



Università di Roma “La Sapienza”

Prof. Massimo Guarascio

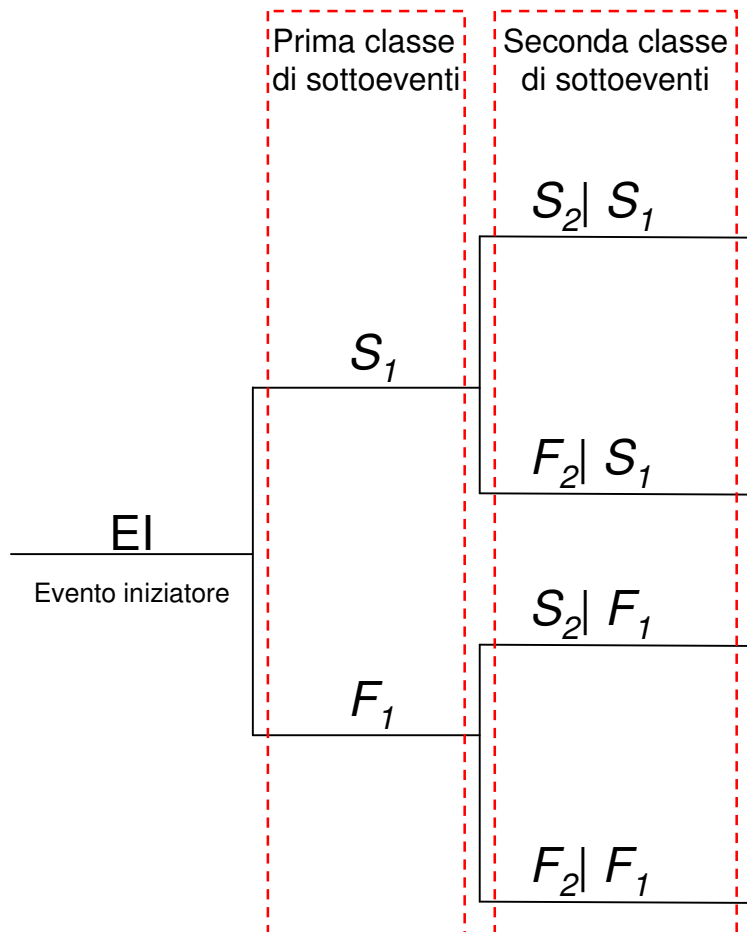
Principi base di Ingegneria della Sicurezza/Emergenza

L'analisi delle condizioni di **Affidabilità** del sistema si articola in:

- (i) **identificazione** degli scenari incidentali di riferimento (Eventi critici Iniziatori - **EI**) per il sistema in esame
- (ii) analisi dell'**evoluzione** degli eventi critici iniziatori verso configurazioni stazionarie, definite dalla **combinazione di sottoeventi** critici (E_k : $k = 1, \dots, n$)
– Event Tree Analysis (ETA) o Analisi ad Albero degli Eventi –
- (iii) **valutazione** della **probabilità** di accadimento dei singoli eventi, che concorrono alla definizione dell'albero degli eventi - Fault Tree Analysis FTA o Analisi ad Albero delle Cause - e del **livello di danno** associato agli eventi conseguenza
- (iv) **calcolo del livello di rischio** caratteristico del sistema rispetto allo scenario incidentale considerato.



Analisi ad Albero degli Eventi (ETA) – principi base



S_i evento associato a condizioni di affidabilità rispetto alla classe di sottoeventi E_i ;

F_i evento associato a condizioni critiche rispetto alla classe di sottoeventi E_i .

$$P(S_1) + P(F_1) = 1$$

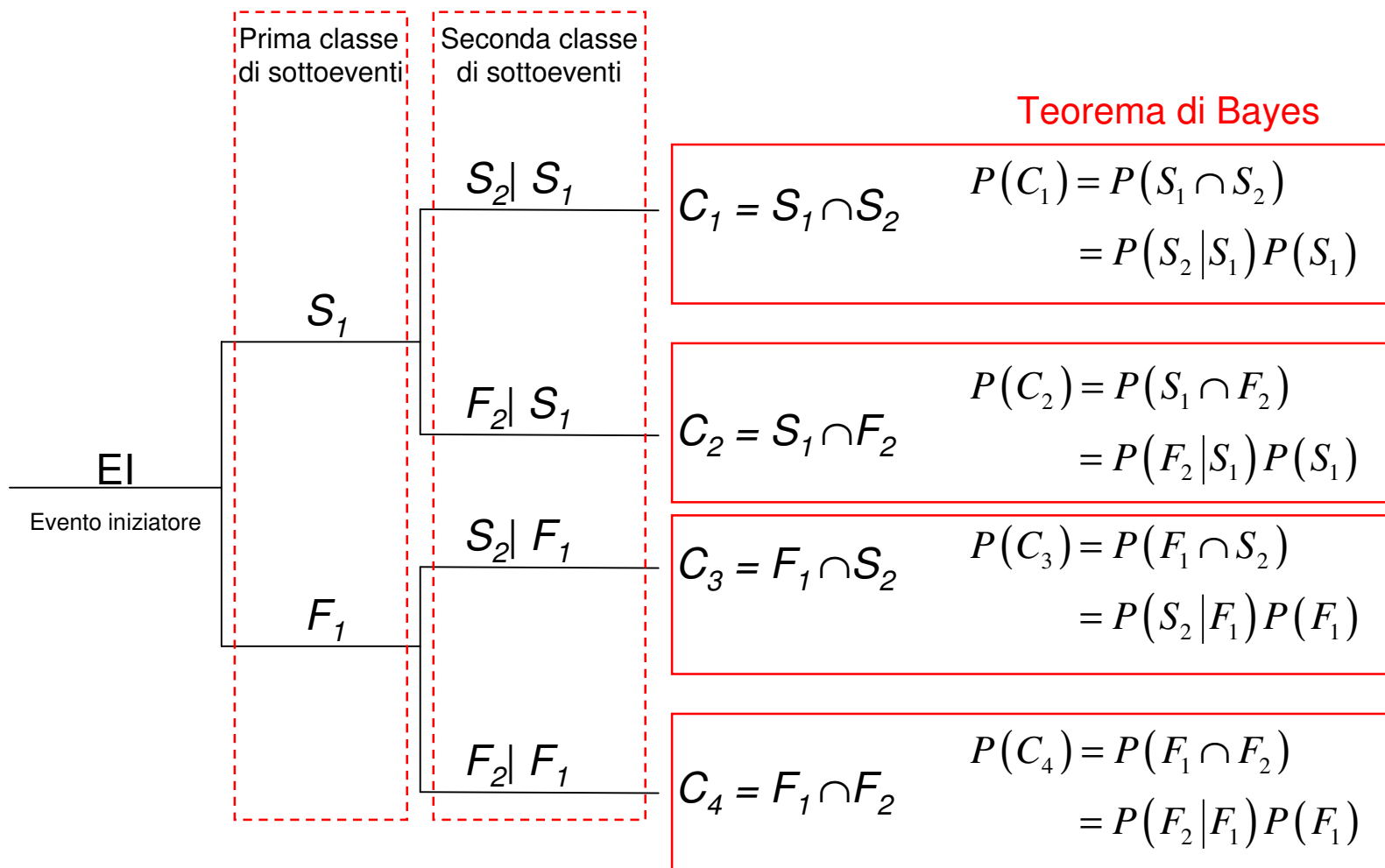
Inoltre anche per gli eventi condizionati vale

$$P(S_2|S_1) + P(F_2|S_1) = 1$$

$$P(S_2|F_1) + P(F_2|F_1) = 1$$



ETA – identificazione degli eventi conseguenza (1)





ETA – caratteristiche degli eventi conseguenza (2)

Teorema di Bayes La probabilità dell'intersezione di due eventi è uguale al prodotto della probabilità di uno degli eventi per la probabilità condizionata dell'altro calcolata a condizione che il primo abbia luogo:

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



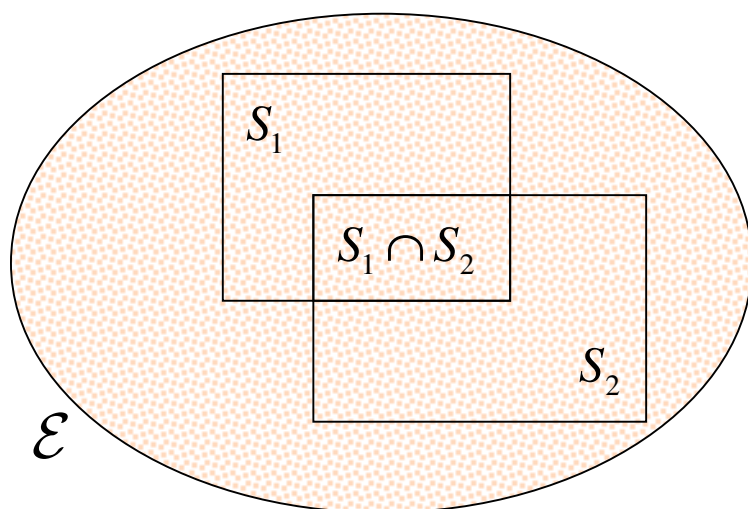
L'evento $A|B$ indica l'evento A rispetto allo spazio degli eventi assunto coincidente con l'evento B : posto che l'evento B sia riguardato come l'evento certo qual è la probabilità dell'evento A ?

Eventi statisticamente indipendenti: due eventi A e B si dicono statisticamente indipendenti se il verificarsi di uno non altera la probabilità di realizzazione dell'altro:

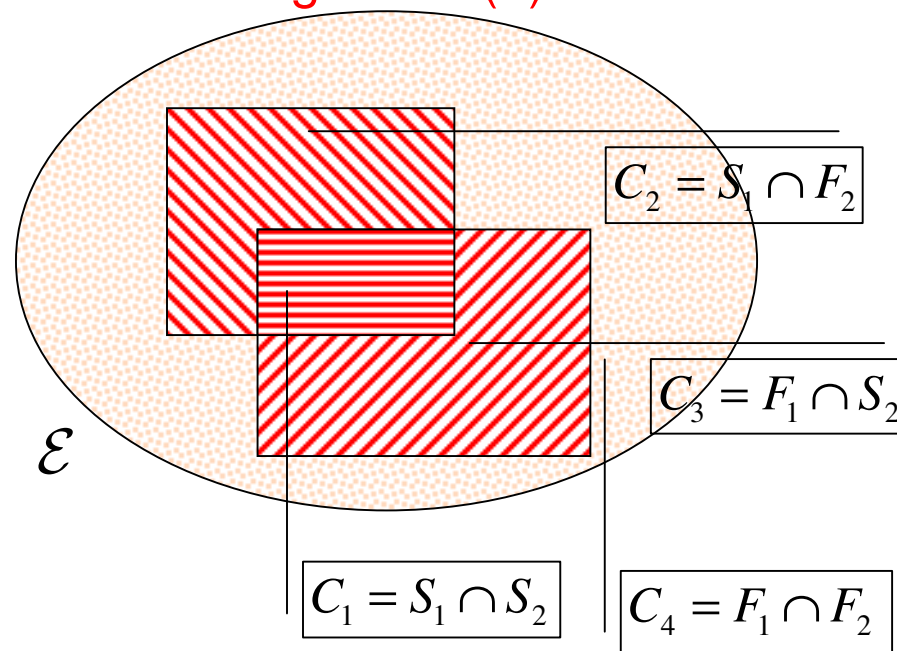
$$P(A|B) = P(A); \quad P(B|A) = P(B)$$



ETA – caratteristiche degli eventi conseguenza (1)



$$F_1 = \bar{S}_1, \quad F_2 = \bar{S}_2$$



I tre eventi conseguenza sono mutuamente disgiunti e definiscono un ricoprimento dello spazio degli eventi \mathcal{E} ; la somma delle corrispondenti probabilità di accadimento è dunque pari a 1. L'unione delle quattro possibili conseguenze ricostruisce l'evento certo:

$$P(C_1 \cup C_2 \cup C_3 \cup C_4) = 1.$$



ETA – caratteristiche degli eventi conseguenza (2)

Gli eventi conseguenza vanno gerarchizzati rispetto alla gravità;

La gerarchia viene tipicamente stabilita attraverso la definizione di un **indicatore adimensionale di danno**:

La conseguenza più severa (gravità massima) corrisponde ad indicatore di danno pari a 1

La conseguenza meno severa (gravità nulla) corrisponde ad indicatore di danno pari a 0



L'indicatore di danno è definito dalla seguente relazione Δ :

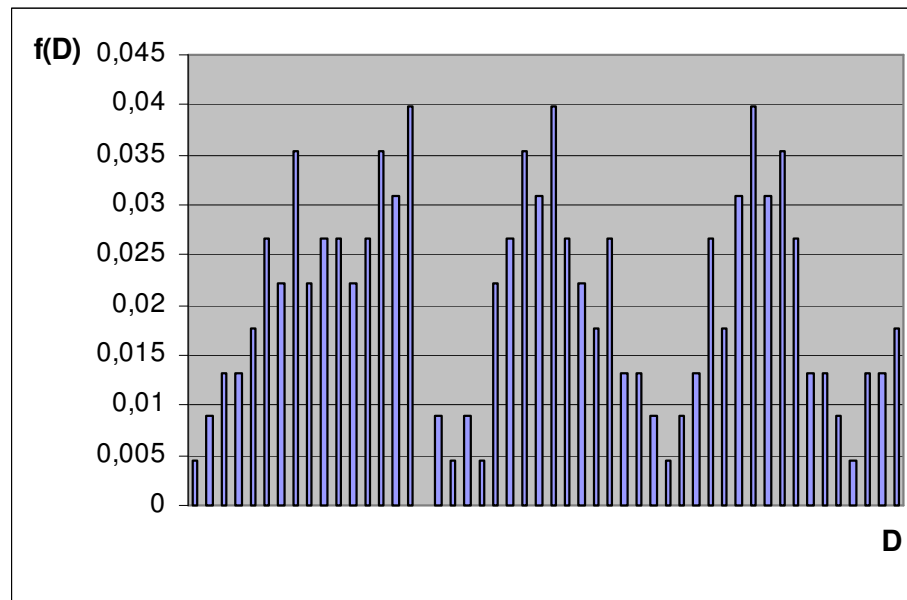
$$\Delta : \{C_1, \dots, C_n\} \in E \rightarrow \{D_1, \dots, D_n\} \in \mathbb{R}^n$$

Se : $C_1 \succ C_2 \succ \dots \succ C_n$ (che significa C_1 migliore di C_2 ... migliore di C_n) allora
 $D_1 < D_2 < \dots < D_n$ (che significa D_1 minore di D_2 ... minore di D_n).



ETA – caratteristiche degli eventi conseguenza (3)

L'indicatore di danno D si comporta come una variabile aleatoria (in questo caso discreta) in quanto caratterizzato da una n -pla di valori ciascuno dei quali può essere attinto con una data probabilità: $\{(D_1, P(C_1)), \dots, (D_n, P(C_n))\}$





ETA – caratteristiche degli eventi conseguenza (4)

Estensione del concetto di danno

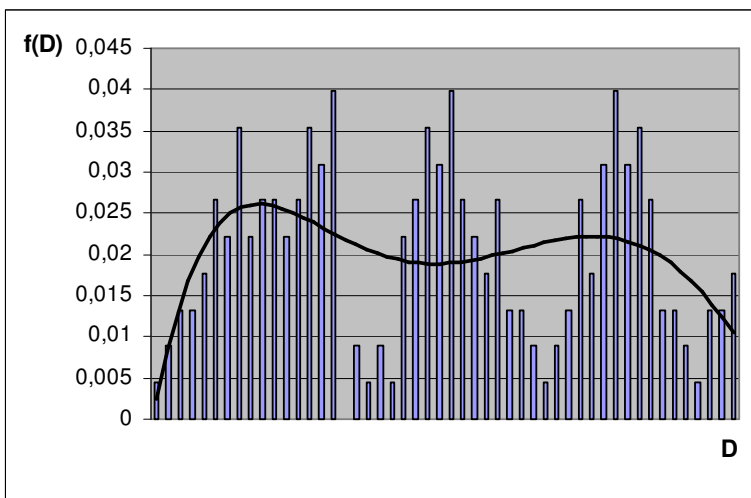
La gerarchia degli eventi conseguenza in generale può essere stabilita tenendo conto di ulteriori fattori rispetto alla misura di danno (o dualmente rispetto ad un indicatore livello di sicurezza LS): si definisce pertanto un **indicatore di utilità** U .

Sia che si intenda misurare le conseguenze associate al verificarsi di un dato evento in termini di danno, che in termini di livello di sicurezza o di utilità, la gerarchia tra eventi è caratterizzata in modo tale che le suddette misure associate a combinazioni di più eventi soddisfino opportuni vincoli di preferenza:

$$C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_k \succ C_{k+1} \Leftrightarrow D_1 + D_2 + \dots + D_k < D_{k+1}$$
$$U_1 + U_2 + \dots + U_k > U_{k+1}$$



ETA – Definizione di Rischio Atteso e Rischio Cumulato

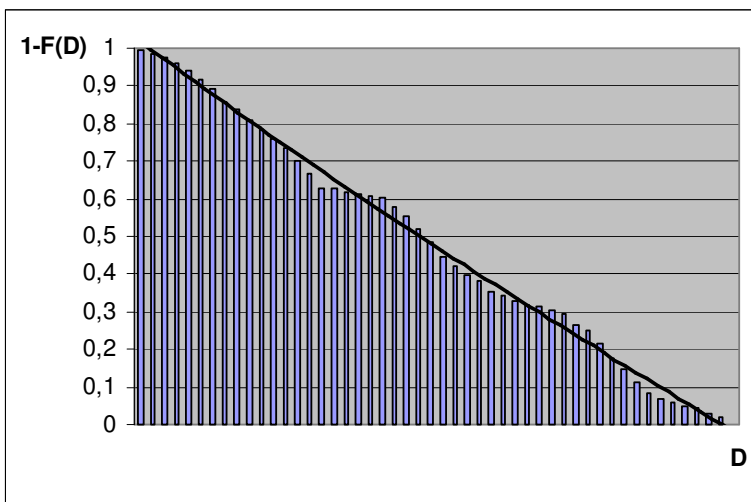


Istogramma delle probabilità:

a partire dalla conoscenza di $\{(D_1, P(C_1)), \dots, (D_n, P(C_n))\}$ si traccia la distribuzione di probabilità che caratterizza la variabile aleatoria **danno** (in figura è riportata anche una possibile curva continua interpolante)

“Rischio” Atteso [danno]:

$$R = \sum_{i=1}^n P(C_i | EI) D_i$$



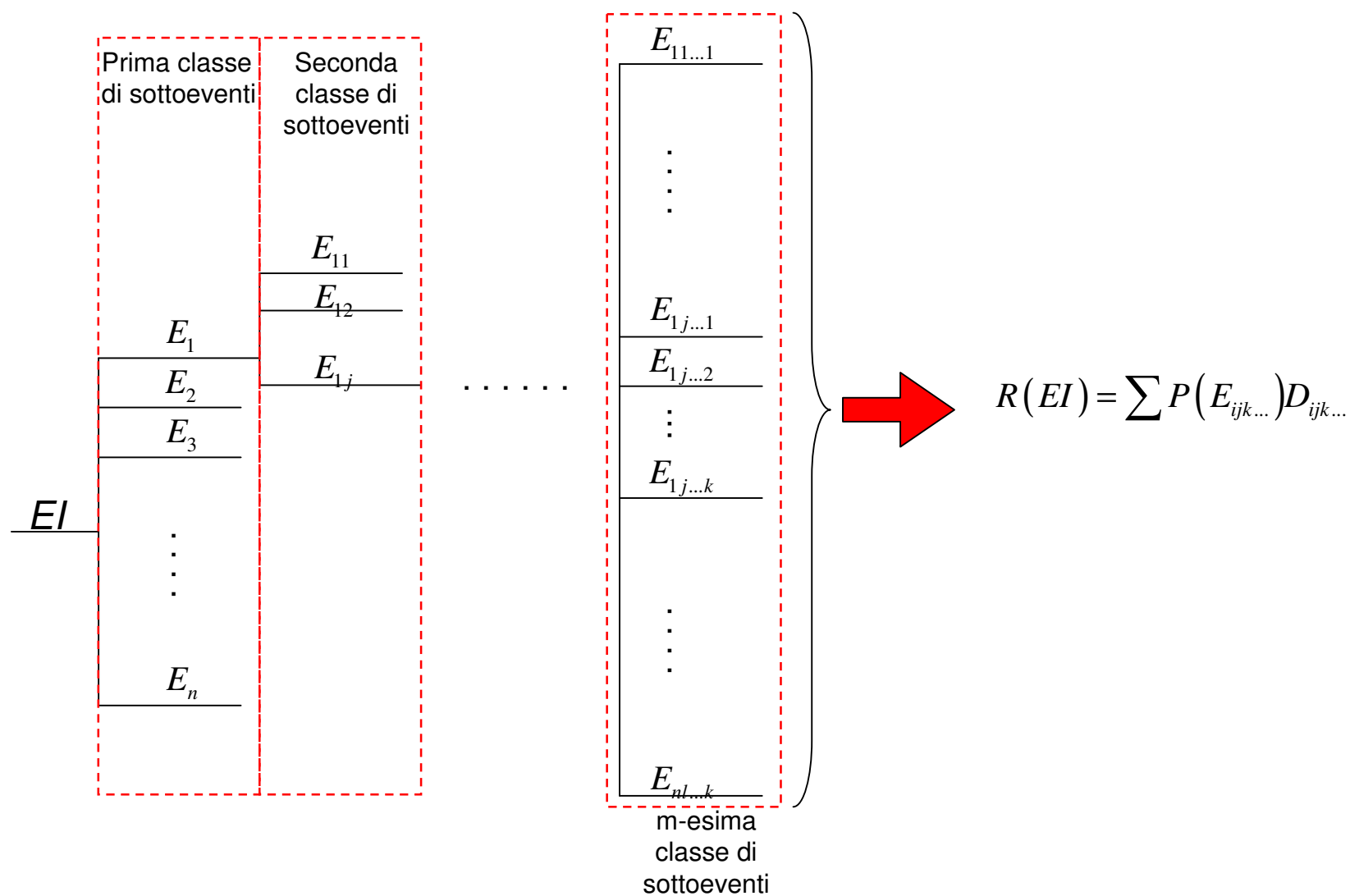
“Rischio” Cumulato [probabilità]:

a partire dalla distribuzione di probabilità che caratterizza la variabile aleatoria **danno** il rischio cumulato è determinato dalla probabilità che il danno risulti minore o uguale ad un fissato valore soglia

$$RC(D) = \sum_{i, i \leq i_n} P(C_i | EI), \quad U(C_{i_n}) = D$$



ETA – il Rischio Atteso come parametro decisionale





ETA–FTA (esempio) Incendio in galleria in esecuzione

–Event Tree Analysis (ETA) o Analisi ad Albero degli Eventi

Scenario incidentale di riferimento (**EI**): Incendio in galleria

Classi di sottoeventi critici (E_k : $k = 1, 2$):

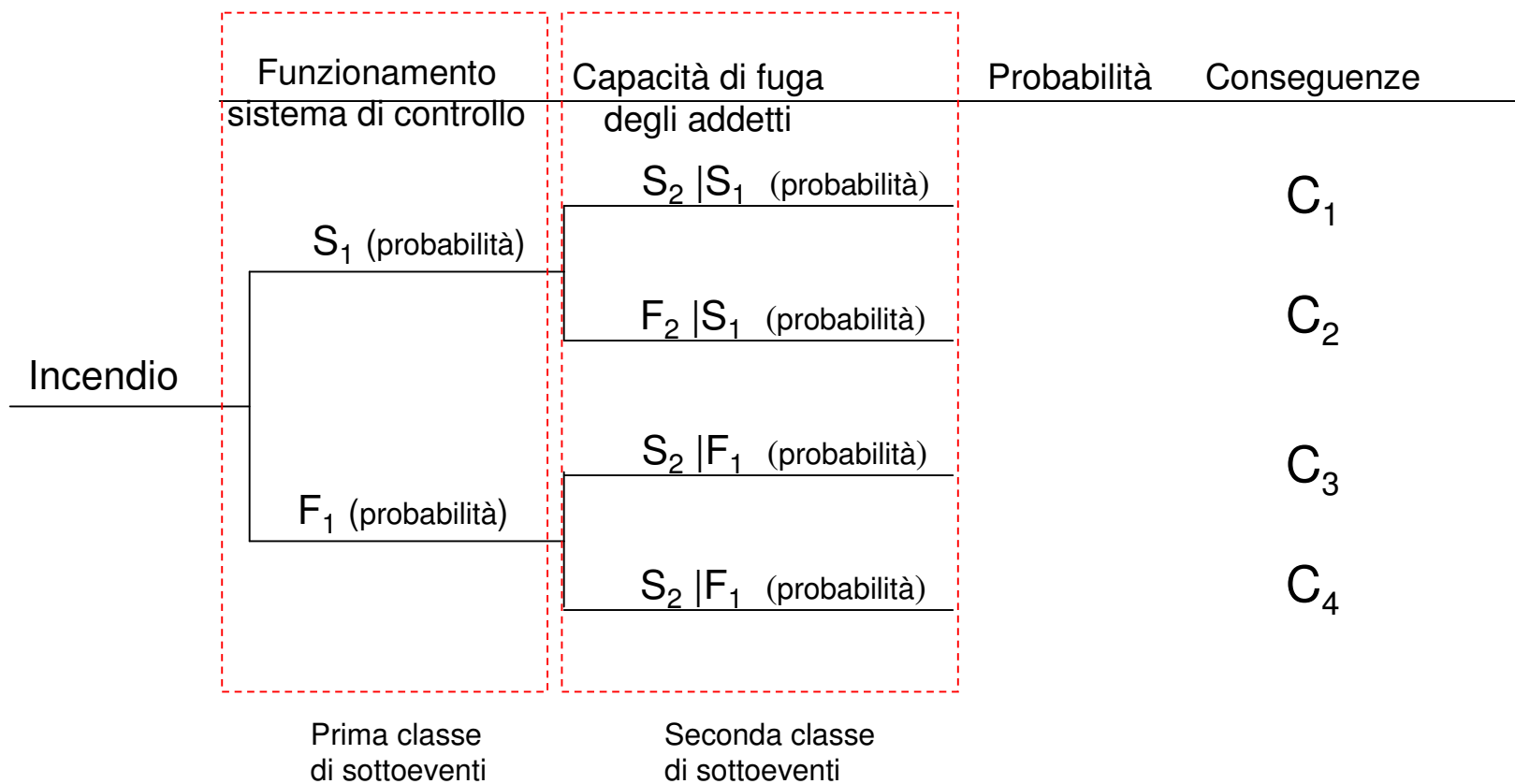
- (1) Efficacia/Inefficacia del sistema di controllo incendio
- (2) Capacità/Incapacità di fuga degli addetti



Si identificano 4 possibili eventi conseguenza associati a tutte le combinazioni ammissibili tra eventi appartenenti alle classi di sottoeventi critici

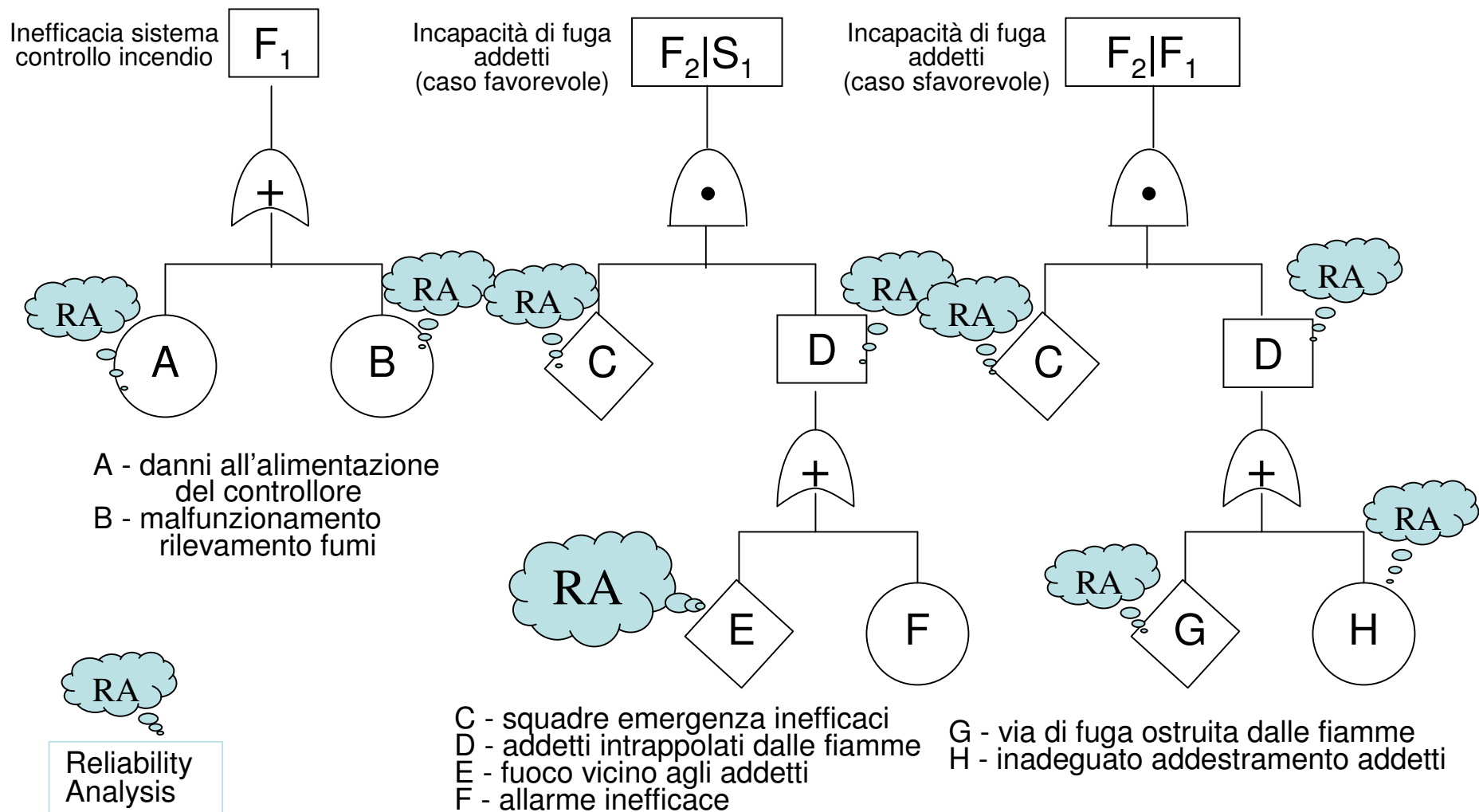


ETA–FTA (esempio) Incendio in galleria in esecuzione (1)





ETA-FTA (esempio) Incendio in galleria in esecuzione (2)





ETA–FTA (esempio) Incendio in galleria in esecuzione (3)

Le probabilità di accadimento degli eventi base A, B, C, E, F, G, H si possono valutare con **RA** teoria dell'affidabilità

Ad esempio: $P(A) = 0.1, P(B) = 0.02, P(C) = 0.5,$
 $P(E) = 0.1, P(F) = 0.1, P(G) = 0.4, P(H) = 0.15$

$$P(F_1) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = 0.118,$$

$$P(F_2 | S_1) = P(C \cap (E \cup F)) = 0.095,$$

$$P(F_2 | F_1) = P(C \cap (G \cup H)) = 0.245,$$

$$P(F_1) = 0.118, \quad P(F_2 | S_1) = 0.095, \quad P(F_2 | F_1) = 0.245,$$



ETA–FTA (esempio) Incendio in galleria in esecuzione (4)

