedere. Altrimenti, i confronti devono essere rivisti.

L'autovalore massimo $\lambda_{\max}$ viene anche usato per calcolare l'**Indice di Coerenza (CI)** e il **Rapporto di Coerenza (CR)**:

L'**Indice di Coerenza (CI)** è calcolato come:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

dove n è il numero di criteri.

- Il **Rapporto di Coerenza (CR)** è ottenuto confrontando il CI con un valore di riferimento chiamato **Indice di Coerenza Casuale (RI)**:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Se CR è minore di 0,1, i confronti sono considerati sufficientemente coerenti. Altrimenti, bisogna riesaminare i confronti.

Se CR è minore di 0,1, i confronti sono considerati sufficientemente coerenti. Altrimenti, bisogna riesaminare i confronti.

Riassumendo

Il **metodo degli autovalori è centrale nell'AHP** perché viene utilizzato per determinare i **pesi relativi** attraverso il **calcolo dell'autovalore massimo** e del corrispondente **autovettore** della matrice dei confronti a coppie.

Questo permette di **quantificare** le preferenze e dare una misura numerica all'importanza di ciascun criterio o alternativa.

Inoltre, l'autovalore massimo è utilizzato per verificare la **coerenza** dei giudizi forniti, assicurandosi che non ci siano contraddizioni evidenti nei confronti eseguiti.

L'utilizzo degli **autovalori** nell'AHP offre quindi un modo rigoroso per sintetizzare preferenze soggettive in un processo decisionale strutturato e basato su **matematica lineare**. Questo aiuta a trasformare le preferenze qualitative in un insieme di numeri che possono essere utilizzati per prendere decisioni più consapevoli.



L'**Indice di Coerenza Casuale** (in inglese **Random Index**, abbreviato come **RI**) è un parametro utilizzato nel metodo **AHP (Analytic Hierarchy Process)** per valutare la **coerenza** dei giudizi che sono stati espressi durante il confronto a coppie dei criteri o delle alternative. L'RI viene utilizzato nel calcolo del **Rapporto di Coerenza (CR)** per stabilire se i confronti a coppie effettuati sono **coerenti** oppure se ci sono delle incongruenze che renderebbero necessaria una revisione.

L'**Indice di Coerenza Casuale (RI)** rappresenta un valore medio dell'**Indice di Coerenza (CI)** di matrici di confronto a coppie **generate casualmente**. In altre parole, l'RI indica quale sarebbe l'**Indice di Coerenza medio se una matrice di confronto a coppie fosse riempita in maniera completamente casuale, senza alcun criterio di coerenza o logica**.

L'RI è stato calcolato da Thomas Saaty (l'ideatore dell'AHP) tramite simulazioni su molteplici matrici di dimensioni differenti, create in modo casuale. L'obiettivo è stato di stabilire un valore di riferimento per capire quanto sia "naturale" o "normale" avere delle discrepanze nelle preferenze di una matrice di confronto, considerando che alcuni gradi di incoerenza sono inevitabili quando si effettua un grande numero di confronti.

Il valore di RI dipende dalla dimensione della matrice, ovvero dal numero di criteri (n). Maggiore è il numero di criteri da confrontare, maggiore sarà il valore di RI.

Questi valori rappresentano la coerenza media di una matrice generata casualmente con il rispettivo numero di criteri o alternative.

Tabella dei valori dell'Indice di Coerenza Casuale

Di seguito è riportata la tabella dei valori dell'RI per diverse dimensioni della matrice di confronto:

n (Dimensione della matrice)	RI
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49



L'Indice di Coerenza Casuale (RI) viene utilizzato per calcolare il **Rapporto di Coerenza (CR)**, che ci permette di determinare se i confronti a coppie sono **abbastanza coerenti** o se contengono **troppa incoerenza**.

Il Rapporto di Coerenza (CR) si calcola con la seguente formula:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Dove:

- CI (Indice di Coerenza) è dato dalla formula:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

- $\lambda_{\max}$ è l'autovalore massimo della matrice di confronto.
- n è la dimensione della matrice (ovvero il numero di criteri o alternative).
- RI è l'Indice di Coerenza Casuale, che varia in base alla dimensione della matrice come mostrato nella tabella sopra.

Interpretazione del Rapporto di Coerenza (CR)

Se **CR è minore o uguale a 0,1** ($CR \leq 0,1$), si considera che i confronti sono **abbastanza coerenti** e che la matrice può essere utilizzata per prendere decisioni.

Se **CR è maggiore di 0,1**, allora la matrice contiene **troppa incoerenza**. Questo suggerisce che i giudizi a coppie dovrebbero essere rivisti, in quanto ci sono delle contraddizioni significative che rendono le priorità assegnate poco affidabili.



Passaggio 6: Punteggi finali e selezione dell'alternativa

Infine, i punteggi di ciascuna alternativa vengono moltiplicati per i pesi dei criteri per ottenere il punteggio complessivo. Il fornitore con il punteggio più alto verrà scelto come l'opzione con il minor rischio complessivo.

Vantaggi dell'AHP

Sistematico e strutturato: L'AHP fornisce un quadro ben definito per affrontare decisioni complesse.

Considerazione di criteri multipli: Permette di prendere in considerazione più fattori simultaneamente.

Combina dati qualitativi e quantitativi: Integra giudizi soggettivi con dati oggettivi.

Verifica della coerenza: L'uso del CR garantisce che i giudizi soggettivi siano coerenti.

Limiti dell'AHP

- **Dipendenza dai giudizi soggettivi:** Sebbene strutturato, l'AHP si basa molto sui confronti soggettivi, che possono introdurre bias.
- **Complessità per problemi molto grandi:** Quando ci sono molti criteri e alternative, il numero di confronti a coppie può crescere esponenzialmente, rendendo l'AHP più complicato e dispendioso in termini di tempo.

L'AHP è particolarmente utile in contesti di gestione del rischio dove è necessario prendere decisioni ponderate e basate su più fattori, integrando criteri qualitativi e quantitativi in un unico processo sistematico.



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA

Prof. Claudio Pantanali, PhD

cpantanali@units.it

METODI ALTERNATIVI



Lo standard MIL-STD-882c (1993) individua un insieme di requisiti per la realizzazione di un **programma di sicurezza (System Safety Program)** con l'obiettivo di fornire specifiche progettuali e strumenti di controllo operativo, in grado di eliminare i pericoli individuati o, comunque, ridurre il rischio a livelli accettabili. La norma propone anche una metodologia semi-quantitativa per l'identificazione e la valutazione dei pericoli associati ad un generico sistema.

Modalità di Applicazione

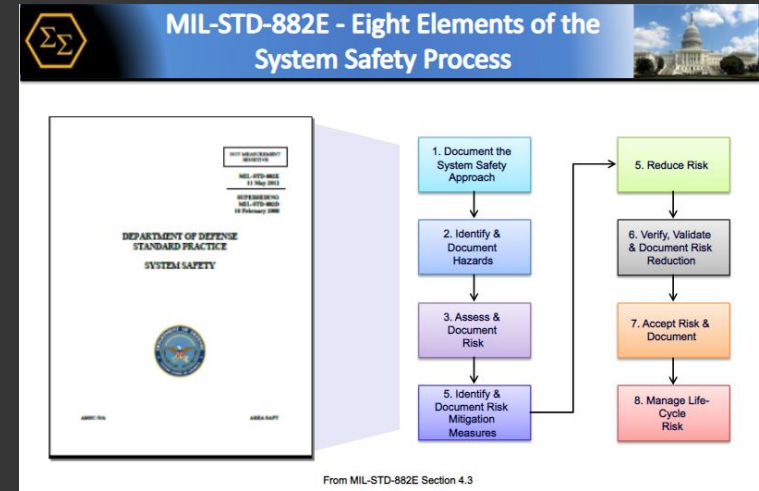
La valutazione del rischio si basa sulla stima, attraverso l'uso di opportune tabelle:

- della probabilità di accadimento (Tab.1.1);
- della gravità del danno (Tab. 1.2);

Il metodo di stima è particolarmente utile in tutte quelle situazioni, relativamente frequenti, in cui non siano disponibili dati quantitativi. Gli output di questa metodologia sono:

- una matrice di rischio (Hazard Assessment Matrix) (Tab. 1.3):
- un indice di rischio (Hazard Risk Index o HRI) attraverso il quale è possibile individuare le condizioni di maggior criticità (Tab. 1.4) e dare priorità agli interventi correttivi.

Ad oggi, è lo schema maggiormente utilizzato, anche in forme “personalizzate” dall'utilizzatore, in cui vengono di volta in volta modificate le scale di probabilità e gravità oppure i giudizi relativi ai diversi livelli di rischio.





Classe	Descrizione	Frequenza di accadimento	Possibile relazione con dati quantitativi
(A)Frequente	Probabilità di accadimenti frequenti	Alta	$>10^{-1}$
(B)Probabile	Accadimenti ripetuti	↓	$10^{-2} < p < 10^{-1}$
(C)Occasionale	Accadimenti limitati	Media	$10^{-3} < p < 10^{-2}$
(D)Remota	Improbabile ma possibile	↓	$10^{-6} < p < 10^{-3}$
(E)Improbabile	Nessun accadimento durante la vita del sistema	Bassa	$<10^{-6}$

Tabella 1. 1: Classi di probabilità di accadimento

Categoria	Nome	Descrizione
I	Catastrofico	-Morte -Perdita del sistema
II	Critico	-Infortunio grave -Danno grave al sistema
III	Marginale	-Infortunio lieve -Danno limitato al sistema
IV	Trascurabile	-Nessun infortunio -Nessun danno

Tabella 1. 2: Categorie di gravità del danno potenziale

Frequenza di Accadimento	Categorie di gravità			
	I Catastrofico	II Critico	III Marginale	IV Trascurabile
(A)Frequente	1A	2A	3A	4A
(B)Probabile	1B	2B	3B	4B
(C)Occasionale	1C	2C	3C	4C
(D)Remota	1D	2D	3D	4D
(E)Improbabile	1E	2E	3E	4E

Tabella 1. 3: Matrice di rischio

	Indice di rischio(HRI)	Criteri di azione
	I	Inaccettabile
	II	Indesiderabile(giudizio del management)
	III	Accettabile, controllo
	IV	Accettabile, monitoraggio

Tabella 1. 4: Determinazione dell'indice di rischio

MIL-STD-882 (Modified) Hazard Risk Matrix

Calibration Event
introduce a known event with established probability or severity to "calibrate" probability estimates, i.e. risk of death due to car accident during commute to work over 25 year working life.

Probability bins (over service life)

ID _{log}	Description	Individual	Fleet/Inventory	AIAA Threshold	Combinatorial probability
A ₆	Frequent	Occurs regularly	Continuously experienced.	$> 8 \times 10^{-2}$	3×10^{-1}
B ₅	Probable	Will occur several times in the life.	Occurs regularly.	$> 8 \times 10^{-3}$	3×10^{-2}
C ₄	Occasional	Unlikely but can reasonably expect to occur in life of item	Will occur several times in the fleets life.	$> 8 \times 10^{-4}$	3×10^{-3}
D ₃	Remote	Unlikely but possible in life of item.	Unlikely but can reasonably expect to occur in life of fleet.	$> 8 \times 10^{-5}$	3×10^{-4}
E ₂	Improbable	So unlikely it may not be experienced in life of item	Unlikely but possible in life of fleet.	$> 8 \times 10^{-6}$	3×10^{-5}
F ₁	Impossible	Virtually impossible to occur.	So unlikely it may not be experienced in life of fleet	$> 8 \times 10^{-7}$	3×10^{-6}

Corrected MIL-STD-882C example probability definitions with log scale and AIAA/SETC threshold and combinatorial probability index, fleet numbers will affect cumulative risk and should be used to calibrate likelihood.

Severity bins

ID _{log}	Description	Mission	Personnel	Equipment	Environment
I ₄	CATASTROPHIC	Loss of mission area capability no reversionary capability	Multiple deaths to single death	Total loss of system, > \$1M equipment damage.	Long-term (5 yrs or greater) damage or requiring >\$2M to correct and/or in penalties.
II ₃	CRITICAL	Significant degradation of mission area capability	Multiple severe injuries, to single. Greater than 2 weeks hospitalisation.	>\$250K to \$1M equipment damage.	Medium-term (1-5 yrs) damage or requiring \$500K-2M to correct and/or in penalties
III ₂	MARGINAL	Degradation of mission area	Multiple Minor injuries (OH&S reportable) to single minor injury.	\$1K to \$250K equipment damage.	Short-term (<1 yr) damage or requiring \$2K-\$500K to correct and/or in penalties
IV ₁	NEGLEGIBLE	Minor loss of mission functionality	No injury	< \$1K equipment damage.	Minor damage, readily repaired requiring < \$2K to correct and/or in penalties

MIL-STD-882C example severity definitions with log scale.

Hazard Risk Index Matrix

	Severity (log)			
Probability log	IV ₁	III ₂	II ₃	I ₄
A ₆ (Frequent)	10 ₍₇₎	6 ₍₆₎	3 ₍₅₎	1 ₍₄₎
B ₅ (Probable)	14 ₍₈₎	9 ₍₇₎	5 ₍₆₎	2 ₍₅₎
C ₄ (Occasional)	17 ₍₉₎	13 ₍₈₎	8 ₍₇₎	4 ₍₆₎
D ₃ (Remote)	19 ₍₉₎	16 ₍₉₎	12 ₍₈₎	7 ₍₇₎
E ₂ (Improbable)	20 ₍₉₎	18 ₍₉₎	15 ₍₈₎	11 ₍₈₎
F ₁ (Impossible)	21 ₍₉₎	21 ₍₉₎	21 ₍₉₎	21 ₍₉₎

MIL-STD-882C risk acceptance curves corrected to log scale

Risk treatment

Risk Zone	Risk treatment	Decision maker
1-6 High	Intolerable risk must be reduced.	---
(ALARP) 7-10 Medium	Reduce risk until further risk reduction is grossly disproportionate. Residual risk must be quantitative or semi-quantitatively assessed and well understood.	Customer or Project Sponsor
(ALARP) 11-17 Low	Reduce risk until further risk reduction costs exceed the benefit gained. Residual risk may be more subjectively assessed.	PM
18-20 V. Low	Broadly acceptable with periodic review. Application of existing best practice is deemed to reduce risk to this level. Without qualitative risk assessment	IPT
21 Negligible	Record only.	IPT



Pregi e Limiti/Inconvenienti/Difficoltà d'uso

Pregi

- **Semplicità** di applicazione.
- Questo metodo risulta particolarmente utile quando **non ci sono**, a disposizione del valutatore, **dati quantitativi**.
- La metodologia in esame fornisce una priorità di intervento attraverso un indice di rischio.
- Il metodo proposto è molto flessibile: **i fattori** che si considerano al fine della valutazione del rischio **sono solo la probabilità** di accadimento **e la gravità del danno potenziale** e quindi si ha la **possibilità di applicare tale metodologia a situazioni e realtà anche molto diverse tra di loro**.

Limiti/Inconvenienti/Difficoltà d'uso

- Il metodo in esame è di natura semi-quantitativa, ciò, come detto, permette la sua applicazione anche nel caso in cui sia difficile od impossibile reperire dati quantitativi. Questa caratteristica costituisce però anche un potenziale limite, infatti il successo o meno dell'applicazione si **basa sulla competenza del valutatore e sul grado di conoscenza** che egli ha di tutti i fattori che intervengono e compongono il sistema oggetto di analisi.
- Nella metodologia in esame, come già detto, i parametri che vengono considerati sono solo probabilità e gravità, ciò costituisce non solo un pregio, ma anche un limite, infatti nella valutazione del rischio **non vengono presi in esame alcuni fattori** quali l'ambiente di lavoro, le capacità personali del lavoratore di dominare il rischio, l'adattamento fisico e psichico del lavoratore, ecc.



Alla base di questo metodo vi è la constatazione che gli infortuni sul lavoro sono la risultante di più cause: la statistica e l'analisi mostrano che il verificarsi di un infortunio è dovuto ad una serie di fattori disparati, come un'errata progettazione, il cattivo stato del macchinario, la scarsa pulizia o l'ingombro dei pavimenti, il comportamento individuale, l'assenza di dispositivi di protezione, l'improvvisazione e l'irrazionale organizzazione del lavoro, l'illuminazione ambiente, ecc.

Tutti questi fattori sono riconducibili a tre grandi categorie:

- il materiale o l'attrezzatura di lavoro;
- l'ambiente;
- l'uomo o l'organizzazione del lavoro.

L'impostazione seguita nella guida a cui si fa riferimento prevede una valutazione quantitativa del rischio d'infortunio, effettuata assegnando dei valori numerici ai fattori che rientrano nelle tre categorie considerate.



Modalità di Applicazione

Il modello proposto si articola nelle seguenti operazioni successive:

Prima fase: valutazione del rischio globale proprio del posto di lavoro

$$R_g = M_a \times A_{mb}$$

dove:

M_a rappresenta il rischio legato alla “materiale” (macchina)

A_{mb} rappresenta l’incidenza dell’ambiente lavorativo

Seconda fase: valutazione della capacità personale dell’individuo di dominare il rischio: P

Terza fase: valutazione del rischio d’infortunio:

$$R_{inf} = R_g - kP$$

Con il coefficiente k si vuole tener conto del fatto che, nella valutazione del rischio d’infortunio, i fattori personali (P) acquistano tanto più rilevanza tanto più elevato è il rischio legato al “materiale”.

Quarta fase: Percezione del rischio: situare il rischio, quantificato come esposto, nella sfera dell’accettabilità.

La prima, la seconda e la quarta fase sono sicuramente le più delicate, l’approfondimento che segue riguarda esclusivamente le prime due: nella legislazione italiana non si richiede il raggiungimento di determinati livelli di sicurezza e quindi la quarta fase è a discrezione dell’azienda.



1 - Eventi pericolosi:

- di scarsa conseguenza (urti, tagli superficiali, ecc.)
- gravi (fratture, lesioni profonde, ecc.)
- gravissimi ed irreversibili

Quotazione proposta: $Pd = da 1 a 10$

2 - Frequenza e durata dell'esposizione durante il funzionamento della macchina:

- esposizione occasionale ridotta (ad es. macchine automatiche in buone condizioni di funzionamento, ecc.)
- esposizione ciclica frequente (ad es. presse intermittenti, macchine utensili di produzione, ecc.)
- esposizione frequente o continua (ad es. macchine a governo manuale o automatiche ma in uno stato tale da richiedere interventi frequenti, ecc.)

Quotazione proposta: $Ex = da 1 a 10$

3 - Probabilità d'occorrenza di un evento pericoloso legato al fattore "materiale"

- bassa (completa inaccessibilità agli elementi pericolosi; dispositivi di protezione pratici e sicuri; ecc.)
- media (dispositivi di protezione integrale ed in buone condizioni di funzionamento, i quali tuttavia assicurano solo una protezione parziale; effettuazione di alcuni interventi in condizioni di sicurezza ridotta, ecc.)
- elevata (protezione incompleta; dispositivi di protezione smontati o disattivati, ecc.)

Quotazione proposta: $Pr = da 0,5 a 1,5$

4 - Probabilità di evitare o di limitare le lesioni

- l'evento pericoloso è nettamente percepibile ed esiste la possibilità di schivarlo (persona preavvisata)
- occorrenza improvvisa ed inattesa dell'evento pericoloso

Quotazione proposta: $Ev = da 0,5 a 1$

Valutazione globale del fattore "materiale"

$$Ma = Pd \cdot Ex \cdot Pr \cdot Ev = da 0,25 a 150$$



VALUTAZIONE DELL'INCIDENZA DOVUTA ALL'AMBIENTE DI LAVORO

Deriva dalla somma di tre fattori:

1 - Ubicazione del posto di lavoro

- il posto di lavoro e le varie zone di lavoro sono situati:
 - sullo stesso livello
 - con differenze di livello permanenti
 - impiego di attrezzi ed accessori (passerelle, scale a piuoli)
- lo spazio di lavoro ed i passaggi sono:
 - sgombri e spaziosi
 - angusti ed ingombrati

Quotazione proposta: $Q_a = \text{da } 0,5 \text{ a } 1$

2 - Ambiente lavorativo

- illuminazione :
 - corretta (sufficiente, ma non abbagliante)
 - insufficiente
- rumore :
 - non disturba (buona percezione dei segnali)
 - disturba
- microclima (temperatura, polveri, umidità, correnti d'aria) :
 - buono
 - dà fastidio, stressante

Quotazione proposta: $Q_b = \text{da } 0,3 \text{ a } 0,6$

3 - Probabilità d'occorrenza di un evento pericoloso legato al fattore "materiale"

- disposizione dei comandi, dei dispositivi di segnalazione, degli indicativi, delle zone di carico e di rifornimento, ecc.:
 - buona
 - scadente
- sollecitazioni fisiche (sforzi, movimentazione di cariche, ritmo di lavoro, ecc.)
 - leggere
 - pesanti

Quotazione proposta: $Q_c = \text{da } 0,2 \text{ a } 0,4$

Valutazione globale del fattore "ambientale"

$$Amb = Q_a + Q_b + Q_c = \text{da } 1 \text{ a } 2$$



CAPACITA' DELL'INDIVIDUO DI DOMINARE IL RISCHIO

Deriva dalla somma di tre fattori:

1 - Qualificazione del personale (in rapporto alla mansione assegnata)

- soggetto qualificato (formazione professionale generale + addestramento specifico sul posto di lavoro) ed esperto
- soggetto qualificato od esperto
- soggetto non qualificato e senza esperienza

Quotazione proposta: $Q = \text{da } 10 \text{ a } 0$

2 - Fattori fisiologici

- adattamento fisico e psichico del soggetto alla mansione assegnata:
 - buono
 - scadente

Quotazione proposta: $\phi = \text{da } 3 \text{ a } 0$

3 - Organizzazione del lavoro

- procedure/ modalità operative/ consegne aventi un riflesso sulla sicurezza
 - formalmente codificate e rigorosamente rispettate
 - codificate, ma non rispettate sistematicamente
 - né codificate né rispettate

Quotazione proposta: $O = \text{da } 5 \text{ a } 0$

Valutazione globale del fattore "uomo" $P + \phi + O = \text{da } 0 \text{ a } 18$



VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'INFORTUNIO

Valutazione del rischio globale legato al posto di lavoro:

$$R_g = M_a \times A_{mb}$$

Valutazione del rischio d'infortunio:

$$R_{inf} = R_g - P \frac{M_a}{150}$$

Il coefficiente di ponderazione $\frac{M_a}{150}$ sta a significare che la capacità del soggetto di dominare il rischio varia in funzione del livello di rischio legato al materiale (es. non si metterà un apprendista al lavoro su una macchina di lavorazione del legno pericolosa).



Pregi e Limiti/Inconvenienti/Difficoltà d'uso

Pregi

- Il metodo in esame risulta molto **completo**: in esso vengono considerati, come concorrenti alla valutazione del rischio d'infortunio, molteplici fattori di rischio anche notevolmente differenti tra di loro.
- **Semplicità** di applicazione.
- Questa metodologia fornisce un **quadro sintetico** e completo della realtà oggetto di studio ed inoltre i risultati ottenuti **permettono di programmare** gli interventi correttivi (preventivi o protettivi) in base ad una priorità di intervento.

Limiti/Inconvenienti/Difficoltà d'uso

- Il metodo in esame, così come tutti quelli di natura semi-quantitativa è un valido strumento in tutti quei casi in cui il reperimento dei dati sia difficile od impossibile. Ciò costituisce non solo un pregio ma anche un potenziale limite, infatti **la valutazione si basa soprattutto sulla sensibilità e l'esperienza di chi conduce l'analisi**.
- Il metodo proposto è **poco flessibile**; esso infatti è stato espressamente realizzato per essere applicato ai rischi derivanti dal "rapporto uomo macchina".



La misura dell'intelligenza è
data dalla capacità di cambiare
quando è necessario.

Albert Einstein