

# aicap

Associazione Italiana

Calcestruzzo Armato e Precompresso



Ordine degli Ingegneri  
della Provincia di Catanzaro

## **LA PROGETTAZIONE STRUTTURALE SECONDO IL D.M. 14.01.08 E CIRCOLARE APPLICATIVA**

**Con il patrocinio della  
Facoltà di Ingegneria della  
Università degli Studi  
della Calabria**

**d'intesa con  
A.G.I. – Associazione Geotecnica Italiana  
A.N.I.D.I.S. – Associazione Nazionale Italiana di Ingegneria Sismica  
C.T.E. – Collegio Tecnici della Industrializzazione Edilizia**

**Presidente del Convegno  
Luca Sanpaolesi**



**Franco Angotti**

9,30 - 10,45

# CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE STRUTTURALE

Le verifiche di sicurezza

Le azioni e loro combinazioni

La Durabilità

# Riferimenti

## Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14.1.2008 (NTC)

Capitolo 2 – Sicurezza e prestazioni attese

- Circolare 2 febbraio 2009
- Eurocodice: EN 1990 (EC 0)  
Principi di progettazione strutturale
- Eurocodice: EN 1992-1-1 (EC 2)  
Progetto di strutture in calcestruzzo

## Appendici nazionali agli Eurocodici

## Progettazione di strutture in calcestruzzo armato

Guida all'uso dell'Eurocodice 2 –

Con riferimento alle Norme Tecniche D.M. 14.1.2008

Vol. I - [nuova edizione riveduta](#)

# OBIETTIVO DELLA PROGETTAZIONE

LE OPERE

DEVONO ESSERE PROGETTATE E COSTRUITE

per ottenere

**ADEGUATA RESISTENZA:** sicurezza nei confronti di SLU

**FUNZIONALITA' DI ESERCIZIO:** sicurezza nei confronti di SLE

**ADEGUATA ROBUSTEZZA:** nei confronti di azioni eccezionali

**DURABILITÀ:** per tutta la vita utile

# LA ROBUSTEZZA

Il capitolo delle NTC sulle azioni comincia così:

## 3. Azioni sulle costruzioni

### 3.1.1 Generalità

.....

In fase di progetto, la **robustezza** dell'opera deve essere verificata imponendo **azioni nominali convenzionali**, in aggiunta alle altre azioni esplicite (non sismiche e da vento), applicate secondo due direzioni orizzontali ortogonali e consistenti in una frazione dei carichi pari all'1%, al fine di verificare il comportamento complessivo.

# LA ROBUSTEZZA

nei confronti di azioni eccezionali:

**INCENDI**

**ESPLOSIONI**

**URTI**

Bisogna evitare danni sproporzionati fra rispetto all'entità della cause

Per le verifiche nei confronti dell'incendio si segnala

**EN1992-1-2 e relativa appendice**

- **criteri di calcolo** della resistenza al fuoco delle strutture di cls,
- **procedure di calcolo** specifico per elementi sottoposti al fuoco.

# LA ROBUSTEZZA

Gli **URTI** sono classificati a seconda degli effetti:

<b>Categoria di azione</b>	<b>Possibili effetti</b>
1	Effetti <b>trascurabili</b> sulle strutture
2	Effetti <b>localizzati</b> su parte delle strutture
3	Effetti <b>generalizzati</b> sulle strutture

Le NTC forniscono le forze d'urto:

**Traffico veicolare sotto ponti, parcheggi, autorimesse**

**Traffico veicolare sopra i ponti**

**Urti di imbarcazioni**

**Urti di elicotteri**

# LA ROBUSTEZZA

Le **ESPLOSIONI** sono classificate a seconda degli effetti:

Categoria di azione	Possibili effetti
1	Effetti <b>trascurabili</b> sulle strutture
2	Effetti <b>localizzati</b> su parte delle strutture
3	Effetti <b>generalizzati</b> sulle strutture

## Criteri di progettazione - NTC

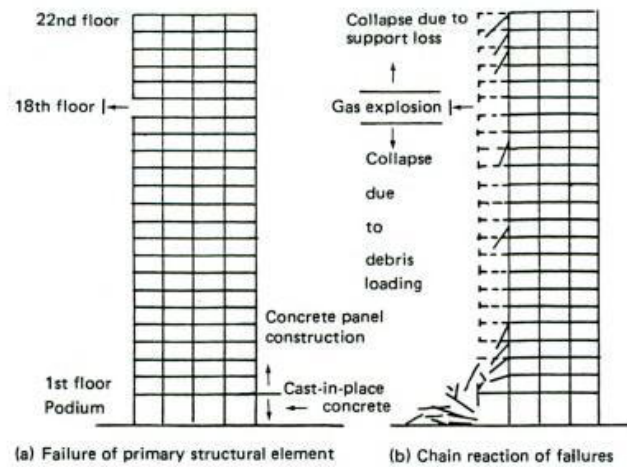
**Si accettano danneggiamenti localizzati, anche gravi**, a condizione che:

- non ci sia pericolo per l'intera struttura
- la capacità portante sia mantenuta per un tempo sufficiente affinché siano prese le necessarie misure di emergenza.

## Adozione di misure di protezione quali:

- la introduzione di superfici in grado di collassare sotto sovrappressioni prestabilite;
- la introduzione di giunti strutturali allo scopo di separare porzioni di edificio a rischio di esplosione da altre;
- **la prevenzione** di crolli significativi in conseguenza di cedimenti strutturali localizzati.

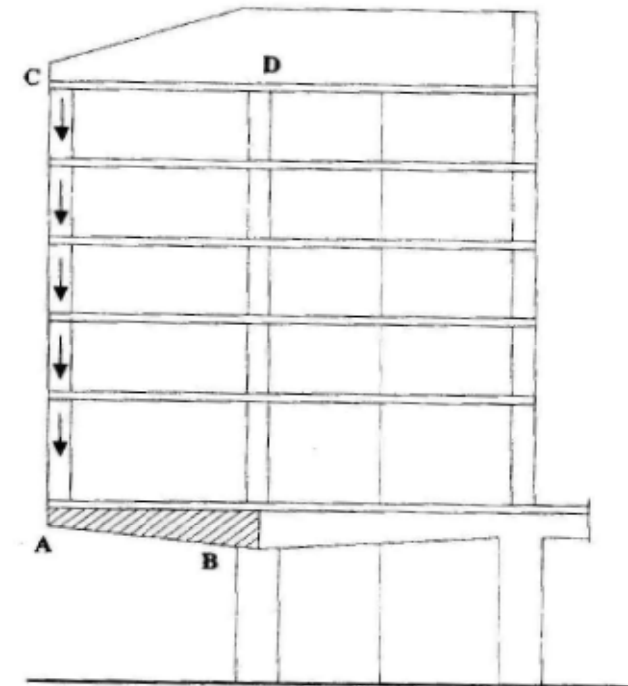




Tavv. 2.2 e 2.3 - Crollo di Ronan Point, Londra, 1968. Lo schemino illustra la dinamica del crollo. Per effetto di uno scoppio, è venuto a mancare il pannello di chiusura portante al 18° piano. Mancando il supporto, sono crollati i piani sovrastanti che caricando il 17° piano hanno provocato il collasso a catena (F. Laner, *Il nuovo cantiere*, n. 1, gennaio 1985)

# Crollo a catena

La lezione di  
Ronan Point  
Londra 1968



Oklahoma 1995: una bomba

## Crollo a catena

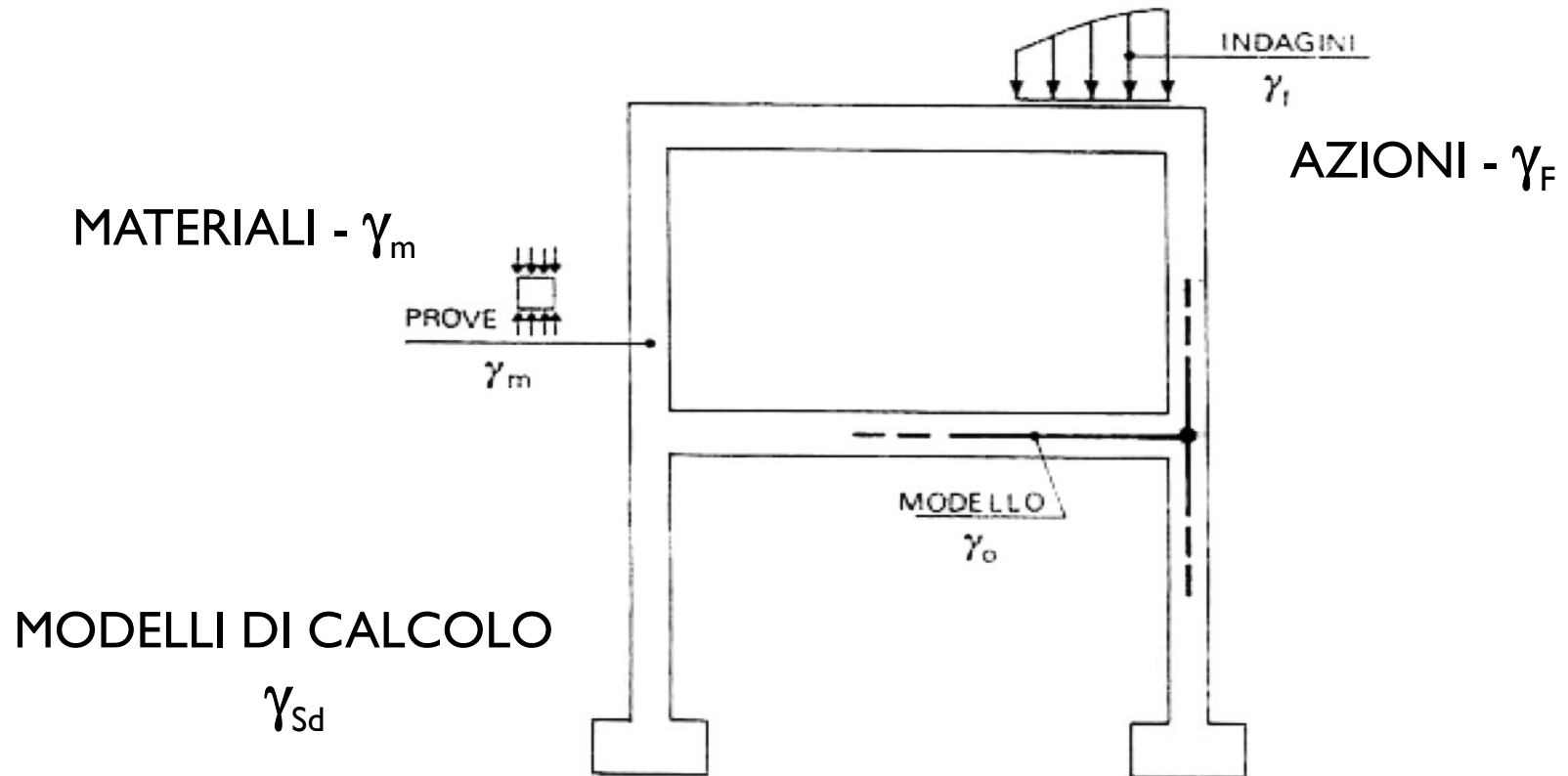


# Crollo a catena

World Trade Center  
New York  
2001



# ADEGUATA RESISTENZA NELLA REALE STRUTTURA



**Sollecitazione  $\leq$  Resistenza**

# LE ALEATORIETÀ

Derivano dalle incertezze relative a:

- Intensità delle azioni di varia natura
- Probabilità della loro coesistenza
- Caratteristiche meccaniche dei materiali impiegati
- Geometria della costruzione
- Divario tra gli effetti realmente indotti dai carichi e quelli calcolati (modellazione)

# CONSEGUENZA

R = resistenza

S = sollecitazione

VARIABILI ALEATORIE

Probabilità di crisi:  $P_f = \text{Prob} (R \leq S)$

Verifica di sicurezza:  $P_f \leq P_f^*$

# Metodo di livello 3

$$P_f \leq P_f^*$$

a) per s.l.u. (rottura fragile, instabilità, ecc.):

$$P_f^* = 10^{-5} - 10^{-7}$$

b) per s.l.u. (rottura duttile, cedimenti, ecc.):

$$P_f^* = 10^{-4} - 10^{-5}$$

c) per s.l.e. (deformazioni eccessive, sensibilità alle vibrazioni, ecc.):

$$P_f^* = 10^{-2} - 10^{-3}$$

# Metodo di livello 2 o metodo $\beta$

Confronto fra S R:

$$M_s = R - S \quad \text{margine di affidabilità}$$

Evento favorevole =  $M_s > 0$

$$P_f = \text{Prob}(M_s < 0)$$



# Metodo di livello 2 o metodo $\beta$

marginale di affidabilità =  $M_s = R - S$

si conoscono solo media e  $\mu_M$

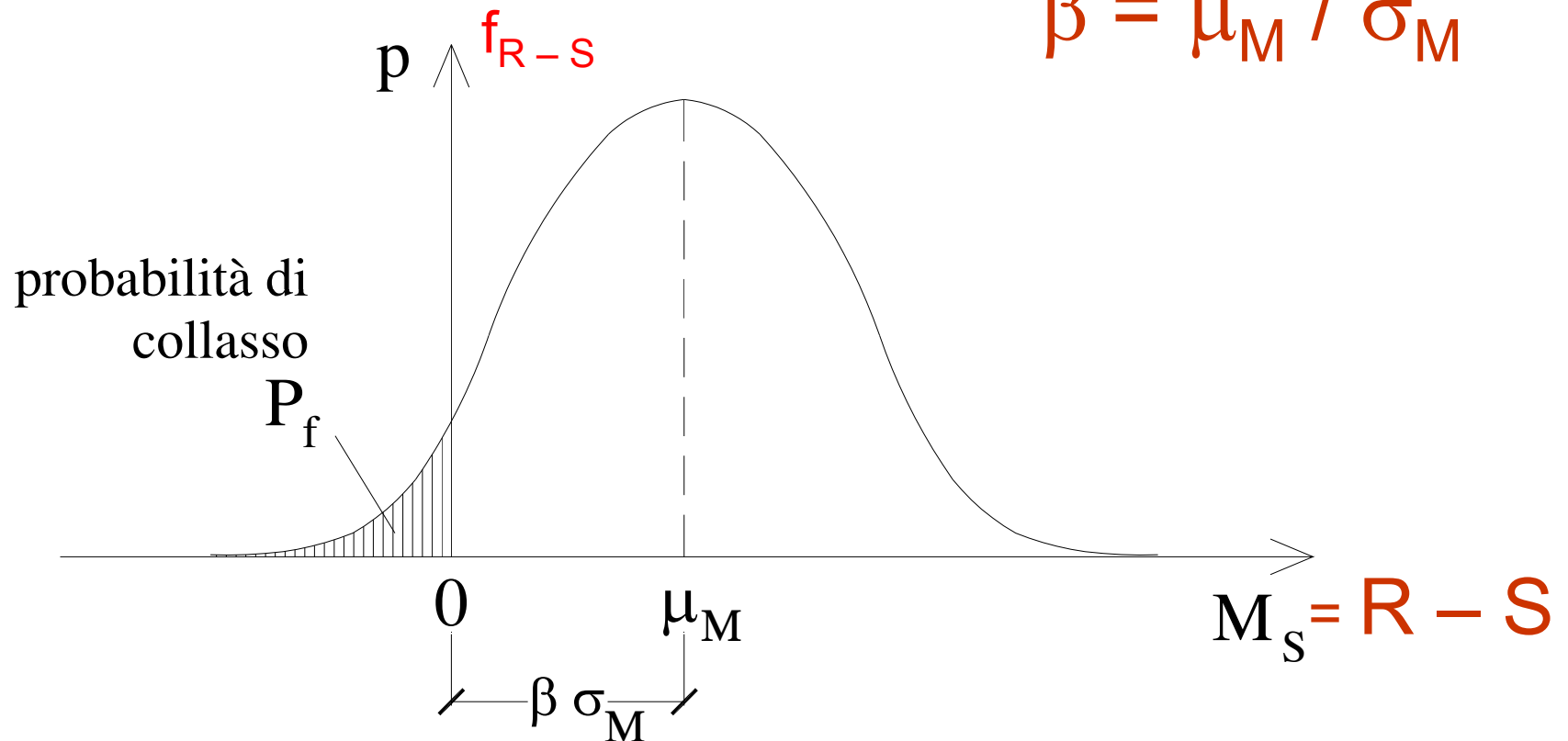
deviazione standard di  $M_s$  :  $\sigma_M$

**Indice di affidabilità:  $\beta = \mu_M / \sigma_M$**

# Metodo di livello 2 o metodo $\beta$

Indice di affidabilità

$$\beta = \mu_M / \sigma_M$$



# Metodo di livello 2 o metodo $\beta$

Se R ed S non correlate

ovvero

R ed S sono **normali** e statisticamente indipendenti:

Media  $\mu_R$  e  $\mu_S$

Deviazione standard  $\sigma_R$  e  $\sigma_S$

Risulta:

$$\beta = (\mu_R - \mu_S) / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

# Nel caso di v.a. normali (Gaussiane)

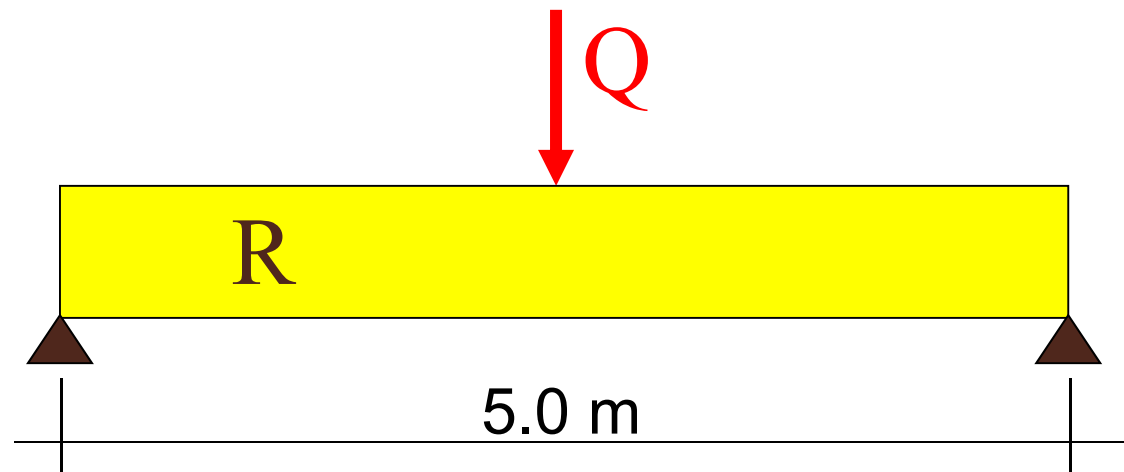
- la probabilità di crisi  $p_f$  :

$$p_f = \Pr(R - E < 0) = \Phi\left(-\frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}}\right)$$

- si noti che:
  - Se  $\sigma_R$  e  $\sigma_E$  diminuiscono,  $p_f$  diminuisce
  - Se  $(\mu_R - \mu_E)$  aumenta,  $p_f$  diminuisce

# Esempio

- Trave appoggiata con carico concentrato



- Carico Q:  $\mu_Q = 3 \text{ kN}$ ;  $\sigma_Q = 1 \text{ kN}$
- Resistenza R:  $\mu_R = 10 \text{ kNm}$ ;  $\sigma_R = 1,5 \text{ kNm}$

# Esempio

- Il momento agente è:  $S = Q L/4$
- E' anch'esso una v.a. con
  - Media:  $\mu_S = \mu_Q L/4 = 3.75 \text{ kNm}$
  - Dispersione:  $\sigma_S = \sigma_Q L/4 = 1.25 \text{ kNm}$
- La probabilità di collasso è:

$$p_f = \Phi\left(-\frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}}\right) = \Phi\left(-\frac{10 - 3.75}{\sqrt{1.5^2 + 1.25^2}}\right) = 6.85 \cdot 10^{-4}$$

# Metodo di livello 3

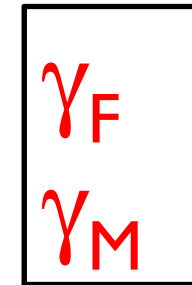
metodo dei coefficienti parziali o **semiprobabilistico**

$R$  ed  $S$  sono variabili aleatorie indipendenti;

valori caratteristici:  $R_k$  ed  $S_k$  = frattili di un ordine prefissato

per coprire altre incertezze mediante l'applicazione di coefficienti parziali di sicurezza

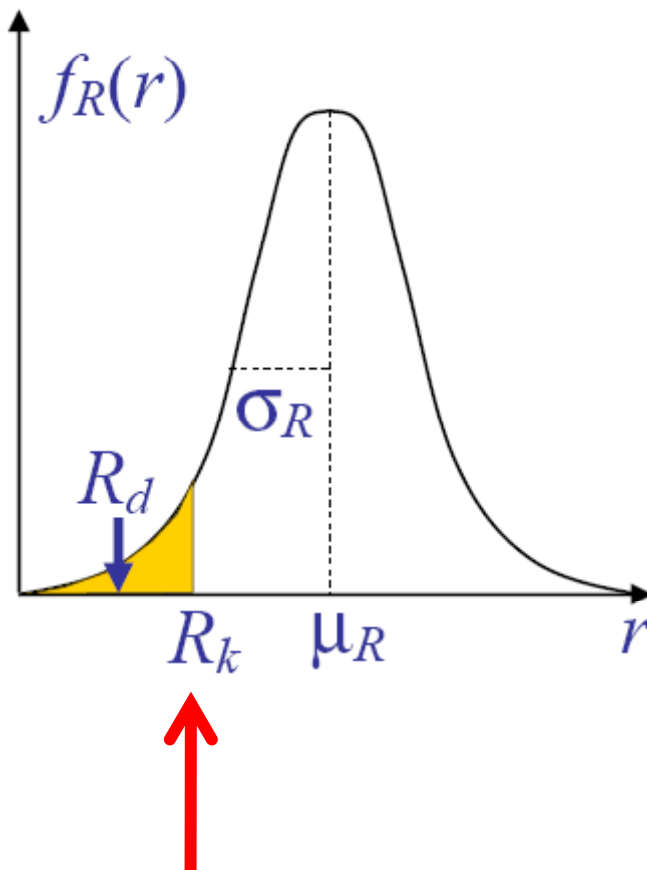
valori di progetto  $R_d$  ed  $S_d$



$$S_d \leq R_d$$

# Aleatorietà

$R_d$ ,  $R_k$  e  $\gamma_m$



- Il valore caratteristico è:  
 $R_k = \mu_R - 1.64 \sigma_R$ 
  - $\Pr[R < R_k] = 0,05$
- Il valore di calcolo è:  
 $R_d = R_k / \gamma_M$
- $\gamma_M$  deriva da studi di calibrazione



# Aleatorietà

$S_d, S_k, \gamma_F$

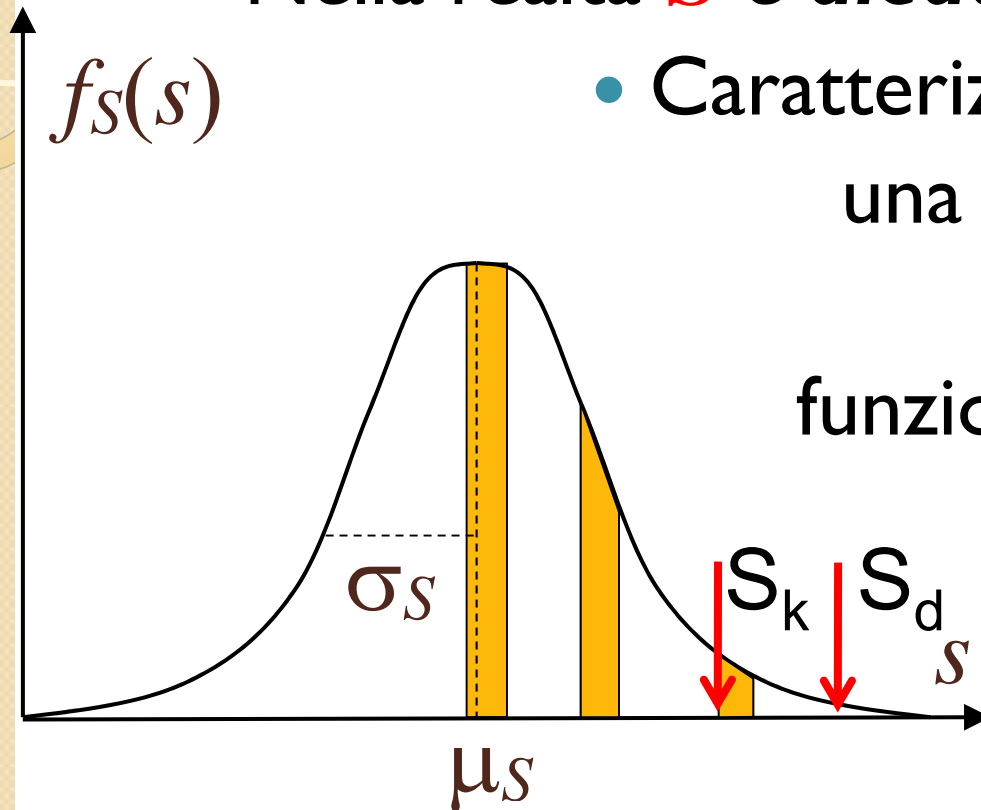
- Nella realtà  $S$  è *aleatoria*

- Caratterizzata (se normale) da una densità di probabilità

$f_S(s)$

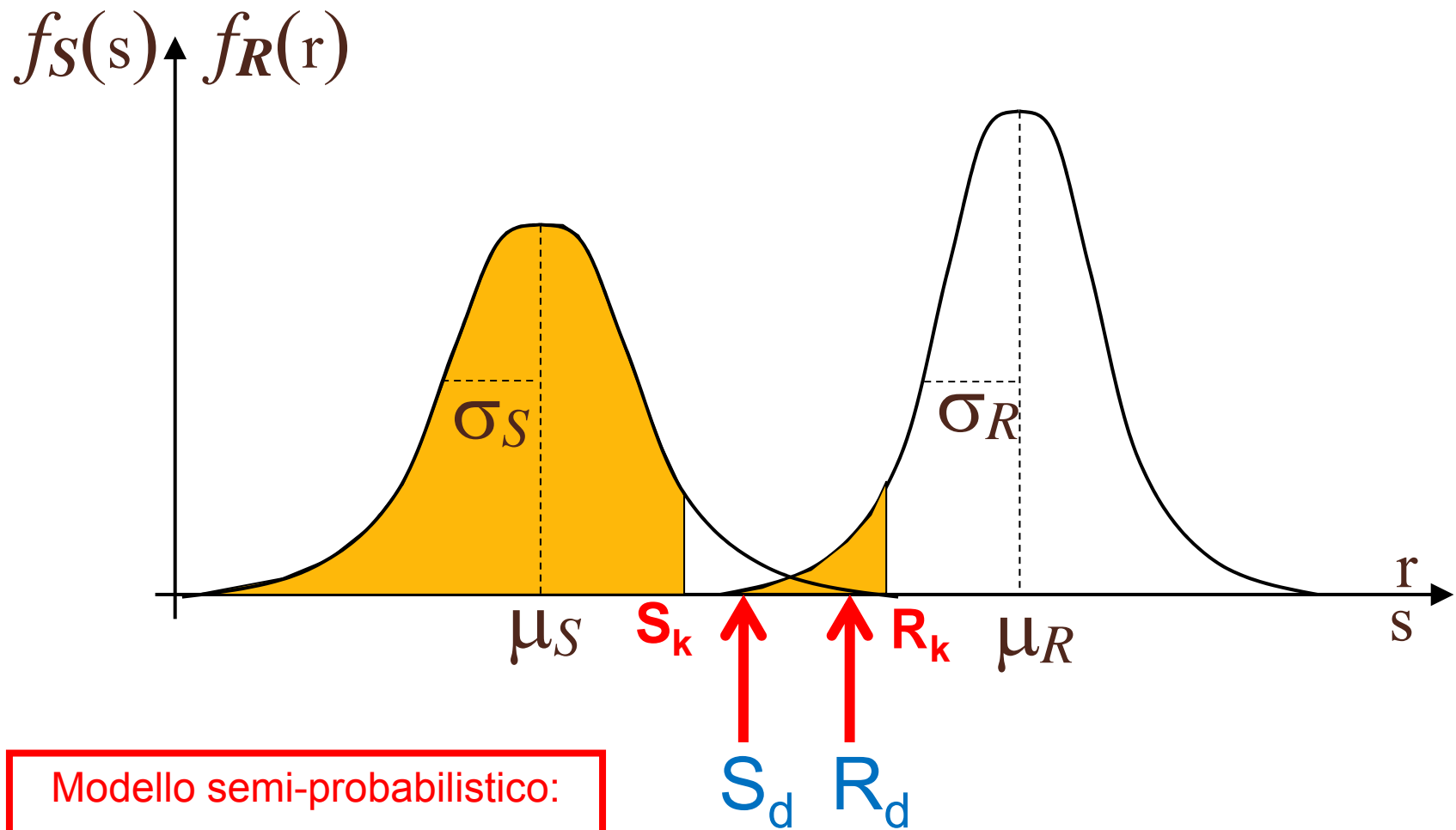
funzione di due parametri:

- media:  $\mu_S$
- dispersione:  $\sigma_S$



Sollecitazione caratteristica  $S_k = \mu_S + 1,645\sigma_S$   
Sollecitazione di progetto  $S_d = S_k \gamma_F$

# Valori caratteristici e valori di progetto



Modello semi-probabilistico:

$$S_d \leq R_d$$

Modello semi-probabilistico:

$$\gamma_F S_K = S_D \leq R_K / \gamma_M = R_d$$

## CALIBRAZIONE DEI $\gamma$

**Relazione tra**

**Coefficiente di affidabilità  $\beta$**

**Coefficienti di sicurezza parziali  $\gamma$**

# CALIBRAZIONE

Lato materiali:  $R_d = R_k / \gamma_R$

Distribuzione gaussiana:  $R_k = \mu_R - 1,645 \sigma_R$

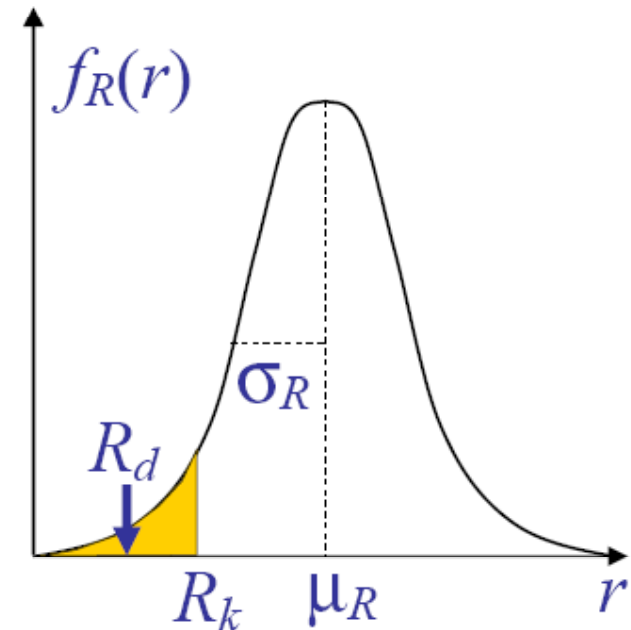
$$R_d = \mu_R - \alpha_R \beta \sigma_R$$

$\alpha_R$  = coefficiente di sensibilità

$\beta$  = coefficiente di affidabilità

Da cui essendo  $\gamma_R = R_k / R_d$

Si deduce:



$$\gamma_R = = (\mu_R - 1,645 \sigma_R) / (\mu_R - \alpha_R \beta \sigma_R)$$

# Metodo di livello 1

metodo dei coefficienti parziali o semi-probabilistico

**Il metodo non richiede alcuna conoscenza probabilistica da parte del progettista**

gli aspetti probabilistici del problema di sicurezza sono già considerati nel **processo di calibrazione del metodo**, ossia nella scelta dei valori caratteristici, dei coefficienti parziali di sicurezza, ecc., fissati dalle Norme.

# I livelli di affidabilità si possono differenziare

per tener conto di:

- **cause** che portano al raggiungimento di uno stato limite;
- **conseguenze** del collasso in termini di rischio per la vita umana, danni alle persone, potenziali perdite economiche, rischi ambientali;
- **spesa** e procedure necessarie per ridurre il rischio di collasso.

Classi di conseguenze		Classi di affidabilità		Indice $\beta$ (50 anni)
CC1	→	RC1	→	3,3 ( $P_f \sim 10^{-3}$ )
CC2	→	RC2	→	3,8 ( $P_f \sim 10^{-4}$ )
CC3	→	RC3	→	4,3 ( $P_f \sim 10^{-5}$ )

# DEFINIZIONE DELLE CLASSI DI CONSEGUENZE

NTC 2008

Classi di conseguenze

ESEMPI DI EDIFICI

CC1

RARO AFFOLLAMENTO

CC2

NORMALE AFFOLLAMENTO

CC3

GRANDE AFFOLLAMENTO

CC4

STRATEGICHE O PERICOLOSE

# Nelle Norme Tecniche per le costruzioni - NTC 2008

Il RISCHIO viene DIFFERENZIATO

attraverso

VITA NOMINALE  $V_N$  E CLASSI D'USO  $C_U$

Periodo di riferimento per l'azione SISMICA:

$$V_R = V_N C_U \geq 35 \text{ anni}$$



## CLASSI D'USO (o DI IMPORTANZA) delle COSTRUZIONI

**I RARO AFFOLLAMENTO  $C_U = 0,7$**

**II NORMALE AFFOLLAMENTO  $C_U = 1,0$**

**III GRANDE AFFOLLAMENTO  $C_U = 1,5$**

**IV STRATEGICHE O PERICOLOSE  $C_U = 2,0$**

## VITA NOMINALE $V_N$

OPERE PROVVISORIE	10 anni
OPERE ORDINARIE	50 anni
GRANDI OPERE	100 anni

## PERIODO DI RIFERIMENTO (per azione sismica)

$$V_R = V_N C_U \geq 35 \text{ anni}$$

$$V_R = 35 - 50 - 75 - 100 - 150 - 200 \text{ anni}$$

# valore di progetto di un'azione F

$$F_d = \gamma_f F_{rep} = \gamma_f \psi F_k$$

$F_k$  = valore caratteristico

$F_{rep}$  = valore rappresentativo pertinente

$$F_{rep} = \psi F_k$$

$\gamma_f$  = coeff. parziale che tiene conto di deviazioni sfavorevoli di F dal valore rappresentativo

$\psi$  = assume valori:  $1, \psi_0, \psi_1, \psi_2$

# Classificazione delle azioni

In base alla variazione della intensità nel tempo:

a) *permanenti* (G ):

## **G1**

**peso proprio di tutti gli elementi strutturali;**

- peso proprio del terreno, quando pertinente;
- forze indotte dal terreno (esclusi gli effetti di carichi variabili applicati al terreno);
- forze risultanti dalla pressione dell'acqua (quando si configurino costanti nel tempo);

## **G2**

**peso proprio di tutti gli elementi non strutturali;**

- spostamenti e deformazioni imposti, previsti dal progetto e realizzati all'atto della costruzione;
- pretensione e precompressione ( P );
- ritiro e viscosità;
- spostamenti differenziali;

# AZIONI PERMANENTI

$G_1$  e  $G_2$

$G_1$  = peso proprio di tutti gli elementi strutturali;  
e dei carichi permanenti portati compiutamente definiti.

$G_2$  = peso proprio di tutti gli elementi non strutturali.  
e dei carichi permanenti portati non compiutamente definiti.

Il progettista valuterà caso per caso quali sono i carichi permanenti da considerare come “non compiutamente definiti”;

Ad Esempio:

in un edificio per civile abitazione possono essere annoverati tra i carichi permanenti non compiutamente definiti i pesi propri dei tramezzi e degli impianti.

# Classificazione delle azioni

In base alla variazione della intensità nel tempo:

b) **variabili (Q ):**

**di lunga durata:** agiscono con un'intensità significativa, anche non continuativamente, per un tempo non trascurabile rispetto alla vita nominale della struttura;

**di breve durata:** azioni che agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura;

c) **eccezionali (A ):**

incendi;  
esplosioni;  
urti ed impatti;

d) **sismiche ( E ):** azioni derivanti dai terremoti.

# Le azioni permanenti G

Con **ridotta variabilità** si attribuisce un unico valore caratteristico  $G_k = G_m$ .

Con **rilevante variabilità** (coefficiente di variazione superiore al 10 %)

si attribuiscono due valori caratteristici:

$G_{k,inf}$     frattile 5%

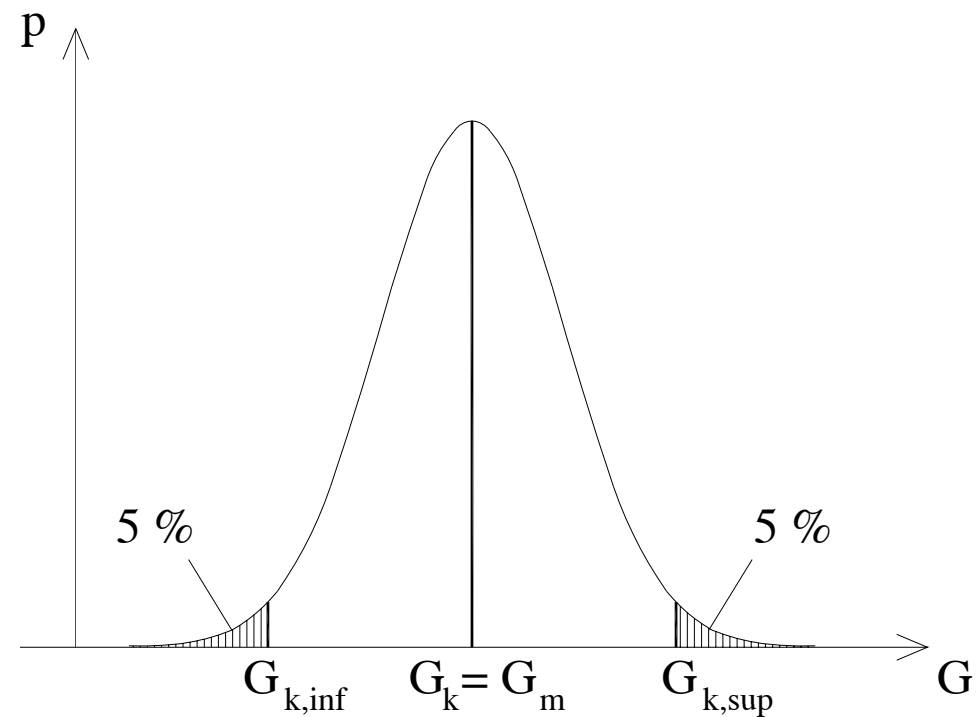
$G_{k,sup}$     frattile 95%

Nelle NTC non si distingue

Si assumono i valori nominali:

$G_1$

$G_2$



# Le azioni variabili Q

**Q** ha quattro valori rappresentativi:

Valore caratteristico:  $Q_k$

Valore di combinazione:  $\psi_0 Q_k$

Valore frequente:  $\psi_1 Q_k$

Valore quasi permanente:  $\psi_2 Q_k$



# Valore caratteristico $Q_k$

Per la maggior parte delle azioni variabili:

neve, vento, temperatura, sovraccarico solai

$Q_k$  = valore che ha la probabilità di essere superato in un  
anno

$$p = 0,02 = 2\%$$

Ovvero azione che ha un **periodo di ritorno**:

$$T_{ref} = 1/0,02 = 50 \text{ anni}$$

## Valore di combinazione: $\psi_0 Q_k$

$\psi_0 Q_k$  intensità di un'azione variabile supposta contemporanea all'azione dominante

$\psi_0$  tiene quindi conto della ridotta probabilità di occorrenza simultanea dei valori più sfavorevoli di più azioni variabili indipendenti.

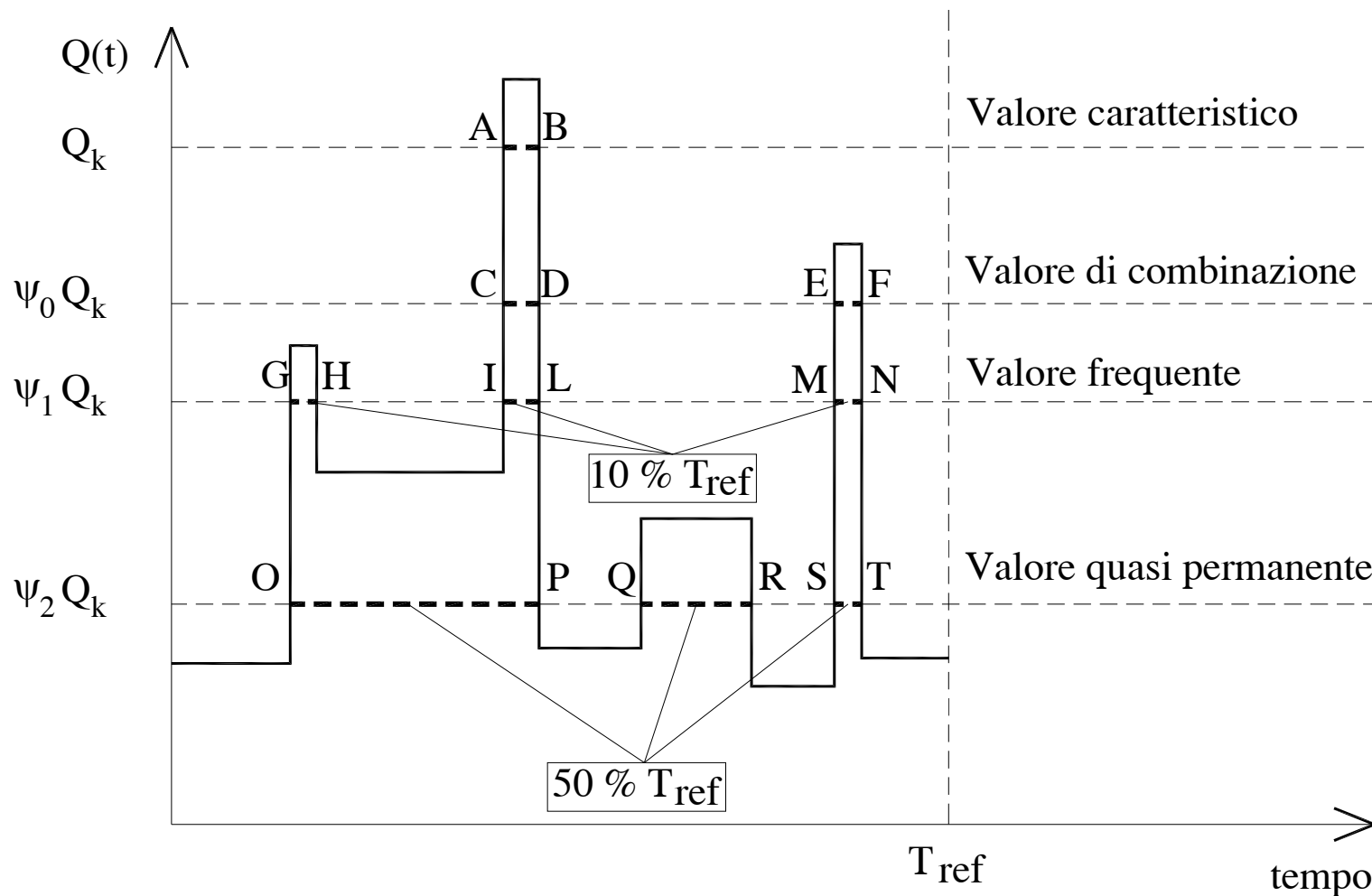
Esso è utilizzato per le verifiche agli

SLU e

SLE irreversibili.

# Le azioni variabili Q

Sui solai degli edifici si rilevano le frazioni di tempo durante le quali Q viene superato di una % prefissata (5%, 10%, 50%)



## COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE

CAT.	DESTINAZIONE	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
A	RESIDENZE ...	0,7	0,5	0,3
B	UFFICI ...	0,7	0,5	0,3
C	AFFOLLATI ...	0,7	0,5	0,6
D	TRIBUNE ...	0,7	0,7	0,6
E	BIBLIOTECHE ...	1,0	0,9	0,8
F	PARCHEGGI ...	0,7	0,7	0,6
G	RIMESSE ...	0,7	0,5	0,3
H	COPERTURE ...	0,0	0,0	0,0

## ALTRE AZIONI

	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
VENTO	0,6	0,2	0,0
NEVE quota $\leq 1000$ m	0,5	0,2	0,0
NEVE quota $> 1000$ m	0,7	0,5	0,2
VARIAZIONI TERMICHE	0,6	0,5	0,0



La Verifica di sicurezza va condotta  
nei confronti di:

stati limite ultimi (**classificati in 3 tipi**)

stati limite di esercizio

# Gli Stati Limite (non sismici)

## Definizione di Stato Limite

E' la condizione superata la quale la struttura non soddisfa più esigenze per cui è stata progettata

### ❖ Due categorie:

#### ■ Stati Limite Ultimi (SLU)

- Al superamento del quale si ha collasso strutturale, crolli, perdita di equilibrio, dissesti gravi, ovvero fenomeni che mettono fuori servizio in modo irreversibile la struttura (o parti di essa)

#### ■ Stati Limite di Esercizio (SLE)

- Al superamento del quale corrisponde la perdita di una particolare funzionalità che condiziona o limita le prestazioni dell'opera

# Tipi di verifiche

- EQU** SL DI EQUILIBRIO COME CORPO RIGIDO  
(TERRENO ININFLUENTE: GALLEGGIAMENTO)
- STR** SL DI RESISTENZA DELLE STRUTTURE  
("TERRENO FORTE – STRUTTURA DEBOLE")
- GEO** SL DI RESISTENZA DEL TERRENO  
(TERRENO DEBOLE – STRUTTURA FORTE)



# COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI SLU

Azioni		<b>EQU</b>	<b>Insieme A1</b>	<b>Insieme A2</b>
permanenti $G_1$ strutturali	Favorevole	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
	Sfavorevole	<b>1,1</b>	<b>1,3</b>	<b>1,0</b>
permanenti $G_2$ non strutturali	Favorevole	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
	Sfavorevole	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>
variabile dominante $Q_{k,1}$ ( $\gamma_{Qk}$ )	Favorevole	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
	Sfavorevole	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>
variabili non dominanti $Q_{k,i}$ ( $\gamma_{0k,i}$ )	Favorevole	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
	Sfavorevole	<b><math>1,5 \cdot \psi_{0,i}</math></b>	<b><math>1,5 \cdot \psi_{0,i}</math></b>	<b>1,3</b>

# COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI

	$\gamma_{G1}$ fav	$\gamma_{G1}$ sfa	$\gamma_{G2}$ fav	$\gamma_{G2}$ sfa	$\gamma_Q$ fav	$\gamma_Q$ sfa	$\gamma_\phi$	$\gamma_{c'}$	$\gamma_{cu}$
EQU	0,9	1,1	0,0	1,5	0,0	1,5	1,25*	1,25*	1,4*
STR	1,0	1,3	0,0	1,5	0,0	1,5	1,25*	1,25*	1,4*
GEO	1,0	1,0	0,0	1,3	0,0	1,3	1,25*	1,25*	1,4*

\* PER IL CALCOLO DELLE SPINTE ATTIVE

# COMBINAZIONI DELLE AZIONI

- FONDAMENTALE (SLU)

$$\gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1}Q_{k1} + \gamma_{Q2}\psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

- CARATTERISTICA (SLE IRREVERSIBILE)

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02}Q_{k2} + \dots$$

- FREQUENTE (SLE REVERSIBILE)

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

- QUASI PERMANENTE (SLE DI LUNGA DURATA)

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

# COMBINAZIONI DELLE AZIONI

in presenza di azioni eccezionali:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

in presenza di azioni sismiche

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21}Q_{k1} + \psi_{22}Q_{k2} + \dots$$

$A_d$  rappresenta l'azione eccezionale di progetto (Ad es. azione termica indiretta dovuta all'incendio)

$E$  valore di progetto dell'azione sismica

Le azioni variabili entrano con il coefficiente  $\psi_2$  ovvero con il valore quasi permanente

# Gli Stati Limite sismici

## STATI LIMITE DI ESERCIZIO

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**
  - la costruzione nel suo complesso ... **non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi**
- **Stato Limite di Danno (SLD)**
  - la costruzione nel suo complesso ... **subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali**  
...mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature

./.

# Gli Stati Limite sismici

## STATI LIMITE ULTIMI

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**
  - la costruzione **subisce rotture e crolli** dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali
  - la costruzione conserva una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**
  - la costruzione **subisce gravi rotture** e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali
  - la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali

# Stati Limite non sismici

	<i>Insieme di <math>\gamma_F</math> da utilizzare per lo SLU</i>
<b>EQU</b>	Insieme EQU
<b>STR</b>	Insieme A1
<b>STR / GEO</b>	<p>Il progettista può adottare, in alternativa, uno dei seguenti approcci:</p> <p><b><u>Approccio 1</u></b> (due calcoli separati) combinazione n° 1: Insieme A1 per tutte le azioni combinazione n° 2: Insieme A2 per tutte le azioni</p> <p><b>NOTA:</b> [le verifiche vanno eseguite nei confronti di entrambe le combinazioni; nei casi comuni le verifiche geotecniche sono governate dall'Insieme A2 e quelle di resistenza degli elementi strutturali di fondazione dall'Insieme A1]</p> <p><b><u>Approccio 2</u></b> Insieme A2 per tutte le azioni</p>

# Stato limite STR e GEO

## NOTA 1

*L'**Approccio 1** è sempre applicabile*

*L'**Approccio 2** si può adottare limitatamente al caso di strutture con fondazioni dirette o su pali in cui le azioni geotecniche (ad es. spinta delle terre) non costituiscano azioni dirette per la struttura.*

*L'**Approccio 2** non si può utilizzare per paratie ed altre opere e situazioni geotecniche.*

## NOTA 2

*Gli approcci 1 e 2 non differiscono solo nella definizione degli insiemi di coefficienti parziali di sicurezza delle azioni, ma anche nella definizione dei coefficienti parziali di sicurezza dei parametri geotecnici e delle resistenze.*



# Combinazioni per gli S.L.U. non sismici

Insieme EQU dei coefficienti parziali (EQU)

$$\sum (1,1 \cdot G_{1,\text{sfav}} + 0,9 \cdot G_{1,\text{fav}} + 1,5 \cdot G_{2,\text{sfav}} + 0 \cdot G_{2,\text{fav}}) + 1,5 \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1,5 \cdot \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Insieme A1 dei coefficienti parziali (STR/GEO)

$$\sum (1,3 \cdot G_{1,\text{sfav}} + 1,0 \cdot G_{1,\text{fav}} + 1,5 \cdot G_{2,\text{sfav}} + 0 \cdot G_{2,\text{fav}}) + 1,5 \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1,5 \cdot \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Insieme A2 dei coefficienti parziali (STR/GEO)

$$\sum (1,0 \cdot G_{1,\text{sfav}} + 1,0 \cdot G_{1,\text{fav}} + 1,3 \cdot G_{2,\text{sfav}} + 0 \cdot G_{2,\text{fav}}) + 1,3 \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} 1,3 \cdot \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

# Esempio

## combinazioni delle azioni non sismiche



Si considerano i seguenti stati limite ultimi:

### Stato limite EQU

equilibrio a ribaltamento intorno all'appoggio B  
resistenza del dispositivo antisollevamento in C

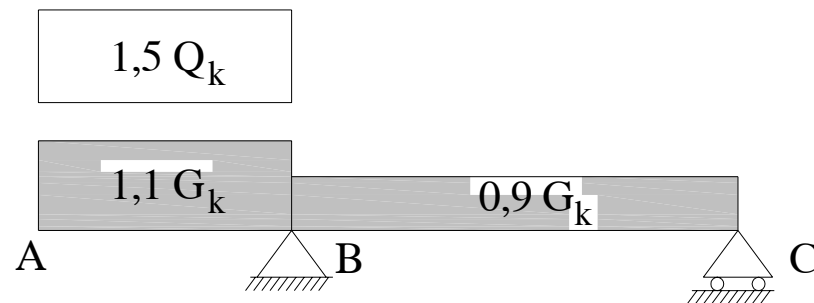
### Stati limite STR e GEO

- 1.resistenza della trave (STR)
- 2.verifiche geotecniche (GEO)

IOTESI: presenza di **un solo** carico variabile  $Q_k$ .

# Stato limite EQU

Insieme EQU dei coefficienti parziali (EQU)



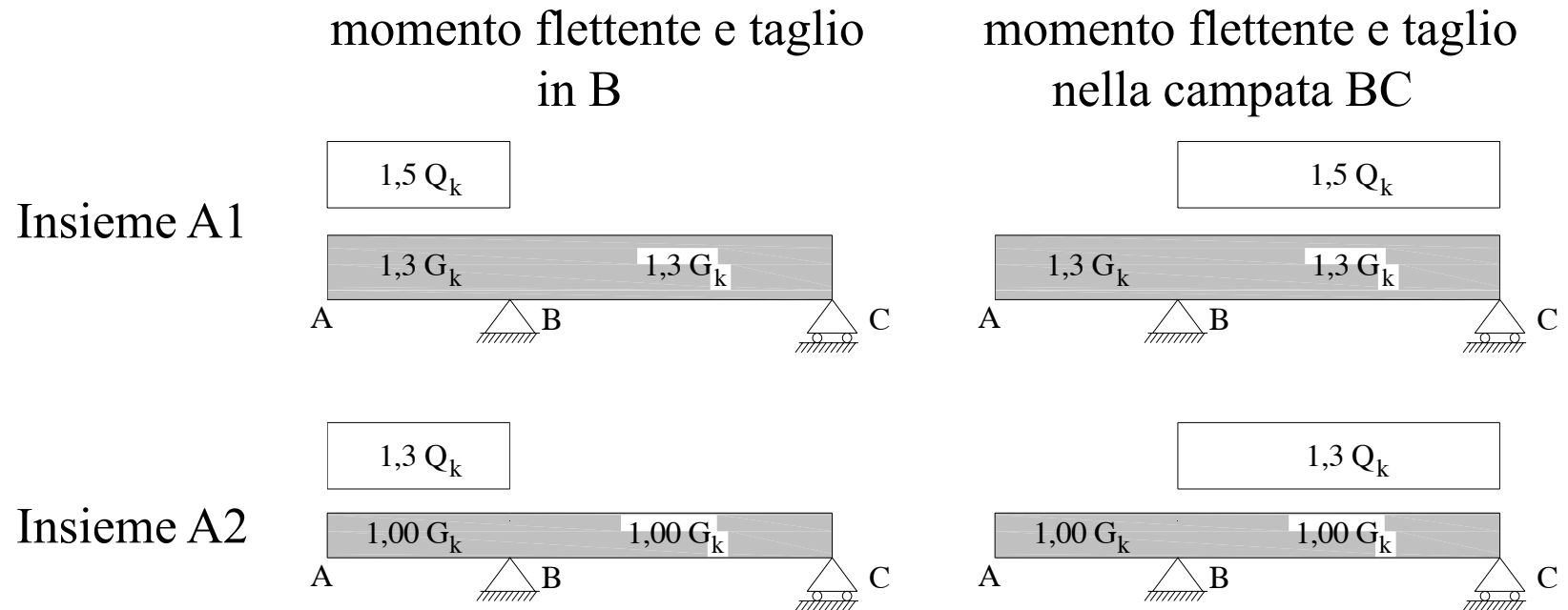
# Stato limite: STR/GEO

Insieme di coefficienti parziali: A1 e A2

*Approccio 1:* **2 calcoli separati** 1) con l'insieme A2  
2) con l'insieme A1

*Approccio 2:* Un solo calcolo con l'insieme A1

## Effetti da massimizzare



# DURABILITÀ

- conservazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei materiali e delle strutture
- i livelli di sicurezza devono essere mantenuti durante tutta la vita dell'opera

La durabilità richiama due concetti:

**1- La Vita Nominale** deve essere precisata nei documenti di progetto

**2- Degrado:** deve essere oggetto di valutazione con riferimento alle condizioni ambientali; esso è alla base delle scelte progettuali in termini di

Materiali

Dettagli costruttivi

Dimensioni delle strutture

Misure di Protezione

**FONDAMENTALE È LA CONOSCENZA DELL'AMBIENTE**

# CLASSI DI ESPOSIZIONE

1. (X0) nessun rischio di corrosione o attacco

## Rischio di corrosione dell'armatura

2. (XC) **corrosione** indotta da carbonatazione,
3. (XD) **corrosione** indotta da cloruri (esclusi quelli dell'acqua di mare) (*D=De-icing*),
4. (XS) **corrosione** indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare (*S=Sea water*),

## Rischio di attacco del calcestruzzo

5. (XF) **attacco** di cicli gelo/disgelo e/o sali disgelanti (*F=Freezing*),
6. (XA) **attacco** chimico (terreni e/o acque chimicamente aggressivi) (*A=Attack*).

# LA CLASSIFICAZIONE DELLE NTC 2008

semplificazione

## **CONDIZIONI AMBIENTALI**

Ordinarie

Aggressive

Molto aggressive

## **CLASSE DI ESPOSIZIONE**

X0, XC1, XC2, XC3, XF1

XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3

XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

**CONDIZIONI AMBIENTALI**



**scelta dello stato limite di fessurazione**



**verifica dello stato limite di  
fessurazione**



**verifica delle tensioni in esercizio**



# Controllo della fessurazione

## ***Definizione degli stati limite di fessurazione***

Si distinguono 3 SL:

*a) stato limite di decompressione ( $\sigma_c \geq 0$ )*

*b) stato limite di formazione delle fessure ( $\sigma_t \leq f_{ctm}/1,2$ )*

**c) stato limite di apertura delle fessure:**

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

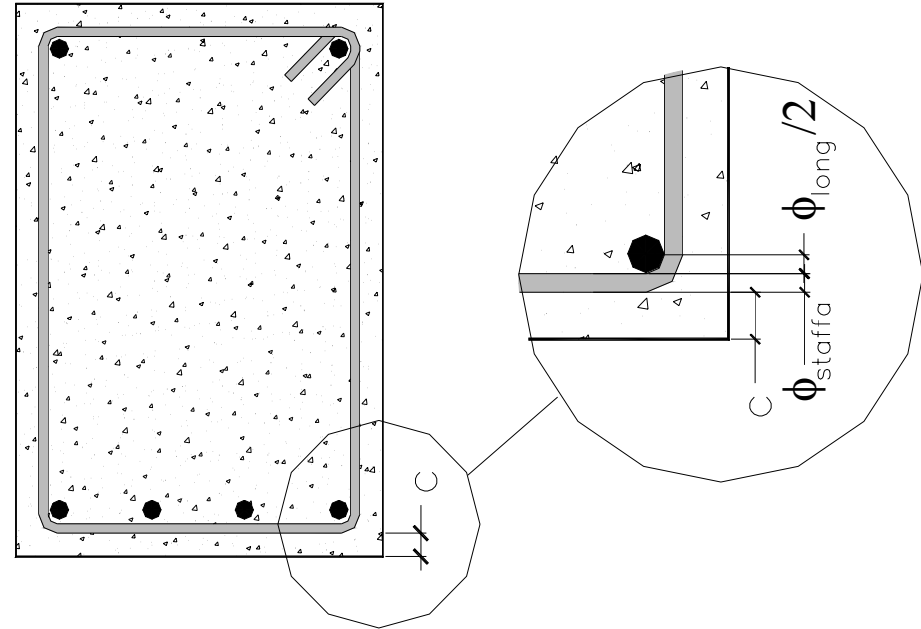
$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Tabella 4.1.IV – Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	$w_d$	Stato limite	$w_d$
a	<b>Ordinarie</b>	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	<b>Aggressive</b>	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	<b>Molto aggressive</b>	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

# COPRIFERRO

$$C_{\text{nom}} = C_{\text{min}} + \Delta C_{\text{dev}}$$



$C_{\text{min}}$  deve soddisfare i requisiti di:

- aderenza delle armature  $C_{\text{min,b}}$
- protezione contro la corrosione  $C_{\text{min,dur}}$  (**durabilità**),
- resistenza al fuoco.

$\Delta C_{\text{dev}}$  = tolleranza di esecuzione

# COPRIFERRO

$$c_{\min} = \max \begin{cases} c_{\min,b} & \text{Aderenza} \\ c_{\min,dur} & \text{Durabilità} \\ 10 \text{ mm} & \text{Minimo assoluto} \end{cases}$$

**$c_{\min,dur}$**  si determina in funzione di:

*Classi di esposizione ambientale*

Classe resistenza del calcestruzzo *per la durabilità*

*Classe strutturale* in funzione della classe di esposizione, della resistenza del calcestruzzo e di altri parametri quali la vita utile di progetto (legata all'importanza strategica dello edificio), controllo di qualità della produzione di calcestruzzo

N.B. la *classe strutturale* non è mai esplicitamente definita nella norma

# COPRIFERRO

## CLASSE RESISTENZA MINIMA DEL CALCESTRUZZO PER LA DURABILITÀ

### Fondamentale è il rapporto a/c

Un basso valore di a/c riduce il diametro dei pori capillari nel cls a  
 $(10 \div 50) \cdot 10^{-6}$  mm

**Indirettamente** a classi più elevate corrispondono bassi valori di a/c

### Corrosione

Classe di esposizione	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3
Classe indicativa di resistenza	C20/25	C25/30	C30/37		C30/37	C35/45	C30/37	C35/45		

### Degrado del calcestruzzo

Classe di esposizione	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3
Classe indicativa di resistenza	C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	

# COPRIFERRO

**Tabella C4.1.IV** - Circolare 2 febbraio 2009

Copriferri minimi in **mm** per barre da c.a. e cavi aderenti da c.a.p.  
**per vita nominale di 50 anni**

$C_{min}$	$C_0$	ambiente	Tipo di armatura	elementi a piastra		altri elementi	
				$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$	$C \geq C_0$	$C_{min} \leq C < C_0$
C25/30	C35/45	ordinario	barre da c.a.	15	20	20	25
			cavi aderenti da c.a.p.	25	30	30	35
C28/35	C40/50	aggressivo	barre da c.a.	25	30	30	35
			cavi aderenti da c.a.p.	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto aggressivo	barre da c.a.	35	40	40	45
			cavi aderenti da c.a.p.	45	50	50	<b>50</b>

Se si adotta un cls di classe  $C < C_{min}$  occorre aumentare di 5 mm il copriferro della colonna

- **Per vita nominale di 100 anni = + 10 mm**

- Tolleranza **+ 10 mm**

- se in controllo di qualità: tolleranza = **+ 5 mm**



# COPRIFERRO

**Esempio 1. Solaio all'interno di edificio con bassa umidità relativa.**

*Solaio in latero-cemento con i seguenti dati di progetto:*

*barre di  $\Phi$  16 mm,*

*calcestruzzo di classe **C28/35***

*dimensione massima degli inerti  $d_{max} \leq 32$  mm*

*classe di esposizione XC1:*

*ambiente asciutto o permanentemente bagnato = ordinario*

**Dalla Tab C4.1. IV** risulta

$$C_{min} = C25/30$$

$$C_0 = C35/45$$

Risulta:  $C_{min} \leq \mathbf{C28/35} < C_0$

*copriferro minimo  $c_{min}$*

*Per elemento piastra:  $c_{min} = 20 + 10 = \mathbf{30}$  mm*

*In controllo di qualità  $c_{min} = 20 + 5 = \mathbf{25}$  mm*

*copriferro minimo per l'aderenza [da EN1992-1-1]*

*per  $d_{max} \leq 32$  mm si ha:  $c_{min,b} = \phi = 16$  mm*

# COPRIFERRO

Alcuni esempi:

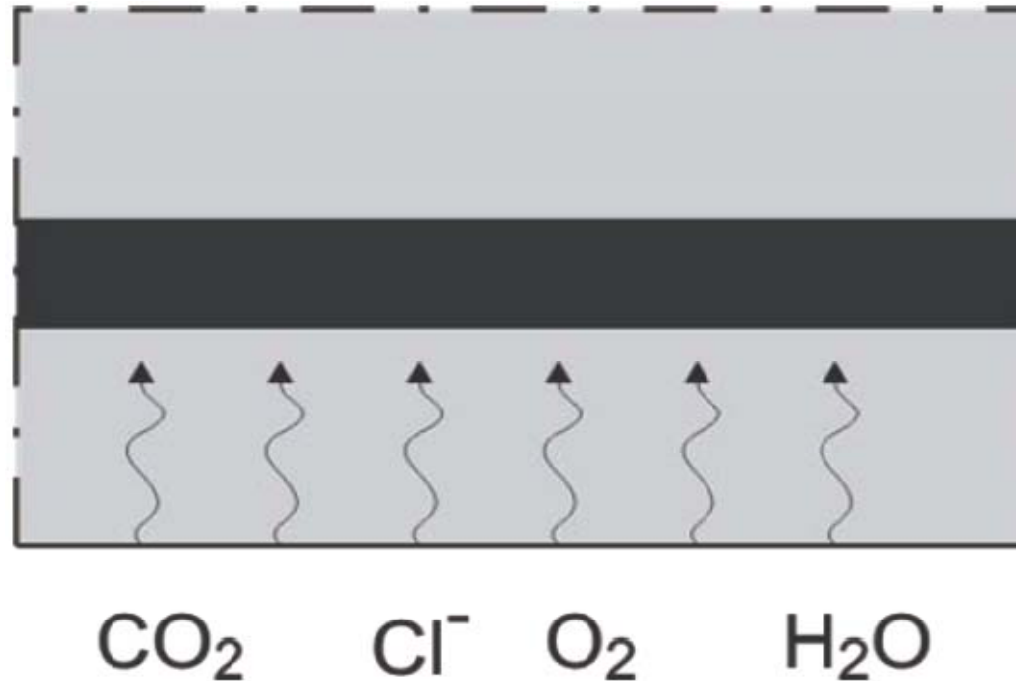
				$\phi$	mm	
				$\downarrow$	EC2	NTC 2008
					$\swarrow$	$\downarrow$
4	Trave interna	XC1	C25/30	18 (long.) 8 (staffe)	25	35
5	Trave esterna a facciavista	XC4	C30/37	20 (long.) 8 (staffe)	40	45
6	Trave esterna a faccia vista in prossimità del mare	XC4, XS1	C30/37	20 (long.) 8 (staffe)	45	45
7	Trave rovescia di fondazione	XC2	C25/30	20 (long.) 8 (staffe)	40	35
8	Muro a retta	XC4	C30/37	16 (vert.li) 12 (orizz.)	40	40
9	Muro a retta a contatto con terreno chimicamente molto aggressivo	XC4, XA3	C35/45	16 (vert.li) 12 (orizz.)	40	50



# DURABILITÀ e COPRIFERRO

## LA CORROSIONE:

### PENETRAZIONE DI AGENTI AGGRESSIVI



# CORROSIONE DELL'ARMATURA PER ATTACCO DA CLORURI

Muro in c.a. in prossimità del mare



Attacco localizzato  
Armature estratte da  
solette di ponti

# CORROSIONE DELL'ARMATURA PER CARBONATAZIONE

40 anni dopo  
l'inaugurazione



Foto 1.1 - Corrosione da carbonatazione (Milano Istituto Marchionni), dopo 50 anni di servizio.

# Come evitare la corrosione delle armature

## Bisogna conoscere:

- Aggressività dell'ambiente
- Vita di servizio



## Misure da adottare:

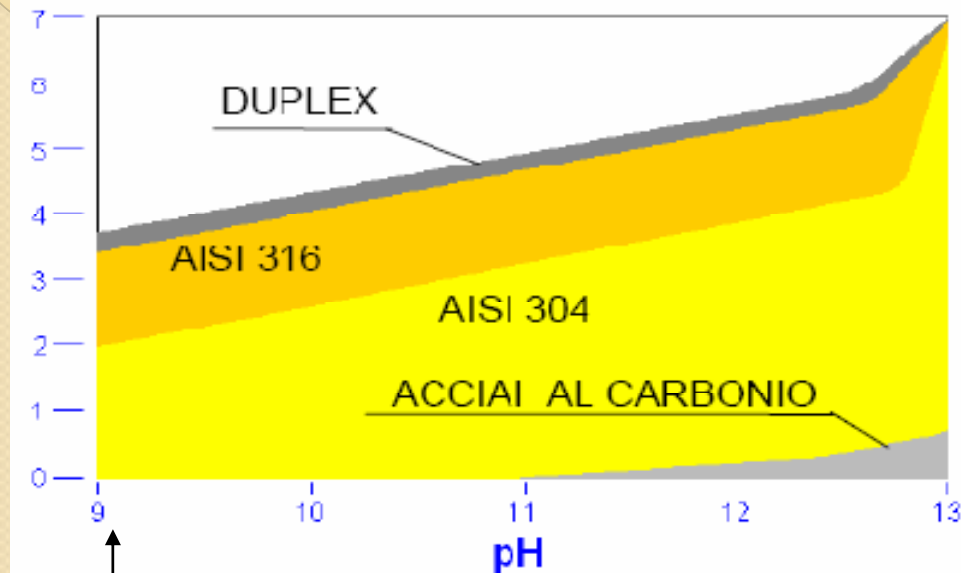
- copriferro adeguato
- Sufficientemente bassa permeabilità del cls
- Evitare fessure nocive parallele alle armature
- Altre misure: **acciaio inossidabile**, protezione catodica, protezione, ecc

# GLI ACCIAI INOSSIDABILI

Tenore critico di cloruri

% della massa di cemento

CONFRONTO CON GLI ACCIAI NORMALI



pH del calcestruzzo

pH=9 calcestruzzo carbonatato

- Pari valore di resistenza e duttilità
- Assenza di ossidazione
- Alta resistenza ai cloruri
- Migliore resistenza a fuoco
- Perfetta saldabilità

**Per economia si può limitarne l'uso alle zone di accertato pericolo di aggressione**

# PONTILE “PROGRESO” NELLA PENISOLA DELLO YUCATAN - MESSICO

Pedefferri - Aicap



costruito con acciaio al carbonio negli anni '60

costruito con acciaio inossidabile tipo AISI 304 tra il 1937 e il 1941



# EUROCODICE 2

## ALCUNI SPUNTI

# CLASSI DI CALCESTRUZZO

RESISTENZA CARATTERISTICA:  
C12/15 C90/105



A cylinder of high-strength concrete is tested to failure.

**Is concrete  
becoming  
too strong  
to test?**



## CALCESTRUZZO: classi di resistenza e proprietà

	Strength classes for concrete													
$f_{ck}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
$f_{cm}$ (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
$f_{ctm}$ (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
$E_{cm}$ (Gpa)	27	29	30	31	32	34	35	36	37	38	39	41	42	44
$\varepsilon_{c1}$ (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
$\varepsilon_{cu1}$ (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8
$\varepsilon_{c2}$ (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
$\varepsilon_{cu2}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6
$n$	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4
$\varepsilon_{c3}$ (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
$\varepsilon_{cu3}$ (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6

# I nuovi calcestruzzi

**HPC** = High Performance Concrete

**Non un unico materiale ma  
una famiglia di materiali**

➤ **C70/85**

- Basso rapporto a/c
- **Aggiunte di minerali nel clinker:**
  - fumo di silice, loppa d'alto forno, ecc.
- Inerti di frantumazione (basalto, granito, ecc)

i nuovi calcestruzzi ed i calcestruzzi ordinari  
**I giusti additivi per gli impieghi previsti**

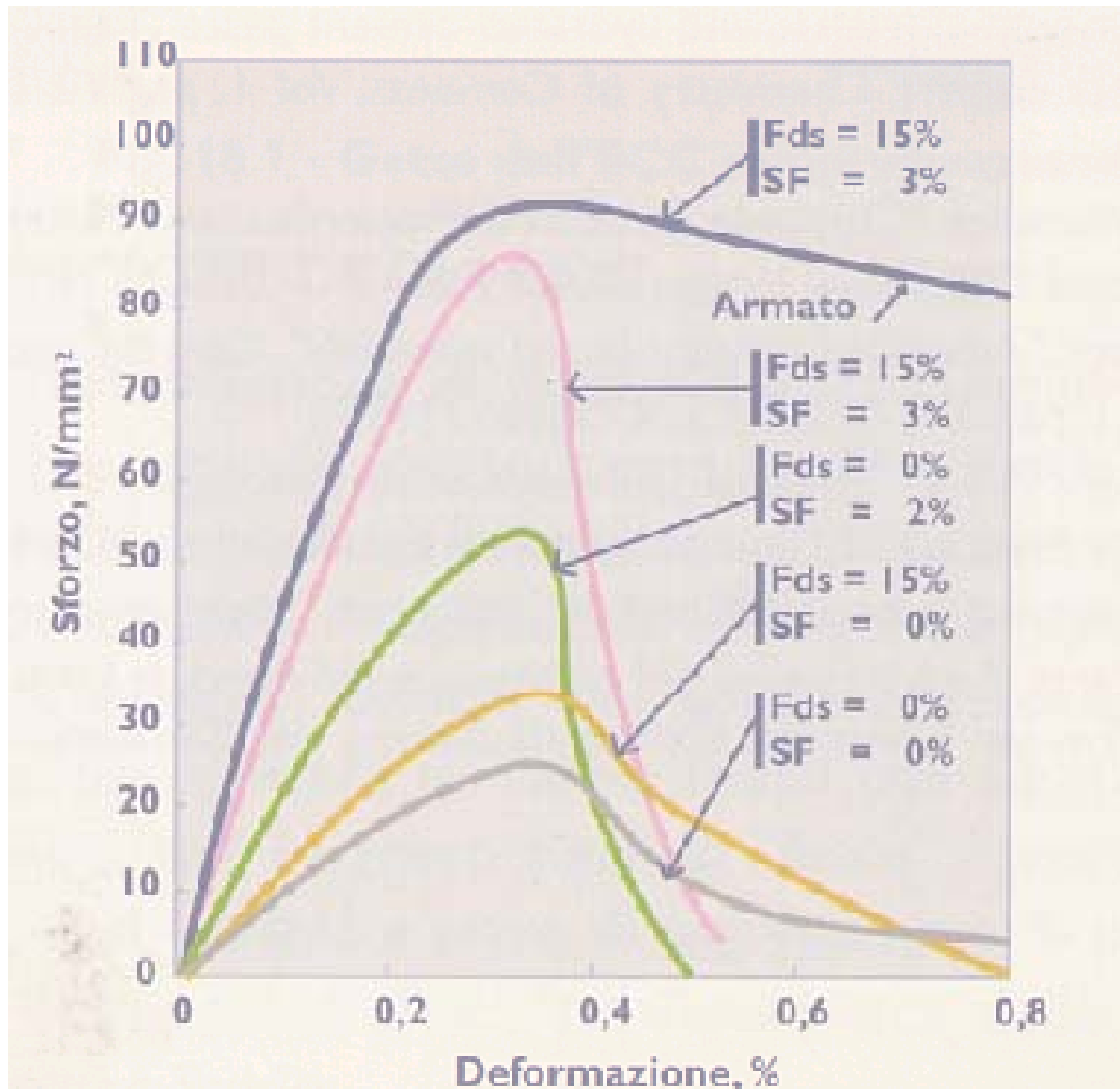
- $R_{ck}$  più elevate e resistenze anticipate
- $E_c$  e  $\nu$  più elevati (deformabilità)
- Impermeabilità massima
- Autocompattazione (SCC)
- Insensibilità alla carbonatazione
- Insensibilità ai cicli di gelo e disgelo
- Più contenuti e più controllati valori di ritiro e viscosità
- Maggiore resistenza a trazione e tenacità (fibre metalliche)
- Maggiore resistenza al fuoco (fibre polimeriche)

## Diagramma $\sigma$ - $\varepsilon$ per calcestruzzi

Fds=fumo di silice

SF = superfluidificante

Colleparidi



## Molla di sospensione di un'automobile realizzata con cemento privo di difetti (macro defect free cement)

