



«Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi»

A.A. 2014 - 2015

Valutazione qualitativa del rischio in rapporto agli obiettivi di sicurezza



Docente: ing. Mauro Marchini

mgm@mauromarchini.com



Analisi del rischio

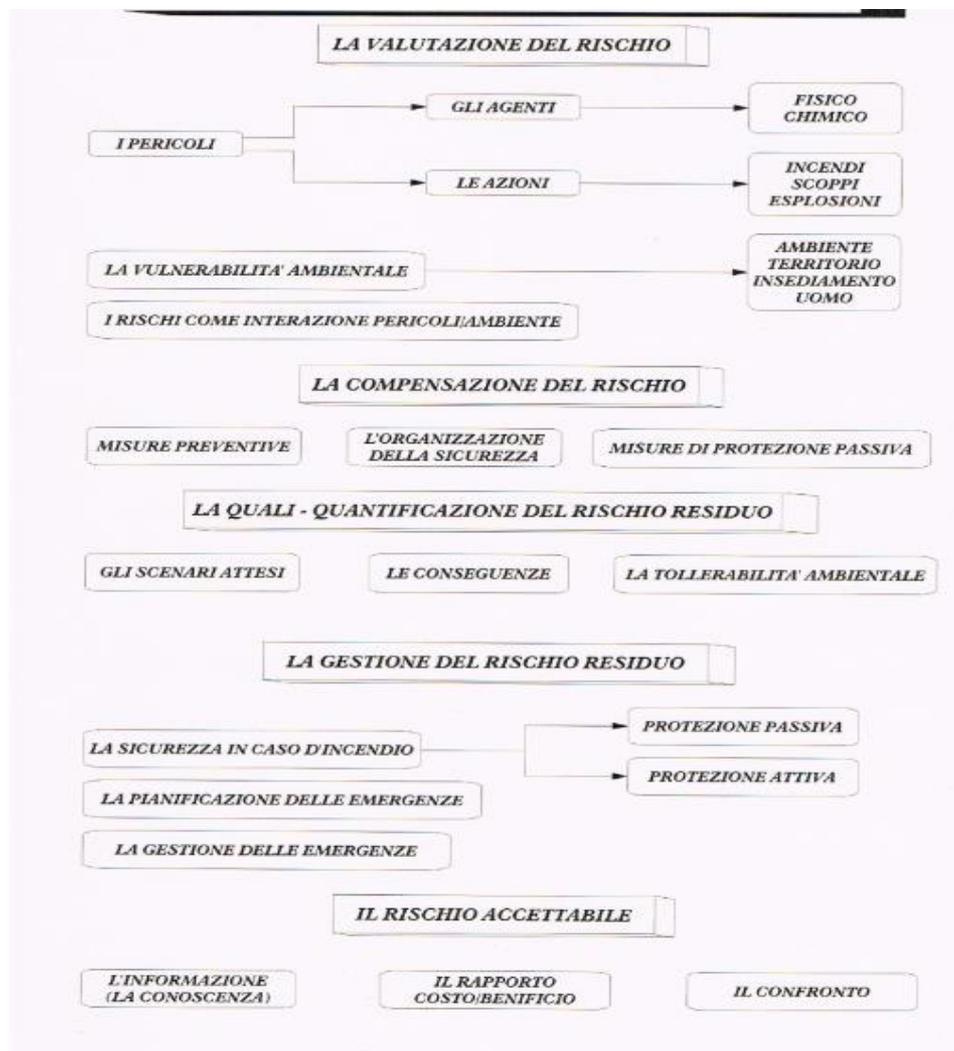
L'analisi e la valutazione del rischio consistono nelle seguenti procedure:

- **Identificazione dei pericoli**
- **Individuazione degli eventi incidentali connessi**
- **Quali - quantificazione dei rischi**
- **Compensazione del rischio: individuazione delle misure di protezione attiva e passiva per la mitigazione del rischio**
- **Rischio residuo**
- **Pianificazione e gestione della sicurezza**

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO E' UN PROCESSO CONTINUO

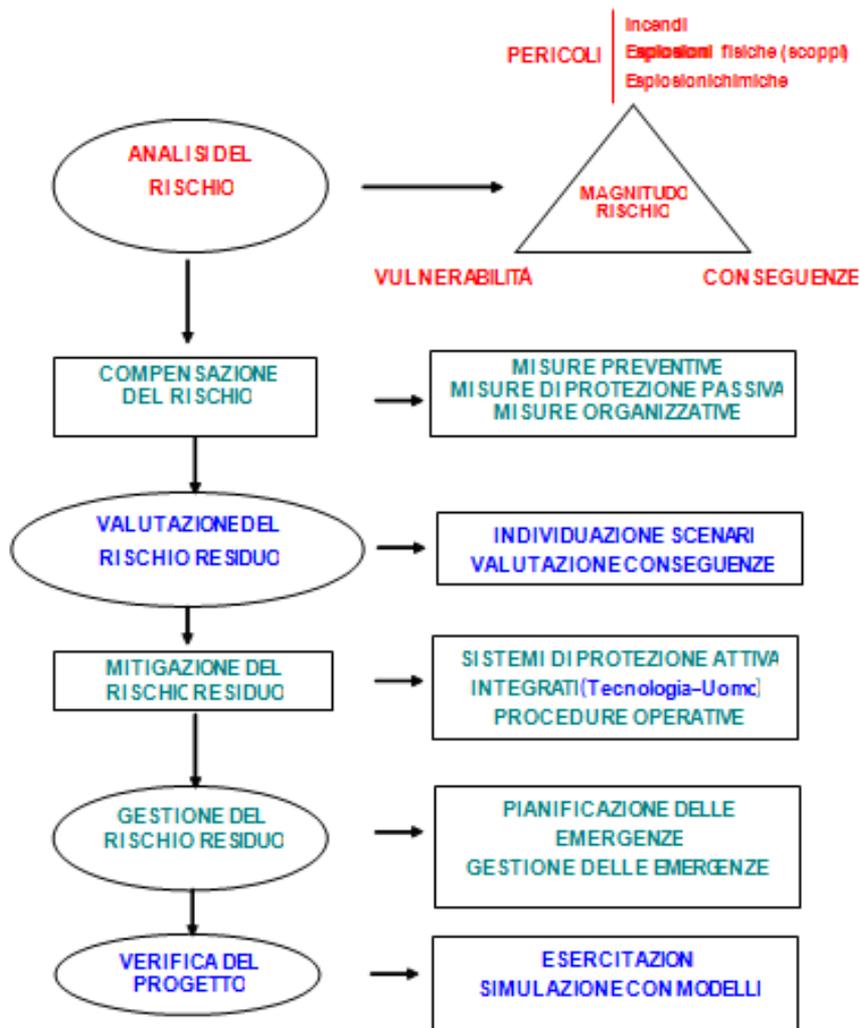


Analisi del rischio





PROGETTO SICUREZZA IN CASO D'INCENDIO





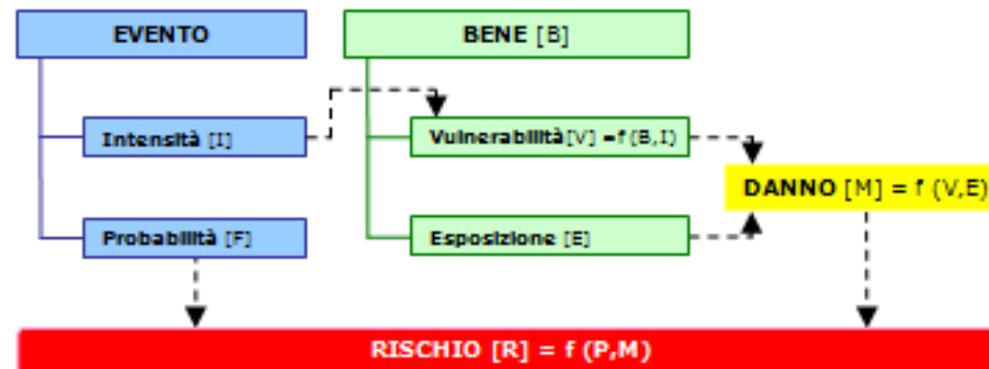
Analisi del rischio

Il nodo centrale di tutta la procedura è la valutazione del rischio. Questo, in generale, è esprimibile con la relazione:

$$R = P \times M$$

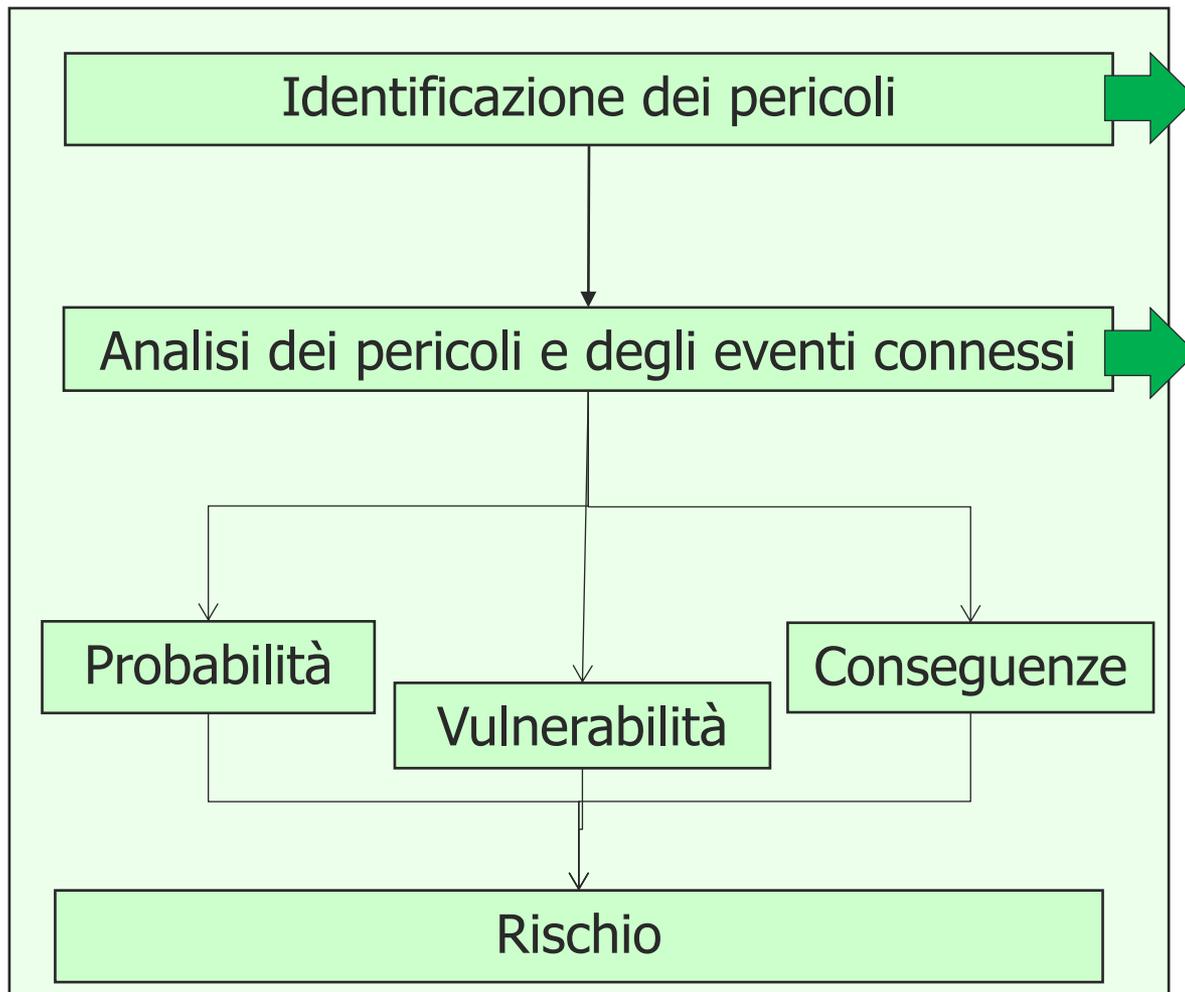
in cui P è la probabilità di accadimento dell'evento negativo (incendio o scoppio) ed M magnitudo del danno prodotto.

Come si evince dal diagramma seguente, i fattori che concorrono alla valutazione del rischio sono diversi, ed a volte fra loro interconnessi.





Metodiche e strumenti disponibili



- "What if"
- Check-lists
- HAZ.OP
- F.M.E.A.
- Index (Dow, Mond)

- Fault tree analysis
- Event tree analysis
- Affidabilità dei sistemi
- Sistemi di protezione attiva
- Affidabilità uomo
- Modelli, algoritmi conseguenze



IL RISCHIO

cosa è ?

si può misurare ?

può essere eliminato ?

il rischio associato ad un evento è il prodotto della frequenza dell'evento per le conseguenze attese

$$\begin{aligned} \text{RISCHIO} &= \\ &= \text{FREQUENZA} \times \\ &\quad \times \text{CONSEGUENZE} \end{aligned}$$

DEFINIZIONE DI RISCHIO



RISCHIO = FREQUENZA X CONSEGUENZE

↑	PROBABILE ↑	STIMATE ↑
MORTI/ANNO	VOLTE/ANNO	MORTI
FERITI/ANNO	VOLTE/ANNO	FERITI
LIRE/MESE	VOLTE/MESE	LIRE DANNO

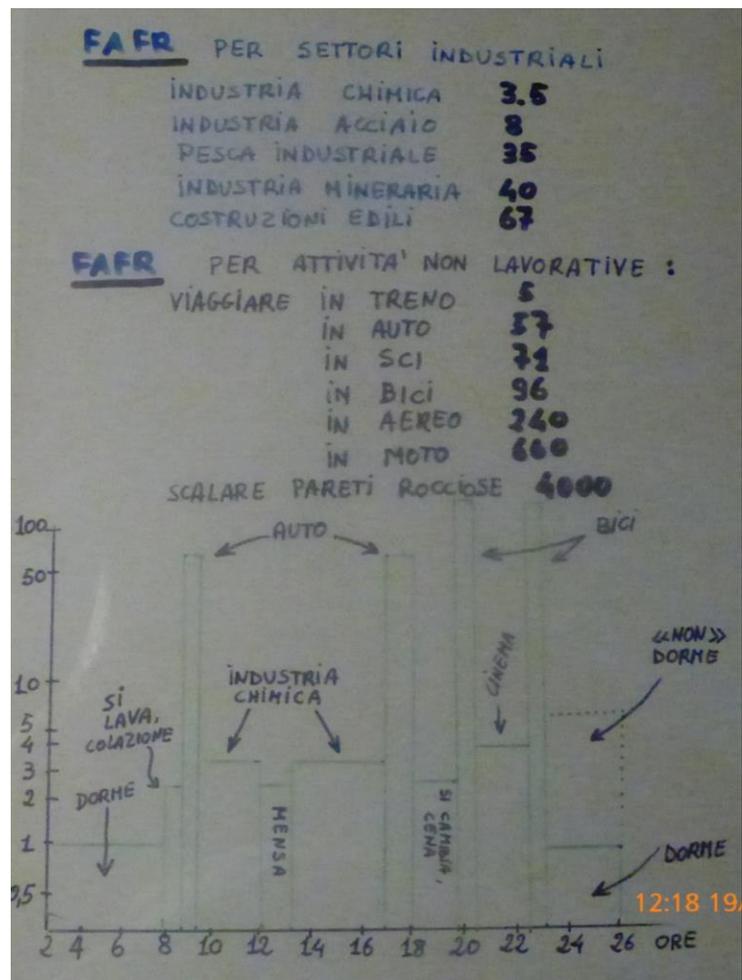
ESEMPIO : - La frequenza stimata di una esplosione del reattore R-513 è di 10^{-3} volte/anno
 - La conseguenza stimata della esplosione è di causare 10 feriti

↓

Il rischio associato al reattore R-513 è pari a :

$$R = 10^{-3} \text{ volte/anno} \times 10 \text{ feriti} = 10^{-2} \text{ feriti/anno} \text{ cioè } 1 \text{ ferito ogni } 100 \text{ anni.}$$

!! RISCHIO SI PUÒ* MISURARE. L'UNITÀ DI MISURA SONO LE PERDITE NELL'UNITÀ DI TEMPO.





RISCHIO = FREQUENZA x CONSEGUENZE

↑ ↑

COME SI PUO' STIMARE LA FREQUENZA ?

1. SCOMPOSIZIONE DEGLI EVENTI COMPLESSI IN EVENTI ELEMENTARI CON TECNICHE DI ANALISI LOGICA BOOLEANA (FMEA, FAULT TREE, EVENT TREE)
2. QUANTIZZAZIONE DELLA FREQUENZA DEGLI EVENTI ELEMENTARI (BANCHE DATI, MODELLI PER HUMAN FACTORS)
3. VALUTAZIONE DELLA FREQUENZA DEGLI EVENTI COMPLESSI (CUT SETS)

COME VALUTARE LE CONSEGUENZE ?

1. INCENDI
2. ESPLOSIONI
3. RILASCI DI SOSTANZE TOSSICHE

RELIABILITY ENGINEERING 12:19 19/MAG



RISCHIO = FREQUENZA x CONSEGUENZE

↑ ↑

COME SI PUO' STIMARE LA FREQUENZA ?

1. SCOMPOSIZIONE DEGLI EVENTI COMPLESSI IN EVENTI ELEMENTARI CON TECNICHE DI ANALISI LOGICA BOOLEANA (FMEA, FAULT TREE, EVENT TREE)
2. QUANTIZZAZIONE DELLA FREQUENZA DEGLI EVENTI ELEMENTARI (BANCHE DATI, MODELLI PER HUMAN FACTORS)
3. VALUTAZIONE DELLA FREQUENZA DEGLI EVENTI COMPLESSI (CUT SETS)

COME VALUTARE LE CONSEGUENZE ?

1. INCENDI
2. ESPLOSIONI
3. RILASCI DI SOSTANZE TOSSICHE

RELIABILITY ENGINEERING 12:19 19/MAG



LOGICA BOOLEANA

Consideriamo 2 eventi: A, B

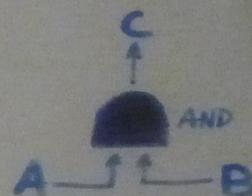
- Sia C un evento che si verifica solo se si verificano A e B .

Si scrive

$$C = A \text{ and } B$$

oppure $C = A \times B$

Graficamente:



AND

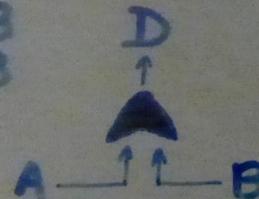
- Sia D un evento che si verifica se si verifica A o B .

Si scrive

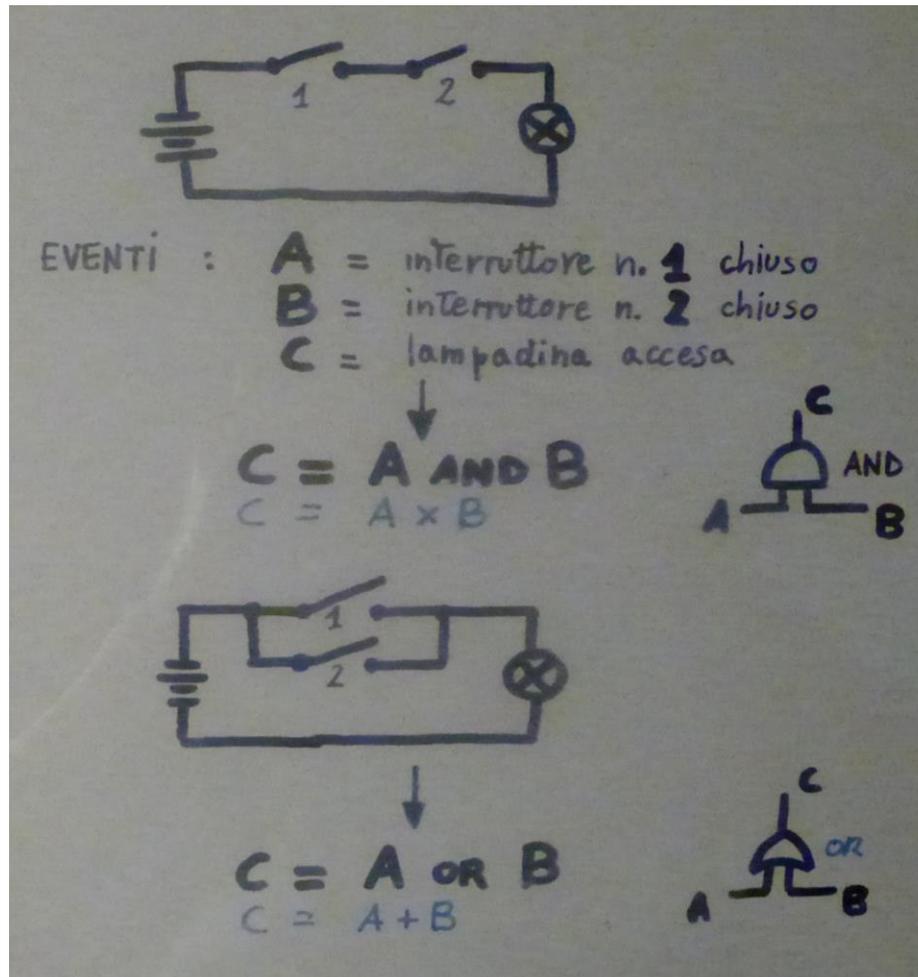
$$D = A \text{ or } B$$

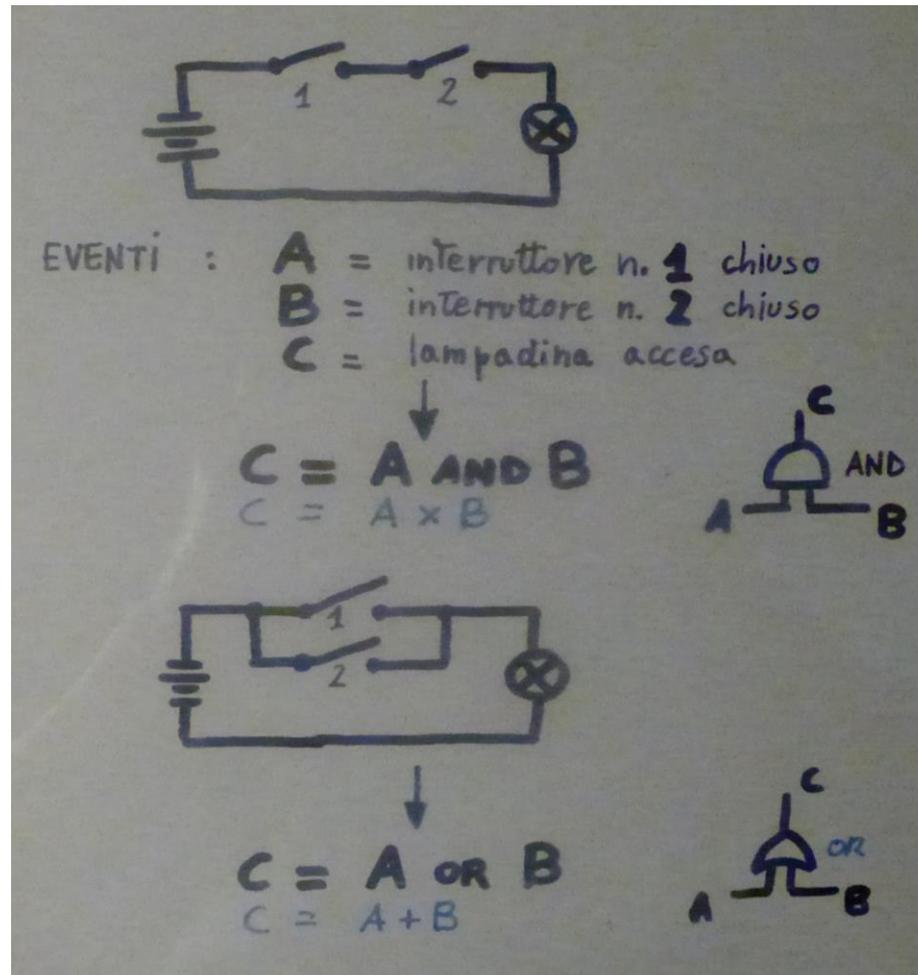
oppure $D = A + B$

Graficamente:



OR







LOGICA BOOLEANA + PROBABILITA'

A EVENTO A

B EVENTO B

Se A e B sono indipendenti:

$C = A \times B$

$D = A + B$

ESEMPIO :

$\frac{P_A}{P_B}$ PROBABILITA' CHE SI VERIFICHINO A
PROBABILITA' CHE SI VERIFICHINO B

$P_C = P_A \times P_B$

$P_D = P_A + P_B - P_A \cdot P_B$

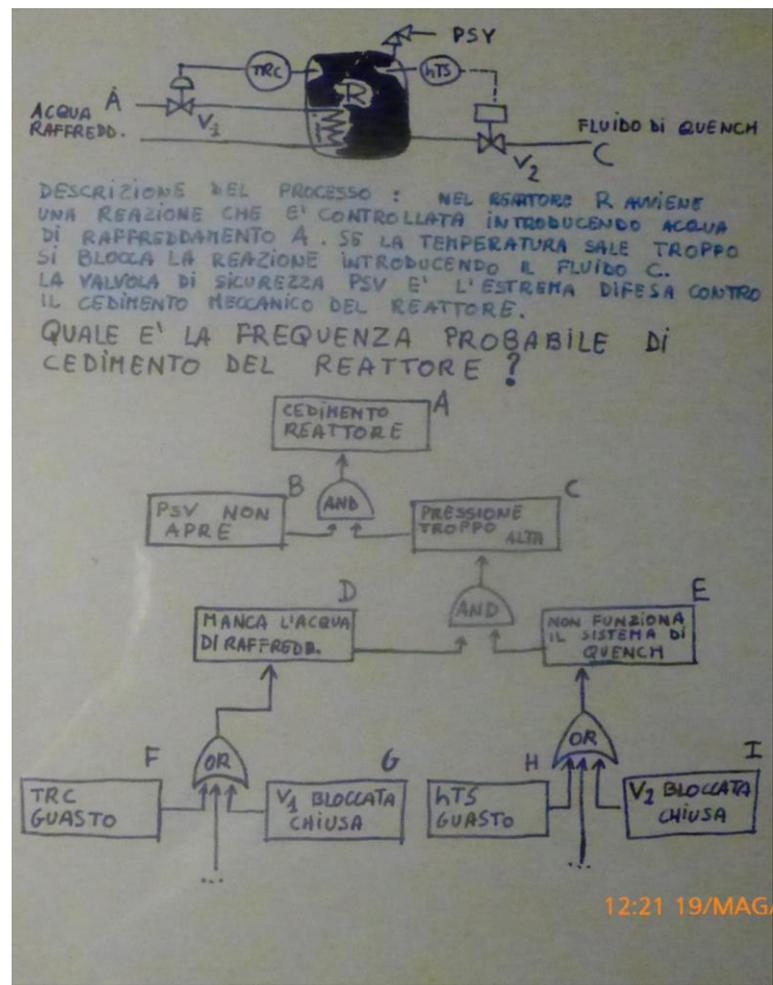
Sia $P_A = 0.2$
 $P_B = 0.5$
 $P_C = 0.3$

Quale è P_E ?

$P_E = P_D + P_C - P_D P_C$
 $P_D = P_A \cdot P_B$
 $\rightarrow P_E = P_A \cdot P_B + P_C - P_A \cdot P_B \cdot P_C$

$P_E = 0.2 \cdot 0.5 + 0.3 - 0.2 \cdot 0.5 \cdot 0.3 = 0.1 + 0.3 = 0.4$

12:21 19/M



12:21 19/MAG



IL CONCETTO DI :

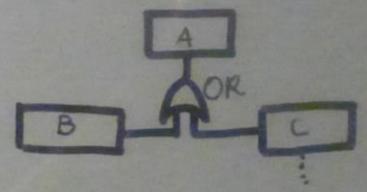
INSIEMI DI TAGLIO (CUT SETS)

$$\begin{aligned}
 A &= B \times C \\
 C &= D \times E \\
 D &= F + G \\
 E &= H + I
 \end{aligned}
 \rightarrow A = B(D \times E) =$$

$$\begin{aligned}
 &= B(F + G)(H + I) = \\
 &= BFH + BF I + BGH + BG I
 \end{aligned}$$

↑
↑
↑
↑
 CUT SET CUT SET CUT SET CUT SET

IL SISTEMA HA 4 CUTSET DI 3° ORDINE
 ••••• se l'albero fosse stato invece :



$$\begin{aligned}
 A &= B + C \\
 A &= B + (D \times E) = \\
 &= B + (F + G)(H + I)
 \end{aligned}$$

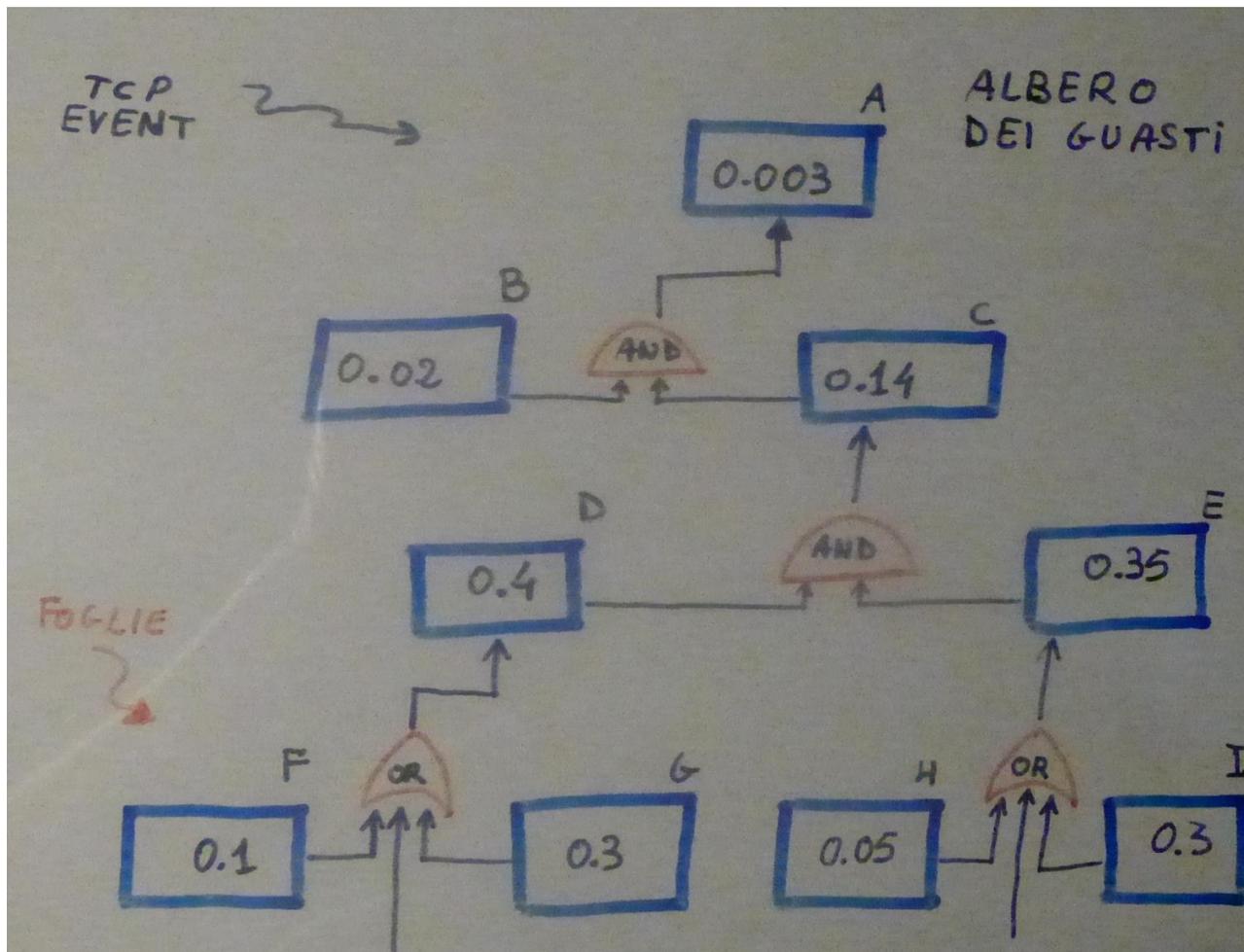
$$A = B + FH + FI + GH + GI$$

↑
↑
 CUTSET CUTSET
 1° ORDINE 2° ORDINE

IL SISTEMA AVREBBE 1 CUTSET DI 1° ORDINE
 E 4 CUTSET DI 2° ORDINE

- IDENTIFICARE I CUTSET MINIMI EQUIVALE A IDENTIFICARE I PUNTI CRITICI DEL SISTEMA

12:22





LA FREQUENZA PROBABILE DI CEDIMENTO MECCANICO DEL REATTORE È DI 0.003 volte/anno

QUAL'È IL RISCHIO RELATIVO ?

RISCHIO = FREQUENZA X CONSEGUENZE

↑
0.003 volte/anno

↑
?

OCCORRE VALUTARE LE CONSEGUENZE
SUPPOSTO DI AVERE CALCOLATO LE CONSEGUENZE
PARI A 500×10^6 LIRE DI DANNI, RISULTA

$$\begin{aligned} \text{RISCHIO} &= 0.003 \times 500 \times 10^6 = \\ &= 1.5 \times 10^6 \text{ LIRE/ANNO} \end{aligned}$$

E SE LE CONSEGUENZE STIMATE FOSSERO
STATE 10 FERITI ?

$$\begin{aligned} \text{RISCHIO} &= 0.003 \times 10 = 0.03 \text{ FERITI/ANNO,} \\ &\text{cioè 1 ferito ogni 30 ANNI} \end{aligned}$$



INGEGNERIA DELL'AFFIDABILITA' ●

- DEFINIZIONE DI RISCHIO E DI AFFIDABILITA'
- UNITA' DI MISURA
- STIMA DELLA FREQUENZA : BOOLE, ALBERI DI GUASTO INSEMI DI TAGLIO MODO COMUNE
- BANCA DATI AFFIDABILITA'
- FATTORI UMANI
- SPECIFICHE MECCANICHE ALTA AFFIDABILITA'
- VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE : ESPLOSIONE, INCENDIO, EMISSIONI TOSSICHE
- ACCETTABILITA' DEL RISCHIO
- NORMATIVE

E

- MF
- MA
- AL

* LE
IM
CON
PR

**AFFIDABILITA' = SICUREZZA ? si,
MA ANCHE = MIGLIORE GESTIONE
TECNICA ED ECONOMICA
DEGLI IMPIANTI**

↓

AFFIDABILITA' = LOSS PREVENTION

17:50 19/MAG/2015



IL CONCETTO DI :

COMMON CAUSE FAILURE
(AVARIA DI TIPO COMUNE)

MONTECARLO 1980
SCHIERAMENTO DI PARTENZA
SERBATOIO DELLA BENZINA

"ANSA" : AL 2° GIRO TUTTE LE VETTURE IN GARA SI ARRESTANO. L'INDAGINE APPURA CHE LA BENZINA CON CUI SI ERANO RIFORMITE CONTENEVA IL 10% DI ACQUA.

BENZINA INQUINATA = AVARIA DI TIPO COMUNE

E IN UN IMPIANTO CHIMICO ?

- MANCANZA TOTALE DI ENERGIA ELETTRICA
- MANCANZA DI ARIA STRUMENTI
- ALLUVIONE , TERREHOTO , SABOTAGGIO
ECCETERA

* LE COMMON CAUSE FAILURES SONO SEMPRE IMPORTANTI ; HA QUANDO SI HA A CHE FARE CON FREQUENZE $< 10^{-4}$ DIVENTANO ADDIRITTURA PREPONDERANTI !

17:51 19/MAR



CONDIZIONI DI LAVORO (Fattore "umano")

- FATTORI ORGANIZZATIVI
 - FATTORI PSICOLOGICI
Motivazione psico-fisica
 - FATTORI FORMATIVI
 - FATTORI ADDESTRATIVI
 - FATTORI ERGONOMICI
- 17:52 19/MA



FATTORE UMANO

LA PROBABILITÀ DI ERRORE COME FUNZIONE DEL :

- TIPO DI ATTIVITÀ SVOLTA
- TEMPO DISPONIBILE
- SITUAZIONE EMOTIVA
- CARATTERISTICHE DELL'OPERATORE
- CARATTERISTICHE ERGONOMICHE

MODELLO TESEO

TECNICA EMPIRICA STIMA ERRORI OPERATORI

$$HU = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$$

DOVE :

HU = INAFFIDABILITÀ DELL'UOMO (PROBABILITÀ CHE LA MANSIONE
NON SIA COMPLETATA CON SUCCESSO ENTRO UN TEMPO MAX.)

K_1 = FATTORE TIPOLOGICO DELL'ATTIVITÀ

K_2 = FATTORE DI STRESS TEMPORALE

K_3 = FATTORE TIPOLOGICO DELL'OPERATORE

K_4 = FATTORE DI ANGOSCIA DELL'ATTIVITÀ

K_5 = FATTORE ERGONOMICO DELL'ATTIVITÀ

17:52 19/M



23

AFFIDABILITÀ UMANA

MODELLO TE.S.E.O. (TECNICA EMPIRICA PER LA STIMA DEGLI ERRORI DEGLI OPERAI)
(Di A.E.A. LOVATI - L'ANALISI DEL RISCHIO)

PROBABILITÀ DI INSUCCESSO = $\frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5}{100}$

K_1 : TIPO DI ATTIVITÀ	ROUTINE SEMPLICE " COMPLESSA NON ROUTINE	0,0 0 1 0,0 1 0,1
K_2 : TEMPO A DISPOSIZIONE	ROUTINE	$t \geq 20$ sec 0,5 $t = 10$ sec 1 $t \leq 2$ sec 10
	NON ROUTINE	$t \geq 60$ sec 0,1 $t = 45$ " 0,3 $t = 30$ " 1 $t \leq 3$ " 10
K_3 : CARATTERISTICHE OPERAT.	MOLTO ESPERTO MEDIANAMENTE ESPERTO POCO ESPERTO	0,5 1 3
K_4 : SITUAZIONE OPERATIVA	NORMALE POTENZIALMENTE DI EMERGENZA IN EMERGENZA	1 2 3
K_5 : CONDIZIONI AMBIENTALI	OTTIME BUONE DISCRETE CATTIVE PESSIME	0,7 1 3 7 11

Esempio: VALUTARE PROBABILITÀ ERRORI UMANO IN CONDIZIONI DI EMERGENZA IN ATTO.

$K_1 = 0,1$ (ATTIVITÀ NON DI ROUTINE)
 $K_2 = 5$ (TEMPO A DISPOSIZIONE $\geq 3-30$ sec)
 $K_3 = 0,5$ (OPERATORE MOLTO ESPERTO)
 $K_4 = 3$ (COND. OPERATIVE DI EMERGENZA)
 $K_5 = 7$ (COND. AMBIENTALI CATTIVE)

$\Rightarrow Q_i = \frac{0,1 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 7}{100} = 5 \cdot 10^{-2}$



Processi

Si definisce "*sistema di processo*" qualsiasi sistema chiamato ad esplicitare una funzione necessaria al corretto funzionamento dell'impianto.

Si definisce "*sistema protettivo o di sicurezza*" qualsiasi sistema cui sia richiesta l'attuazione di una funzione destinata a supplire alla funzione del sistema di processo venuta a mancare (soccorso) o ad effettuare interventi di sicurezza, tesi a far sì che l'avvenuta mancanza della funzione del sistema di processo non degeneri fino al mancato rispetto degli obiettivi di progetto o peggio ancora in un evento incidentale.

Ogni funzione protettiva può essere effettuata da uno o più sistemi di sicurezza.



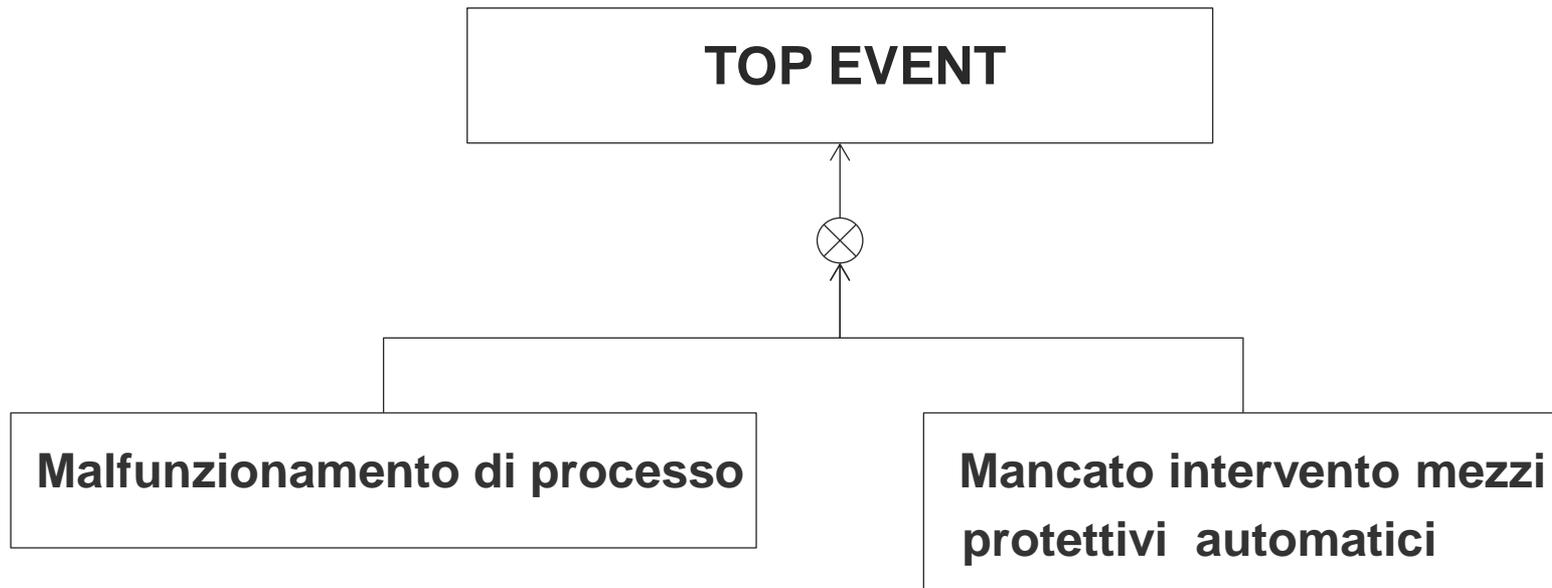
Processi

In buona sostanza si rende necessario definire la correlazione *sistema-funzione* che consiste nella suddivisione dei sistemi costituenti un impianto in un *sistema di processo* ed in un *sistema protettivo*.

L'analisi complessiva del sistema-funzione considerando sia il sistema processo che il parallelo sistema di protezione o di sicurezza, con gli strumenti della ingegneria della affidabilità può risultare utile per caratterizzarne appunto il grado di affidabilità.



Processi





Processi

L'analisi riguarda le principali caratteristiche del processo: temperature, pressioni, portate, etc. Parimenti l'analisi deve riguardare le caratteristiche chimico-fisiche di tutte le sostanze che a qualsivoglia titolo intervengono nel processo: materie prime, prodotti intermedi, prodotti finiti, etc.

L'analisi deve essere attesa ai sistemi che forniscono energia, ai sistemi ausiliari ed ai sistemi di controllo e sicurezza del processo produttivo.



Procedure di verifica

La procedura di verifica può essere suddivisa nelle seguenti fasi:

1. valutazione del rischio intrinseco, inteso come il rischio in assenza di misure di compensazione e/o di mitigazione; tale valutazione fornisce quindi il valore massimo del rischio;
2. analisi e valutazione delle singole misure di compensazione e di mitigazioni già adottate;
3. valutazione del rischio corrente, cioè del rischio che si ha in base alle misure di compensazione e di mitigazioni presenti;
4. controllo di accettabilità, cioè confronto tra il rischio corrente ed il rischio accettabile, preliminarmente definito.

Qualora il rischio corrente è maggiore di quello accettabile, si procede con:

5. individuazione delle misure di compensazione e di mitigazioni, che modificano e/o integrano quelle già presenti;
6. valutazione del rischio residuo;
7. controllo di accettabilità, cioè confronto tra il rischio residuo e il rischio accettabile.

Le fasi 5, 6 e 7 fanno parte del processo ciclico, da iterare fino a quando non viene superato il controllo di accettabilità. Solo a controllo superato si passa all'analisi della seguente fase successiva:

8. gestione del rischio residuo e verifica operativa del progetto di sicurezza.



Valutazione qualitativa del rischio

Per giungere ad una valutazione qualitativa del rischio occorre quindi valutare i singoli parametri che entrano in gioco (probabilità dell'evento, intensità, vulnerabilità, fattore di esposizione, danno), classificandoli da "trascurabile" ad "elevato". Alcuni di questi parametri possono essere valutati direttamente in funzione delle condizioni esistenti, sulla base di intervalli di valori definiti a priori, altri mediante opportune correlazioni fra i parametri stessi.

La probabilità P dell'evento "incendio", ad esempio, può essere valutata in funzione del numero e della tipologia delle potenziali sorgenti di innesco, mentre il valore dell'intensità I dell'evento può essere stimato in funzione della tipologia e della quantità di carico di incendio, nonché dell'articolazione planivolumetrica dell'insediamento.

La propensione B del bersaglio a subire il danno dipende essenzialmente della tipologia di beni presenti, mentre il fattore di esposizione E può essere valutato in funzione dell'importanza del bersaglio (presenze umane, valore dei beni, ecc).

Gli altri parametri possono essere ricavati attraverso correlazioni di tipo tabellare.

Nelle tabelle che seguono i pedici da 0 a 3 corrispondono rispettivamente ai valori *trascurabile*, *basso*, *medio* ed *elevato*.



Valutazione qualitativa del rischio

In particolare:

1. la valutazione della *vulnerabilità*, ossia del grado di perdita di beni e persone, tramite la correlazione fra l'intensità dell'evento I e la propensione del bersaglio a subire il danno B , secondo una tabella del tipo:

	I_0	I_1	I_2	I_3
B_0	V_0	V_0	V_0	V_0
B_1	V_0	V_1	V_1	V_2
B_2	V_0	V_1	V_2	V_3
B_3	V_0	V_2	V_3	V_3

2. la valutazione della *magnitudo del danno* M , tramite la correlazione fra la vulnerabilità V e l'esposizione E , secondo una tabella del tipo:

	E_0	E_1	E_2	E_3
V_0	M_0	M_0	M_0	M_0
V_1	M_0	M_1	M_1	M_2
V_2	M_0	M_1	M_2	M_3
V_3	M_0	M_2	M_3	M_3

3. la valutazione del rischio, tramite la correlazione fra probabilità P e la magnitudo del danno M , secondo una tabella del tipo:

	M_0	M_1	M_2	M_3
P_0	R_0	R_0	R_0	R_0
P_1	R_0	R_1	R_1	R_2
P_2	R_0	R_1	R_2	R_3
P_3	R_0	R_2	R_3	R_3



Valutazione qualitativa del rischio

In definitiva i passaggi procedurali per giungere alla valutazione del rischio prevedono le seguenti fasi:

1. identificazione e classificazione degli eventi negativi a cui possono essere soggetti i bersagli attraverso:
 - a. la definizione della intensità I dell'evento ;
 - b. la definizione della probabilità P che l'evento si verifichi;
2. identificazione delle vulnerabilità e dei fattori di esposizione attraverso:
 - a. la classificazione della propensione dei bersagli a subire danni a causa del verificarsi dell'evento;
 - b. la valutazione della propensione dei bersagli a subire danni;
 - c. la classificazione della vulnerabilità V dei bersagli rispetto all'evento considerato;
 - d. la valutazione della vulnerabilità V ;
 - e. la valutazione della esposizione E ;
3. classificazione del danno M ;
4. valutazione del danno M ;
5. classificazione del rischio R ;
6. valutazione del rischio R .