

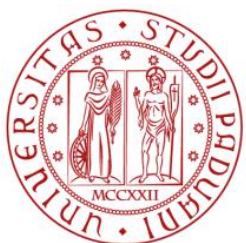
CORSO DI TECNICA DELLE COSTRUZIONI

SICUREZZA STRUTTURALE

METODO SEMI-PROBABILISTICO AGLI STATI LIMITE

Prof. Carlo Pellegrino

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale ICEA,
Università degli Studi di Padova**



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**



**AGGIORNAMENTO DELLE «NORME
TECNICHE PER LE COSTRUZIONI»**

DM 17/01/18

NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DM 17/01/18

Le Norme tecniche per le costruzioni definiscono i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle prestazioni loro richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità.

Esse:

- forniscono quindi i criteri generali di sicurezza,
- precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto,
- definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti
- trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere.

Circa le indicazioni applicative per l'ottenimento delle prescritte prestazioni, **per quanto non espressamente specificato nel documento, ci si può riferire a normative di comprovata validità** e ad altri documenti tecnici elencati nel Cap. 12. In particolare quelle fornite dagli Eurocodici con le relative Appendici Nazionali costituiscono indicazioni di comprovata validità e forniscono il sistematico supporto applicativo delle presenti norme.

INDICE

1 OGGETTO

2 SICUREZZA E PRESTAZIONI ATTESE

2.1 PRINCIPI FONDAMENTALI

2.2 REQUISITI DELLE OPERE STRUTTURALI

2.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

**2.4 VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSI D'USO E PERIODO
DI RIFERIMENTO**

2.5 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

2.6 AZIONI NELLE VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

INDICE

3 AZIONI SULLE COSTRUZIONI

3.1 OPERE CIVILI E INDUSTRIALI

3.2 AZIONE SISMICA

3.3 AZIONI DEL VENTO

3.4 AZIONI DELLA NEVE

3.5 AZIONI DELLA TEMPERATURA

3.6 AZIONI ECCEZIONALI

INDICE

4 COSTRUZIONI CIVILI E INDUSTRIALI

4.1 COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO

4.2 COSTRUZIONI DI ACCIAIO

4.3 COSTRUZIONI COMPOSTE DI ACCIAIO - CALCESTRUZZO

4.4 COSTRUZIONI DI LEGNO

4.5 COSTRUZIONI DI MURATURA

4.6 ALTRI SISTEMI COSTRUTTIVI

5 PONTI

5.1 PONTI STRADALI

5.2 PONTI FERROVIARI

INDICE

6 PROGETTAZIONE GEOTECNICA

6.1 DISPOSIZIONI GENERALI

6.2 ARTICOLAZIONE DEL PROGETTO

6.3 STABILITÀ DEI PENDII NATURALI

6.4 OPERE DI FONDAZIONE

6.5 OPERE DI SOSTEGNO

6.6 TIRANTI DI ANCORAGGIO

6.7 OPERE IN SOTTERRANEO

6.8 OPERE DI MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO

**6.9 MIGLIORAMENTO E RINFORZO DEI TERRENI E DEGLI AMMASSI
ROCCIOSI**

6.10 CONSOLIDAMENTO GEOTECNICO DI OPERE ESISTENTI

6.11 DISCARICHE CONTROLLATE DI RIFIUTI E DEPOSITI DI INERTI

6.12 FATTIBILITÀ DI OPERE SU GRANDI AREE

INDICE

7 PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE

7.1 REQUISITI NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE

7.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E MODELLAZIONE

7.3 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

7.4 COSTRUZIONI DI CALCESTRUZZO

7.5 COSTRUZIONI D'ACCIAIO

7.6 COSTRUZIONI COMPOSTE DI ACCIAIO-CALCESTRUZZO

7.7 COSTRUZIONI DI LEGNO

7.8 COSTRUZIONI DI MURATURA

7.9 PONTI

7.10 COSTRUZIONI E PONTI CON ISOLAMENTO E/O DISSIPAZIONE

7.11 OPERE E SISTEMI GEOTECNICI

INDICE

8 COSTRUZIONI ESISTENTI

8.1 OGGETTO

8.2 CRITERI GENERALI

8.3 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

8.4 CLASSIFICAZIONE DEGLI INTERVENTI

8.5 DEFINIZIONE DEL MODELLO DI RIFERIMENTO PER LE ANALISI

8.6 MATERIALI

**8.7 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI IN PRESENZA DI AZIONI
SISMICHE**

INDICE

9 COLLAUDO STATICO

9.1 PRESCRIZIONI GENERALI

9.2 PROVE DI CARICO

**10 REDAZIONE DEI PROGETTI STRUTTURALI ESECUTIVI
E DELLE RELAZIONI DI CALCOLO**

10.1 CARATTERISTICHE GENERALI

**10.2 ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI
CALCOLO**

INDICE

11 MATERIALI E PRODOTTI PER USO STRUTTURALE 11.1

GENERALITÀ

11.2 CALCESTRUZZO

11.3 ACCIAIO

...

12 RIFERIMENTI TECNICI

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

VITA NOMINALE DI PROGETTO

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottate per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tabella. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

¹ Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate. Per un'opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a P_N , la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a P_N e comunque non inferiore a 5 anni.

² Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

CLASSI D'USO

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.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

CLASSI D'USO

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.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto 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 Tabella.

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

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

REQUISITI DI BASE (Eurocodice 1)

Una struttura deve essere progettata e messa in opera in modo tale che, durante la sua vita utile, **con un appropriato grado di affidabilità e nel modo più economico,**

- **riesca a resistere alle azioni** e condizioni che probabilmente si verificheranno durante la messa in opera e l'utilizzo, e
- rimanga **in buone condizioni per l'uso** al quale è stata destinata.

Una struttura deve essere progettata per avere adeguata:

- **resistenza strutturale,**
- **utilizzo,**
- **durabilità.**

REQUISITI DI BASE (Eurocodice 1)

Una struttura deve essere progettata e messa in opera in modo tale che non sia danneggiata da eventi come:

- esplosione,
 - urto, e
 - conseguenze di errori umani,
- fino ad un limite sproporzionato rispetto alla causa originale.

REQUISITI DI BASE (Eurocodice 1)

Il danno potenziale deve essere evitato o limitato da una scelta appropriata di una o più delle seguenti condizioni:

- evitare, eliminare o ridurre i rischi ai quali la struttura può essere soggetta;
- scegliere una forma strutturale con bassa esposizione ai rischi considerati;
- scegliere una forma strutturale e un progetto che può resistere adeguatamente al collasso accidentale di un elemento o una parte limitata della struttura, o ad un accettabile danno localizzato della struttura;
- evitare per quanto possibile sistemi strutturali che possono collassare senza preavviso;
- collegare insieme i diversi elementi strutturali.

REQUISITI DI BASE (Eurocodice 1)

I requisiti di base devono essere accompagnati da:

- una scelta di **materiali idonei**,
- appropriati disegni anche dei **dettagli**, e
- prescrizione di **procedure di controllo** per il progetto, produzione, esecuzione e utilizzo pertinente della struttura.

DURABILITA' (Eurocodice 1)

La struttura deve essere progettata in modo tale che il degrado durante la sua vita di progetto non comprometta la prestazione della struttura al di sotto di quella per la quale è stata progettata, **ponendo attenzione all'ambiente in cui si trova** e ad una corretta manutenzione.

Al fine di ottenere un'adeguata durabilità della struttura, i seguenti accorgimenti devono essere presi in considerazione:

- l'uso prevedibile a cui è destinata la struttura;
- i criteri richiesti del progetto;
- le condizioni ambientali aspettate;
- la composizione, le proprietà e le prestazioni di materiali e prodotti;
- le proprietà del terreno;
- la scelta del sistema strutturale;
- la forma degli elementi e dei dettagli strutturali;
- la qualità della lavorazione e il livello di controllo;
- particolari provvedimenti protettivi;
- la corretta manutenzione durante la sua vita utile.

GESTIONE DELLA QUALITA' (Eurocodice 1)

Al fine di fornire una struttura che corrisponda ai requisiti e alle assunzioni effettuate durante il progetto, devono essere adottati appropriati provvedimenti sulla qualità della gestione.

Questi provvedimenti comprendono:

- definizione dei requisiti di affidabilità,
- provvedimenti di organizzazione e
- controlli agli stadi di progetto, esecuzione, uso e manutenzione.

ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELLO ‘ **AGGIORNAMENTO DELLE «NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI» DM 17/01/18 ’ – 21/01/2019 n. 7**

Il DM 17/01/2018 raccoglie in forma unitaria le norme che disciplinano la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle costruzioni al fine di garantire, per stabiliti livelli sicurezza, la pubblica incolumità.

Il testo normativo, recependo le diverse osservazioni e suggerimenti di ordine tecnico pervenute dal mondo produttivo, scientifico e professionale, fornisce una serie di indicazioni inerenti le procedure di calcolo e di verifica delle strutture, nonché regole di progettazione ed esecuzione delle opere, in linea con i seguenti indirizzi:

- mantenimento del **criterio prestazionale (performance-based)**;
- coerenza con gli indirizzi normativi a livello comunitario, sempre nel rispetto delle esigenze di sicurezza del Paese e coerenza di formato con gli **Eurocodici**;
- approfondimento degli aspetti normativi connessi alla presenza delle **azioni sismiche**;
- approfondimento delle prescrizioni ed indicazioni relative ai rapporti delle opere con il terreno e, in generale, agli **aspetti geotecnici**.

ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELLO ‘ **AGGIORNAMENTO DELLE «NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI» DM 17/01/18 ’ – 21/01/2019 n. 7**

Nelle “Istruzioni” sono illustrate le principali innovazioni delle NTC e fornite, laddove ritenute necessarie, specifiche istruzioni esplicative per la corretta applicazione delle norme medesime, al fine di facilitarne l'utilizzo da parte dei soggetti interessati a qualunque titolo (tecnici progettisti, direttori dei lavori e/o collaudatori, imprese, produttori, enti di controllo, ecc.).

Si ripercorrono, quindi, i paragrafi delle NTC che si è ritenuto di dover in qualche modo integrare seguendo, per maggior chiarezza espositiva e di lettura, la medesima numerazione delle NTC, ma con l'aggiunta della lettera C (Circolare). Qualora le indicazioni riportate non siano integrative delle NTC bensì additive ad esse, la numerazione loro attribuita prosegue quella utilizzata nel testo delle NTC, ma sempre con l'aggiunta della lettera C.

Alle formule, figure e tabelle riportate solo nel presente documento viene data una numerazione preceduta dalla lettera C, della quale sono prive se compaiono anche nelle NTC.

CRITERIO PRESTAZIONALE

(Performance-based engineering)

“**Performance-based engineering (PBE)** implies design, evaluation, construction and maintenance of engineered facilities whose performance under common and extreme loads responds to the diverse needs and objectives of owners-users and society. It is based on the premise that performance can be predicted and evaluated with confidence in order to make, together with the client, intelligent and informed trade-offs based on life-cycle considerations rather than construction costs alone.”

by Helmut Krawinkler

CRITERIO PRESTAZIONALE

- Il **PBE** è in grado di mettere in relazione l'intero progetto della struttura con le aspettative (prestazionali) del committente, degli utilizzatori e della società.
- Il **PBE** fa avanzare la filosofia del progetto di infrastrutture civili oltre l'obiettivo essenziale della pubblica sicurezza, fornendo agli ingegneri una maggior flessibilità nel progetto utilizzando sistemi e materiali non tradizionali, ottenendo così soluzioni progettuali innovative al fine di aggiungere valore all'iter progettuale attraverso l'innovazione.
- Il **PBE** non è un nuovo concetto. È la filosofia di progetto nell'industria aerospaziale, meccanica e navale.

CRITERIO PRESTAZIONALE

Come si raggiungono gli obiettivi del PBE?

Si distinguono diversi livelli di prestazione per differenti categorie di edifici nelle quali differiscono la salvaguardia della vita o le conseguenze economiche, in relazione alla frequenza dell'evento considerato.

		Consequence			
		Continued service	Impaired function	Life safety	Incipient collapse
Event frequency	Frequent $10^{-1}/\text{year}$	All			
	Occasional $10^{-2}/\text{year}$	III	II		
	Rare $10^{-3}/\text{year}$	IV	III	II	
	Very rare $10^{-4}/\text{year}$	NA	IV	III	II

--- Current limit states design for ordinary buildings

*Obiettivi prestazionali e probabilità dell'evento considerato per le diverse categorie di edifici
(ASCE Standard 7-05)*

CRITERIO PRESTAZIONALE

Le decisioni devono essere basate sull'importanza del progetto, sulla sua destinazione d'uso, la sua rilevanza e sul suo potenziale impatto sulla comunità circostante a seguito di un collasso.

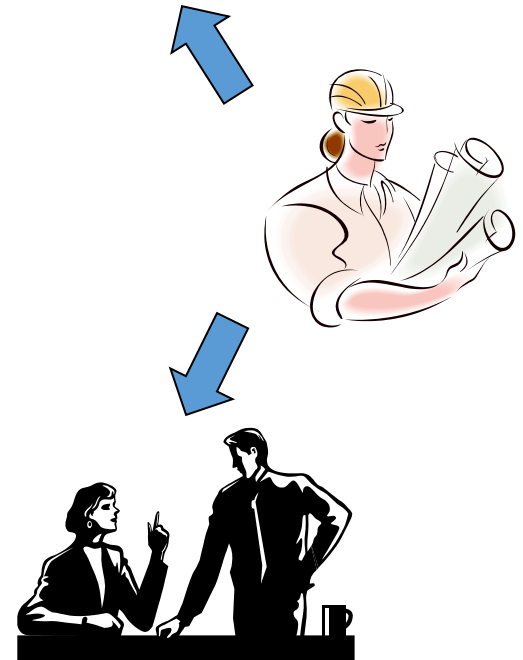
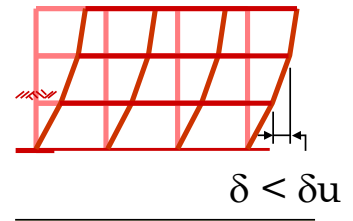
Come misurare la prestazione?

Per l'ingegnere:

- **forze e deformazioni;**

Per i committenti e la società:

- denaro (perdite economiche dirette);
- tempo di fermo (perdita di operatività);
- **morti** (collassi, feriti, etc);
- **perdite annue.**



METODO PROBABILISTICO

Il **problema della sicurezza strutturale** è basato sul fatto che il comportamento meccanico di ogni struttura dipende da parametri o variabili **non-deterministici** poiché si riferiscono ad eventi futuri la cui valutazione sperimentale non è praticamente possibile o economicamente svantaggiosa.

Le **incertezze** sono dovute a:

- incertezza intrinseca (valutazione delle azioni, parametri geometrici, caratterizzazione meccanica dei materiali, etc.);
- incertezza statistica;
- incertezza sul modello adottato;
- errori sulle misure;
- errori umani.

La necessità di un metodo probabilistico

Il progetto di una struttura avviene in un ambiente caratterizzato dalle **incertezze** legate alla natura probabilistica delle grandezze in gioco delle quali non sono definibili valori deterministici ma, nella migliore delle ipotesi, si possono determinare le **probabilità** del verificarsi di ogni valore possibile.

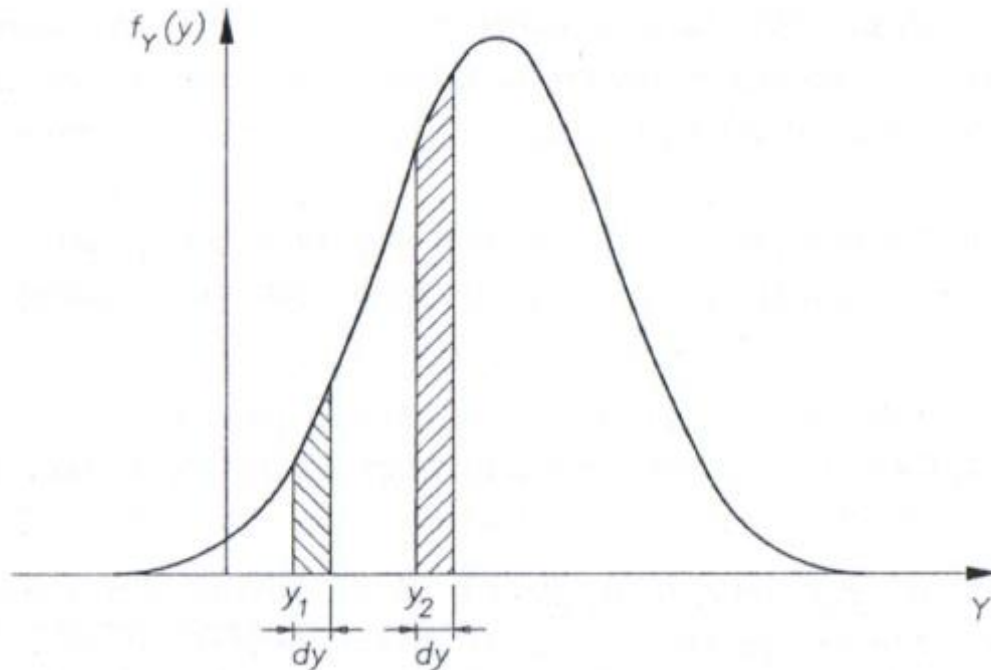
Ogni struttura, realizzata in un determinato ambiente e per determinati scopi, può subire, durante la sua vita, una serie di modificazioni rispetto allo stato originario che possono portare a condizioni di malfunzionamento ovvero “**modi di rottura**” o, più in generale, **stati di deformazione incompatibili con le funzioni che la struttura deve garantire**.

Da ciò ne deriva come la sicurezza o l'affidabilità della struttura debbano essere definite in termini probabilistici.

Funzione Densità di Probabilità (PDF)

$$f_Y(y) dy = \text{prob}\{y < Y \leq y + dy\} = p_r\{y < Y \leq y + dy\}$$

La Funzione Densità di Probabilità esprime la probabilità locale della variabile Y .

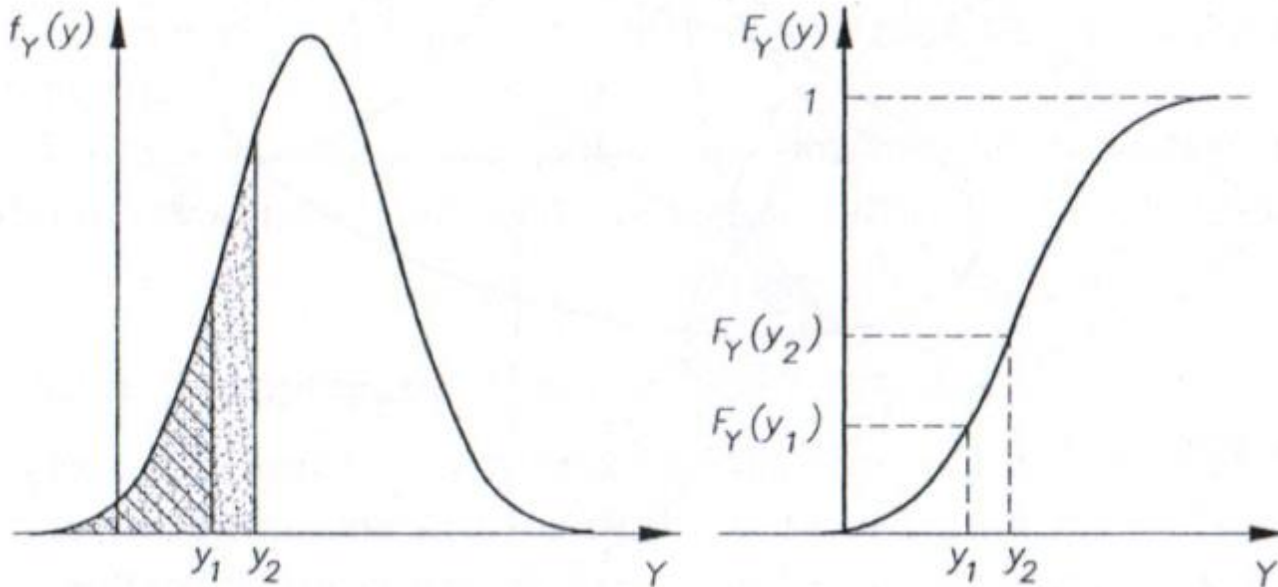


by G.Ballio e C.Bernuzzi

Funzione Cumulativa di Densità (CDF)

$$F_Y(y) = \text{prob}\{Y \leq y\} = p_r\{Y \leq y\} = \int_{-\infty}^y f_Y(c) dc$$

La Funzione Cumulativa di Densità esprime la probabilità che la variabile Y abbia un valore non superiore a y .

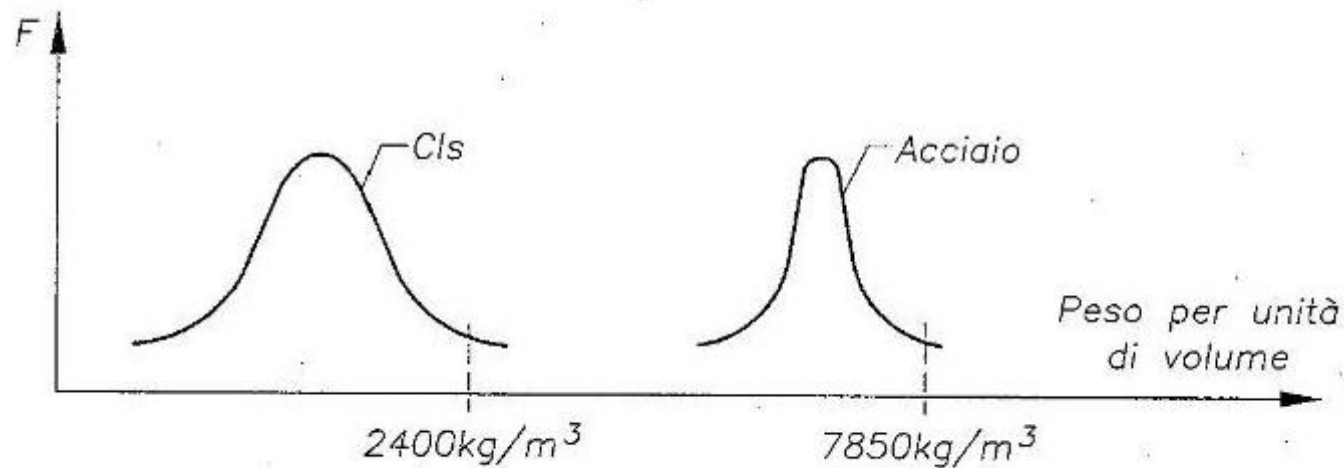


by G.Ballio e C.Bernuzzi

LE VARIABILI ALEATORIE NELLE COSTRUZIONI

ESEMPIO

Peso dell'unità di volume del calcestruzzo e dell'acciaio espressi dalla funzione di densità di probabilità relativa.



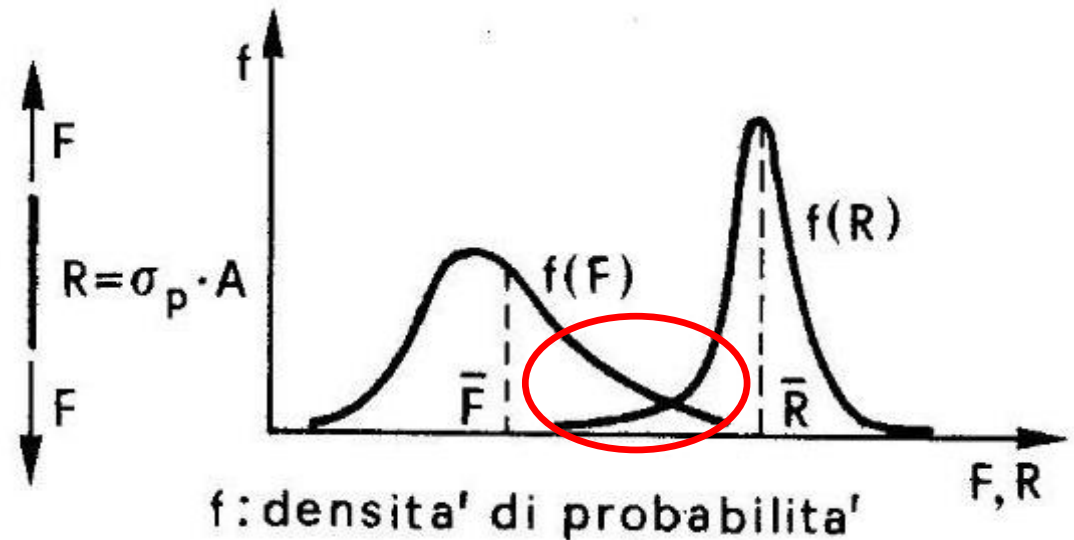
La curva del calcestruzzo interessa una porzione dell'asse delle ascisse più ampia rispetto al caso dell'acciaio, a testimonianza di una maggiore eterogeneità del primo materiale rispetto al secondo (maggiore dispersione di valori).

LE VARIABILI ALEATORIE NELLE COSTRUZIONI

Con riferimento ad un' asta sollecitata da una forza F e avente resistenza $R = \sigma_p A$ potremo al massimo indagare le **distribuzioni statistiche prevedibili** per F e R e giudicare la sicurezza sulla base del valore della **probabilità di rottura**:

$$P_{\text{rottura}} = P(F > R)$$

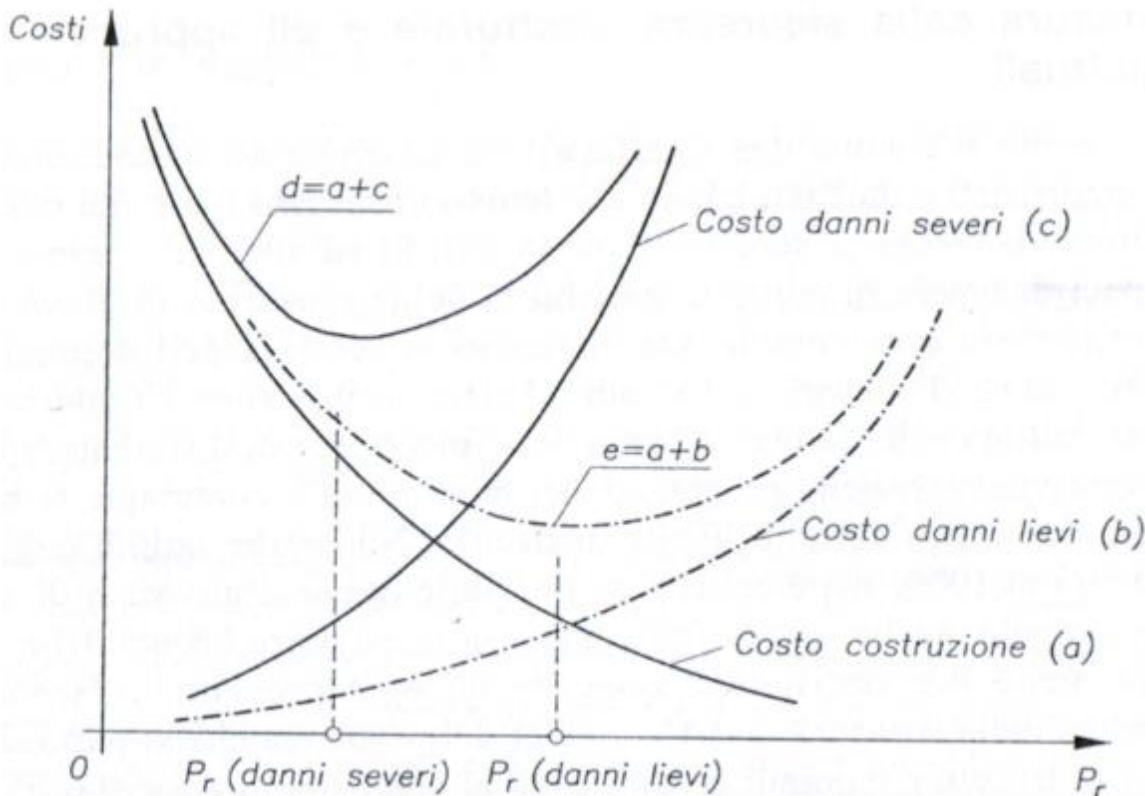
Di conseguenza non esiste una costruzione sicura al 100% ma è comunque possibile ottenere un grado di affidabilità ragionevole, anche compatibilmente con le esigenze economiche.



Sicurezza Strutturale

Una struttura sicura al 100% non esiste!

È necessario scegliere differenti obiettivi prestazionali in relazione all'importanza della struttura ed alla gravità del danno che può accadere.



P_r is the probability to reach a certain damage level.

by G.Ballio e C.Bernuzzi

METODO PROBABILISTICO

Le basi per la teoria dell'affidabilità strutturale:

la resistenza o capacità strutturale, R , e le azioni sulla struttura derivanti dai carichi applicati, S , sono modellate da variabili casuali.

$$P_F = P_r = P[R < S] = \int_0^{\infty} [1 - F_S(x)] f_R(x) dx$$

$P_F \rightarrow$ probabilità di non raggiungere gli obiettivi prestazionali

$F_S(x) = P[S \leq x] \rightarrow$ funzione cumulativa di densità di S

$f_R(x) \rightarrow$ funzione densità di probabilità di R

$1 - F_S(x) = P[S > x] \rightarrow$ rischio

METODO PROBABILISTICO

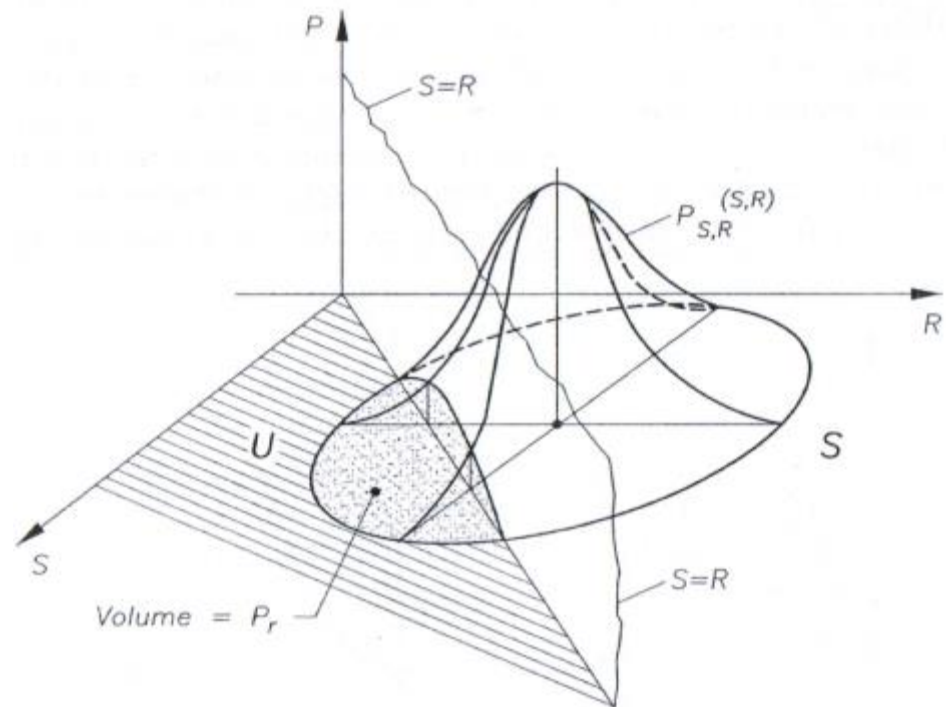
Metodi di IV e III livello:

questi metodi sono esatti.

R and S sono modellate da variabili casuali che solitamente sono correlate tra loro.

Il fattore umano è considerato nei metodi di IV livello.

Questi metodi sono complicati e dispendiosi.

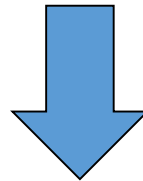


by G.Ballio e C.Bernuzzi

La soluzione esatta dell'integrale

$$P_F = P_r = P[R < S] = \int_0^{\infty} [1 - F_S(x)] f_R(x) dx$$

raramente si riesce a raggiungere per via analitica.

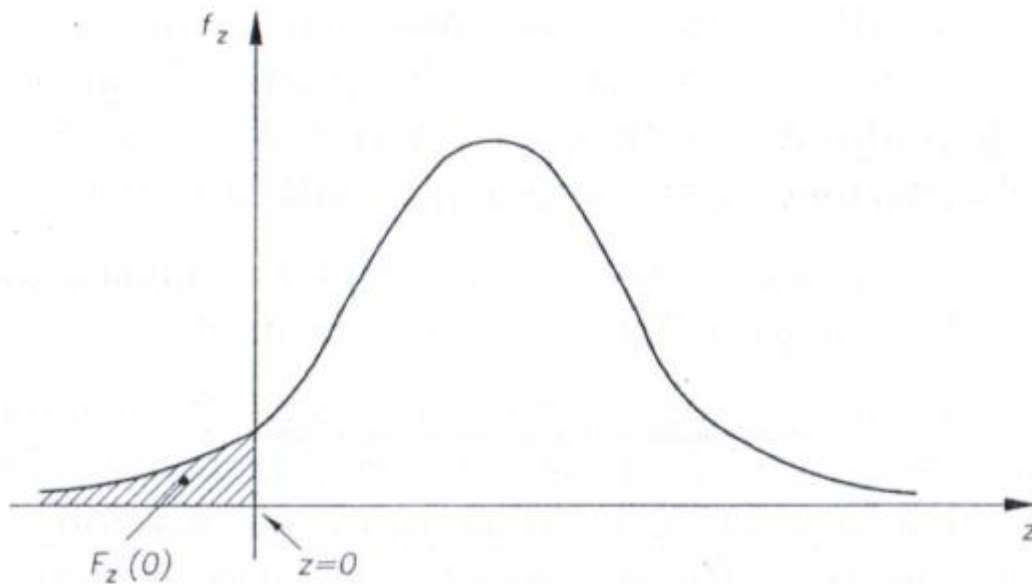


Necessità di risolvere il problema con metodi numerici di simulazione, che replicano un gran numero di volte l'evento di cui si vuole calcolare la probabilità di accadimento.
(es. metodo di Montecarlo)

METODO PROBABILISTICO

Metodi di II livello:

R and S sono modellate da variabili casuali e sono indipendenti tra loro. Considerando $Z=R-S$ il margine di sicurezza, P_r è rappresentata da



by G.Ballio e C.Bernuzzi

Se R e S sono rappresentate da funzioni di probabilità normali, allora...

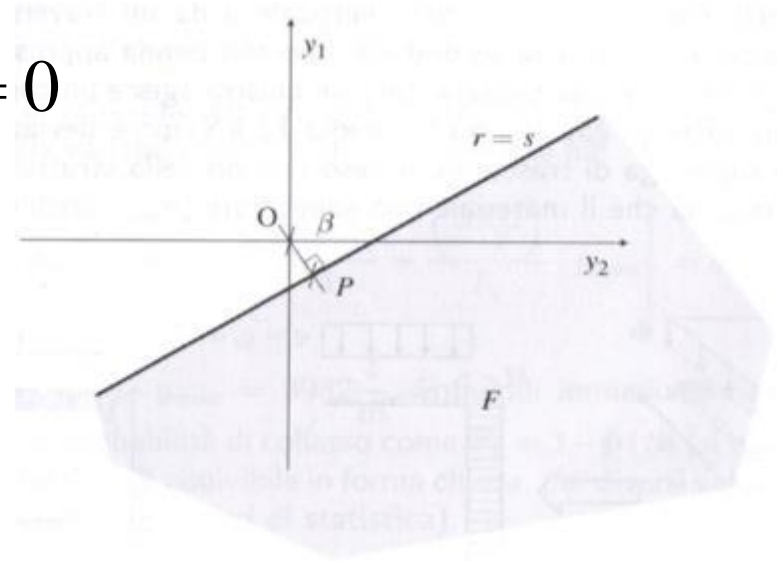
METODO PROBABILISTICO

$$P_r = 1 - F_U(b)$$

Tale risultato si può esprimere geometricamente:

$$G(R,S) = y_2 S_R - y_1 S_S + m_R - m_S = 0$$

dove la lunghezza del segmento $\overline{OF} = \beta$ è detto indice di sicurezza e il punto P assume il nome di punto di progetto.



by E.Cosenza et al.

$y_2 = (r - \mu_R) / \sigma_R \rightarrow$ resistenza normale standardizzata

$y_1 = (s - \mu_S) / \sigma_S \rightarrow$ tensione normale standardizzata

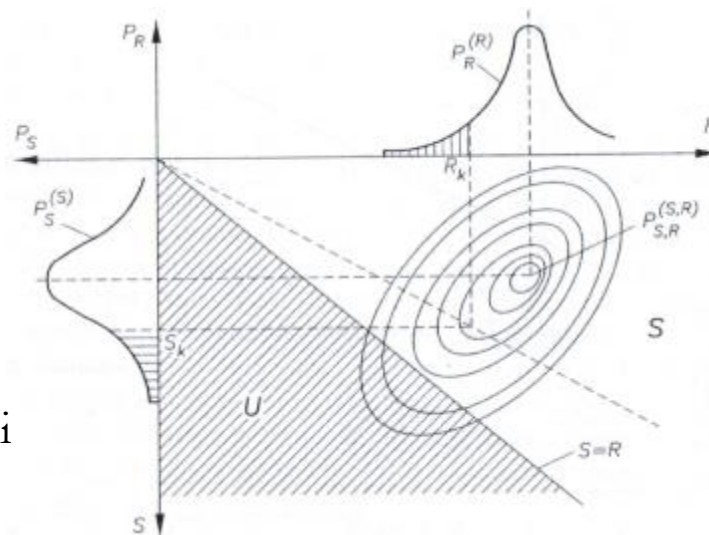
METODO PROBABILISTICO

Metodi di I livello:

R and S sono modellate come variabili casuali e sono indipendenti tra loro. Queste sono rappresentate da due differenti variabili casuali del tipo

$$R = g_R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m) \quad S = g_S(x_{m+1}, x_{m+2}, \dots, x_n)$$

Z deriva da queste relazioni. Solitamente sono considerati un valore più elevato della media di S (95%) e un valore minore della media di R (5%). Questi valori prendono il nome di valori caratteristici (k).



by G.Ballio e C.Bernuzzi

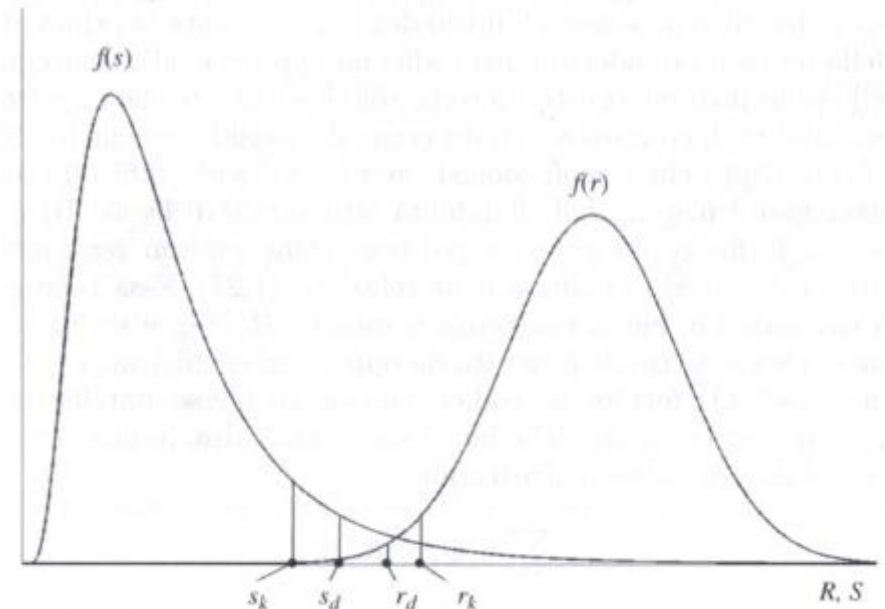
METODO PROBABILISTICO

Dai valori caratteristici, mediante opportuni fattori parziali di sicurezza, si ottengono i valori di progetto (d).

La verifica di sicurezza $R_d > S_d$ è analoga a quella di tipo deterministico, tuttavia i valori che si confrontano derivano da una caratterizzazione probabilistica delle azioni e delle caratteristiche strutturali: per questo si parla di metodi semi-probabilistici.

Il Metodo agli Stati Limite appartiene ai metodi di I livello.

by E.Cosenza et al.



METODO PROBABILISTICO

Metodi di livello 0:

questi metodi non considerano la probabilità.

Il Metodo alle Tensioni Ammissibili appartiene a questi metodi; una semplice disuguaglianza deve essere verificata in ogni fibra delle sezioni considerate.

$$\sigma \leq \sigma_{adm}$$

$\sigma \rightarrow$ massima tensione nella sezione considerata

$\sigma_{adm} \rightarrow$ tensione ammissibile del materiale

METODO AGLI STATI LIMITE

IL METODO AGLI STATI LIMITE (metodo di I livello)

DM 17/01/2018: “*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. Stato limite è la condizione superata la quale l’opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata*”.

Con riferimento a ciascun modo di rottura si assume che la struttura sia classificabile come **sicura o non sicura**.

Il passaggio da uno stato all’altro corrisponde al raggiungimento di uno

STATO LIMITE

METODO AGLI STATI LIMITE

Primo passo: definizione degli stati di deformazione accettabili per la struttura ovvero degli **STATI LIMITE**

Gli **STATI LIMITE** possono essere suddivisi in:

-STATI LIMITE ULTIMI corrispondenti alla perdita di capacità portante della struttura o di un suo componente essenziale (per es. per ribaltamento o collasso strutturale).

-STATI LIMITE DI ESERCIZIO corrispondenti al raggiungimento di deformazioni o fessurazioni incompatibili con le funzioni assegnate al sistema considerato.

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Gli stati limite che riguardano:

- la sicurezza delle persone, e/o
- la sicurezza della struttura

devono essere classificati come stati limite ultimi.

In qualche circostanza, gli stati limite che riguardano la protezione del contenuto della struttura devono essere classificati come stati limite ultimi.

METODO AGLI STATI LIMITE

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

- a) **perdita di equilibrio** della struttura o di una sua parte, considerati come rigidi;
- b) **spostamenti** o **deformazioni** eccessive;
- c) **raggiungimento della massima capacità di resistenza** di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- d) **raggiungimento della massima capacità di resistenza** 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 sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere

METODO AGLI STATI LIMITE

STATI LIMITE ESERCIZIO (SLE)

Gli stati limite che riguardano:

- funzionalità della struttura o dei suoi elementi strutturali durante l'uso normale;
- comfort della gente;

devono essere classificati come stati limite di esercizio.

Una distinzione deve essere fatta tra stati limite di esercizio reversibili ed irreversibili.

METODO AGLI STATI LIMITE

STATI LIMITE ESERCIZIO (SLE)

- 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 eccessivo degrado** dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione.

METODO AGLI STATI LIMITE

ESEMPI DI STATI LIMITE PER IL C.A.

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

- Stati limite ultimi per flessione e forza longitudinale
- Stati limite ultimi per taglio
- Stati limite ultimi per torsione
- Stati limite ultimi per punzonamento
- Stati limite ultimi indotti da deformazioni della struttura (instabilità)

STATI LIMITE DI ESERCIZIO O DI SERVIZIO (SLE o SLS)

- Limitazione delle tensioni in esercizio
- Stati limite di fessurazione
- Stati limite di deformazione

METODO AGLI STATI LIMITE

DM 17/01/2018: Nel seguito sono riportati i criteri del **metodo semiprobabilistico agli stati limite** basati sull'impiego dei **coefficienti parziali di sicurezza**, applicabili nella generalità dei casi.

Tale metodo è detto di primo livello.

Per opere di particolare importanza si possono adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità di cui al Capitolo 12.

Nel DM 17/01/2018 , rispetto al DM 14/1/2008, è **stato definitivamente eliminato ogni riferimento al metodo alle tensioni ammissibili**.

Ovviamente, nel caso di valutazioni di sicurezza di strutture esistenti, laddove si ricorra al “progetto simulato” è ammesso il ricorso ai metodi di verifica previsti all'epoca del progetto originario.

METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

Deve essere verificata in tutti i punti della struttura (ovvero nel punto maggiormente sollecitato) la seguente relazione:

$$\sigma \leq \sigma_{\text{adm}} = \sigma_p / \gamma$$

σ parametro caratteristico dello stato di tensione

σ_{adm} **tensione ammissibile**

σ_p valore di tale parametro al limite elastico lineare

γ **coefficiente di sicurezza**

Ipotesi del metodo delle tensioni ammissibili:

I materiali siano omogenei e isotropi e abbiano comportamento elastico-lineare fino a rottura.

METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

CRITICHE AL METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

a) La considerazione del reale comportamento dei materiali e delle riserve di resistenza oltre il campo elastico porta a definire gli stati limite in relazione alle deformazioni delle strutture e dei singoli componenti e **non più in termini di stato di tensione**.

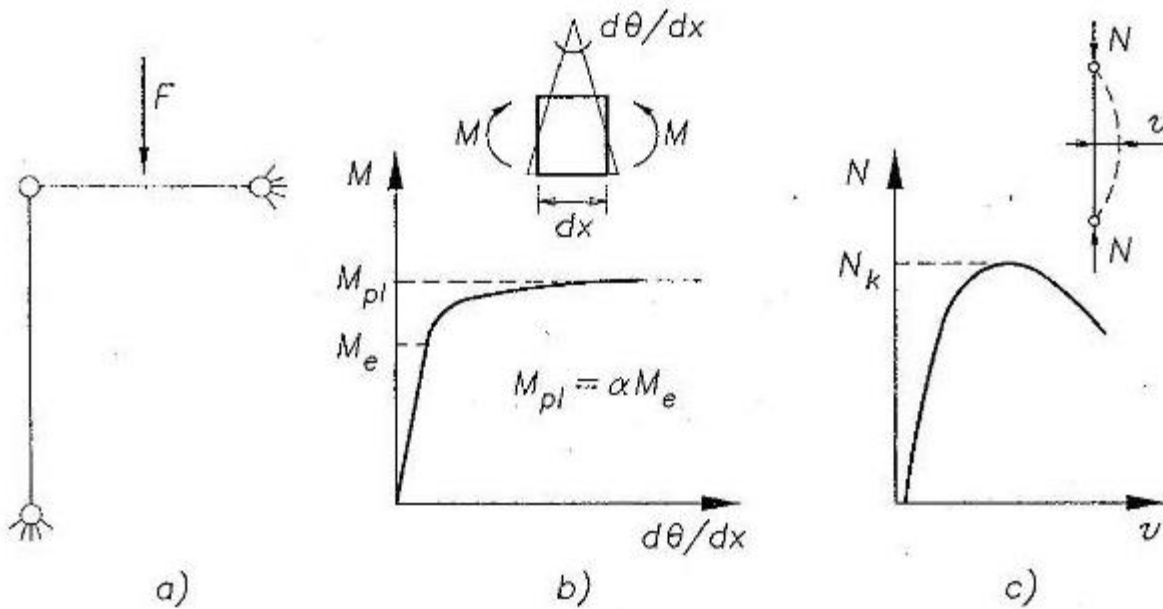
b) Viene utilizzato **un solo coefficiente di sicurezza** (applicato alla resistenza dei materiali).

c) Le azioni applicate e le caratteristiche meccaniche e geometriche della struttura non sono prevedibili in senso deterministico ma **in senso probabilistico** e rilevabili con metodologie statistiche (**variabili aleatorie**).

METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

CRITICHE AL METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

La trave, raggiunto il momento al limite elastico (M_e) ha ancora una riserva di resistenza dovuta alla diffusione della plasticità nella sezione (b) fino al raggiungimento del momento di completa plasticizzazione della sezione (M_{pl}). Di contro una volta raggiunto il carico limite per instabilità della colonna il sistema non ha ulteriori risorse (c).



Il grado di sicurezza associato ai due differenti elementi strutturali è diverso ma ciò non si coglie con il metodo delle tensioni ammissibili.

METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

CRITICHE AL METODO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI

Le grandezze che intervengono nella fase progettuale sono di carattere aleatorio ossia non riconducibili a valori univocamente noti.

ESEMPIO: Resistenza dei materiali

La non perfetta omogeneità sempre presente negli elementi strutturali impedisce di associare un unico valore alle caratteristiche di resistenza (es. per l'acciaio la tensione di snervamento o di rottura).

ESEMPIO: Stato di sollecitazione

Lo stato tensionale indotto da azioni esterne non può essere conosciuto con esattezza a causa delle incertezze ed approssimazioni che intervengono nella loro definizione.

METODO AGLI STATI LIMITE

IL VALORE CARATTERISTICO

Essendo tutte le grandezze associate a resistenza e sollecitazione di carattere aleatorio, i dati da utilizzare nella fase progettuale devono essere scelti in base a valori di probabilità ragionevoli (o, egualmente, livelli di rischio accettabili), in relazione alla quantità che esprimono.

- Per la RESISTENZA ha senso considerare valori sufficientemente bassi, ossia VALORI CON ELEVATA PROBABILITA' DI ESSERE SUPERATI.
- Per le AZIONI si considerano valori alti, ossia con VALORI CON RIDOTTA PROBABILITA' DI ESSERE SUPERATI.

I valori che vengono usati per il peso proprio degli elementi strutturali (2400 Kg/m^3 per il cls e 7850 Kg/m^3 per l'acciaio) sono valori che hanno il 95% di probabilità di non essere superati e sono definiti frattili o valori caratteristici al 95%.

IL VALORE CARATTERISTICO

Questa impostazione consiste nello sviluppare considerazioni di carattere probabilistico sia sulle azioni che sulla resistenza dei materiali.

Il concetto fondamentale è quello di

VALORE CARATTERISTICO

Si definiscono:

Valore caratteristico delle azioni

F_k

Valore caratteristico della resistenza dei materiali

R_k

IL VALORE CARATTERISTICO DELLE AZIONI

Il valore caratteristico delle azioni F_k corrisponde ad una intensità avente un prefissato valore di probabilità di essere raggiunto nel periodo di utilizzazione previsto per la struttura ovvero in termini di tempi di ritorno.

Di solito si definiscono due valori caratteristici delle azioni:

- **Valore caratteristico superiore** = valore che ha il 95% di probabilità di non essere superato (frattile di ordine 0.95).
- **Valore caratteristico inferiore** = valore che ha il 5% di probabilità di non essere superato (frattile di ordine 0.05) ovvero che ha il 95% di probabilità di essere superato.

Si utilizza l'uno o l'altro a seconda che i valori rilevanti ai fini della sicurezza siano quelli più elevati o quelli più bassi.

METODO AGLI STATI LIMITE

I COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Il confronto dei valori caratteristici delle sollecitazioni e delle resistenze non garantisce però il grado di sicurezza desiderato rispetto agli stati limite ultimi perché sfuggono a tali valori le **incertezze** legate per esempio a:

- difetti locali
- variazioni dimensionali
- approssimazioni di calcolo

Si trasformano quindi i valori caratteristici nei
VALORI DI CALCOLO o DI PROGETTO

tramite **COEFFICIENTI DI SICUREZZA**.

METODO AGLI STATI LIMITE

VALORI DI CALCOLO O DI PROGETTO

Si definiscono:

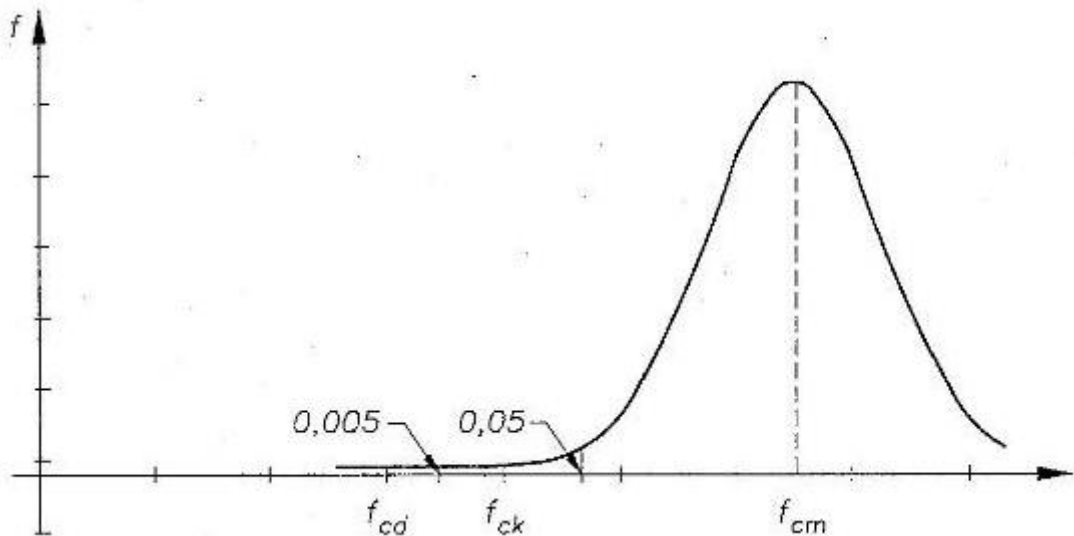
Valore di progetto delle azioni

$$F_d = \gamma_F F_k$$

Valore di progetto della resistenza dei materiali

$$R_d = R_k / \gamma_R$$

γ_F , γ_R coefficienti di sicurezza parziali (generalmente diversi in relazione allo stato limite considerato e al tipo di azioni e materiali).



Per gli stati limite ultimi la resistenza di progetto risulta minore del frattile 5% e corrisponde circa al frattile 0.5%.

CONDIZIONI DI PROGETTO

Devono essere valutate le principali condizioni di progetto prendendo in considerazione le circostanze per le quali la struttura deve compiere la sua funzione.

Le condizioni di progetto devono essere valutate come segue:

- **condizioni di progetto permanenti**, che si riferiscono alle condizioni di uso normale;
- **condizioni di progetto transitorie**, che si riferiscono a condizioni temporanee agenti sulla struttura, es. durante l'esecuzione o la manutenzione;
- **condizioni di progetto accidentali**, che si riferiscono a condizioni eccezionali agenti sulla struttura contro la sua vulnerabilità, es. Incendio, esplosione, urto o conseguenze di danni locali;
- **condizioni di progetto sismiche**, che si riferiscono a condizioni agenti sulla struttura quando soggetta ad evento sismico.

METODO AGLI STATI LIMITE

LA VERIFICA DI SICUREZZA

DM 17/01/2018: “Nel metodo agli stati limite, la sicurezza strutturale nei confronti degli stati limite ultimi deve essere verificata *confrontando la capacità di progetto R_d , in termini di resistenza, duttilità e/o spostamento della struttura o della membratura strutturale, funzione delle caratteristiche meccaniche dei materiali che la compongono (X_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche interessate (ad), con il corrispondente valore di progetto della domanda E_d , funzione dei valori di progetto delle azioni (F_d) e dei valori nominali delle grandezze geometriche della struttura interessate.*

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi (SLU) è espressa dall'equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$