

La sicurezza strutturale

CAPITOLO 3 – PARTE A

CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Aspetto determinante nel processo progettuale di un edificio è la valutazione della sicurezza strutturale che finisce per condizionare tutte le scelte di base; a partire dalla definizione delle sue caratteristiche dimensionali, fino alla quantificazione dei costi e dei livelli di rischio consapevolmente assunti.

Il progettista ha pertanto il compito di prevedere e controllare con tutti gli strumenti che la “teoria delle strutture” gli mette a disposizione, il comportamento statico dell’edificio ancor prima che il processo costruttivo sia avviato e, per questo scopo, egli fa ricorso a modelli sperimentali o astratti.

In questa filosofia generale la procedura di analisi della sicurezza si articola quindi nella preventiva definizione di:

- un modello per lo schema geometrico della struttura nel suo complesso e dei singoli elementi componenti;
- un modello per la definizione delle azioni agenti;
- un modello per la schematizzazione dei vincoli;
- un modello per i legami costitutivi dei materiali.

Qualunque sia il livello di complessità del modello utilizzato, esso non potrà mai corrispondere alla realtà e si rende quindi necessario un giudizio sul suo grado di affidabilità.

CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

In questo ambito si inserisce il **concetto di sicurezza** che, fondato sulla consapevolezza della non corrispondenza fra modello e realtà, tende a coprire le incertezze conseguenti con adeguati margini.

Poiché la maggior parte delle **variabili** che intervengono nei problemi di ingegneria strutturale sono di tipo aleatorio, il **grado di sicurezza** è esso stesso **una variabile aleatoria** e di conseguenza, il problema della sicurezza di una struttura richiede un approccio di tipo probabilistico.

L'onere computazionale richiesto da una analisi probabilistica che consideri correttamente tutte le variabili in gioco impone il ricorso a procedure semplificate; l'attuale tendenza dei moderni codici normativi, NTC comprese, è quella di rinunciare al calcolo diretto della probabilità di raggiungimento di una determinata condizione di crisi, coprendo parte delle incertezze con i coefficienti parziali di sicurezza. Un tale approccio, pur avendo tutte le caratteristiche di una verifica di tipo deterministico punta ad un confronto di valori che derivano da una caratterizzazione probabilistica delle variabili in gioco e, per questo motivo, è definito semi-probabilistico.

La sicurezza di una struttura nei confronti di un determinato evento può essere pertanto formalmente valutata mettendo a confronto grandezze omogenee che per un verso definiscono le **capacità prestazionali (R)** della struttura e, per altro verso, **la domanda in prestazione (S)** che l'evento in oggetto richiede alla struttura stessa in funzione del livello di sicurezza assunto.

VARIABILI ALEATORIE E LORO PROPRIETA'

PROCESSO DETERMINISTICO: quando in un esperimento identico effettuato molte volte, lasciando immutati i valori delle condizioni sotto controllo, i risultati sono sempre uguali.

PROCESSO CASUALE (o aleatorio, stocastico, random): Se malgrado le condizioni sotto controllo siano mantenute immutate, i risultati differiscono continuamente gli uni dagli altri.

Se si indica con X la variabile che misura il risultato dell'esperimento, nel primo caso essa sarà detta deterministica, mentre nel secondo casuale.

VARIABILI ALEATORIE E LORO PROPRIETA'

Nella progettazione strutturale le grandezze che si comportano come variabili casuali costituiscono la quasi totalità dei valori in gioco, anche se alcune di esse sono soggette ad incertezze, in misura minore rispetto ad altre.

GRANDEZZE «QUASI DETERMINISTICHE»:

- Quantità geometriche quali lunghezze degli elementi, angoli, dimensioni della sezione trasversale, disposizione delle barre di armatura.

GRANDEZZE «ALEATORIE»:

- Proprietà meccaniche e di resistenza dei materiali (difficilmente soggette a misure in situ, ma valutate attraverso stime indirette su campioni).
- Condizione di vincolo;
- Azioni (vento, neve, folla, sisma, ecc.)

VARIABILI ALEATORIE E LORO PROPRIETA'

È proprio dalla casualità delle variabili in gioco che derivano le **incertezze nella determinazione del grado di sicurezza** raggiunto da una determinata opera, grado di sicurezza che è, pertanto, esso stesso una variabile casuale, della quale si può parlare solo in termini probabilistici.

In altre parole, con riferimento ad un determinato manufatto, è possibile stimare solo la **probabilità di rovina** (in generale di insuccesso) su di un tempo di vita atteso, e le normative forniscono dei coefficienti di sicurezza congruenti con un valore ammissibile di tale probabilità.

CONCETTI DI CALCOLO DELLE PROBABILITÀ

VARIABILE ALEATORIA DISCRETA O CONTINUA

Vi sono due tipi di variabile aleatoria:

✓ **Variabile aleatoria discreta**, capace di assumere solo un numero finito di valori: ad es. il risultato del lancio di un dado può assumere sei valori possibili.

✓ **Variabile aleatoria continua**, capace di assumere qualsiasi valore all'interno di uno o più intervalli assegnati: ad es. il valore della resistenza a compressione dei cubetti di calcestruzzo

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA DISCRETA

Si consideri una variabile casuale di tipo discreto ad es. il risultato del lancio di un dado.

Si supponga di effettuare n=7 lanci con i risultati riportati in tabella.

Si indica con “**a**” l’evento per cui il risultato del lancio è **3** ed “**n_a**” il numero di volte in cui tale evento si verifica, nel nostro caso **n_a = 2**.

Si definisce frequenza relativa all’evento “a”

$$f_a = n_a / n = 2/7$$

La somma delle frequenze relative a tutti gli eventi possibili è ovviamente pari a 1.

$$\forall a \quad \sum f_a = 1$$

$$\sum f_a = \left[\frac{2}{7} \right]_{(3)} + \left[\frac{1}{7} \right]_{(6)} + \left[\frac{1}{7} \right]_{(2)} + \left[\frac{1}{7} \right]_{(1)} + \left[\frac{1}{7} \right]_{(5)} + \left[\frac{1}{7} \right]_{(4)} = \frac{7}{7} = 1$$

N. Lanci	Risultati
1	3
2	6
3	2
4	3
5	1
6	5
7	4

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA DISCRETA

Al crescere del numero n di lanci, la frequenza relativa esprime in termini numerici la tendenza di ciascun evento a verificarsi, ovvero la **probabilità che l'evento "a" si verifichi** e cioè:

$$p(a) = \lim_{n \rightarrow \infty} (n_a / n)$$

- Se l'evento a è **CERTO** n_a coincide con n e la probabilità è pari a **1**
- Se l'evento a è **IMPOSSIBILE** n_a è nullo e la probabilità è pari a **0**

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Per poter estendere il concetto di probabilità al caso delle variabili aleatorie continue, occorre dividere il campo di variabilità della grandezza in un numero finito di intervalli e contare il numero di volte in cui ciascuno dei valori cade all'interno dell'intervallo considerato.

Consideriamo i risultati di 12 prove di compressione su altrettanti cubetti:

N. Prelievi	Rci	N. Prelievi	Rci
1	29	7	29
2	32	8	30
3	31	9	28
4	30	10	32
5	30	11	33
6	29	12	27

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Per poter estendere il concetto di probabilità al caso delle variabili aleatorie continue, occorre dividere il campo di variabilità della grandezza in un numero finito di intervalli e contare il numero di volte in cui ciascuno dei valori cade all'interno dell'intervallo considerato.

Consideriamo i risultati di 12 prove di compressione su altrettanti cubetti:

N. Prelievi	Rci	N. Prelievi	Rci
1	29	7	29
2	32	8	30
3	31	9	28
4	30	10	32
5	30	11	33
6	29	12	27

Intervallo		
22-24		
25-27		
28-30		
31-33		

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Per poter estendere il concetto di probabilità al caso delle variabili aleatorie continue, occorre dividere il campo di variabilità della grandezza in un numero finito di intervalli e contare il numero di volte in cui ciascuno dei valori cade all'interno dell'intervallo considerato.

Consideriamo i risultati di 12 prove di compressione su altrettanti cubetti:

N. Prelievi	Rci	N. Prelievi	Rci	Intervallo	n_i rotture nell'intervallo	Frequenza f_i relativa
1	29	7	29	22-24		
2	32	8	30	25-27		
3	31	9	28	28-30		
4	30	10	32	31-33		
5	30	11	33			
6	29	12	27			

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Per poter estendere il concetto di probabilità al caso delle variabili aleatorie continue, occorre dividere il campo di variabilità della grandezza in un numero finito di intervalli e contare il numero di volte in cui ciascuno dei valori cade all'interno dell'intervallo considerato.

Consideriamo i risultati di 12 prove di compressione su altrettanti cubetti:

N. Prelievi	Rci	N. Prelievi	Rci
1	29	7	29
2	32	8	30
3	31	9	28
4	30	10	32
5	30	11	33
6	29	12	27

Intervallo	n_i rotture nell'intervallo	Frequenza f_i relativa
22-24	0	$F_a=0/12=0$
25-27		
28-30		
31-33		

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Per poter estendere il concetto di probabilità al caso delle variabili aleatorie continue, occorre dividere il campo di variabilità della grandezza in un numero finito di intervalli e contare il numero di volte in cui ciascuno dei valori cade all'interno dell'intervallo considerato.

Consideriamo i risultati di 12 prove di compressione su altrettanti cubetti:

N. Prelievi	Rci	N. Prelievi	Rci	Intervallo	n_i rotture nell'intervallo	Frequenza f_i relativa
1	29	7	29	22-24	0	$F_a=0/12=0$
2	32	8	30	25-27	1	$F_a=1/12=0,083$
3	31	9	28	28-30		
4	30	10	32	31-33		
5	30	11	33			
6	29	12	27			

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Per poter estendere il concetto di probabilità al caso delle variabili aleatorie continue, occorre dividere il campo di variabilità della grandezza in un numero finito di intervalli e contare il numero di volte in cui ciascuno dei valori cade all'interno dell'intervallo considerato.

Consideriamo i risultati di 12 prove di compressione su altrettanti cubetti:

N. Prelievi	Rci	N. Prelievi	Rci
1	29	7	29
2	32	8	30
3	31	9	28
4	30	10	32
5	30	11	33
6	29	12	27

Intervallo	n_i rotture nell'intervallo	Frequenza f_i relativa
22-24	0	$F_a=0/12=0$
25-27	1	$F_a=1/12=0,083$
28-30	7	$F_a=7/12=0,583$
31-33		

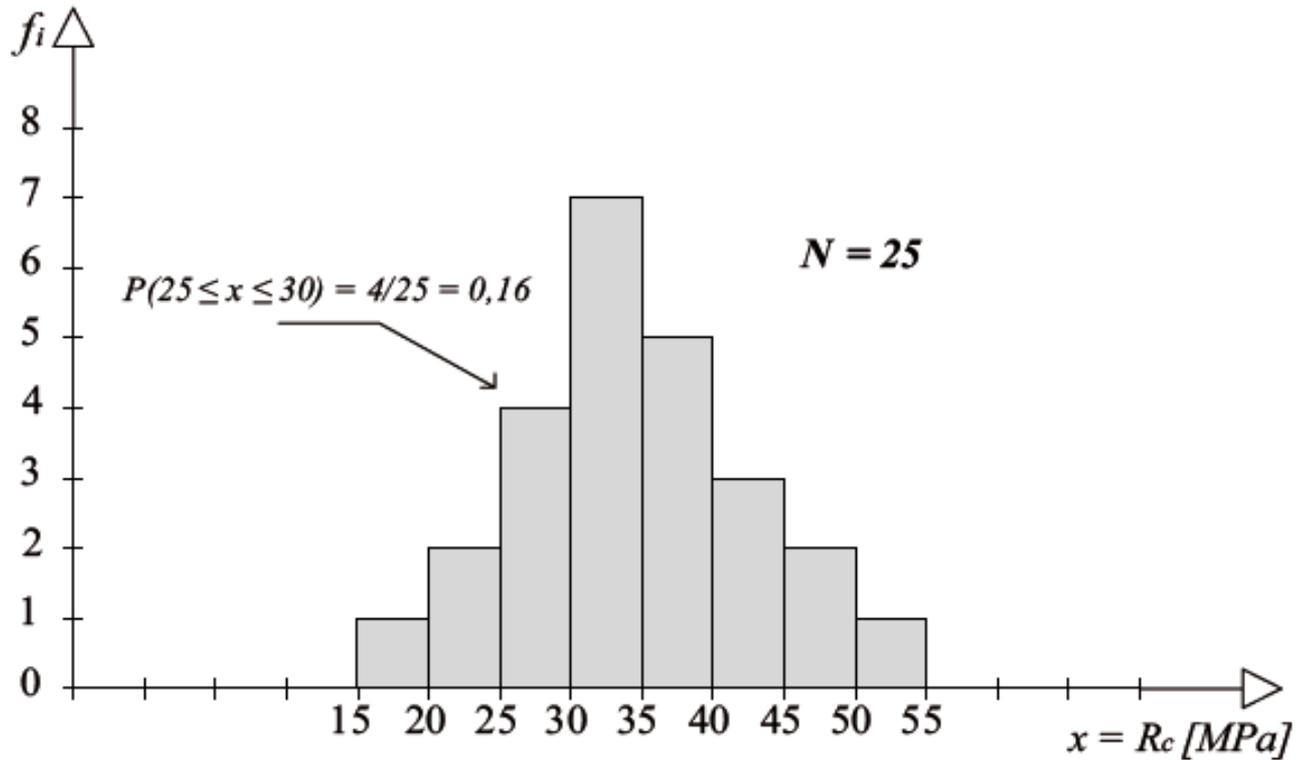
PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Per poter estendere il concetto di probabilità al caso delle variabili aleatorie continue, occorre dividere il campo di variabilità della grandezza in un numero finito di intervalli e contare il numero di volte in cui ciascuno dei valori cade all'interno dell'intervallo considerato.

Consideriamo i risultati di 12 prove di compressione su altrettanti cubetti:

N. Prelievi	Rci	N. Prelievi	Rci	Intervallo	n_i rotture nell'intervallo	Frequenza f_i relativa
1	29	7	29	22-24	0	$F_a=0/12=0$
2	32	8	30	25-27	1	$F_a=1/12=0,083$
3	31	9	28	28-30	7	$F_a=7/12=0,583$
4	30	10	32	31-33	4	$F_a=4/12=0,333$
5	30	11	33			
6	29	12	27			

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA



Si definisce densità δ_i il rapporto tra la frequenza relativa f_i e l'estensione dell'intervallo adottato d_i .

$$\delta_i = \frac{f_i}{d_i}$$

Il passaggio dalle frequenze relative alla probabilità per le variabili aleatorie continue si ottiene facendo tendere ad **infinito il numero n di prove e a zero l'ampiezza d_i** degli intervalli in cui è stato suddiviso il campo di variabilità della resistenza a compressione. Si definisce **funzione densità di probabilità** $f(x)$ come:

$$f(x) = \lim_{\substack{n \rightarrow \infty \\ d_i \rightarrow 0}} \delta_i$$

PROBABILITÀ: VARIABILE ALEATORIA CONTINUA

Accanto alla funzione densità di probabilità si definisce la **funzione probabilità cumulata F** della variabile aleatoria x con riferimento ad un certo valore “ a ”:

$$F(a) = \int_{-\infty}^a f(x) dx$$

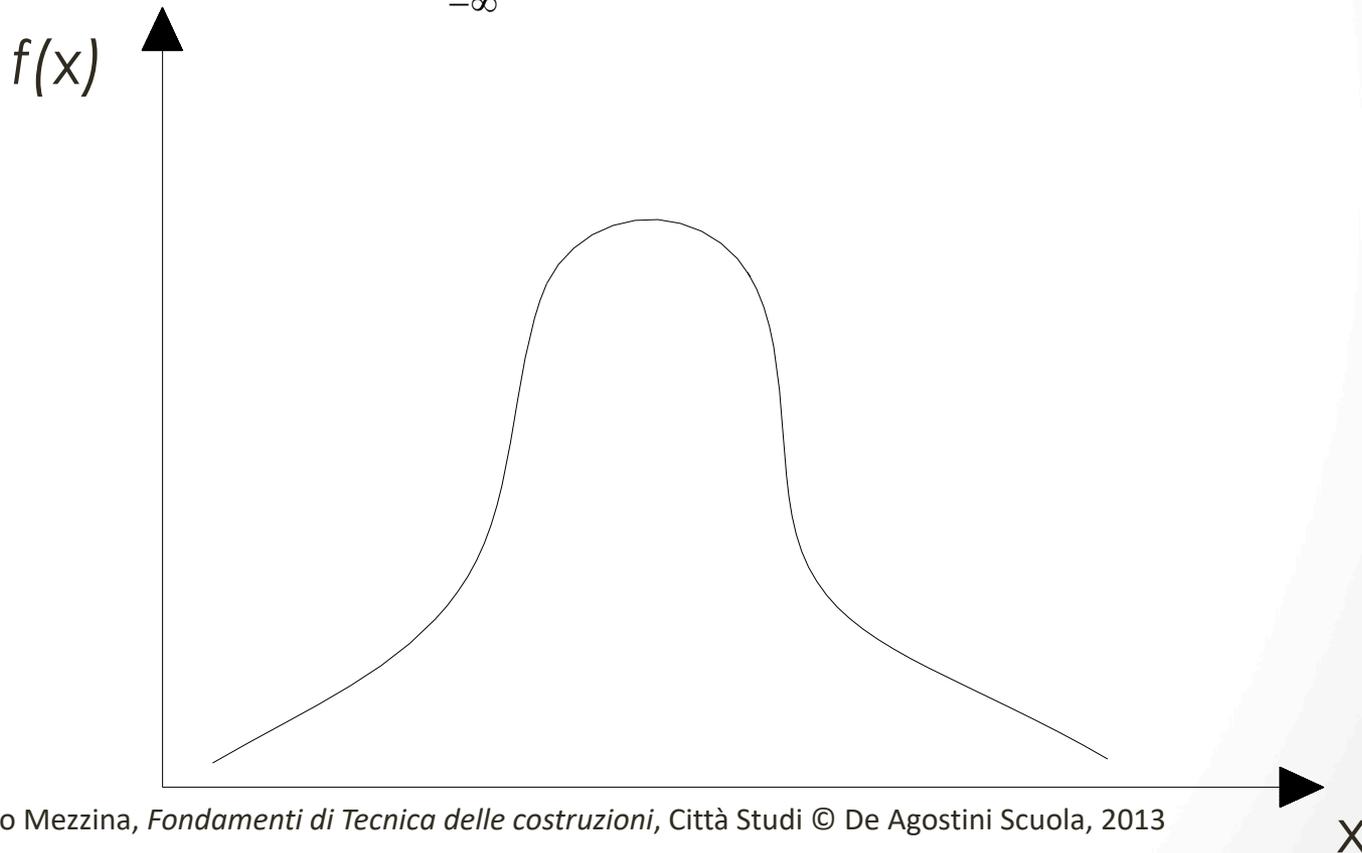
Che rappresenta la funzione che associa ad ogni possibile valore della variabile aleatoria x la probabilità che essa assuma valori compresi tra $-\infty$ (limite inferiore del campo di variabilità) ed a . In altre parole:

$$F(a) = p (x < a)$$

INTERPRETAZIONE GRAFICA

Se $f(x)$ è la funzione densità di probabilità di una variabile aleatoria x , essa può essere rappresentata graficamente

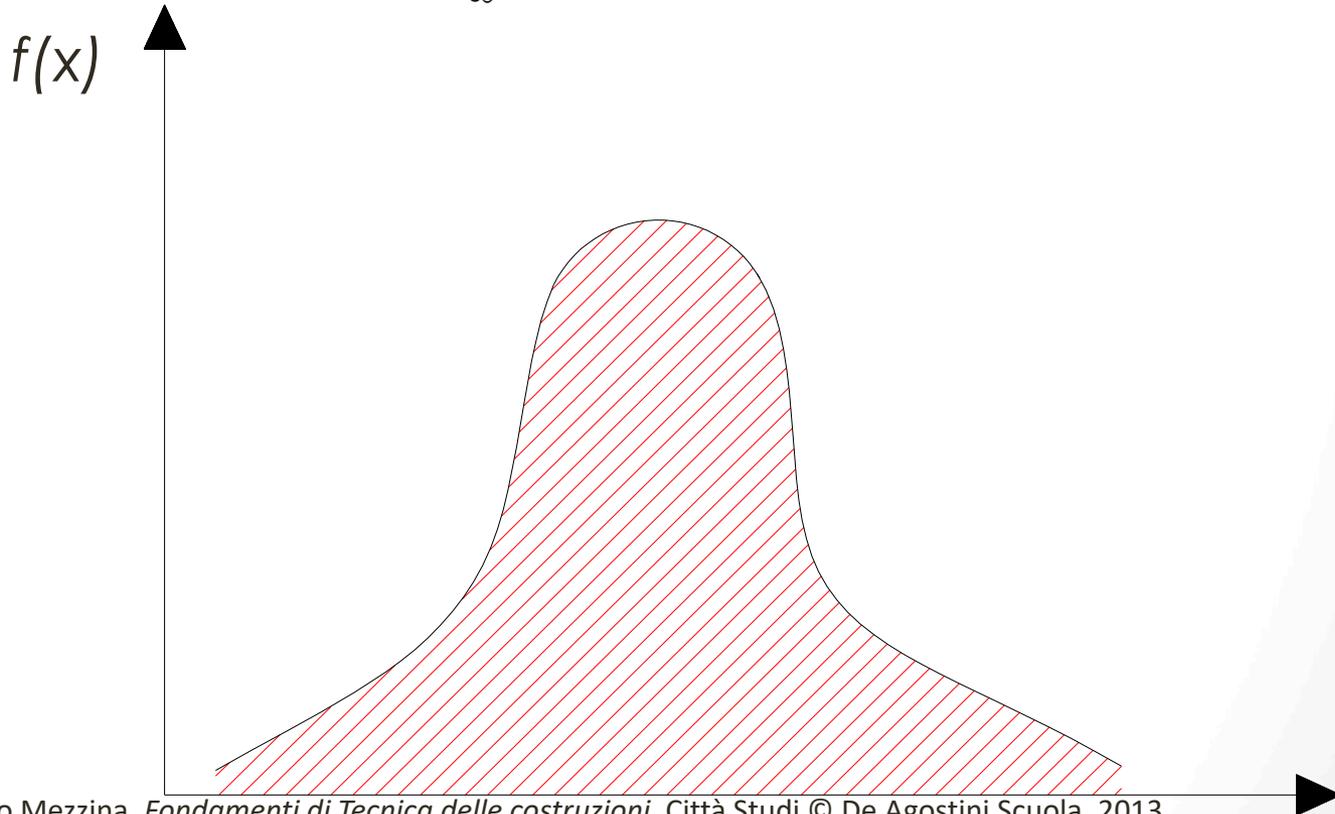
$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot dx = 1$$



INTERPRETAZIONE GRAFICA

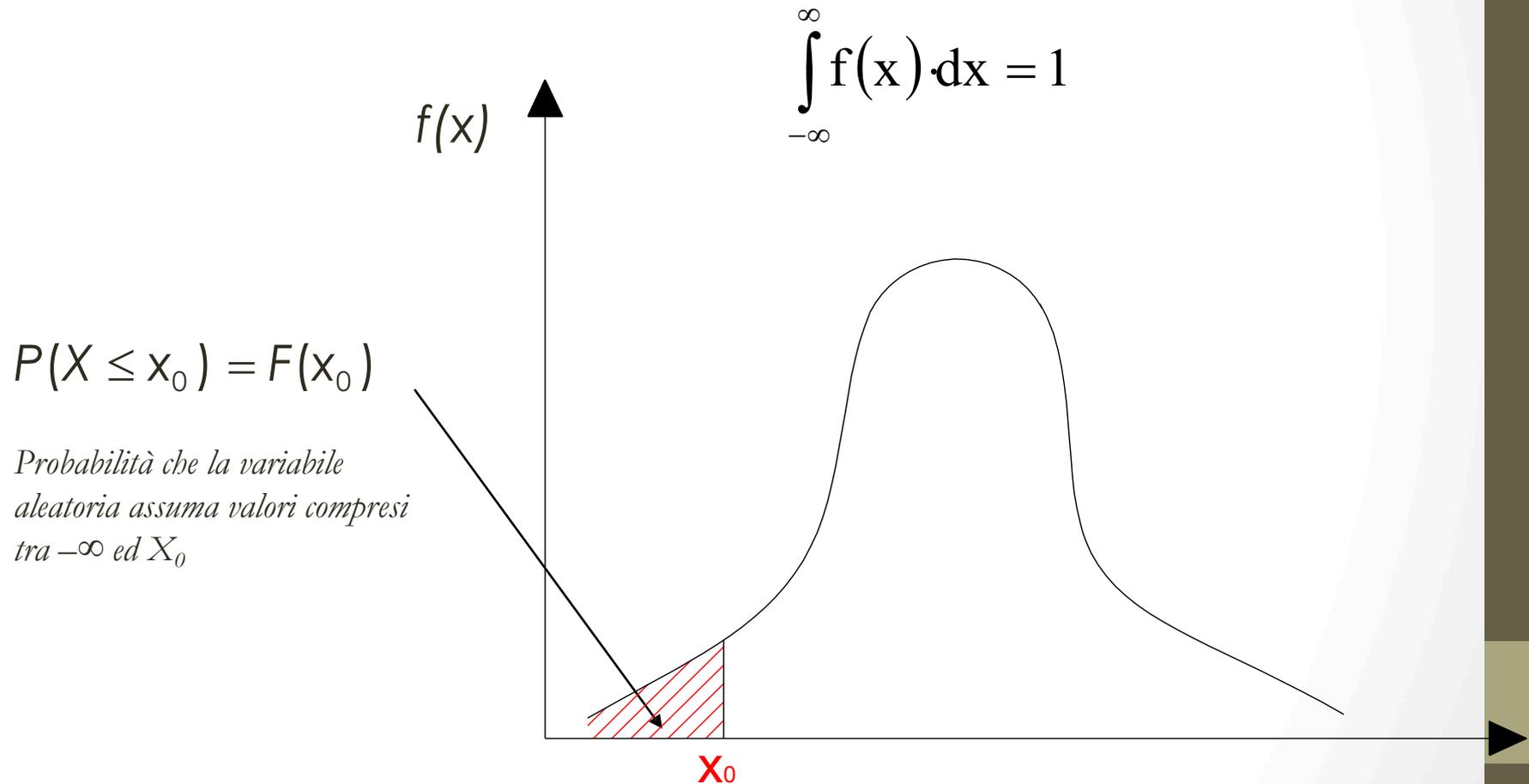
Se $f(x)$ è la funzione densità di probabilità di una variabile aleatoria x , essa può essere rappresentata graficamente

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot dx = 1$$



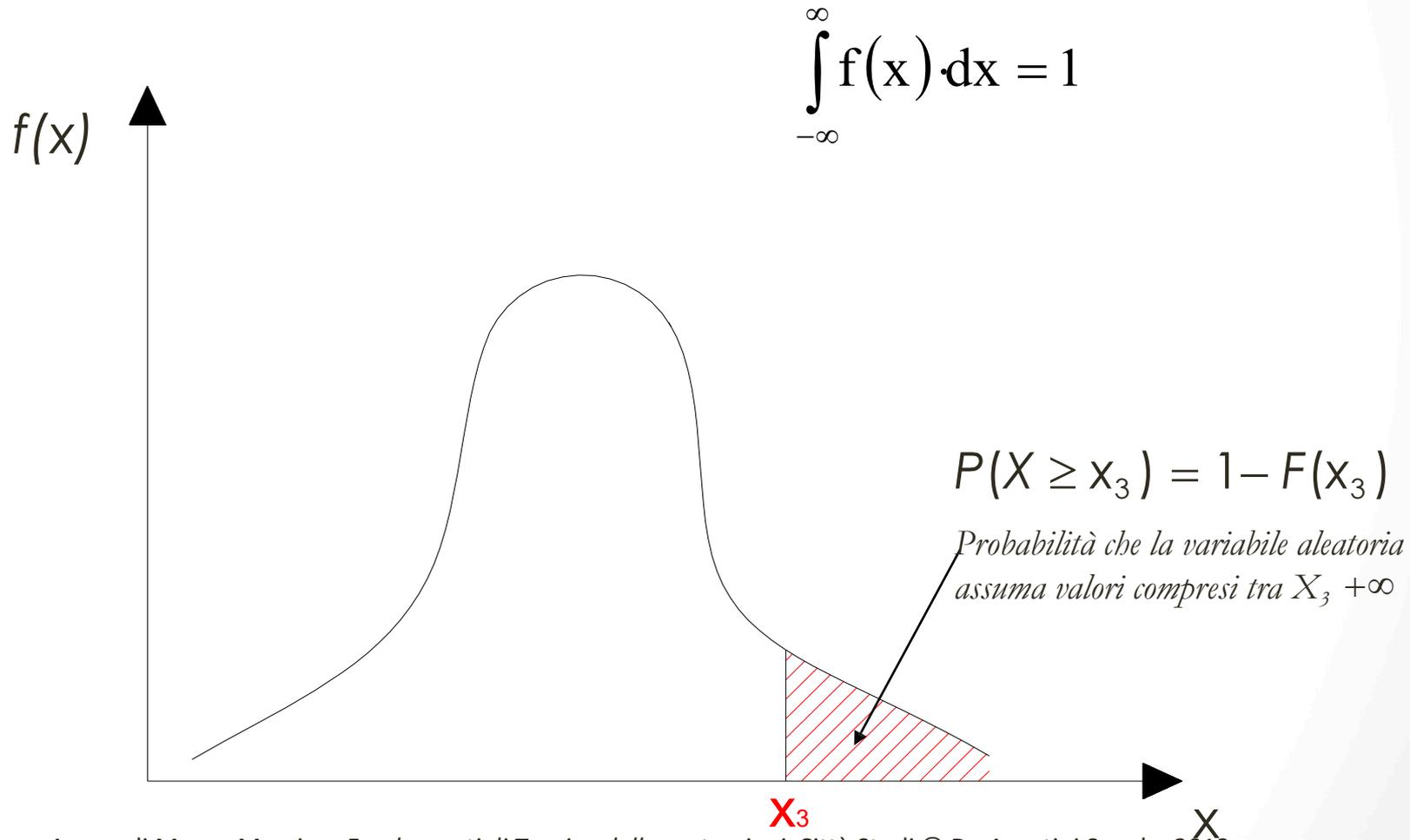
INTERPRETAZIONE GRAFICA

Se $f(x)$ è la funzione densità di probabilità di una variabile aleatoria x , essa può essere rappresentata graficamente



INTERPRETAZIONE GRAFICA

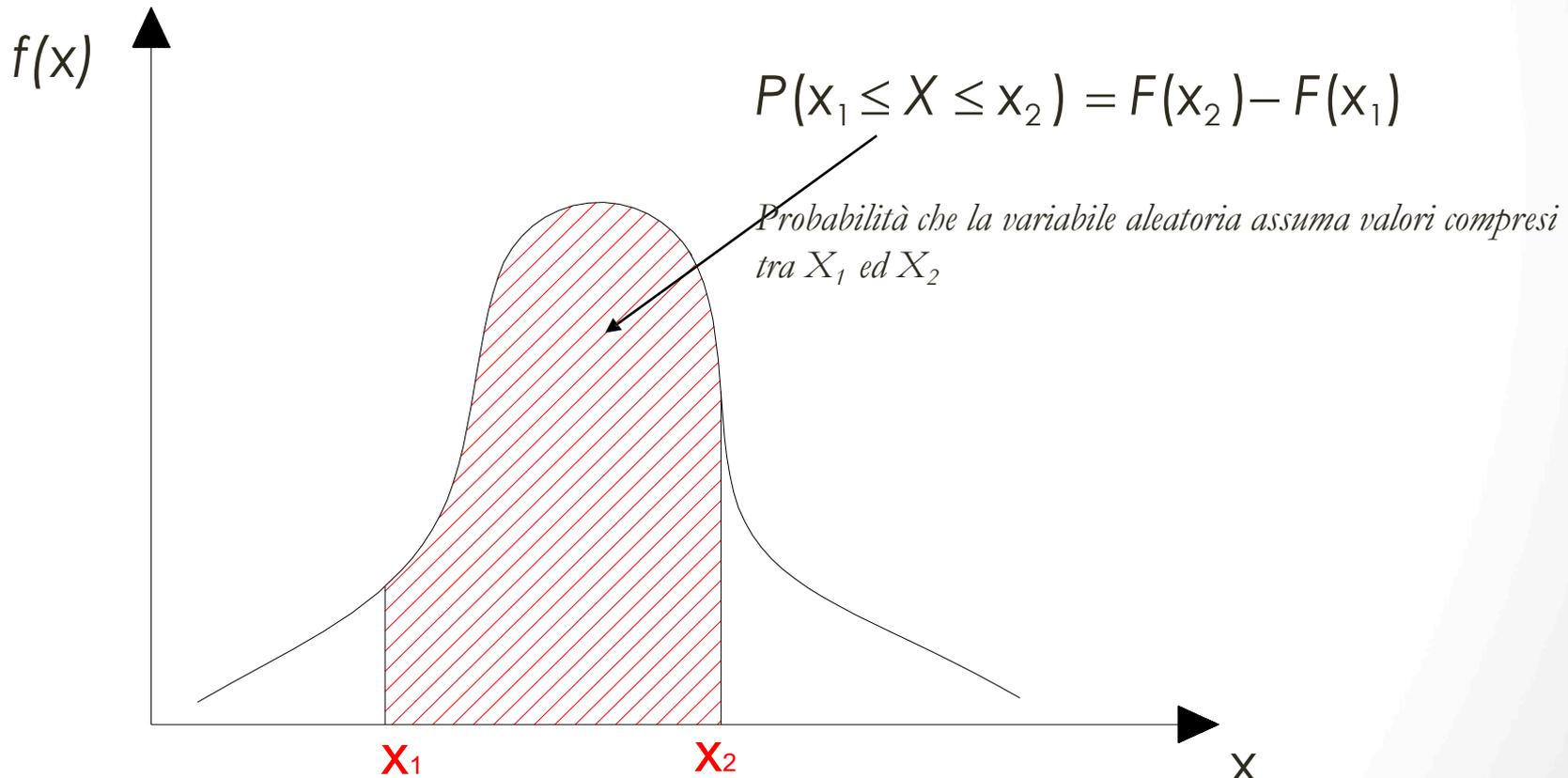
Se $f(x)$ è la funzione densità di probabilità di una variabile aleatoria x , essa può essere rappresentata graficamente



INTERPRETAZIONE GRAFICA

Se $f(x)$ è la funzione densità di probabilità di una variabile aleatoria x , essa può essere rappresentata graficamente

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot dx = 1$$

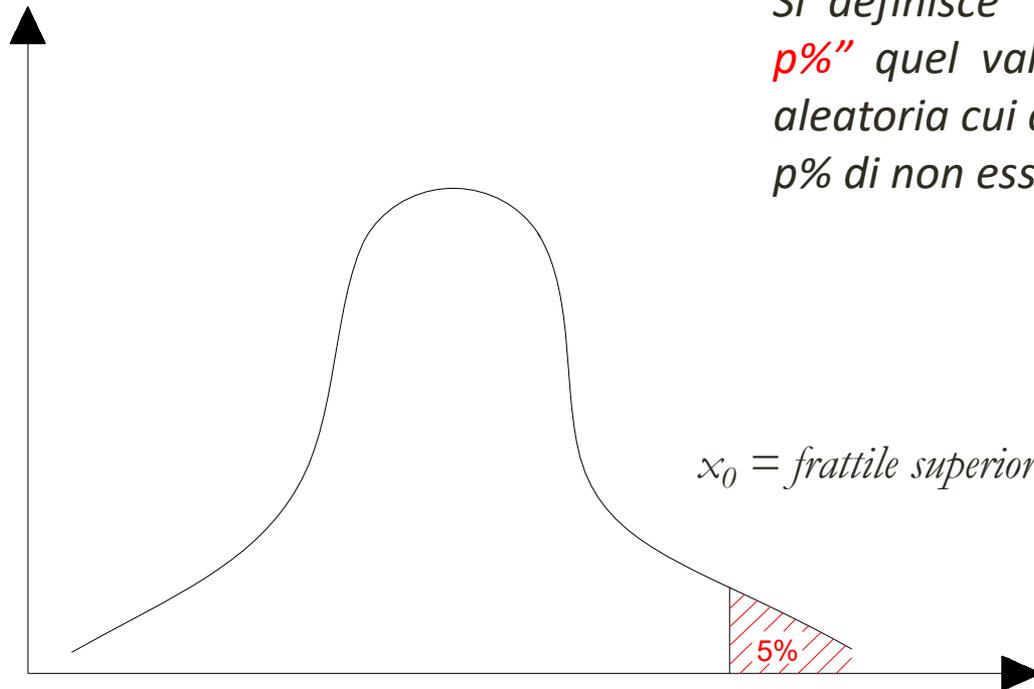


DEFINIZIONE DI FRATTILE

Assegnato un valore P^* della probabilità, esisterà uno ed un solo valore x_k della variabile x per il quale vale

$$P^* = P(x \geq x_k) = F(x_k)$$

Si definisce **frattile** della probabilità P^* il valore x_k della variabile aleatoria x che soddisfa tale uguaglianza.



Si definisce “frattile superiore al $p\%$ ” quel valore della variabile aleatoria cui corrisponde la probabilità $p\%$ di non essere superato

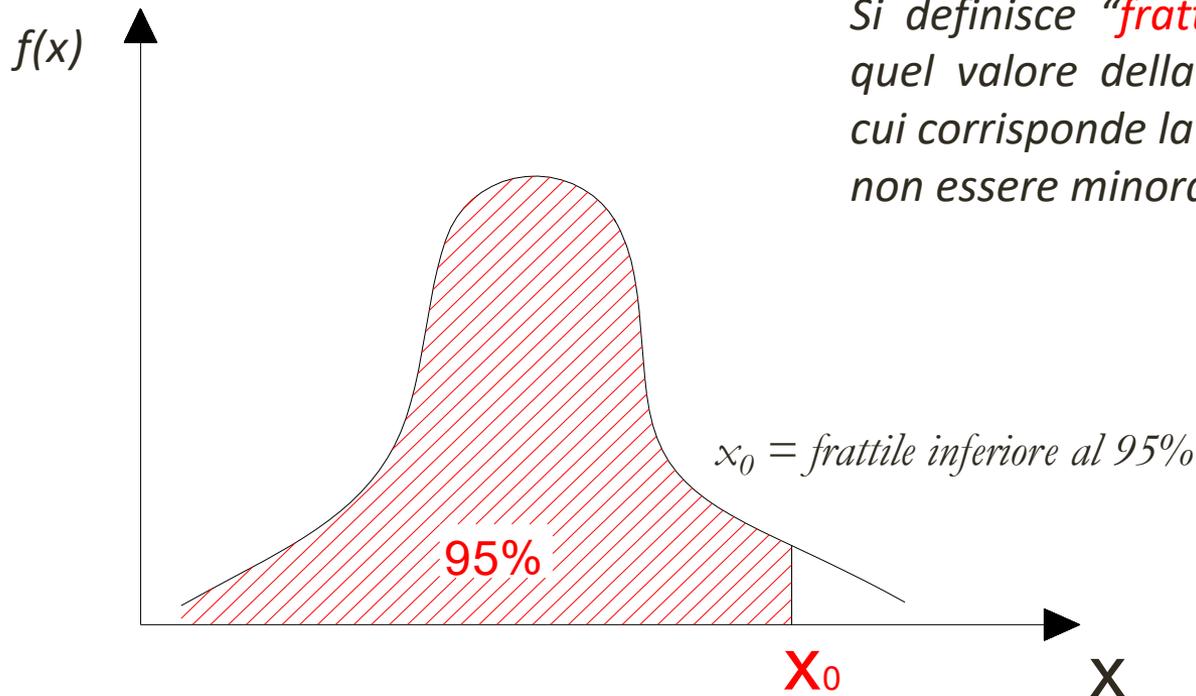
$x_0 =$ frattile superiore al 5%

DEFINIZIONE DI FRATTILE

Assegnato un valore P^* della probabilità, esisterà uno ed un solo valore x_k della variabile x per il quale vale

$$P^* = P(x \leq x_k) = F(x_k)$$

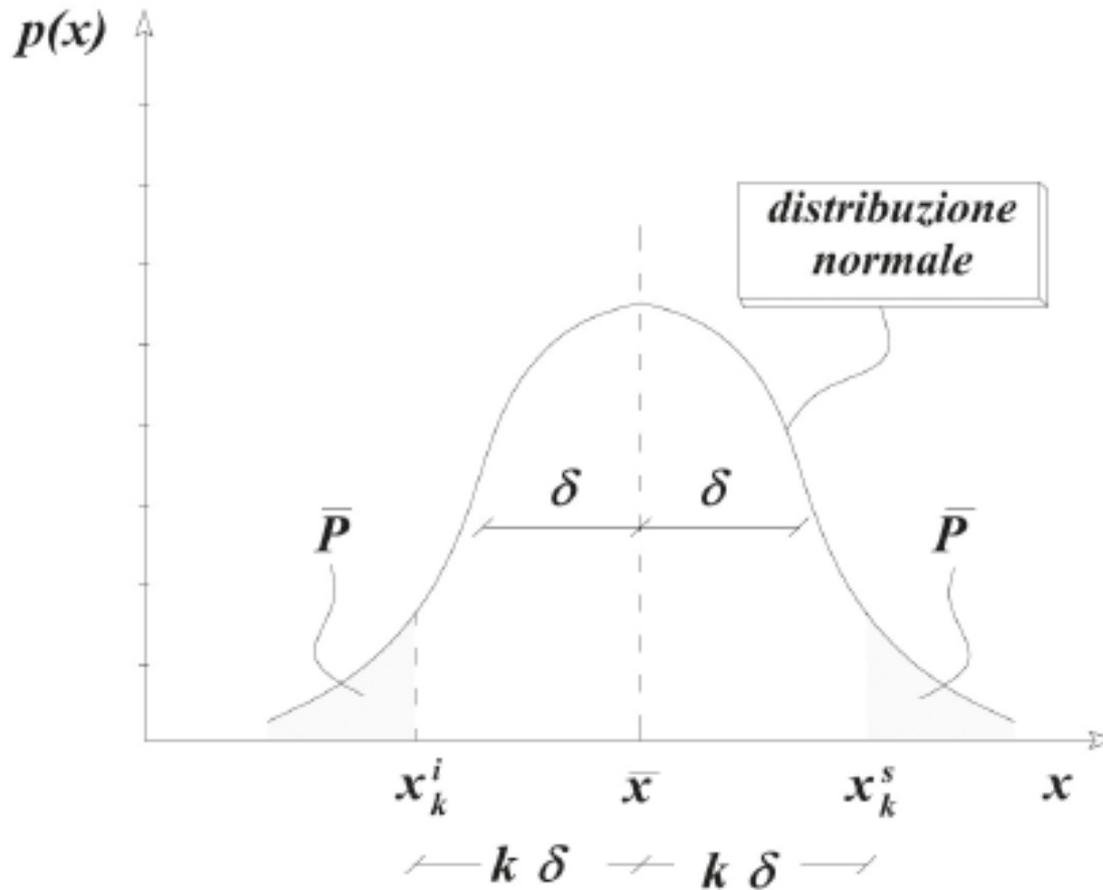
Si definisce **frattile** della probabilità P^* il valore x_k della variabile aleatoria x che soddisfa tale uguaglianza.



Si definisce “**frattile inferiore al p%**” quel valore della variabile aleatoria cui corrisponde la probabilità p% di non essere minorato

FRATTILE SUPERIORE E INFERIORE

VALORI CARATTERISTICI



LA MISURA DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

La misura della sicurezza si esprime dunque in termini probabilistici e rappresenta la capacità della struttura o di una sua parte, di garantire, in un prefissato arco temporale, specifici requisiti prestazionali per i quali essa è stata progettata.

Il termine sicurezza va associato, pertanto, ad una serie di assunzioni che riguardano la causa sollecitante, la durata, e la prestazione richiesta (commisurata all'importanza dell'opera). Dal grado di sicurezza che si intende assumere dipendono, ovviamente, tutte le operazioni di progettazione e di costruzione (dimensionamento degli elementi, rischi assunti, costi in genere). L'assunzione del livello di rischio accettabile è operazione fissata dalle normative tecniche, le quali, predisponendo i diversi livelli di accettazione di determinate grandezze sotto controllo (tensioni, deformazioni, spostamenti ecc.), implicitamente tengono conto della maggiore o minore garanzia di sicurezza da richiedere ad una determinata costruzione.

La condizione di sicurezza strutturale equivale pertanto a mantenere la probabilità di superamento di un prefissato livello prestazionale della struttura al di sotto di un determinato valore, ritenuto accettabile dalle norme.

LA MISURA DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

Le NTC stabiliscono che ciascuna struttura deve soddisfare i requisiti seguenti :

- **sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU):** capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- **sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):** capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;
- **sicurezza antincendio:** capacità di garantire le prestazioni strutturali previste in caso d'incendio, per un periodo richiesto;
- **durabilità:** capacità della struttura di mantenere, nell'arco della propria vita nominale, i livelli prestazionali per i quali è stata progettata, tenuto conto delle caratteristiche ambientali in cui si trova e del livello previsto di manutenzione;
- **robustezza:** capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali esplosioni e urti.

LA MISURA DELLA SICUREZZA STRUTTURALE

Per misurare la sicurezza di una struttura, ovvero la sua affidabilità, esistono due approcci fondamentali:

✓ **Misura di tipo deterministico**—Metodo delle Tensioni Ammissibili, Metodo del Calcolo a Rottura

✓ **Misura di tipo probabilistico**—Metodo probabilistico, Metodo semiprobabilistico agli Stati Limite

Le misure di tipo probabilistico sono più complesse ma allo stesso tempo più realistiche, dal momento che tengono conto delle variabilità e delle incertezze dei parametri da cui la sicurezza della struttura dipende.

Tra i metodi di tipo probabilistico quello che maggiormente interessa è il **Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite**, metodo su cui attualmente si basa la Normativa Italiana.

METODO SEMIPROBABILISTICO AGLI STATI LIMITE

La misura della sicurezza di una struttura deve essere fatta prendendo in esame tutti gli aspetti del suo comportamento, ed organizzando per ciascuno di essi un metodo di misura che tenga conto di tutte le variabilità e di tutti gli elementi di incertezza.

Alla prima esigenza si soddisfa istituendo un elenco degli stati limite; alla seconda, organizzando la misura per quanto possibile sulla base di criteri probabilistici.

Il metodo semi-probabilistico agli stati limite viene così detto per l'approccio approssimato che si fa dell'aspetto probabilistico e perché viene considerata ogni possibile condizione estrema che la struttura può raggiungere in ogni suo stato di comportamento.

Scopo del progetto: Tutte le strutture e tutti gli elementi strutturali devono essere progettati in modo da sopportare con sicurezza tutte le forze e le deformazioni applicate durante la costruzione e l'esercizio e devono avere una conveniente durabilità per l'intera vita prevista per la struttura e per i suoi elementi.

La durabilità è altrettanto importante della resistenza.

METODO SEMIPROBABILISTICO AGLI STATI LIMITE

Il metodo è detto semiprobabilistico poiché che si basa su una relazione di tipo deterministico, ovvero:

$$\begin{array}{ccc} \text{Domanda} & \leftarrow \boxed{S_d \leq R_d} \rightarrow & \text{Richiesta} \\ \text{(sollecitazioni)} & & \text{(resistenze)} \end{array}$$

S_d ed R_d hanno carattere probabilistico.

Il metodo infatti considera la **resistenza dei materiali** ed i valori delle **azioni** agenti sulla struttura come **variabili aleatorie**, ovvero grandezze cui non si può assegnare un unico valore (deterministico) ma che, se misurate, assumono di volta in volta un valore differente, casuale.

DEFINIZIONE DI STATI LIMITE

Si definisce stato limite uno stato raggiunto il quale la struttura, o uno dei suoi elementi costitutivi non può più svolgere le funzioni o non soddisfa più le condizioni per le quali è stata progettata.

In tal caso si dice che la struttura “rovina” nei confronti di tale stato, la probabilità di raggiungimento dello stato limite viene indicata con **Pr**.

Gli stati limite si suddividono in due categorie:

- a) Stati limite ultimi (SLU)**, corrispondenti al valore estremo della capacità portante, o comunque legati al raggiungimento di condizioni estreme;
- b) Stati limite di esercizio (SLE)**, legati alle esigenze di impiego ordinario e di durata.

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

- Perdita di equilibrio della struttura (o di una sua parte), considerata come corpo rigido
 - Rottura localizzata della struttura (o di una sua parte) per azioni statiche
 - Rottura localizzata della struttura (o di una sua parte) per fatica
 - Collasso per trasformazione della struttura (o di una sua parte) in un meccanismo)
 - Instabilità per deformazione
 - Deformazioni anelastiche (plastiche e per fessurazione) e /o viscosi, o spostamenti di vincoli (scorrimento di appoggi), che conducano ad una modifica della geometria tale da rendere necessaria la sostituzione della struttura o di sue parti fondamentali
 - oppure, situazioni estreme di carattere ultimo raggiunte per collasso incrementale, per effetto del fuoco, di esplosioni, urti, ecc.

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

- Deformazioni eccessive (per un utilizzo normale della struttura)
- Fessurazioni premature o eccessive
- Degradazione o corrosione
- Spostamenti eccessivi (senza perdita di equilibrio)
- Vibrazioni eccessive
- Instabilità per deformazione
- nonché tutte le situazioni estreme di carattere d'esercizio previste caso per caso.

AZIONI E SOLLECITAZIONI

Si designa con il termine **azione A** ogni causa o insieme di cause applicate alla struttura, alle quali consegue un stato di sollecitazione **S**.

Si designa con il termine **sollecitazione S**, sia la forza o l'insieme di forze (forza normale, taglio, momento flettente, ecc.) prodotta dall'azione nella struttura, sia le tensioni conseguenti, sia qualunque altro effetto (deformazione, apertura di fessure, incremento della corrosione, ecc.).

AZIONI

Le azioni **A** di cui si deve tener conto nei diversi stati limite sono:

- a) Le **azioni dirette** (forze): carichi permanenti (peso proprio ed altri carichi fissi) e carichi variabili (carichi di servizio, neve, vento, sisma, spinta delle terre, ecc.);
- b) Le **azioni indirette** (deformazioni impresse): variazioni termiche, ritiro, pre-compressione, spostamenti di vincoli, ecc.;
- c) Le **azioni di carattere chimico-fisico** dovute a : agenti aggressivi, umidità, gelo, materiali nocivi, ecc.

RESISTENZE

Si designa con il termine **resistenza R** la capacità della struttura di far fronte ad una determinata sollecitazione (che costituisce quindi la domanda imposta alla struttura).

La misura della sicurezza si effettua mettendo a confronto le sollecitazioni **S** con le resistenze **R** relative allo stato limite considerato (quindi anche nel caso di problemi di durabilità).

PRINCIPIO GENERALE DI MISURA DELLA SICUREZZA

FATTORI D'INCERTEZZA

In una struttura il raggiungimento di uno stato limite può essere provocato dall'intervento concomitante di diversi fattori d'incertezza di carattere aleatorio derivanti:

- dall'incertezza dei valori assunti dal progettista per le resistenze dei materiali impiegati, tenendo conto dell'effettiva situazione della struttura e dei diversi parametri che influenzano lo stato limite in esame (durata dei carichi, fatica, fragilità, ecc.);
- dall'incertezza riguardante le azioni applicate, in particolare le deformazioni impresse e le azioni di natura chimico-fisica, comunque in relazione all'impossibilità di definirle con esattezza per l'intera vita prevista per la struttura;
- dalla variabilità delle dimensioni geometriche delle sezioni e della struttura;
- dalla divergenza esistente tra i valori effettivi delle azioni e quelli derivanti dal calcolo.

METODO SEMIPROBABILISTICO

Il metodo viene chiamato semiprobabilistico perché i diversi fattori di incertezza vengono coperti nel modo seguente:

- si assumono **valori caratteristici** (indice **k**)
- da un lato per le resistenze dei materiali impiegati R_k ;
- dall'altro per le azioni applicate S_k
- si coprono i restanti fattori di incertezza **trasformando i valori caratteristici in valori di progetto** (indice **d**) mediante l'applicazione di adeguati coefficienti maggiorativi per quanto riguarda i carichi e diminutivi per quanto riguarda le resistenze.

METODO SEMIPROBABILISTICO

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_m}$$

$$S_d = S_k \cdot \gamma_f$$

$$\gamma_m \geq 1$$

$$\gamma_f \geq 1$$

$$\gamma_f \leq 1$$



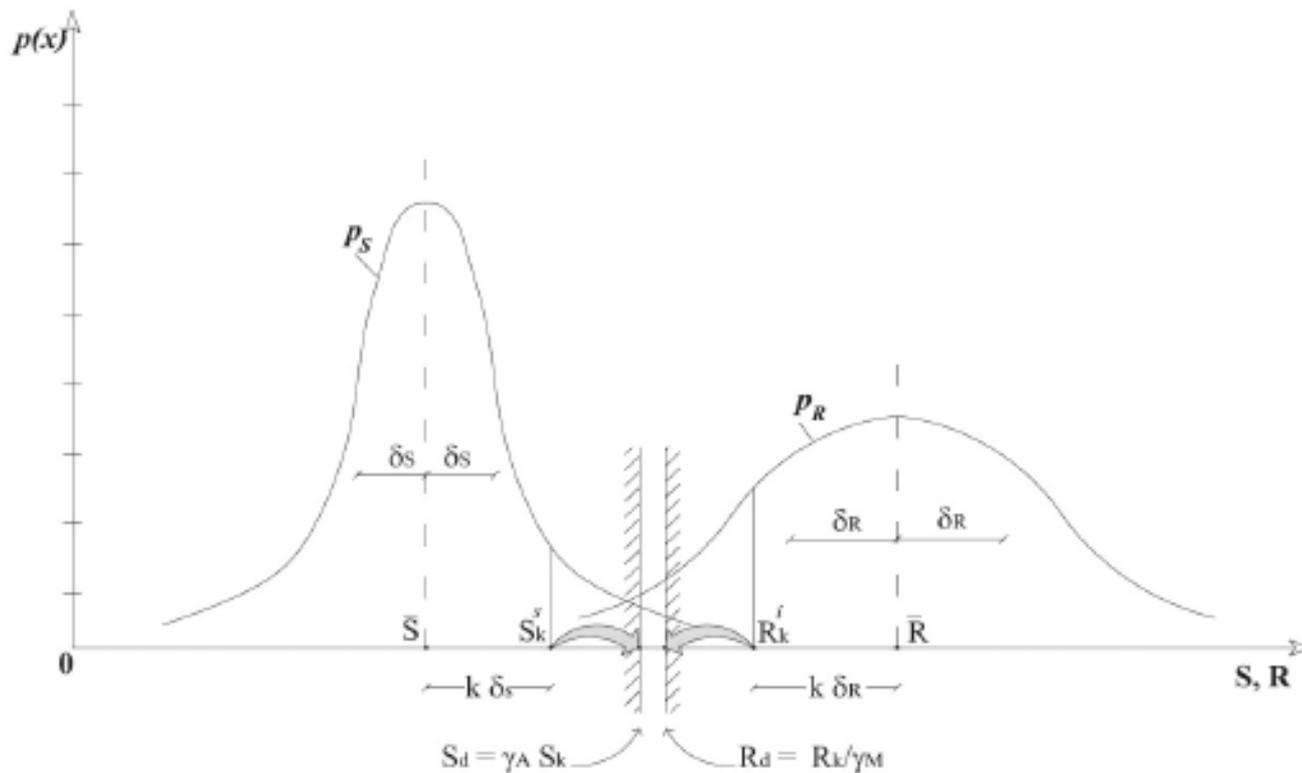
a favore di sicurezza



$$S_d \leq R_d$$

VERIFICA POSITIVA

Resistenza ed Azioni sono rappresentate non attraverso la loro densità di probabilità congiunta, ma mediante i rispettivi valori, coprendo parte delle incertezze con i coefficienti parziali di sicurezza dei carichi (γ_F) e delle resistenze dei materiali (γ_M).



VITA NOMINALE (NTC 2.4.1)

Le NTC fanno riferimento alla **Vita nominale** (V_N) come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, mantiene i livelli prestazionali per i quali è stata progettata.

La Vita nominale dei diversi tipi di opere di nuova realizzazione è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

CLASSI D'USO PER AZIONE SISMICA (NTC 2.4.2)

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

PERIODO DI RIFERIMENTO PER AZIONE SISMICA (NTC 2.4.3)

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_N \times C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Se $V_R \leq 35$ anni si pone comunque $V_R = 35$ anni.

