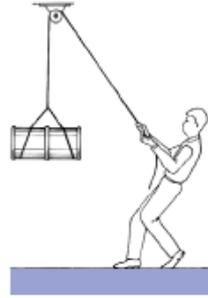


# Principi di Meccanica e di Equilibrio

---

- Nella Meccanica Classica (Meccanica Newtoniana) si assume che tra corpi diversi, così come tra le diverse parti di uno stesso corpo, si possono trasmettere reciproche interazioni, sia a distanza sia a contatto.
- Tali interazioni prendono il nome di **forze**.
- Le forze sono quantità vettoriali, caratterizzate da una retta d'azione, un modulo e un verso.
- Le forze possono essere **concentrate** o **distribuite**.



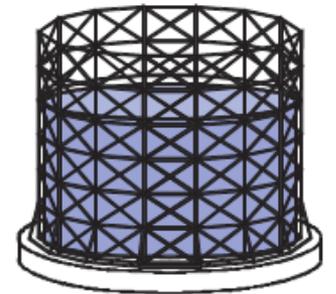
a)



d)



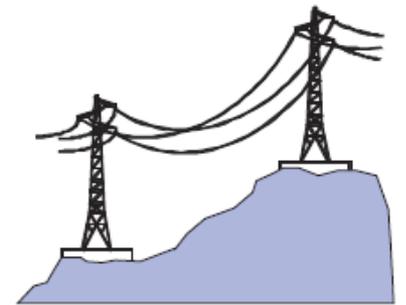
b)



e)



c)



f)

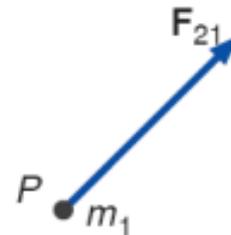
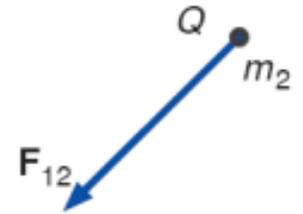
- Nel caso delle azioni a distanza, si assume che due qualunque masse  $m_1$  e  $m_2$  esercitano l'una sull'altra la *forza gravitazionale*

$$F_{12} = F_{21} = h \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

La forza gravitazionale è direttamente proporzionale al prodotto delle masse e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. Inoltre,  $h$  è un coefficiente che prende il nome di *costante di gravitazione universale*.

La forza gravitazionale è sempre di mutua **attrazione**. In termini vettoriali si ha

$$\mathbf{F}_{12} = h \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{vers } (P - Q) \quad \mathbf{F}_{21} = h \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{vers } (Q - P)$$



# La forza peso

---

Tra le forze che agiscono sui corpi, di grande importanza è la forza peso, dovuta all'attrazione gravitazionale che la Terra esercita sul corpo. La forza peso si ottiene dalla relazione della forza gravitazionale

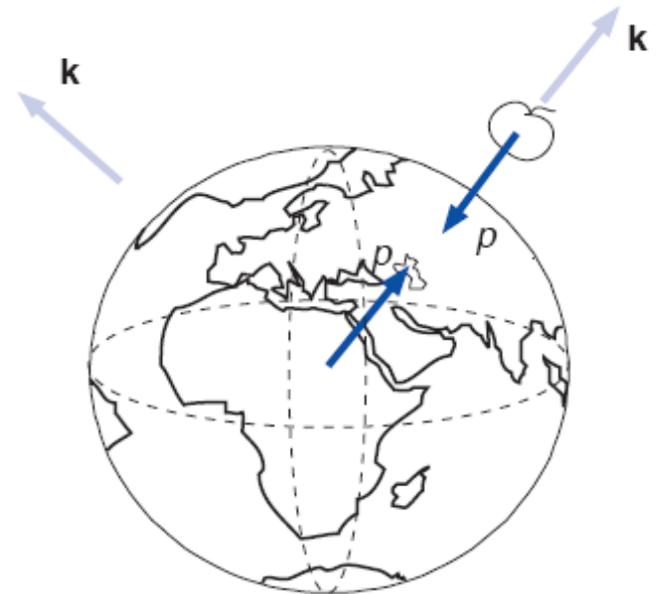
$$F = p = \frac{hM}{R^2}m$$

in cui  $h$  è la costante di gravitazione universale,  $M$  ed  $R$  sono rispettivamente la massa e il raggio della Terra,  $m$  è la massa del corpo. Il coefficiente

$$\frac{hM}{R^2} = g$$

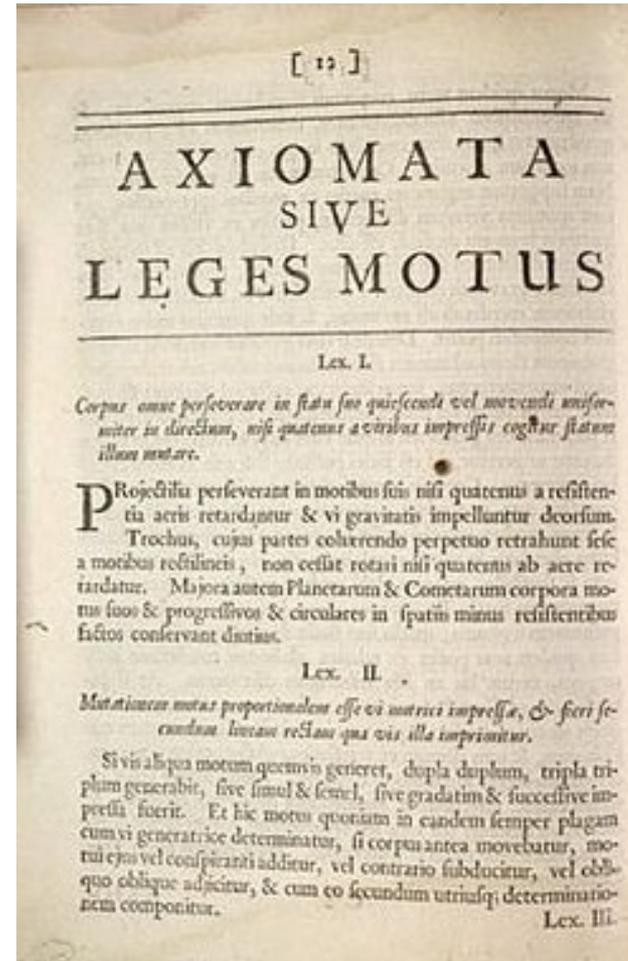
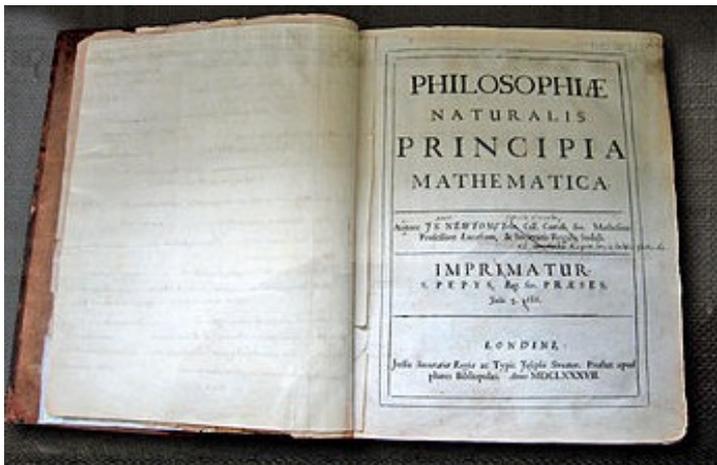
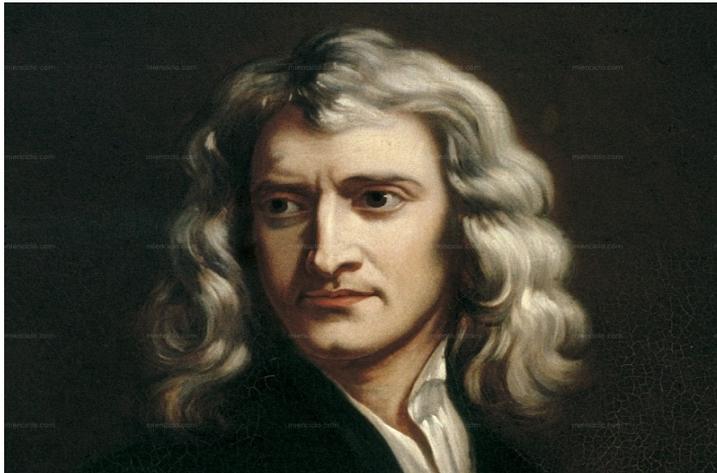
di dimensioni  $[LT^{-2}]$  è l'accelerazione di gravità, indicata con  $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$ . La relazione precedente assume quindi la forma

$$p = mg$$



## *Prima legge di Newton* (Principio d'inerzia)

In assenza di forze applicate, un punto materiale permane in uno stato o di quiete (sta fermo rispetto all'osservatore), o di moto rettilineo uniforme.



## *Seconda legge di Newton*

Per effetto di una forza applicata  $\mathbf{F}$ , un punto materiale acquista un'accelerazione  $\mathbf{a}$  (variazione di velocità). Il coefficiente di proporzionalità è pari alla massa  $m$  del punto. Si ha cioè

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

## *Terza legge di Newton* (Principio di azione e reazione)

Quando due corpi interagiscono, la forza che il primo corpo esercita sul secondo è uguale e opposta alla forza che il secondo esercita sul primo.



## *Definizione di forza*

- Interazione tra corpi materiali
- Causa che altera lo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, o che provoca deformazioni

## *Definizione di massa*

- Quantità di materia di un corpo
- Attitudine ad attrarre o a farsi attrarre da un altro corpo
- Capacità di un corpo di perseverare nel suo stato corrente, sia esso di quiete o di moto uniforme lungo una linea retta (resistenza/inerzia a lasciarsi accelerare)

## *Definizione di equilibrio*

L'**equilibrio** di un punto materiale va inteso come mantenimento della **quiete**. Pertanto si ha che:

**condizione necessaria e sufficiente per l'equilibrio di un punto materiale è che sia nulla la risultante di tutte le forze agenti su di esso, cioè**

$$\mathbf{R} = \mathbf{0}$$

# Tecnica delle Costruzioni

---

(Rev 09/2018)

*Le seguenti 'slides' costituiscono solo una base per lo sviluppo delle lezioni e, pertanto, non sostituiscono i testi consigliati*

# Qualche definizione

---

**Tecnica** [dal greco τέχνη (*téchne*), *arte* nel senso di *perizia, saper fare, saper operare*]

Insieme delle norme applicate e seguite in un'attività, sia intellettuale sia manuale; tali norme possono essere o acquisite empiricamente, nel caso in cui sono formulate e trasmesse dalla tradizione, o basate su conoscenze scientifiche specializzate.

**Costruzione** [dal latino *constructio - onis*]

Opera costruita, fabbrica, edificio, manufatto.

**Struttura** [dal latino *structura*]

Parte di una costruzione che ha lo scopo di sostenere i carichi e di trasferirli al suolo.

**Tecnologia** [dal greco τέχνη λογία (*téchne loghìa*), discorso sull'*arte*, cioè sul *saper fare*, sulla *tecnica*]

Indica la catalogazione e lo studio sistematico di tecniche, spesso riferite a un ambito specifico.

# A1 – Sicurezza strutturale

---

# Criteria di progetto

---

## *Definizione dello spazio architettonico*

L'architetto deve stabilire il ruolo della struttura nell'ambito della costruzione, come eventuale ulteriore elemento di definizione dello spazio.

## *Economia*

Una struttura deve essere costruita con la minore quantità possibile di materiale e deve poter essere realizzata con facilità, senza bisogno di ricorrere ad attrezzature complesse, in modo da ridurre i costi di costruzione.

## *Sicurezza*

Una struttura deve essere in grado di sostenere i carichi esterni in sicurezza e con piccole deformazioni.

## L'Arte del Costruire

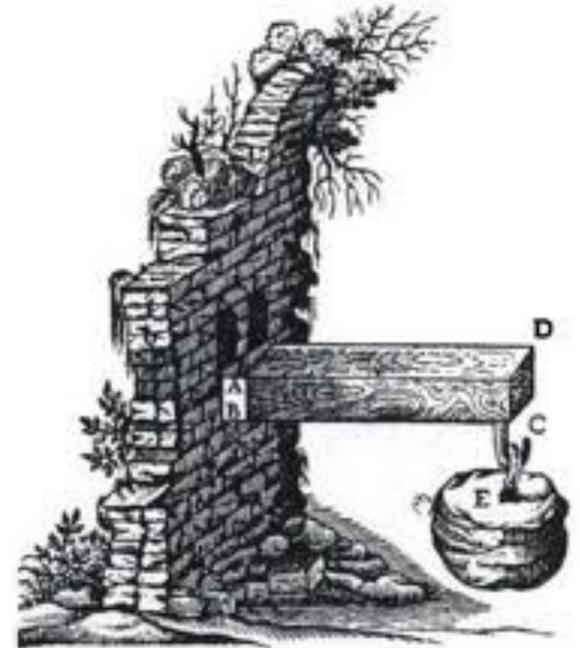
Fino al XIX secolo, le dimensioni degli elementi strutturali e i particolari costruttivi erano stabiliti in base a *regole empiriche*. Queste regole erano state elaborate nel corso dei secoli attraverso l'esame del comportamento delle strutture già realizzate e dei problemi che si presentavano in termini di danni o di crolli. Ogni dissesto stimolava lo sviluppo di soluzioni alternative che, quando mostravano di essere efficaci, venivano inserite nell'insieme delle regole costruttive.

Pur essendo affidabile, tuttavia, l'Arte del Costruire non consente di uscire dagli schemi della tradizione costruttiva, che riguarda principalmente le costruzioni in legno e muratura.

In tempi relativamente recenti, la disponibilità di nuovi materiali e la necessità di risolvere problemi costruttivi sempre più arditi, ha richiesto lo sviluppo di metodi profondamente diversi, che potessero consentire di conoscere il comportamento della struttura prima della sua realizzazione.

## La Scienza del Costruire

Convenzionalmente, il primo tentativo di tradurre le regole costruttive in formulazioni matematiche è attribuito a **Galileo Galileo**, che nel 1638 pubblicò il trattato “Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze ...”



## La Scienza del Costruire

A partire da Galileo e attraverso il contributo di moltissimi studiosi e ricercatori, la *Matematica* e la *Meccanica* sono entrate gradualmente a far parte della pratica progettuale. L'Arte del Costruire ha assunto progressivamente il ruolo di una disciplina scientifica, trasformandosi a poco a poco in *Scienza del Costruire*.

La Scienza del Costruire consente la formulazione di *modelli matematici* che supportano il progettista nelle proprie scelte.

Per *modello* si intende una rappresentazione concettuale, inevitabilmente semplificata, di un fenomeno fisico, capace di spiegarne il funzionamento ricorrendo a una formulazione matematica.

## Modello di calcolo

Per prevedere e controllare il comportamento di un sistema strutturale prima che il processo di costruzione sia avviato, il progettista fa ricorso a modelli sperimentali o astratti come per esempio:

- modello per lo schema geometrico della struttura e dei suoi elementi costituenti
- modello per la schematizzazione dei vincoli
- modello del comportamento meccanico dei materiali (legami costitutivi)
- modello per la definizione delle azioni agenti
- modello per la valutazione delle sollecitazioni massime (tipo di analisi)

che insieme costituiscono il cosiddetto *modello di calcolo*.

Tuttavia, la realtà è sempre molto più complessa del modello di calcolo. Si rende quindi necessario un giudizio sul suo *grado di affidabilità*.

In questo ambito si inserisce il concetto di *sicurezza*, che tende a compensare le incertezze del modello di calcolo con adeguati margini.

Poiché la maggior parte delle **variabili** che intervengono nei problemi di progettazione strutturale (geometria, resistenza, carichi, ...) sono di tipo **aleatorio**, il problema della sicurezza richiede, a rigore, un *approccio probabilistico*.

*Una variabile si dice **deterministica** quando il suo valore si conosce con precisione.*

*Una variabile si dice **aleatoria** quando può assumere valori diversi, ciascuno caratterizzato da una certa probabilità di accadimento.*

In generale, la **capacità** prestazionale della struttura ( $R$ ) e la **domanda** in prestazione ( $S$ ) sono variabili aleatorie che rappresentano la resistenza della struttura (*capacità*) e la sollecitazione esterna (*domanda*) sia in termini di azioni, sia in termini di spostamenti.

Una struttura è in sicurezza quando risulta:

$$R \geq S$$

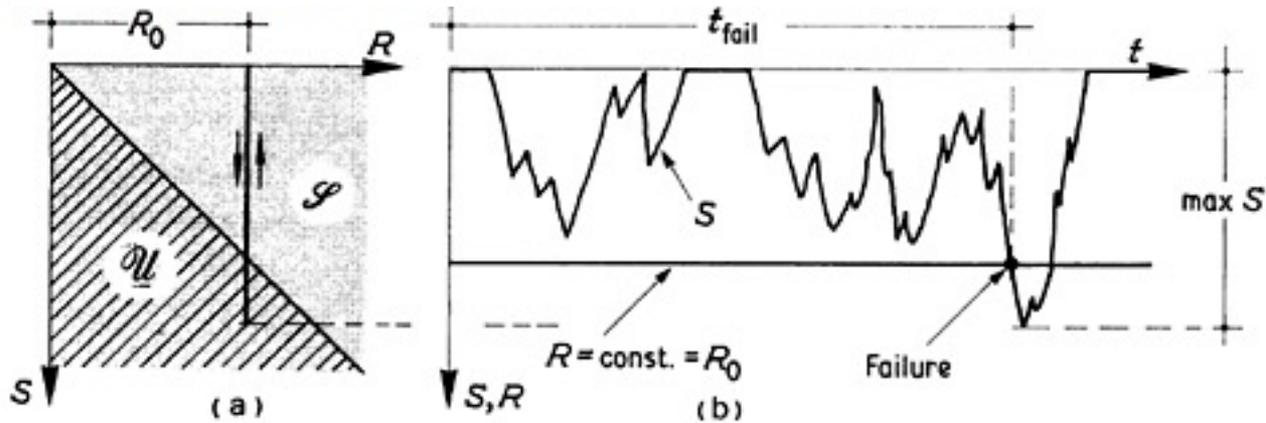
A questa relazione si può dare la seguente rappresentazione grafica.

# Dominio di sicurezza e dominio di crisi

In un diagramma  $R, S$  si tracci la semiretta di equazione  $R = S$  inclinata di  $45^\circ$  rispetto agli assi. Si nota che la parte di piano compresa tra questa semiretta e l'asse  $R$  rappresenta il *dominio di sicurezza* della struttura perché per tutti i suoi punti risulta  $R \geq S$ .

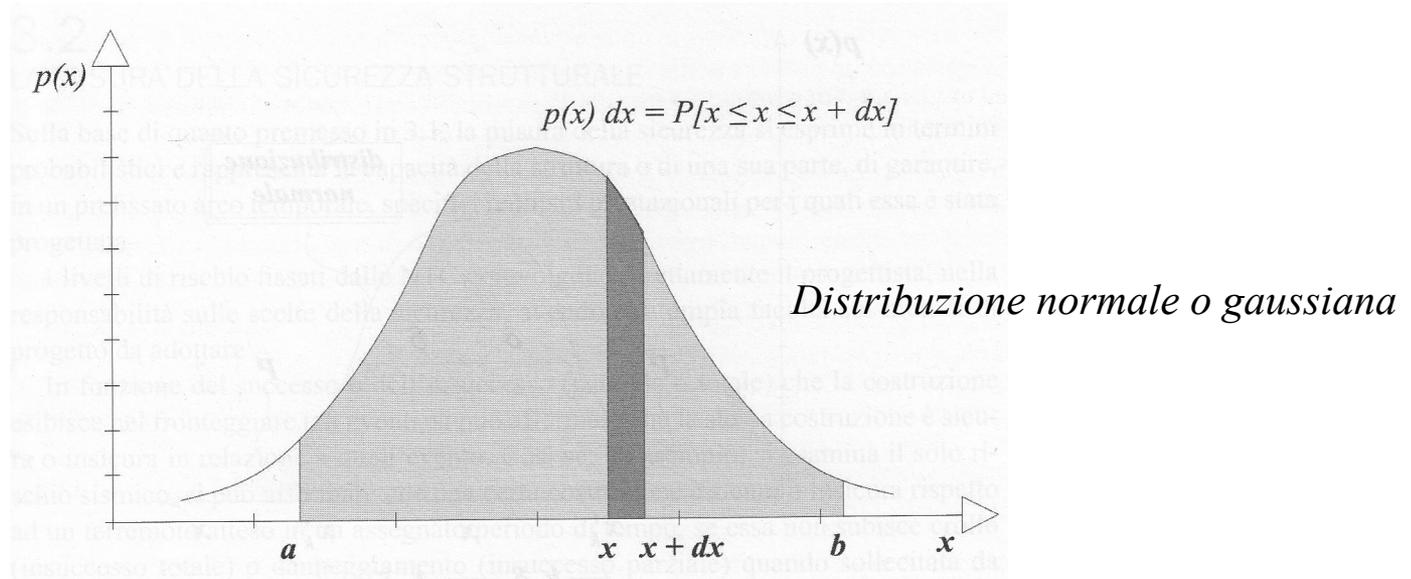
La rimanente parte costituisce il *dominio di crisi*.

La semiretta che separa i due domini viene detta *semiretta critica*.



Ci si pone il seguente problema: poiché  $R$  ed  $S$  sono variabili aleatorie, come si può calcolare il loro valore in funzione della probabilità di accadimento?

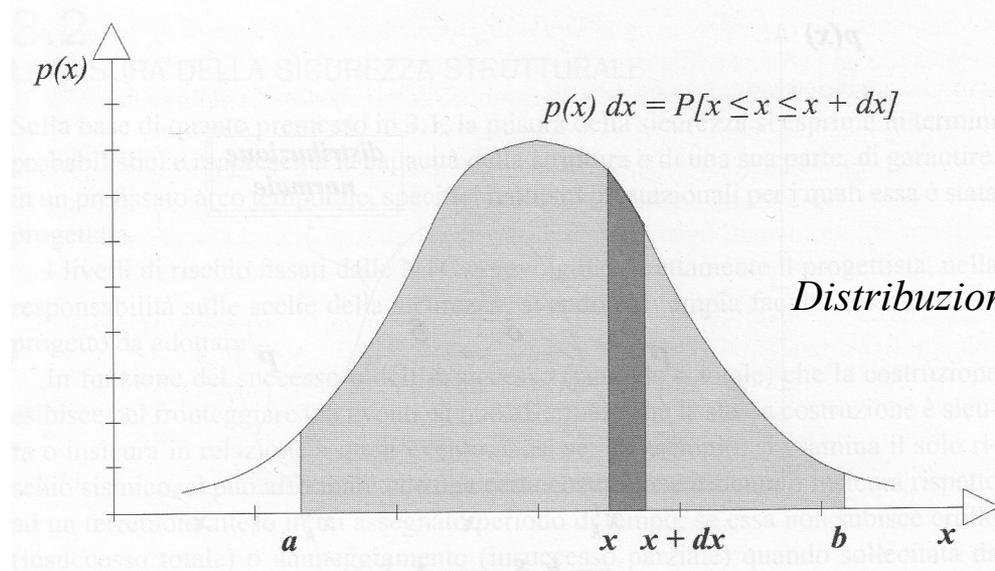
Una variabile aleatoria  $x$  può essere descritta in termini della sua **funzione di densità di probabilità**  $p(x)$ .



La probabilità che la variabile aleatoria assuma un valore compreso tra  $x$  e  $x + dx$  è pari a  $p(x)dx$ , cioè

$$P[x \leq x \leq x + dx] = p(x)dx$$

Questa quantità corrisponde all'area indicata in grigio scuro nel grafico precedente. La probabilità è sempre un numero minore di uno e può essere espressa in percentuale.

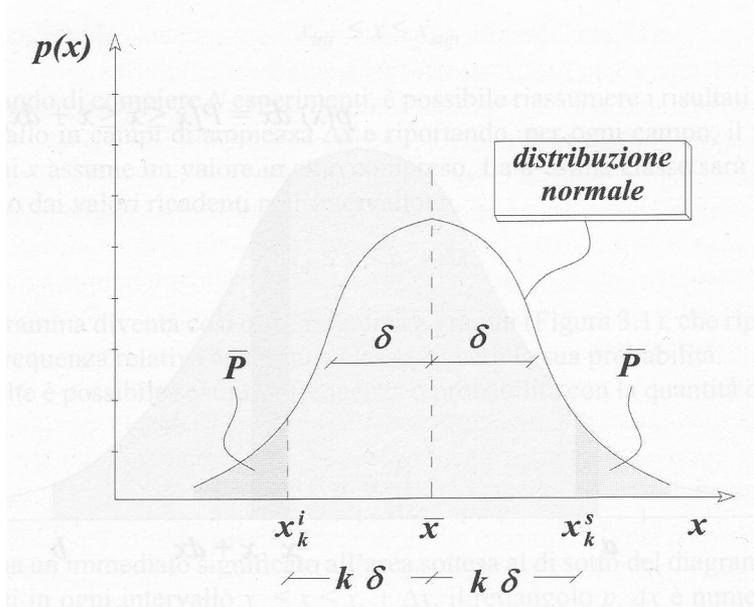


Pertanto

$$P[a \leq x \leq b] = \int_a^b p(x) dx$$

$$P[-\infty \leq x \leq +\infty] = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1 = 100\%$$

La parte centrale della curva corrisponde ai valori più probabili della variabile aleatoria, mentre le code corrispondono ai valori meno probabili.



Nota la funzione densità di probabilità  $p(x)$ , si definisce **valor medio** della variabile aleatoria  $x$  la quantità

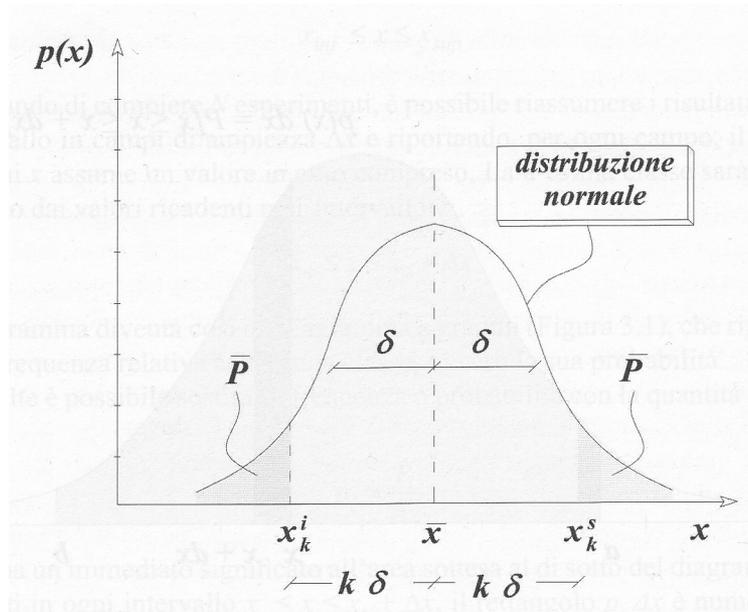
$$\bar{x} = \mu = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot p(x) dx$$

che corrisponde al suo valore più probabile e che coincide con l'ascissa del baricentro dell'area sottesa dalla curva  $p(x)$ . Si definisce **varianza** la quantità

$$\delta^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^2 \cdot p(x) dx$$

La radice quadrata della varianza si definisce **deviazione standard** o **scarto quadratico medio**, e si indica con  $\delta$  o con  $s$ .

La deviazione standard misura la dispersione di  $x$  attorno al suo valore medio; piccoli valori della deviazione standard corrispondono a curve  $p(x)$  appuntite, grandi valori a curve piatte.



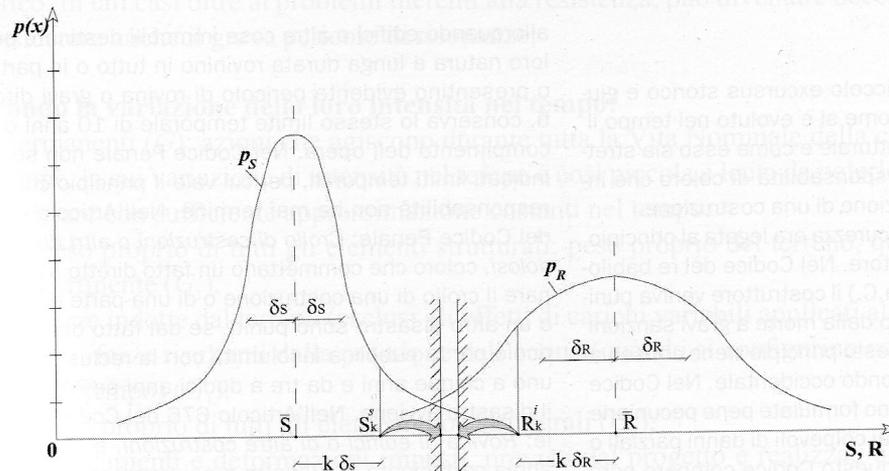
Noti il valor medio e la deviazione standard si possono definire i **frattili inferiore e superiore** di ordine  $\bar{P}$

$$x_k^i = \bar{x} - k\delta \quad x_k^s = \bar{x} + k\delta$$

in cui  $k$  è funzione della legge di variazione di  $p(x)$  e della probabilità  $\bar{P}$ . Il frattile inferiore è il valore di  $x$  che ha la probabilità  $\bar{P}$  di non essere superato. Il frattile superiore è quel valore di  $x$  che ha la probabilità  $\bar{P}$  di essere superato, cioè

$$P[x \leq x_k^i] = P[x \geq x_k^s] = \bar{P} \quad (0 \leq \bar{P} < 1)$$

Dato un sistema strutturale, si supponga di conoscere le funzioni di densità di probabilità della capacità e della domanda e di confrontarle tra di loro.



Per quanto distanti possano essere, le curve presenteranno una zona di sovrapposizione in corrispondenza delle loro code, in cui risulta  $S > R$ . Pertanto, esiste sempre per una struttura una **probabilità di crisi** maggiore di zero, cioè  $P_F [S > R] > 0$ .

( $F$  è l'iniziale del termine *fail*, che in lingua inglese significa crisi).

Il problema della **sicurezza strutturale** consiste nel calcolare la probabilità di crisi e di fare in modo che essa si mantenga al di sotto di un valore  $\varepsilon$  fissato dal legislatore, corrispondente a una soglia di rischio accettato. Questo valore dipende dalla destinazione d'uso della costruzione e da suo affollamento, cioè dal numero delle persone che la utilizzano contemporaneamente.

Deve quindi essere

$$P_F < \varepsilon$$

Per determinare un valore adeguato di  $\varepsilon$  è stata proposta la relazione seguente:

$$\varepsilon = \frac{\zeta_s V_N}{N_P} \cdot 10^{-4}$$

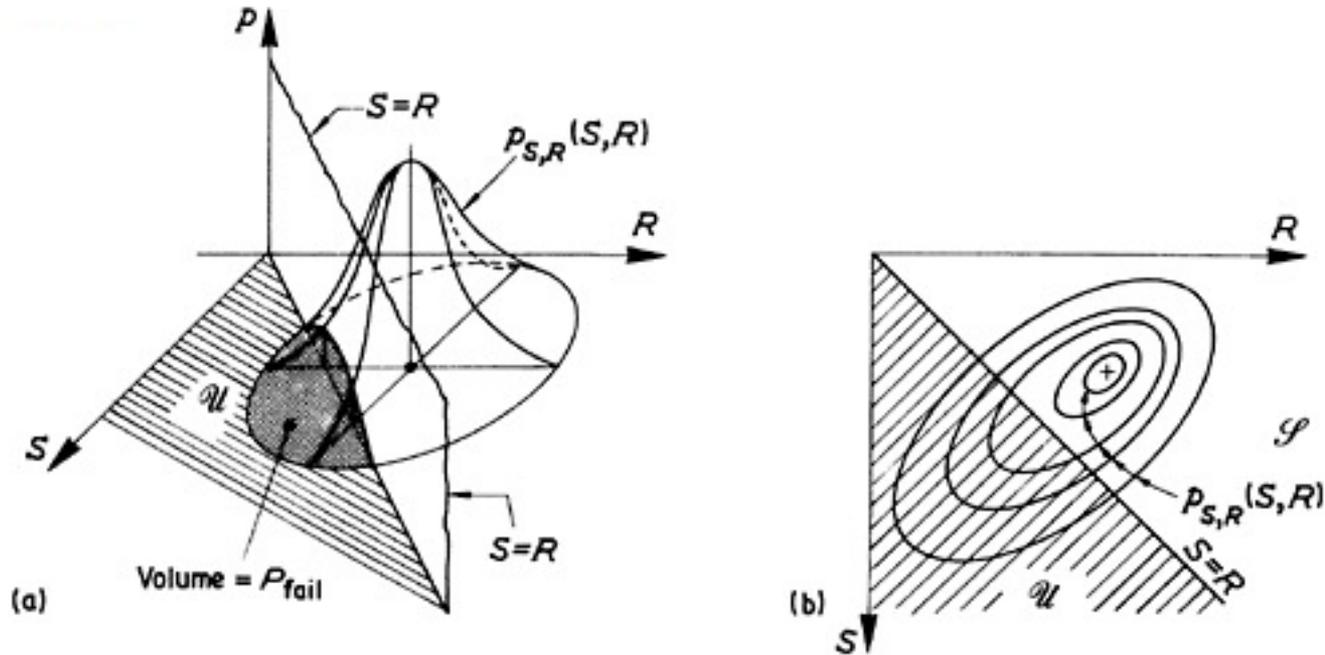
in cui  $V_N$  è la vita nominale della costruzione in anni,  $N_P$  il numero medio delle persone all'interno o nelle vicinanze della costruzione e  $\zeta_s$  un coefficiente (sociale), i cui valori sono indicati nella tabella seguente

Tipo di struttura	$\zeta_s$
Luogo pubblico, diga	0,005
Abitazioni, uffici, edifici per il commercio e l'industria	0,050
Ponti	0,500
Torri, strutture offshore	5,000

Per la condizione di collasso strutturale, valori tipici di  $\varepsilon$  sono compresi tra

$$1 \cdot 10^{-6} \leq \varepsilon \leq 1 \cdot 10^{-5}$$

A rigore, la probabilità di crisi può essere calcolata mediante la **funzione densità di probabilità congiunta** (JPDF = joint probability density function) delle due variabili aleatorie  $S$  ed  $R$ .



In questo diagramma la **probabilità di crisi** corrisponde al **volume di crisi**, indicato in grigio scuro nella figura precedente. Risulta quindi

$$P_F = \iint_{[S \geq R]} P_{S,R}(S,R) dS dR = \int_0^\infty dS \int_0^S P_{S,R}(S,R) dR$$

# Metodo di livello 0

---

Tuttavia, il calcolo della probabilità di crisi mediante la valutazione numerica dell'integrale

$$P_F = \iint_{[S \geq R]} P_{S,R}(S,R) dS dR = \int_0^\infty dS \int_0^S P_{S,R}(S,R) dR$$

è raramente possibile, principalmente a causa dell'incompletezza e dell'incertezza dei valori della funzione densità di probabilità congiunta nel campo delle basse probabilità. Per queste ragioni, nelle applicazioni tecniche si ricorre a *metodi semplificati*.

## *Metodo di livello 0 (Metodo delle tensioni ammissibili)*

Si considerano i valori medi della capacità ( $R$ ) e della domanda ( $S$ ). Il metodo delle tensioni ammissibili consiste nel determinare le tensioni massime ideali  $\sigma_{id}$  prodotte nella struttura dalle azioni esterne, sotto l'ipotesi di comportamento elastico-lineare omogeneo e isotropo del materiale. Le tensioni così valutate devono risultare minori di una tensione detta *ammissibile*,  $\sigma_{amm}$ , ricavata dal valore medio della tensione di rottura del materiale, ridotta mediante un coefficiente di sicurezza  $\gamma$  che mette in conto le diverse incertezze (carichi, modello, materiali, ...)

$$\sigma_{id} \leq \sigma_{amm} = \frac{\sigma_r}{\gamma}$$

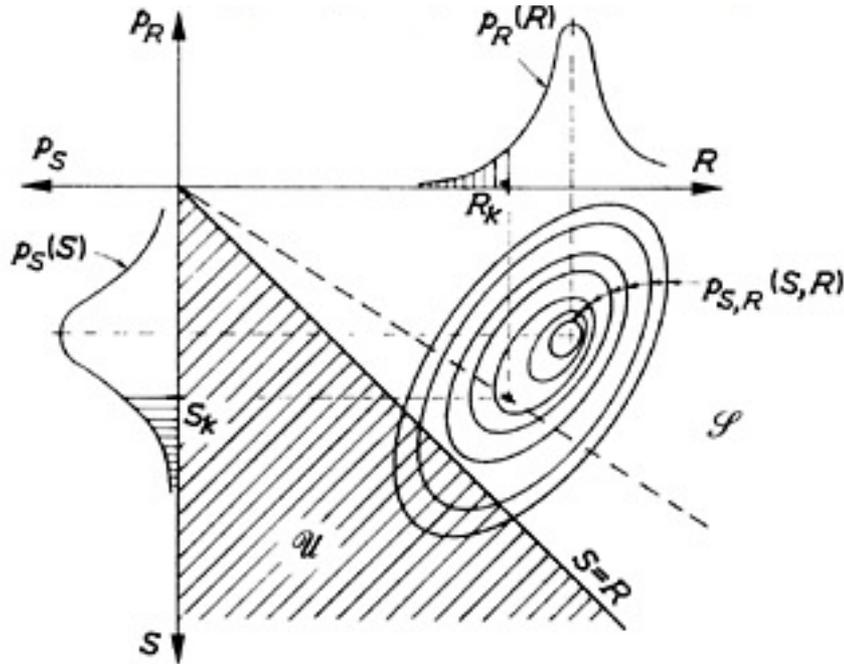
Le tensioni  $\sigma_{id}$  sono riferite ad uno stato di tensione monoassiale ideale equivalente allo stato di tensione reale, in genere pluriassiale, e sono calcolate attraverso un opportuno *criterio di sicurezza*.

# Metodo di primo livello

## *Metodo di primo livello (Livello 1)*

Si considerano i valori caratteristici della capacità ( $R_k$ ) e della domanda ( $S_k$ ), definiti come i frattili inferiore e superiore al 5% delle rispettive funzioni di densità di probabilità, cioè

$$P[R \leq R_k] = P[S \geq S_k] = 0.05 = 5\%$$



Secondo il metodo di primo livello, invece di determinare  $P_F$  si calcola il coefficiente di sicurezza caratteristico

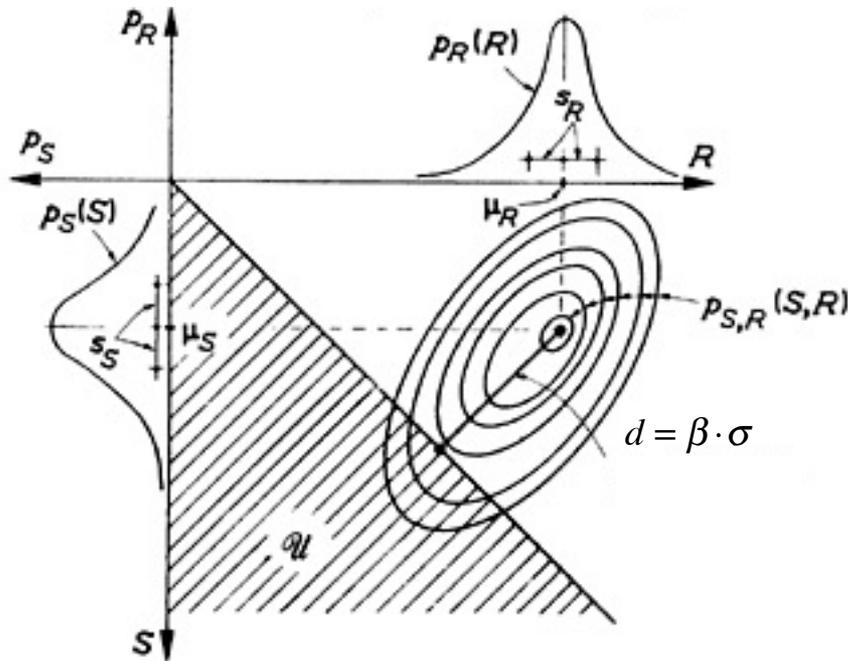
$$\gamma_k = \frac{R_k}{S_k} > 1$$

Ovviamente, maggiore è  $\gamma_k$ , minore risulta  $P_F$ .

# Metodo di secondo livello

## Metodo di secondo livello (Livello 2)

Questo metodo richiede il calcolo dei valori medi  $\mu$  e delle deviazioni standard  $s$  della capacità  $R$  e della domanda  $S$ .



Noti i valori medi di  $R$  e di  $S$ , si può calcolare la distanza tra la cresta della JPDF e il confine del dominio di crisi (semiretta critica), pari a

$$d = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{2}} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{2}}$$

Tuttavia, affinché la  $P_F$  sia sufficientemente piccola non basta che questa distanza sia grande. Il valore di  $P_F$  dipende anche dall'ampiezza delle code di  $R$  ed  $S$ , cioè dai valori delle loro deviazioni standard che, combinati insieme, forniscono la quantità

$$\sigma = \sqrt{s_R^2 + s_S^2} = \sqrt{\delta_R^2 + \delta_S^2}$$

che prende il nome di *scarto*. Il rapporto tra  $d$  e  $\sigma$  definisce l'*indice di affidabilità*  $\beta$

$$\beta = \frac{d}{\sigma}$$

che misura, in unità di deviazioni standard, la distanza tra la cresta della JPDF e la semiretta critica. Maggiore è  $\beta$ , minore risulta  $P_F$ .

# Svantaggi del metodo di livello 0 (tensioni ammissibili)

---

Il metodo delle tensioni ammissibili è stato utilizzato per molti anni e ha condotto al progetto di strutture che hanno mostrato nel tempo un buon comportamento. Tuttavia ad esso si possono muovere le seguenti critiche:

- L'analisi è puramente deterministica e non tiene conto dei reali legami costitutivi dei materiali, trascurando tutte le non linearità.
- I coefficienti di sicurezza impiegati sono ampi e ciò può dare la sensazione errata che anche i margini di sicurezza lo siano.
- La verifica delle tensioni è limitata alle sole fibre più sollecitate e questo non è il modo più conveniente per il dimensionamento di una struttura.
- Non è possibile eseguire verifiche per fenomeni che non dipendono dallo stato di tensione (degrado, corrosione, incendio, ...) e ciò può portare a sostenere notevoli costi di manutenzione.
- Non è ragionevole scartare un struttura solamente perché la verifica delle tensioni locali elastiche non è rispettata, anche se in tal modo si sta operando a favore di sicurezza.

Le attuali norme tecniche (NTC18) non consentono più l'utilizzo del metodo delle tensioni ammissibili, ma sono orientate verso l'uso di un metodo di primo livello denominato *metodo semi-probabilistico agli stati limite*.

---

Il *grado di sicurezza*, o *livello di rischio*, rappresenta la capacità di una struttura di garantire, in un periodo di tempo stabilito e con un'assegnata probabilità, i *requisiti prestazionali* per i quali è stata progettata.

Il *grado di sicurezza* è legato alla probabilità di crisi, stabilita in funzione della *causa sollecitante*, del *periodo* temporale di *riferimento* e della *prestazione* richiesta.

Le Norme garantiscono il raggiungimento del grado di sicurezza richiesto a una costruzione stabilendo opportunamente i *valori di accettazione* di sollecitazioni, tensioni, spostamenti e deformazioni.

Per una costruzione, l'incapacità di soddisfare un requisito prestazionale corrisponde al raggiungimento di un cosiddetto *stato limite*.

Il raggiungimento di uno *stato limite* determina una condizione di *insufficienza* o di *crisi* della costruzione.

Le NTC18 stabiliscono che:

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale di progetto, di cui al § 2.4. Si definisce stato limite una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze elencate nelle presenti norme.

In particolare, secondo quanto stabilito nei capitoli specifici, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- *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 oppure comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure 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 costruzione di mantenere, nell'arco della vita nominale di progetto, 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 di possibili cause innescanti eccezionali quali esplosioni e urti.

Il superamento di uno stato limite ultimo ha carattere irreversibile

Il superamento di uno stato limite di esercizio può avere carattere reversibile o irreversibile.

Gli *Stati Limite Ultimi* (SLU) riguardano:

- La sicurezza delle persone
- La sicurezza della struttura
- La sicurezza del contenuto

Gli *Stati Limite di Esercizio* (SLE) riguardano:

- Il funzionamento della struttura
- Il *comfort* delle persone
- L'aspetto della costruzione (deformazioni, lesioni, ...)

## **2.2.1. STATI LIMITE ULTIMI (SLU)**

I principali Stati Limite Ultimi sono elencati nel seguito:

- a)* perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte, considerati come corpi rigidi;
- b)* spostamenti o deformazioni eccessive;
- c)* raggiungimento della massima capacità di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d)* raggiungimento della massima capacità della struttura nel suo insieme;
- e)* raggiungimento di una condizione di cinematismo irreversibile;
- f)* raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- g)* rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- h)* rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- i)* instabilità di parti della struttura o del suo insieme;

Altri stati limite ultimi sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite Ultimi comprendono gli Stati Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e gli Stati Limite di prevenzione del Collasso (SLC), come precisato nel § 3.2.1.

## **2.2.2. STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)**

I principali Stati Limite di Esercizio sono elencati nel seguito:

- a)* danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- b)* spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- c)* spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- d)* vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- e)* danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- f)* corrosione e/o degrado dei materiali in funzione del tempo e dell'ambiente di esposizione che possano compromettere la durabilità.

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio comprendono gli Stati Limite di Operatività (SLO) e gli Stati Limite di Danno (SLD), come precisato nel § 3.2.1.

## **2.2.6. VERIFICHE**

Le opere strutturali devono essere verificate, salvo diversa indicazione riportata nelle specifiche parti delle presenti norme:

- a)* per gli stati limite ultimi che possono presentarsi;
- b)* per gli stati limite di esercizio definiti in relazione alle prestazioni attese;
- c)* quando necessario, nei confronti degli effetti derivanti dalle azioni termiche connesse con lo sviluppo di un incendio.

La diversa importanza in termini di costo di ripristino e di perdita di vite umane per i due diversi tipi di stati limite implica che la probabilità di crisi deve essere molto più bassa per gli SLU rispetto a quella richiesta per gli SLE.

# Vita nominale di una costruzione

---

La *vita nominale* ( $V_N$ ) è intesa come il numero di anni in cui la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, mantiene i requisiti prestazionali per i quali è stata progettata.

Tipi di costruzioni		Vita nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

La *vita nominale* ( $V_N$ ) è l'intervallo di tempo in cui deve essere garantita la durata di una costruzione in termini di resistenza e di funzionalità. Il progettista deve dimensionare le strutture e i particolari costruttivi e deve scegliere i materiali e le eventuali misure protettive con riferimento alla vita nominale della costruzione.

Nelle previsioni progettuali, se le condizioni ambientali e d'uso sono rimaste nei limiti previsti, saranno necessari interventi di manutenzione straordinaria non prima del termine della vita nominale.

L'effettiva durata della costruzione non è valutabile in sede progettuale, venendo a dipendere da eventi futuri fuori dal controllo del progettista. Di fatto, la grande maggioranza delle costruzioni ha avuto ed ha, anche attraverso successivi interventi di manutenzione straordinaria, una durata effettiva molto maggiore della vita nominale quantificata nelle NTC.

# Classi d'uso

---

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 (scuole, teatri, musei, centri commerciali). 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 l'azione sismica

---

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 ( $C_U$ ):

$$V_R = C_U \times V_N$$

Il valore del coefficiente d'uso ( $C_U$ ) è definito, al variare della classe d'uso, come segue

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Si ha

Vita nominale $V_N$	Valori di $V_R$			
	Classe d'uso			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

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

Il *metodo semiprobabilistico agli stati limite* è un metodo di verifica di *primo livello*. Le variabili aleatorie  $R$  (resistenze) ed  $S$  (sollecitazioni) non sono rappresentate attraverso la loro funzione di densità di probabilità congiunta, ma attraverso i loro valori caratteristici  $R_k$  ed  $S_k$ . Questi ultimi coincidono con i frattili inferiore e superiore di ordine 5% rispettivamente di  $R$  e di  $S$ .

Le incertezze sono tenute in conto mediante i coefficienti parziali di sicurezza delle resistenze dei materiali ( $\gamma_M$ ) e dei carichi ( $\gamma_F$ ). Secondo questo metodo, la verifica nei riguardi di uno stato limite si effettua con la relazione

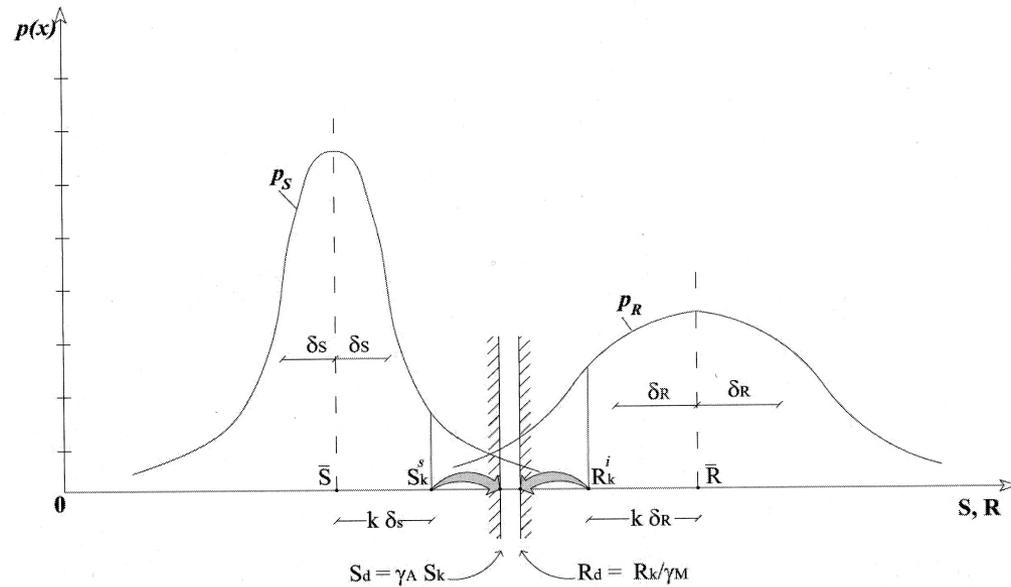
$$R_d \geq S_d$$

dove  $R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto delle resistenze dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

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

ed  $S_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto delle azioni combinate e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate:

$$S_d = \gamma_F S_k$$



La verifica deve essere condotta per ogni stato limite previsto dalla Norma. Per ogni stato limite, la Norma stabilisce i valori dei coefficienti parziali di sicurezza: quelli relativi alle resistenze sono sempre maggiori di uno; quelli relativi alle azioni possono essere maggiori di uno o uguali a zero, a seconda che il contributo dell'azione diminuisca o aumenti la sicurezza.

E' utile sottolineare che la disequazione

$$R_d \geq S_d$$

non è direttamente associata a una probabilità di crisi, la cui valutazione non è perseguibile all'interno del metodo semiprobabilistico agli stati limite.

# La sicurezza delle costruzioni esistenti

---

- Quale livello di affidabilità bisogna imporre a una costruzione esistente?
- E se tale livello non è raggiunto?
- Adeguamento e/o miglioramento
- La problematica relativa ai beni tutelati

## **Le linee guida per la riduzione del rischio sismico dei beni culturali**

- L'introduzione dello stato limite di danno dei beni artistici
- Il superamento della distinzione tra adeguamento e miglioramento
- Il problema delle costruzioni con funzioni strategiche

# Riferimenti bibliografici

---

D.M. 17 gennaio 2018. *Norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, G.U. n. 42 del 20 febbraio 2018, Supplemento Ordinario n. 8, 2018, (NTC18).

D.M. 14 gennaio 2008. *Norme tecniche per le costruzioni*. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, 2008, (NTC08).

Circolare 2 febbraio 2009 n. 617. *Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni* di cui al D.M. 14 gennaio 2008, approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Gherzi Aurelio, *Il cemento armato* (seconda edizione), Dario Flaccovio Editore, 2010.

Cosenza E., Manfredi G., Pecce M., *Strutture in cemento armato, basi della progettazione* (seconda edizione), Ulrico Hoepli Editore, 2015.

Mezzina Mauro (a cura di), *Fondamenti di Tecnica delle Costruzioni*, Città Studi Edizioni, 2013.

Augusti G., Baratta A., Casciati F., *Probabilistic Methods in Structural Engineering*, Taylor & Francis Routledge, 1984.