

Corso di aggiornamento

Progettazione strutturale sulla base delle  
Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

**Progetto e verifica di elementi strutturali in c.a.**

1 - Sicurezza strutturale e metodi di verifica

Spoleto

26-28 novembre 2009

Aurelio Ghersi

# Evoluzione della normativa e dei criteri di verifica della sicurezza

# Norme di riferimento - generalità

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (NTC08)  
D.M. 14/1/08  
Circolare 2/2/09
  - Capitolo 1: Oggetto
  - Capitolo 2: Sicurezza e prestazioni attese
  - Capitolo 3: Azioni sulle costruzioni
- EN 1990: Criteri generali di progettazione strutturale
- EN 1991 (Eurocodice 1): Azioni sulle strutture

# Norme di riferimento - cemento armato

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (NTC08)  
D.M. 14/1/08  
Circolare 2/2/09
  - Capitolo 4, par. 1: Costruzioni di calcestruzzo
  - Capitolo 11: Materiali e prodotti per uso strutturale
- EN 1992 (Eurocodice 2), parte 1-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo. Regole generali e regole per gli edifici

# Quali sono gli obiettivi della progettazione strutturale?

Una struttura deve essere progettata e costruita in modo che essa, durante la sua vita presupposta, con adeguato grado di affidabilità e tenendo conto del costo:

- sia in grado di sopportare tutte le azioni o influenze cui possa essere sottoposta durante la sua realizzazione e il suo esercizio
- rimanga adatta all'uso per il quale è prevista

# Valutazione della sicurezza

La norma parla di "adeguato grado di affidabilità".

Perché ?

Perché sia la resistenza del materiale che le azioni sulla struttura non sono definite con certezza, quindi dovrebbero essere analizzate in maniera probabilistica.

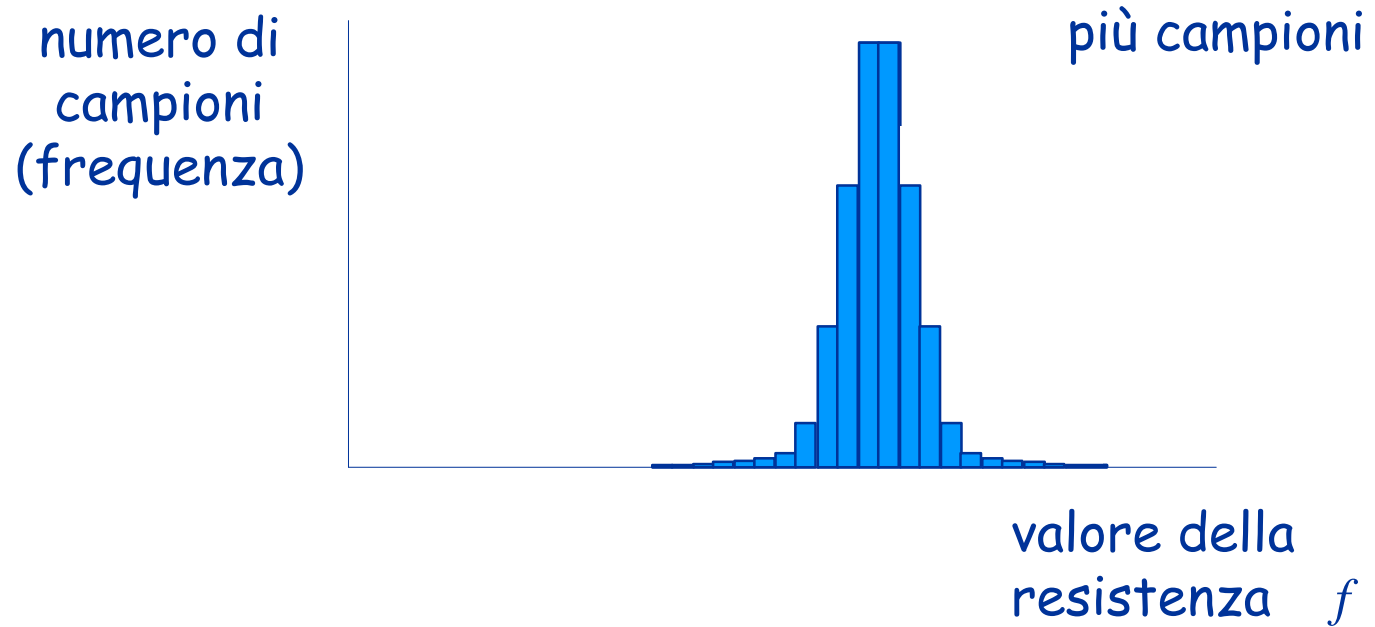
# Incertezza sulla resistenza

provino	$f_y$ [MPa]
1	387.9
2	407.8
3	419.4
4	435.1
5	448.7
6	450.8
7	462.4
...	...
49	511.2
...	...
99	570.6
100	578.5

Portando a rottura  
100 provini si ottengono  
risultati fortemente diversi

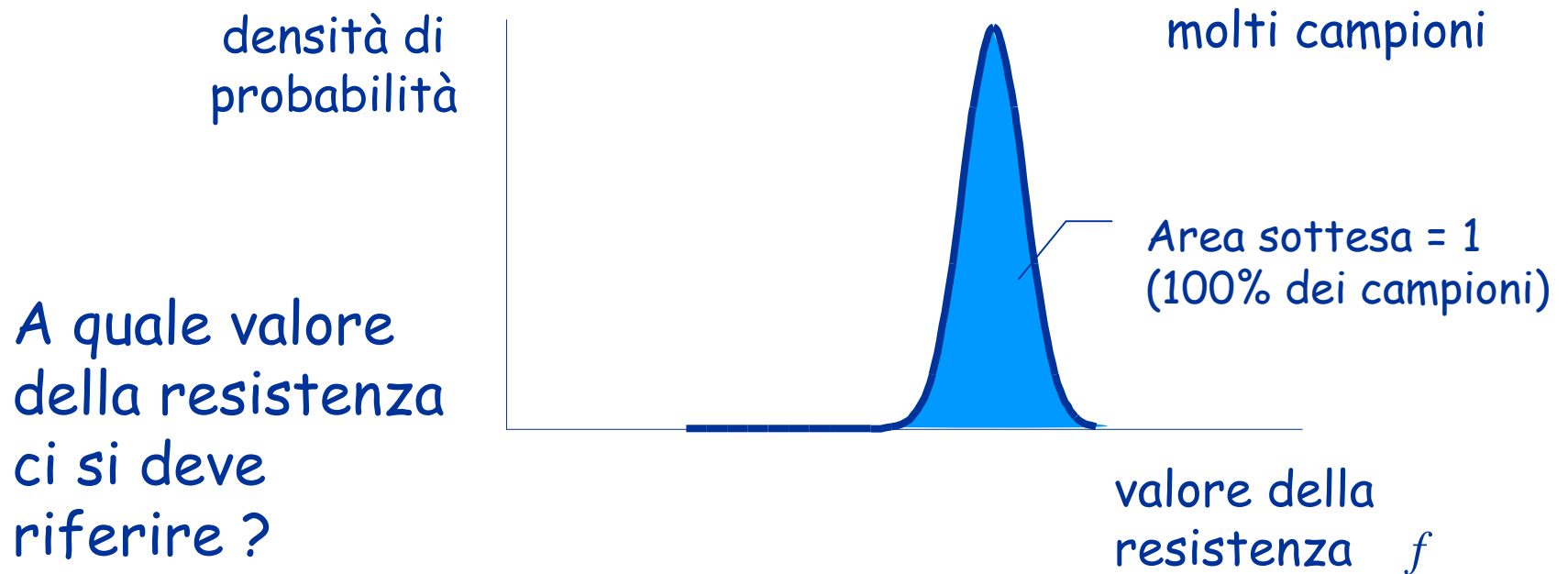
A quale fare riferimento?

# Incertezza sulla resistenza

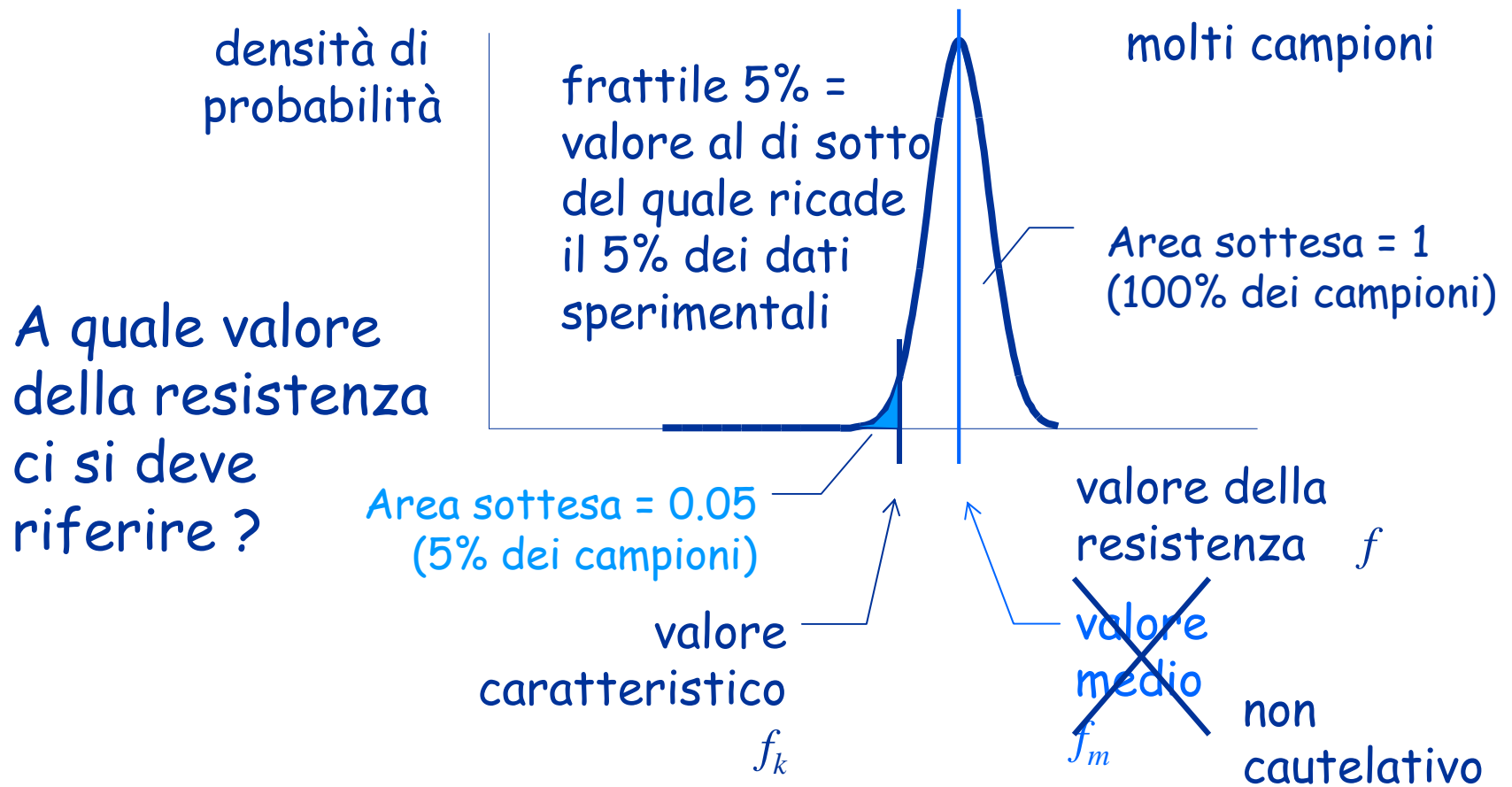




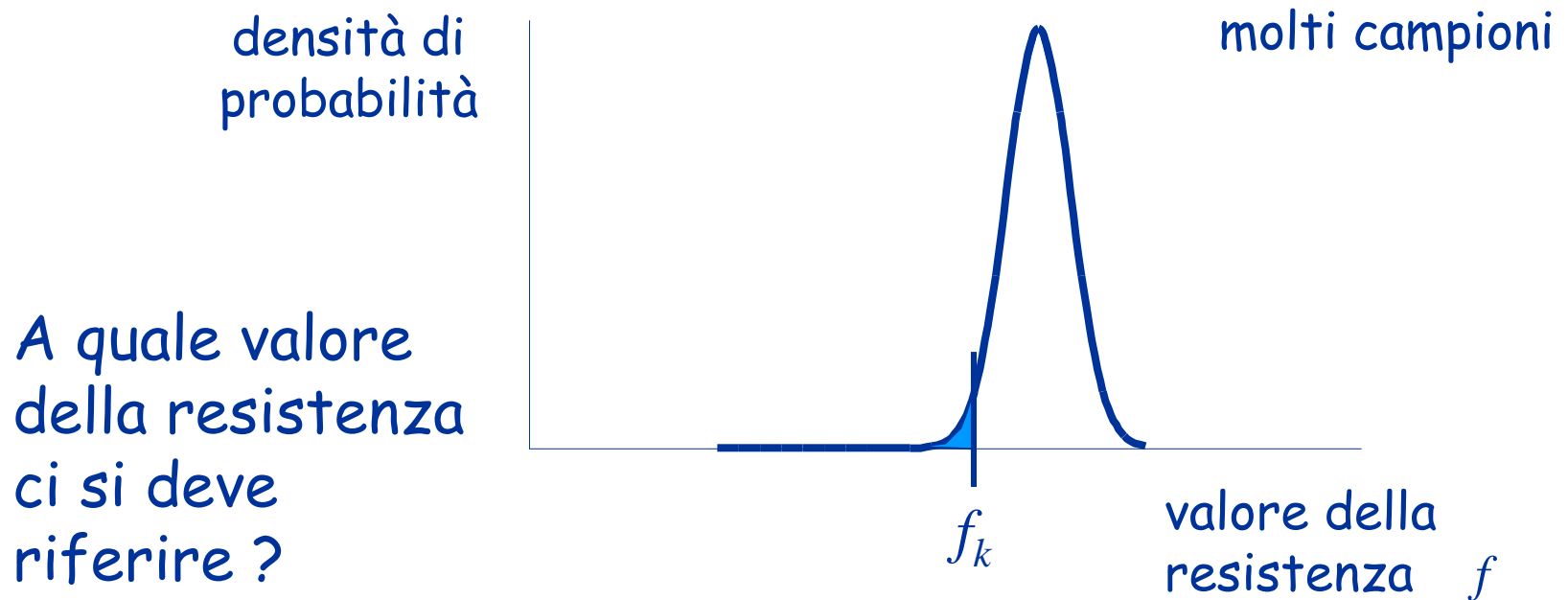
# Incertezza sulla resistenza



# Incertezza sulla resistenza



# Incertezza sulla resistenza



Il riferimento fondamentale è sempre il valore caratteristico

# Incertezza sulla resistenza

provino	$f_y$ [MPa]
1	387.9
2	407.8
3	419.4
4	435.1
5	448.7
6	450.8
7	462.4
...	...
49	511.2
...	...
99	570.6
100	578.5

Portando a rottura  
100 provini si ottengono  
risultati fortemente diversi

A quale fare riferimento?

450 MPa  $f_{yk}$

Valore caratteristico

frattile 5% = valore al di sotto  
del quale ricade il 5% dei dati  
sperimentali

# Incertezza sulle azioni

Valori nominali

peso di elementi di dimensioni  
e caratteristiche ben definite

Esempio: peso proprio della  
soletta di un solaio

Siamo sicuri che verranno realizzati  
esattamente come previsto?

# Incertezza sulle azioni

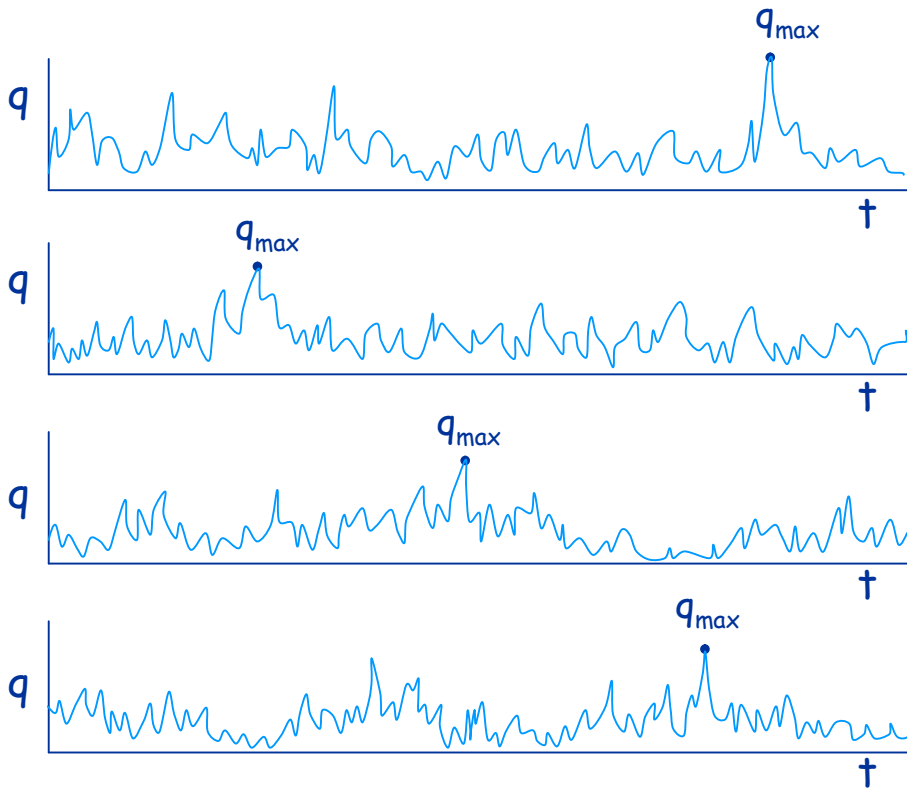
Valori "massimi"

Esempio: massimo carico  
variabile su un solaio (in base  
alla destinazione d'uso)

Siamo sicuri che non saranno mai superati?

# Incertezza sulle azioni

Variazione del carico  $q$  nel tempo



Possiamo far riferimento al valore massimo del carico durante tutta la vita

# Incertezza sulle azioni

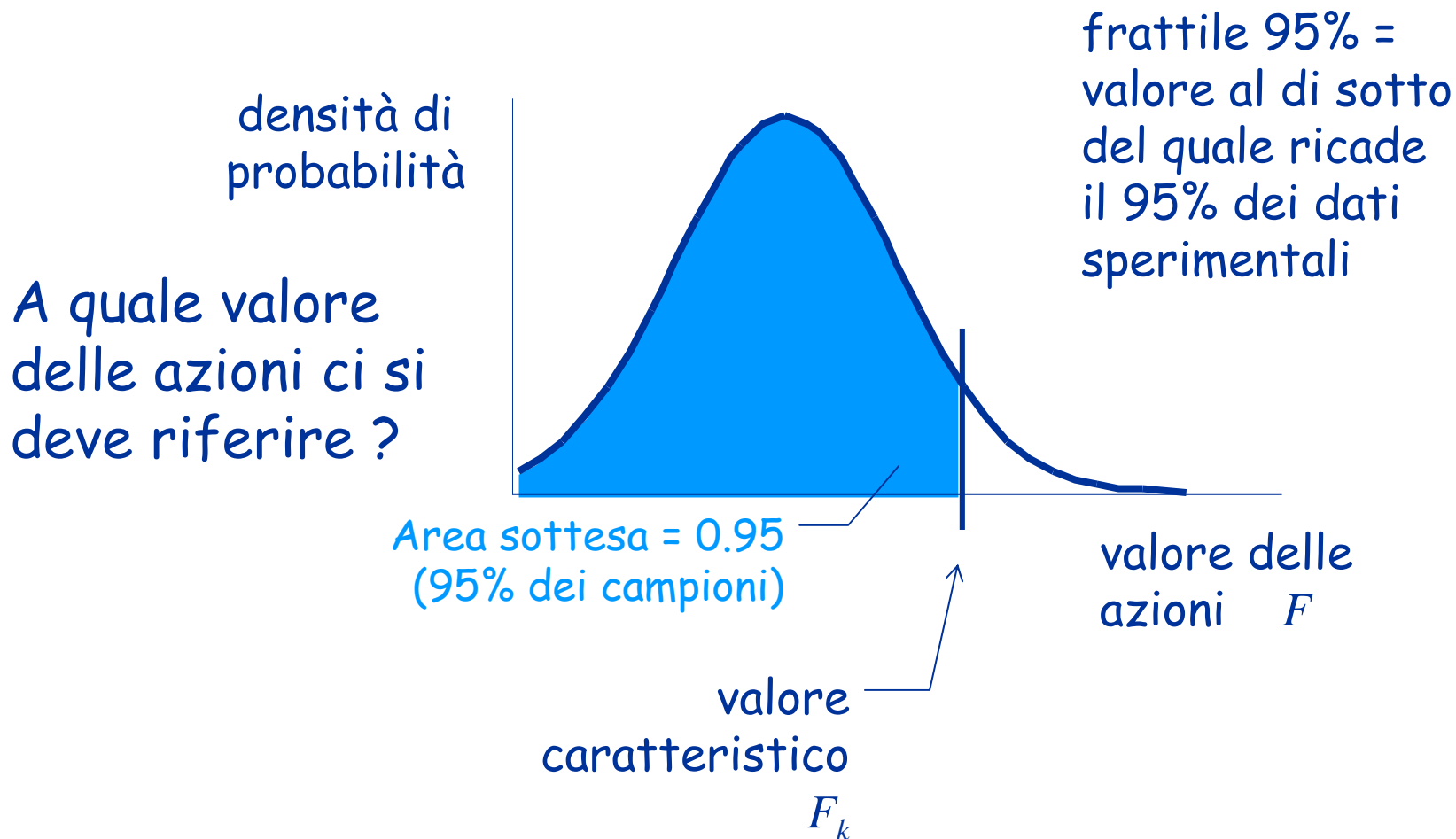
solaio	q [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0.44
2	0.59
...	...
49	1.12
...	...
94	1.92
95	1.97
96	2.08
97	2.29
98	2.45
99	2.71
100	3.06

Esaminando il sovraccarico massimo (durante tutta la vita) in 100 solai per abitazione si trovano valori fortemente diversi

A quale fare riferimento?

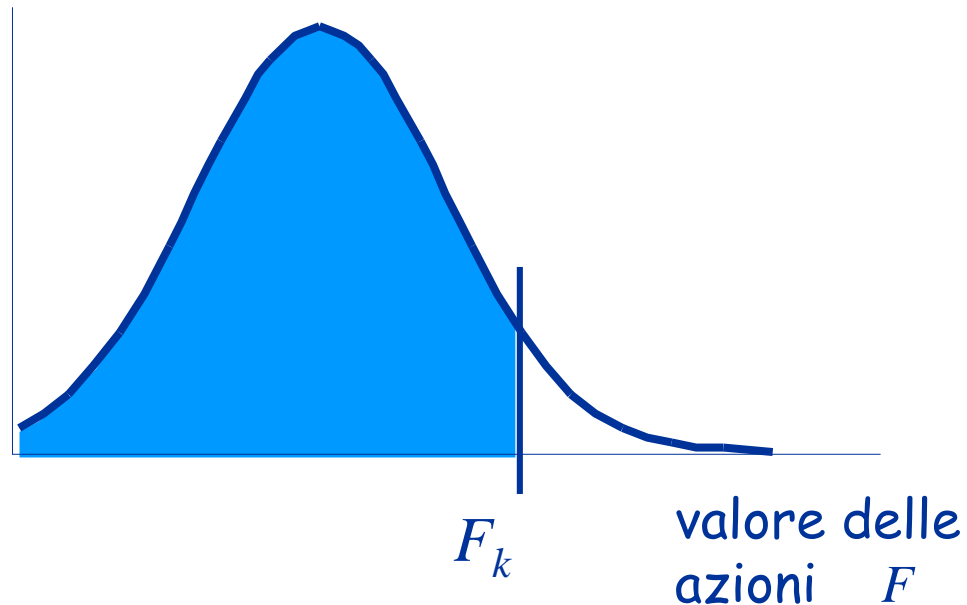


# Incertezza sulle azioni



# Incertezza sulle azioni

A quale valore  
delle azioni ci si  
deve riferire ?



Il riferimento fondamentale è  
sempre il valore caratteristico  
(anche quando non viene indicato esplicitamente)

# Incertezza sulle azioni

solaio	q [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0.44
2	0.59
...	...
49	1.12
...	...
94	1.92
95	1.97
96	2.08
97	2.29
98	2.45
99	2.71
100	3.06

Esaminando il sovraccarico massimo (durante tutta la vita) in 100 solai per abitazione si trovano valori fortemente diversi

A quale fare riferimento?

2.0 kN/m<sup>2</sup>       $q_k$

Valore caratteristico

frattile 95% = valore al di sotto del quale ricade il 95% dei dati sperimentali

E' possibile fare il calcolo utilizzando i valori caratteristici della resistenza e delle azioni ?

Dipende dagli obiettivi:

- La struttura deve rimanere adatta all'uso per il quale è prevista

L'uso dei valori caratteristici può garantire una sufficiente sicurezza

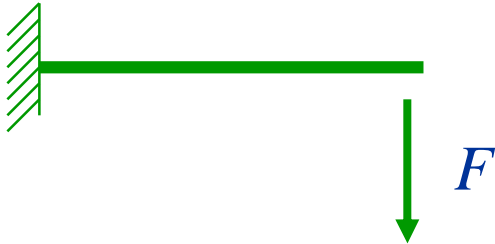
# E' possibile fare il calcolo utilizzando i valori caratteristici della resistenza e delle azioni ?

Dipende dagli obiettivi:

- La struttura deve rimanere adatta all'uso per il quale è prevista
- La struttura deve essere in grado di sopportare tutte le azioni o influenze cui possa essere sottoposta durante la sua realizzazione e il suo esercizio

Per rispondere occorre determinare la probabilità di crollo

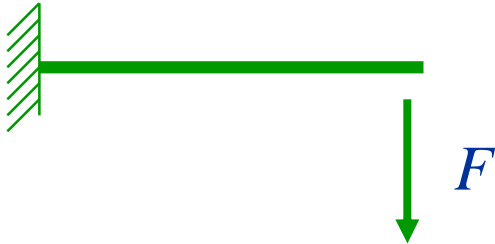
# Come si valuta la probabilità di crollo?



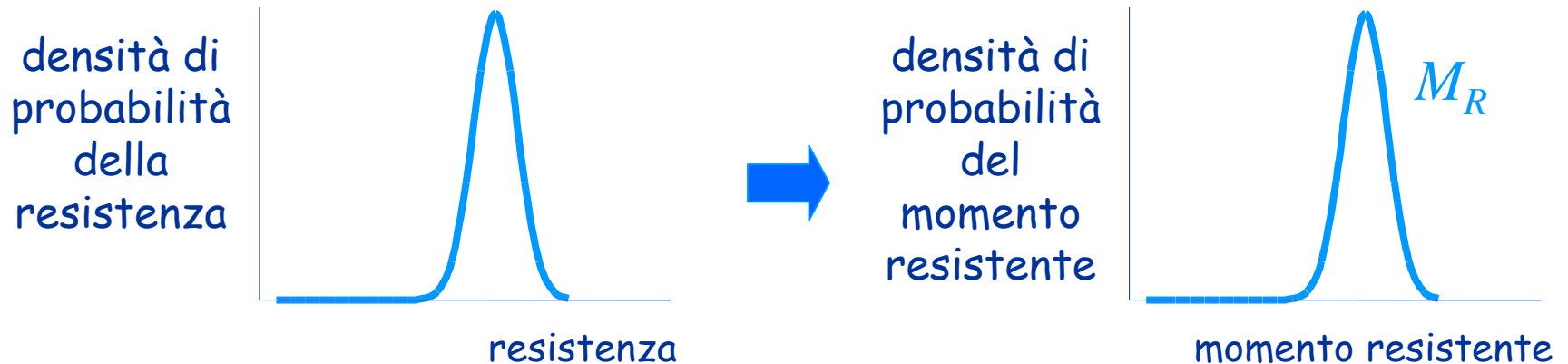
Il momento massimo  $M_E$  che sollecita la sezione dipende dal valore della forza



# Come si valuta la probabilità di crollo?



Il momento massimo  $M_R$  che la sezione (assegnata) può sopportare dipende dalla resistenza del materiale



# Probabilità di crollo

## Procedimento numerico (metodo di Montecarlo)

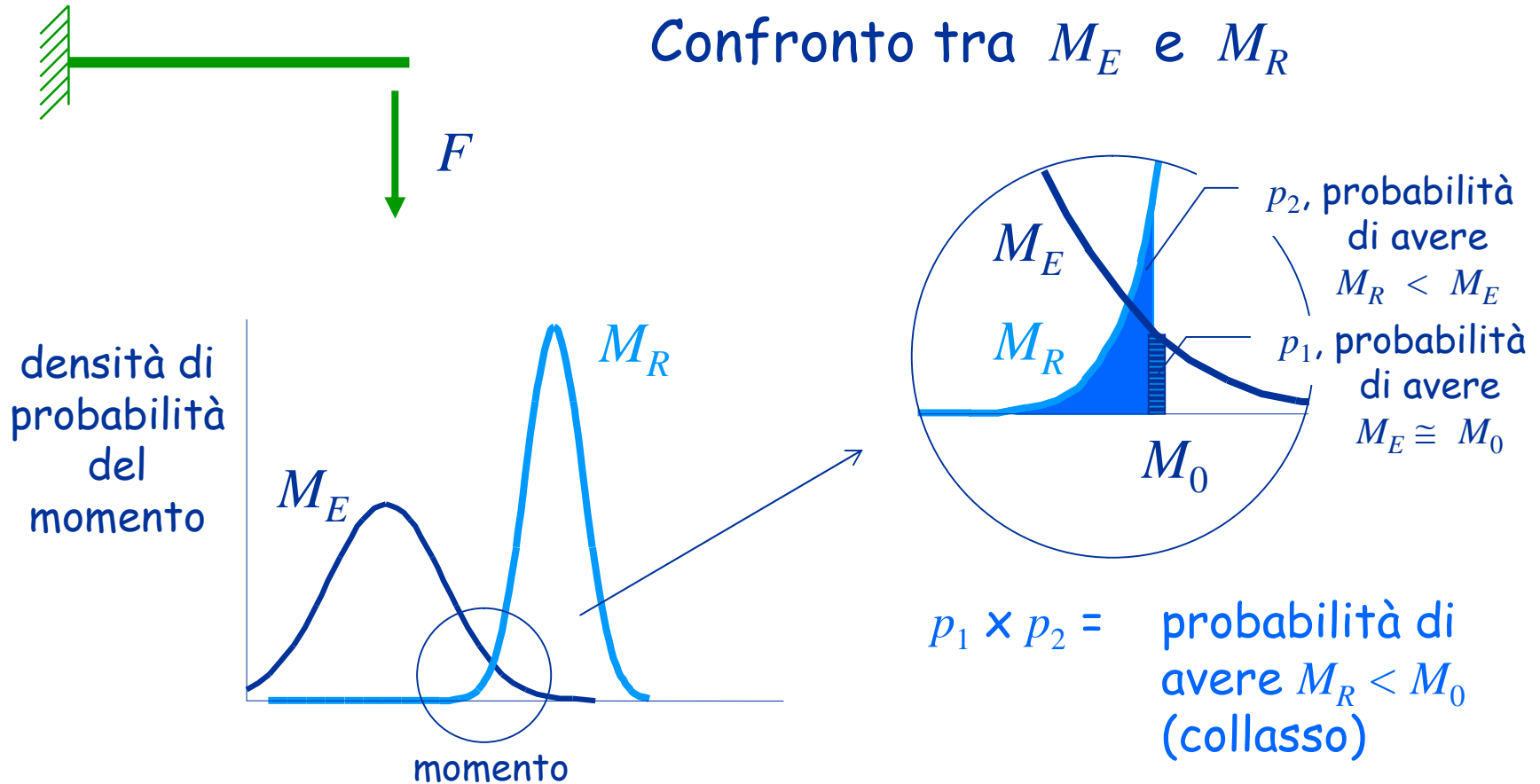
- Si sorteggia un valore del carico e si determina il momento sollecitante  $M_E$
- Si sorteggia un valore della resistenza e si determina il momento resistente  $M_R$
- Si confrontano  $M_E$  ed  $M_R$   
si ha collasso strutturale se  $M_R < M_E$
- Si ripete il sorteggio migliaia di volte e si conta il numero di casi in cui si è avuto collasso;  
si ha così la percentuale di collasso

Vedere foglio Excel “Probabilità collasso”



# Probabilità di crollo

## Integrazione delle funzioni densità di probabilità



Ripetendo per tutti i valori di  $M_0$  si trova la probabilità totale di collasso

# E' possibile fare il calcolo utilizzando i valori caratteristici della resistenza e delle azioni ?

Dipende dagli obiettivi:

- La struttura deve rimanere adatta all'uso per il quale è prevista
- La struttura deve essere in grado di sopportare tutte le azioni o influenze cui possa essere sottoposta durante la sua realizzazione e il suo esercizio

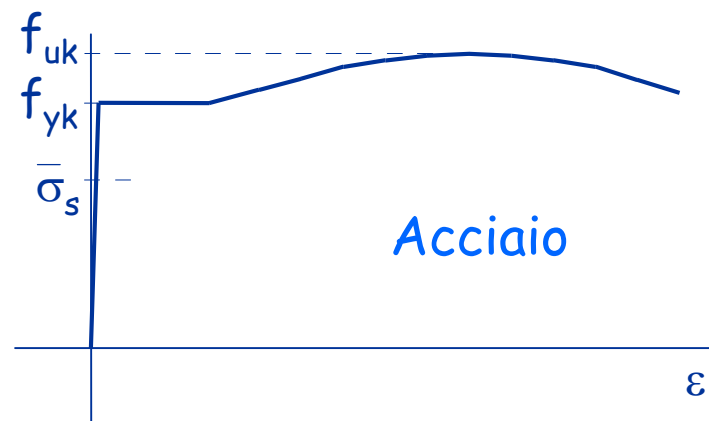
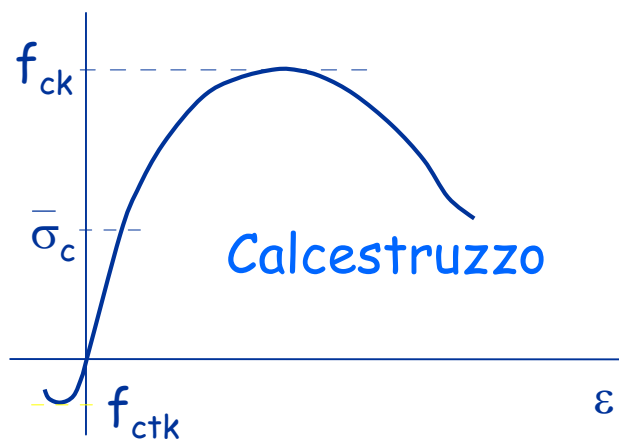
La possibilità di avere resistenza inferiore o azioni superiori porta ad un rischio di crollo non sufficientemente basso

E' necessario applicare  
coefficienti di sicurezza

In che modo ?

# Prima possibilità: applicare un coefficiente di sicurezza alla resistenza

## Diagrammi sperimentali



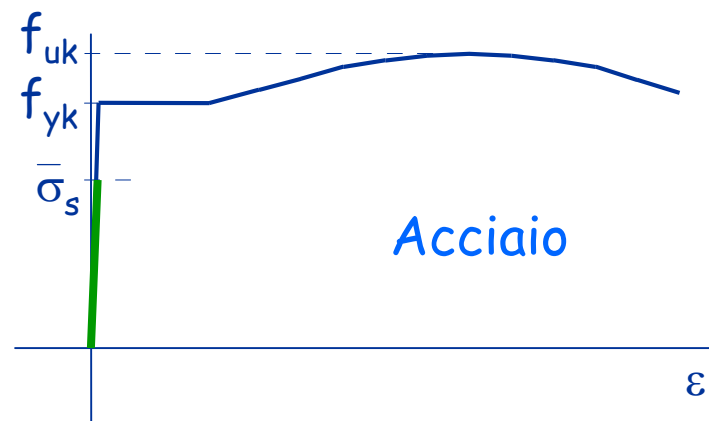
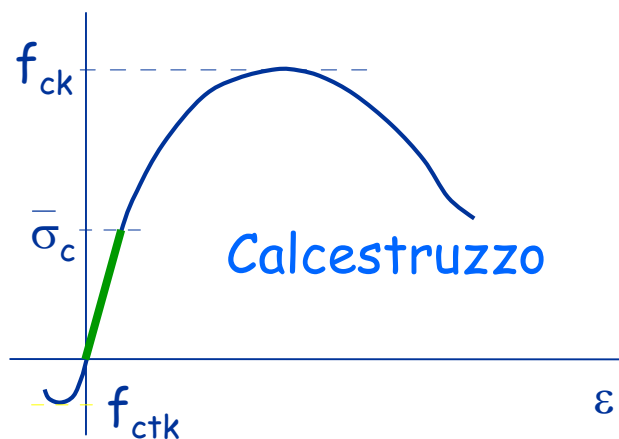
Si considerano "ammissibili" valori delle tensioni molto ridotti rispetto a quelli di rottura

$$\sigma_c \leq \bar{\sigma}_c = \frac{f_{ck}}{\gamma}$$

$$\sigma_s \leq \bar{\sigma}_s = \frac{f_{yk}}{\gamma}$$

# Prima possibilità: applicare un coefficiente di sicurezza alla resistenza

## Diagrammi di calcolo



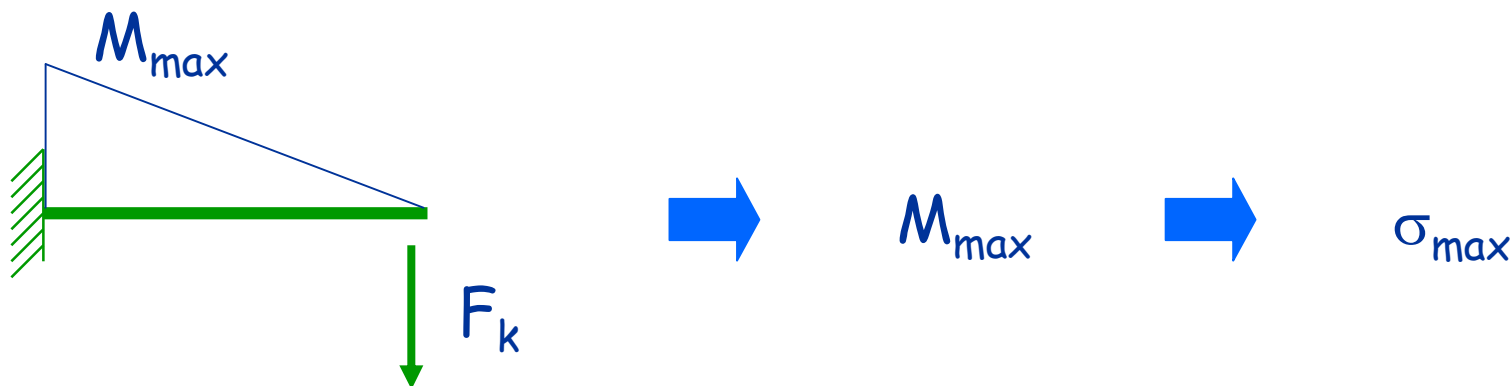
Per valori delle tensioni inferiori a quelli ammissibili il legame tensioni-deformazioni è lineare

E' possibile quindi applicare tutte le formule della teoria di elasticità lineare, il principio di sovrapposizione degli effetti, ecc. ecc.

# Prima possibilità: applicare un coefficiente di sicurezza alla resistenza

## Metodo delle tensioni ammissibili

La verifica consiste nel calcolare la tensione massima (prodotta dalle azioni, prese col valore caratteristico)



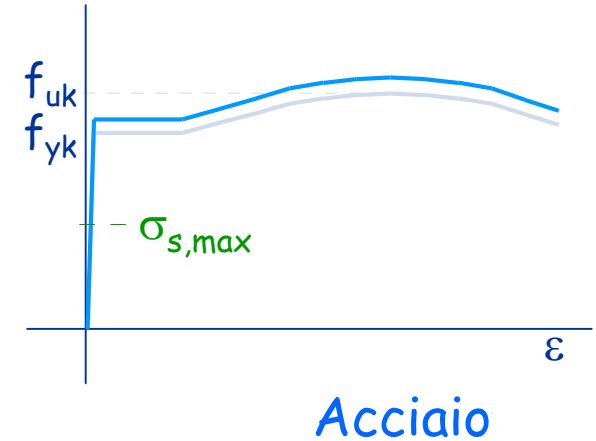
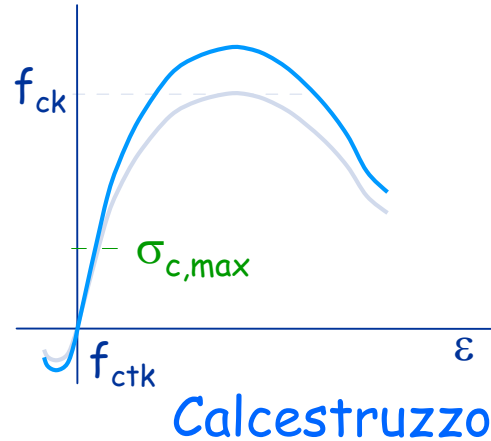
e controllare che sia inferiore a quella ammissibile

$$\sigma_{\max} \leq \bar{\sigma}$$

# Metodo delle tensioni ammissibili

## Considerazioni

Nel 95% dei casi  
la resistenza è  
maggiore del valore  
caratteristico ...



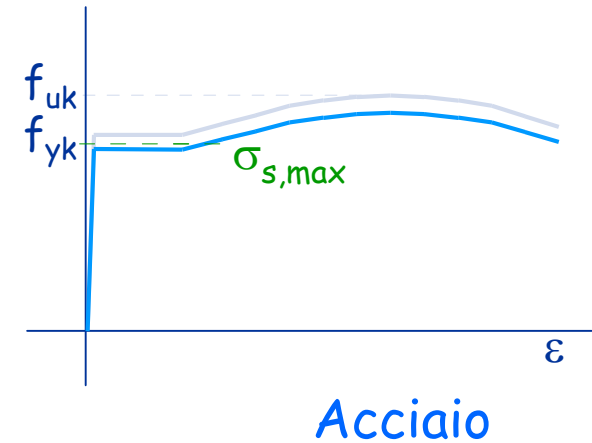
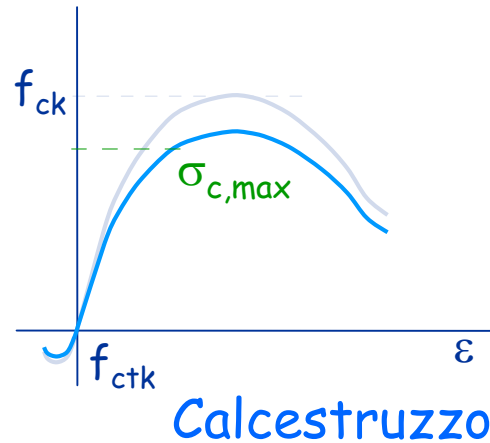
... e nel 95% dei casi  
il carico è più  
piccolo del valore  
caratteristico

In questi casi il margine  
rispetto al collasso è  
maggiore di quanto previsto

# Metodo delle tensioni ammissibili

## Considerazioni

Ma c'è un 5% di casi in cui la resistenza è minore del valore caratteristico ...



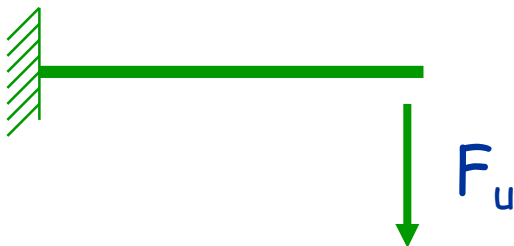
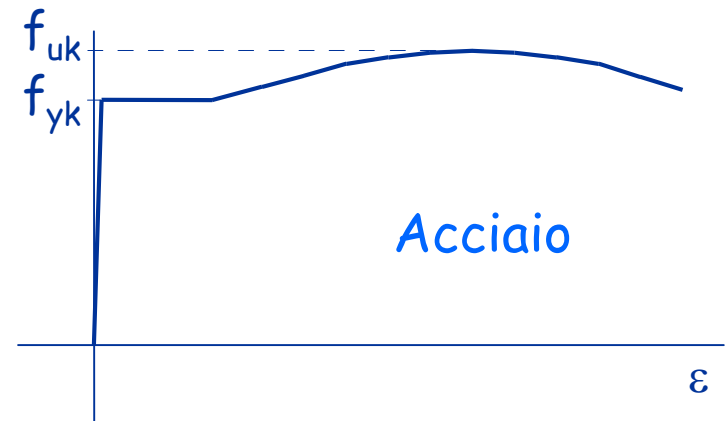
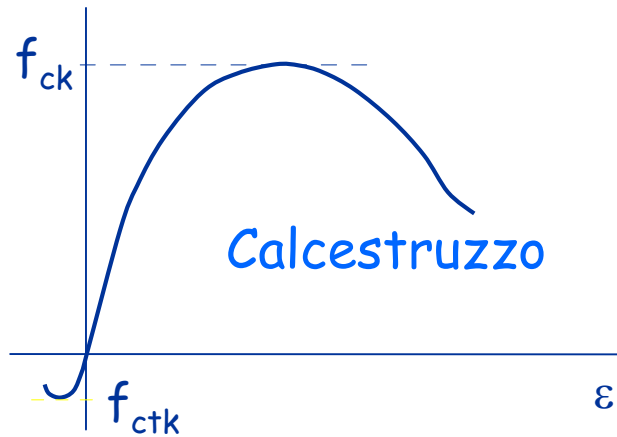
... o il carico è più grande del valore caratteristico

In questi casi lo stato tensionale e deformativo è molto maggiore e il margine rispetto al collasso è minore di quanto previsto

Qual è il reale rischio di crollo?

## Seconda possibilità: applicare un coefficiente di sicurezza ai carichi

### Diagrammi sperimentali

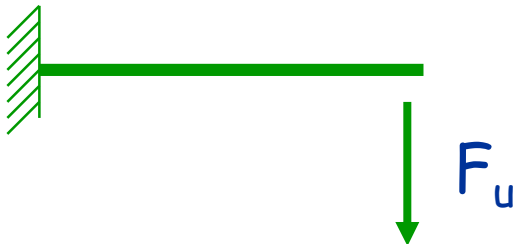
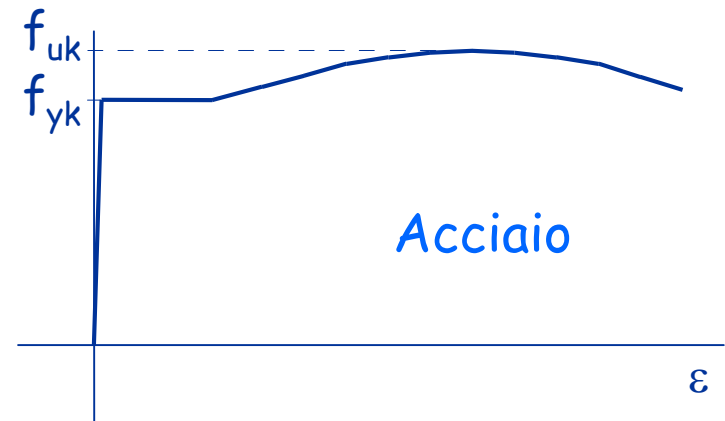
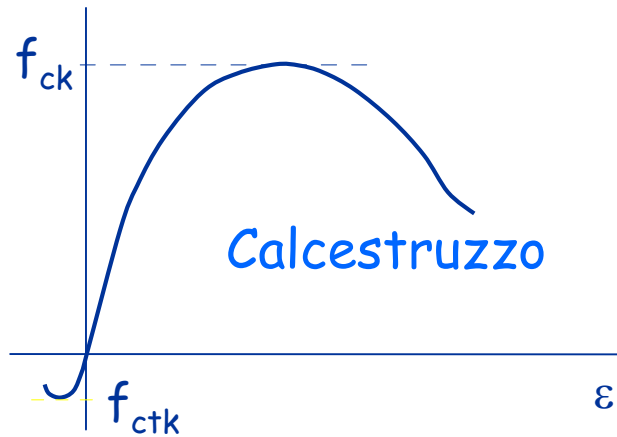


Usando i legami costitutivi sperimentali, si valuta il carico che porta a collasso la struttura



# Seconda possibilità: applicare un coefficiente di sicurezza ai carichi

## Calcolo a rottura



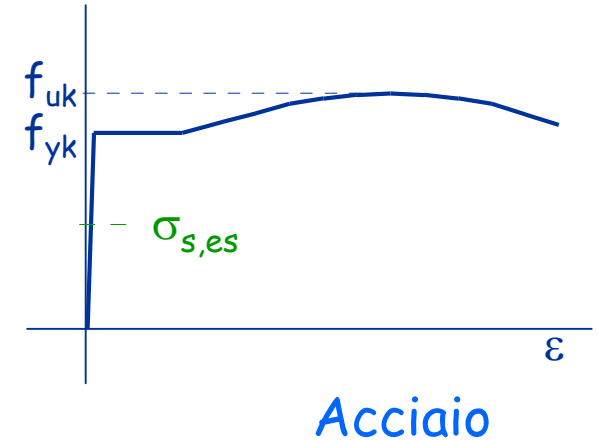
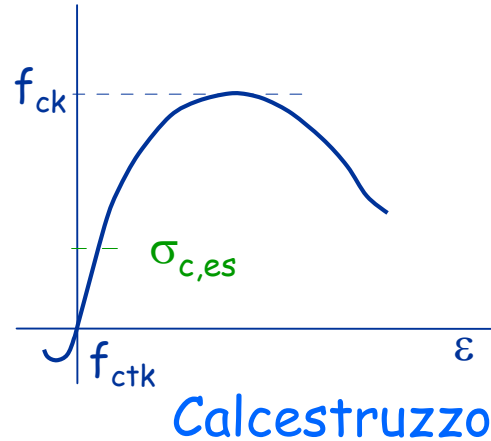
Si considera accettabile un carico ridotto rispetto a quello di collasso

$$F_k \leq \frac{F_u}{\gamma} \quad \text{ovvero} \quad \gamma F_k \leq F_u$$

# Calcolo a rottura

## Considerazioni

Il carico di esercizio è molto minore del carico di collasso



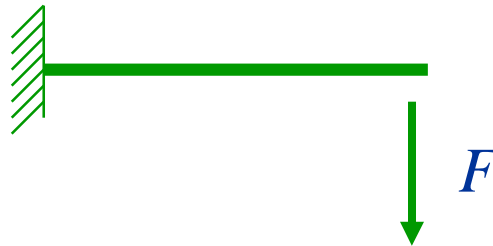
Qual è lo stato tensionale e deformativo sotto i carichi di esercizio?

Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

Si parte da considerazioni probabilistiche

Come si può valutare la probabilità di avere un crollo ?

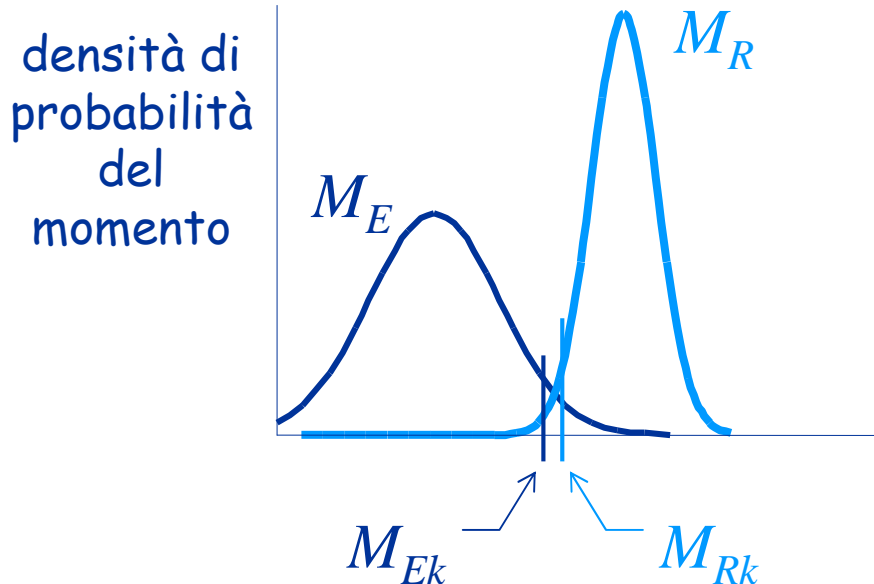
Esempio



Per esprimere un giudizio dobbiamo confrontare il momento  $M_E$  che sollecita la sezione col momento  $M_R$  che essa può sopportare

# Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

Si parte da considerazioni probabilistiche



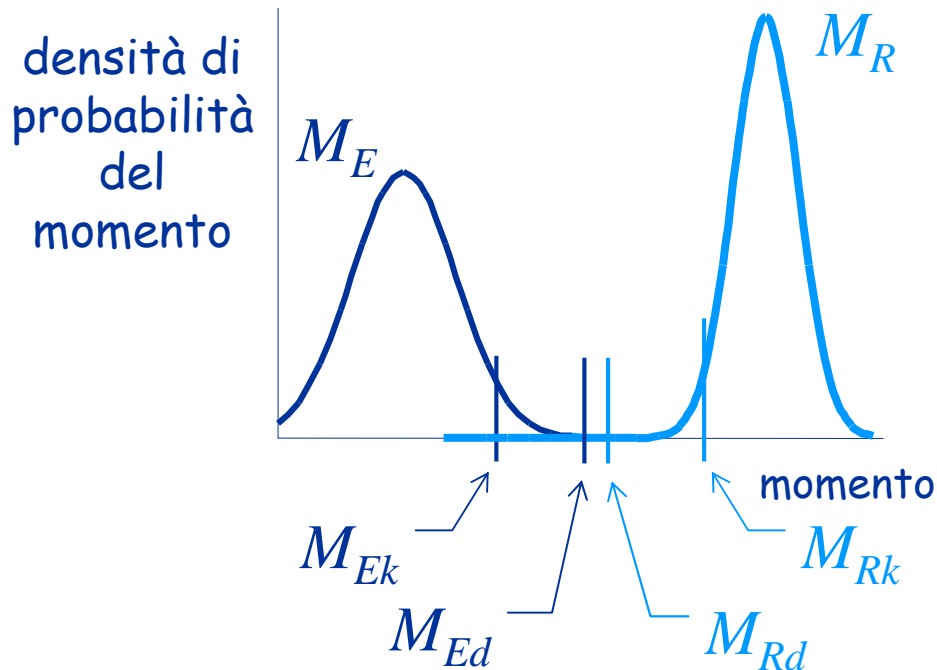
Effettuare i calcoli usando i valori caratteristici, cioè controllare che

$$M_{Ek} \leq M_{Rk}$$

non garantisce una probabilità di crollo sufficientemente bassa

# Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

Vedere foglio Excel “Probabilità collasso”

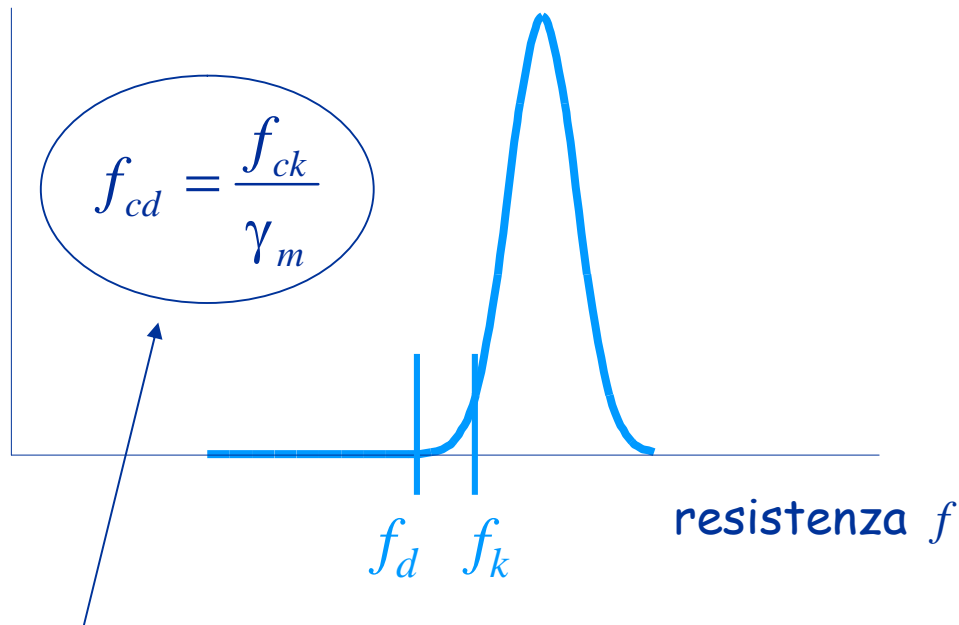


Per avere una bassa probabilità di crollo le due distribuzioni di probabilità devono essere ben distinte

Ciò può essere ottenuto facendo riferimento a valori di carichi e resistenza corrispondenti a differenti probabilità di occorrenza

Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

## Resistenza



Al posto del valore caratteristico  $f_k$  (frattile 5%)

si usa come valore di calcolo  $f_d$  un frattile più basso (0.5%)

Convenzionalmente, si passa dal valore caratteristico al valore di calcolo applicando un opportuno coefficiente di sicurezza

## Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

provino	$f_y$ [MPa]
1	387.9
2	407.8
3	419.4
4	435.1
5	448.7
6	450.8
7	462.4
...	...
49	511.2
...	...
99	570.6
100	578.5

$f_{yd}$

Si usa come valore di calcolo un frattile più basso (0.5%)

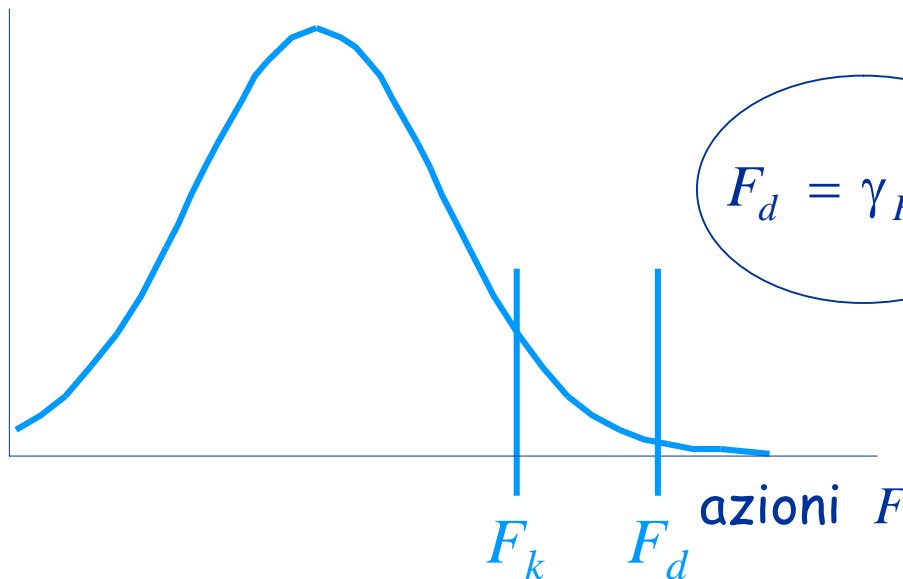
450 MPa  $f_{yk}$   
frattile 5%

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

Si passa dal valore caratteristico al valore di calcolo applicando un opportuno coefficiente di sicurezza

Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

## Azioni



$$F_d = \gamma_F F_k$$

Al posto del valore caratteristico  $F_k$  (frattile 95%)

si usa come valore di calcolo  $F_d$  un frattile più alto (99.5%)

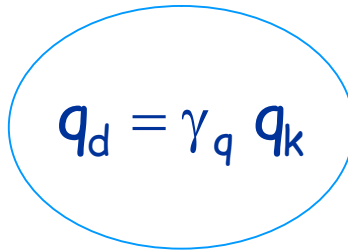
Convenzionalmente, si passa dal valore caratteristico al valore di calcolo applicando un opportuno coefficiente di sicurezza



## Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

solaio	q [kN/m <sup>2</sup> ]
1	0.44
2	0.59
...	...
49	1.12
...	...
94	1.92
95	1.97
96	2.08
97	2.29
98	2.45
99	2.71
100	3.06

Si passa dal valore caratteristico al valore di calcolo applicando un opportuno coefficiente di sicurezza


$$q_d = \gamma_q q_k$$

2.0 kN/m<sup>2</sup>

$q_k$

frattile 95%

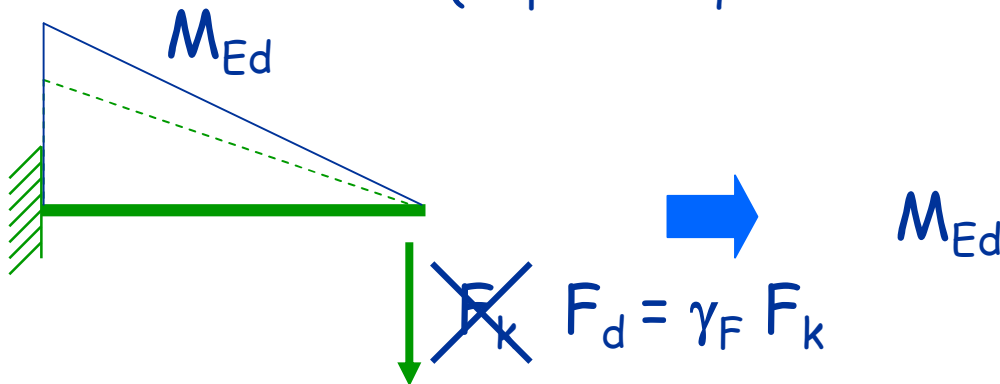
$q_d$

Si usa come valore di calcolo un frattile più alto (99.5%)

Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

## Verifica allo stato limite ultimo

La verifica consiste nel calcolare le caratteristiche di sollecitazione, prodotta da azioni maggiorate (rispetto a quelle caratteristiche)



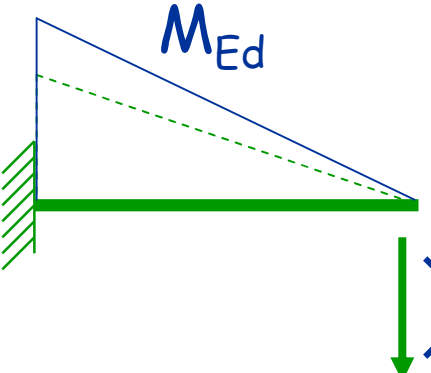
e controllare che siano inferiori a quelle resistenti, determinate con una resistenza ridotta (rispetto a quella ultima)

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} (f_d = f_k / \gamma_F)$$

Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

Ver

La verifica di sollecitazioni



Rispetto alle tensioni ammissibili:

I carichi verticali  
sono incrementati  
dal 30% al 50%

Le resistenze  
sono incrementate  
dal 30% al 50%

Non si può dire a priori  
cosa sia più gravoso

e controllare che siano inferiori a quelle resistenti, determinate con una resistenza ridotta (rispetto a quella ultima)

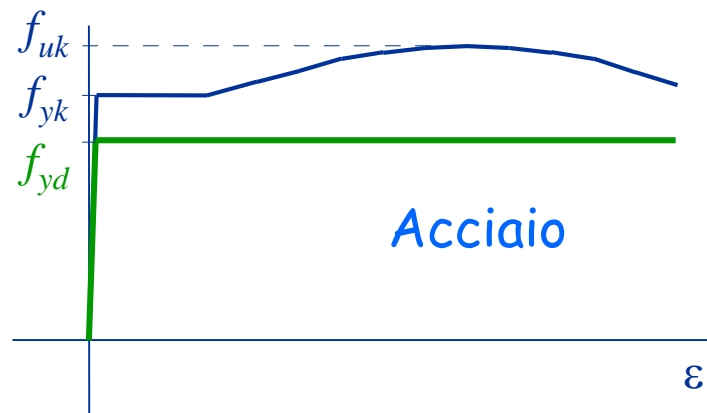
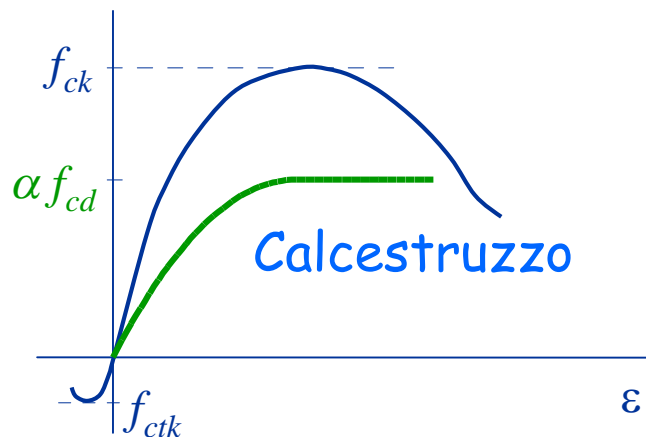
$$M_{Ed} \leq M_{Rd} (f_d = f_k / \gamma_F)$$

Terza possibilità: applicare coefficienti di sicurezza sia alla resistenza che ai carichi

## Verifica allo stato limite ultimo

Le caratteristiche di sollecitazione che la sezione può sopportare devono essere valutate tenendo conto della non linearità del legame costitutivo

$M_{Rd}$



Le caratteristiche di sollecitazione prodotte dai carichi possono essere valutate con analisi non lineare, ma più comunemente si usa un'analisi lineare

$M_{Ed}$

# Riepilogo e confronto: tensioni ammissibili

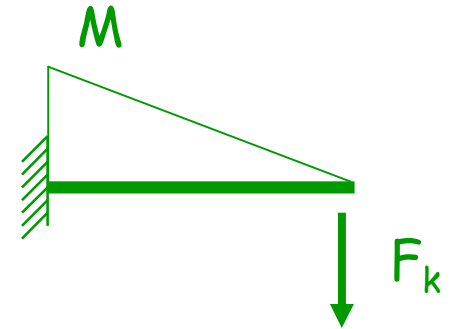
## 1 - Analisi dei carichi

si utilizzano i valori caratteristici

## 2 - Risoluzione (analisi strutturale)

si utilizza sempre un'analisi lineare;

si ottengono le caratteristiche di sollecitazione (es.  $M$ )



## 3 - Verifica della sezione

si determinano le tensioni massime  
e le si confronta con quelle ammissibili

$$\sigma_{\max} \leq \bar{\sigma}$$

in alternativa, si determina la massima caratteristica di sollecitazione sopportabile (es  $M_{\max}$ ) - che corrisponde al raggiungimento della tensione ammissibile - e la si confronta con quella sollecitante

# Riepilogo e confronto: stato limite ultimo

## 1 - Analisi dei carichi

si utilizzano i valori di calcolo

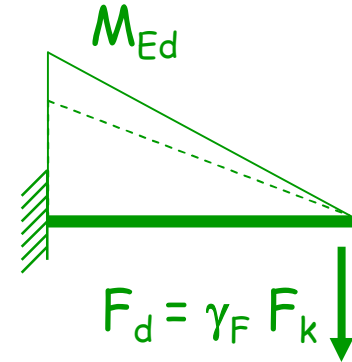
1.3÷1.5 x quelli caratteristici

## 2 - Risoluzione (analisi strutturale)

si utilizza normalmente un'analisi lineare; a volte, analisi non lineare  
si ottengono le caratteristiche di sollecitazione (es.  $M_{Ed}$ )

## 3 - Verifica della sezione

si determina la massima caratteristica di sollecitazione sopportabile (es.  $M_{Rd}$ ) - che corrisponde al raggiungimento della deformazione limite - e la si confronta con quella sollecitante



$$M_{Ed} \leq M_{Rd} (f_d = f_k / \gamma_F)$$

# Riepilogo e confronto: tensioni ammissibili - stato limite ultimo

T.A.

S.L.U.

Carichi

valori  
caratteristici

valori di calcolo  
(1.3÷1.5 maggiori)

Risoluzione

solo analisi  
lineare

di solito analisi lineare  
(car.soll. 1.3÷1.5 maggiori)

Verifica

controllo delle  
tensioni

---

valutazione di  
car.soll. massime

valutazione di  
car.soll. resistenti  
(maggiori - di quanto?)

# ... Tornando agli obiettivi

## Metodo degli stati limite

- Sopportare tutte le azioni . . .  
cioè evitare il collasso . . .

Verifica allo stato limite ultimo (SLU)

- Rimanere adatta all'uso . . .  
ovvero limitare:
  - deformazioni
  - fessurazione (per c.a.)      ecc.

Verifica allo stato limite di esercizio (SLE)



# Stato Limite Ultimo

## 2.2.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

I principali Stati Limite Ultimi, di cui al § 2.1, sono elencati nel seguito:

- a)* perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte; **EQU**
- 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; **STR**
- e)* raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni; **GEO**
- f)* rottura di membrature e collegamenti per fatica;
- g)* rottura di membrature e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- h)* 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 sono quelli precisati nel § 3.2.1.

# Stato Limite di Esercizio

## 2.2.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

I principali Stati Limite di Esercizio, di cui al § 2.1, 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 eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione;

Altri stati limite sono considerati in relazione alle specificità delle singole opere; in presenza di azioni sismiche, gli Stati Limite di Esercizio sono quelli precisati nel § 3.2.1.

# La "formula" della progettazione $R_3D_2$ : tre R e due D

- R     Resistenza: capacità di sopportare i carichi previsti
- D     Duttilità: capacità di andare in campo plastico senza collasso immediato
- R     Rigidezza: bassa deformazione sotto i carichi
- D     Durabilità: capacità di mantenere le caratteristiche nel tempo
- R     Robustezza: bassa sensibilità a modeste variazioni di carico o schema

# La "formula" della progettazione una quarta R?

- R Resistenza: capacità di sopportare i carichi previsti
- D Duttilità: capacità di andare in campo plastico senza collasso immediato
- R Rigidezza: bassa deformazione sotto i carichi
- D Durabilità: capacità di mantenere le caratteristiche nel tempo
- R Robustezza: bassa sensibilità a modeste variazioni di carico o schema
- R Risparmio: limitazione dei costi, nel rispetto degli obiettivi

Le azioni sulle costruzioni

# Classificazione delle azioni

- In base al modo di esplicarsi
- Secondo la risposta strutturale
- Secondo la variazione della loro intensità nel tempo

# Classificazione delle azioni

- In base al modo di esplicarsi
  - Dirette:  
forze concentrate, carichi distribuiti, fissi o mobili
  - Indirette:  
spostamenti impressi, variazioni di temperatura e di umidità, ritiro, precompressione, cedimenti di vincolo
  - Degrado:  
endogeno - alterazione naturale  
esogeno - alterazione dovuta ad agenti esterni
- Secondo la risposta strutturale
- Secondo la variazione della loro intensità nel tempo

# Classificazione delle azioni

- In base al modo di esplicarsi
- Secondo la risposta strutturale
  - Statiche:  
azioni che non provocano accelerazioni significative della struttura o di alcune sue parti
  - Pseudo-statiche:  
azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente
  - Dinamiche:  
azioni che causano significative accelerazioni della struttura o dei suoi componenti
- Secondo la variazione della loro intensità nel tempo



# Classificazione delle azioni

- In base al modo di esplicarsi
- Secondo la risposta strutturale
- Secondo la variazione della loro intensità nel tempo
  - Permanenti:  $G$   
variazione nel tempo è così piccola e lenta da poterle considerare con sufficiente approssimazione costanti
  - Variabili:  $Q$   
azioni con valori istantanei che possono risultare sensibilmente diversi fra loro nel tempo
  - Eccezionali:  $A$   
azioni che si verificano solo eccezionalmente nel corso della vita nominale della struttura
  - Sismiche:  $E$   
azioni derivanti dai terremoti

# Classificazione delle azioni

- In base al modo di esplicarsi
- Secondo la risposta strutturale
- Secondo la variazione della loro intensità nel tempo
  - Permanenti:  $G$ 
    - $G1$  - Peso proprio degli elementi strutturali
    - $G2$  - Peso proprio degli elementi non strutturali

importante distinzione tra "compiutamente definiti" e non

  - $P$  - Precompressione
  - e inoltre spostamenti impressi, ritiro, viscosità, ecc.
- Variabili:  $Q$
- Eccezionali:  $A$
- Sismiche:  $E$

# Classificazione delle azioni

- In base al modo di esplicarsi
- Secondo la risposta strutturale
- Secondo la variazione della loro intensità nel tempo
  - Permanenti:  $G$
  - 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 - agiscono per un periodo di tempo breve rispetto alla vita nominale della struttura
  - Eccezionali:  $A$
  - Sismiche:  $E$

# Classificazione delle azioni

- In base al modo di esplicarsi
  - Secondo la risposta strutturale
  - Secondo la variazione della loro intensità nel tempo
    - Permanenti: G
    - Variabili: Q
    - Eccezionali: A
      - incendi
      - esplosioni
      - urti di veicoli
- di solito queste azioni non vengono prese  
espressamente in conto nella progettazione
- Sismiche: E

# Azioni

## valore di calcolo

**Tabella 2.6.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente $\gamma_F$	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

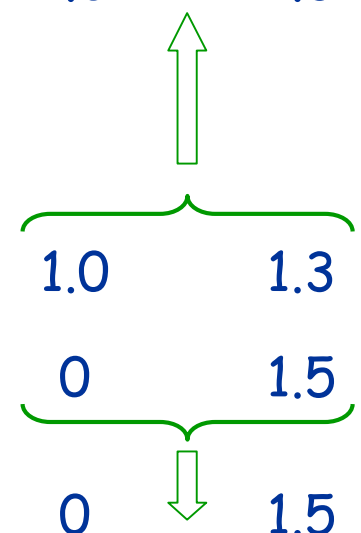
<sup>(1)</sup>Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

# Azioni

## valore di calcolo

Per stato limite STR (resistenza della struttura, compresi gli elementi di fondazione)

		min	max
$G_1$	carichi permanenti strutturali	$\gamma_{G1}$ 1.0	1.3
$G_2$	carichi permanenti non strutturali: se compiutamente definiti	$\gamma_{G2}$ 1.0	1.3
	se non compiutamente definiti	$\gamma_{G2}$ 0	1.5
$Q$	carichi variabili	$\gamma_Q$ 0	1.5



# Esempio

## carichi unitari - solaio per abitazione

Peso proprio (valore caratteristico):

soletta	$0.04 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3$	=	$1.00 \text{ kN/m}^2$	
travetti	$3 \times (0.08 \times 0.20) \times 1 \text{ m}^3 \times 25 \text{ kN/m}^3$	=	$1.20 \text{ kN/m}^2$	
laterizi	$8 \times 0.082 \text{ kN}$	=	$0.66 \text{ kN/m}^2$	
TOTALE		=	$2.86 \text{ kN/m}^2$	$G_1$

Sovraccarichi permanenti (valore caratteristico):

massetto	$0.03 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 18 \text{ kN/m}^3$	=	$0.54 \text{ kN/m}^2$	} $G_1$ <del>0.54</del> ?
pavimento in granito	$0.02 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 27 \text{ kN/m}^3$	=	$0.54 \text{ kN/m}^2$	
intonaco	$0.02 \times 1 \times 1 \text{ m}^3 \times 20 \text{ kN/m}^3$	=	$0.40 \text{ kN/m}^2$	
incidenza tramezzi		=	$1.20 \text{ kN/m}^2$	$G_2$
TOTALE		=	$2.68 \text{ kN/m}^2$	

quindi:  $G_{1k} = 4.34 \text{ kN/m}^2$      $G_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$      $G_k = 5.54 \text{ kN/m}^2$

# Nota:

## incidenza tramezzi

### 3.1.3.1 Elementi divisori interni

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente portato uniformemente distribuito  $g_{2k}$ , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito  $g_{2k}$  ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza  $G_{2k}$  delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisori con  $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$  ;
- per elementi divisori con  $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$  :  $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$  .

Elementi divisori interni con peso proprio maggiore devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.



# Nota:

## carichi variabili (1)

Cat.	Ambienti	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]	$H_k$ [kN/m]
A	<b>Ambienti ad uso residenziale.</b> Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	<b>Uffici.</b> Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 3,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	<b>Ambienti suscettibili di affollamento</b> Cat. C1 Ospedali, ristoranti, caffè, banche, scuole Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune	3,00 4,00 5,00	2,00 4,00 5,00	1,00 2,00 3,00
D	<b>Ambienti ad uso commerciale.</b> Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00

## Nota: carichi variabili (2)

E	<b>Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale.</b>			
	Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	$\geq 6,00$	6,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	—	—	—
F-G	<b>Rimesse e parcheggi.</b>			
	Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	—	—	—
H	<b>Coperture e sottotetti</b>			
	Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione	0,50	1,20	1,00
	Cat. H2 Coperture praticabili	secondo categoria di appartenenza		
	Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	—	—	—
<p>* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati</p> <p>** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso</p>				

# Esempio

## carichi unitari - solaio per abitazione

Valori caratteristici:

$$G_{1k} = 4.34 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k = 5.54 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

Valori di calcolo:

$$G_{1d} = 4.34 \times 1.3 = 5.64 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2d} = 1.20 \times 1.5 = 1.80 \text{ kN/m}^2$$

$$G_d = 5.64 + 1.80 = 7.44 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_d = 2.00 \times 1.5 = 3.00 \text{ kN/m}^2$$

Notare: in questo caso

$$G_d / G_k = 1.34$$

$$(G_d + Q_d) / (G_k + Q_k) = 1.38$$

# Esempio

## carichi unitari - solaio per abitazione

Valori caratteristici:

$$G_{1k} = 4.34 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2k} = 1.20 \text{ kN/m}^2$$

$$G_k = 5.54 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

Valori di calcolo:

$$G_{1d} = 4.34 \times 1.3 = 5.64 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2d} = 1.20 \times 1.5 = 1.80 \text{ kN/m}^2$$

$$G_d = 5.64 + 1.80 = 7.44 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_d = 2.00 \times 1.5 = 3.00 \text{ kN/m}^2$$

Forse è più comodo accorpare i carichi in questo modo:

sempre presenti

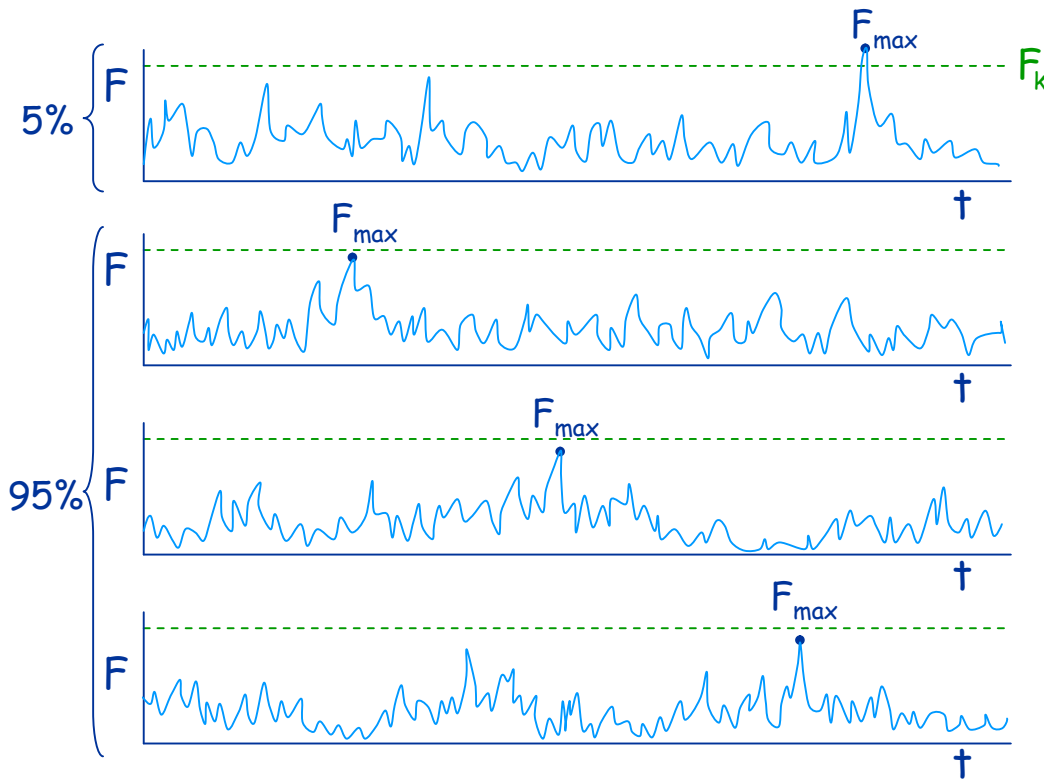
$$G_{1d} = 5.64 \text{ kN/m}^2$$

possono esserci o no

$$G_{2d} + Q_d = 4.80 \text{ kN/m}^2$$

# Tornando alle azioni . . . azioni variabili

Valore caratteristico  $F_k$

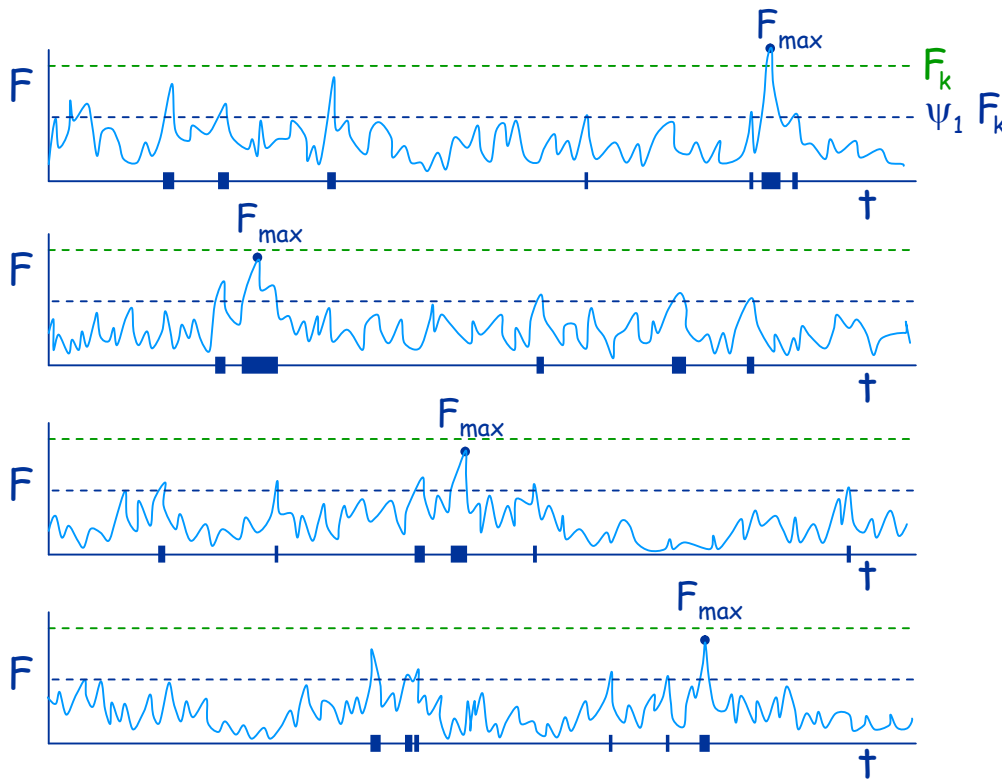


È il frattile 95% dei valori massimi che si hanno in un periodo di riferimento

Cioè è superato durante il periodo di riferimento solo nel 5% degli edifici

# Tornando alle azioni . . . azioni variabili

Valore frequente  $\psi_1 F_k$



È il frattile 95% della  
distribuzione temporale in  
un periodo di riferimento

Cioè è superato solo nel 5%  
del periodo di riferimento

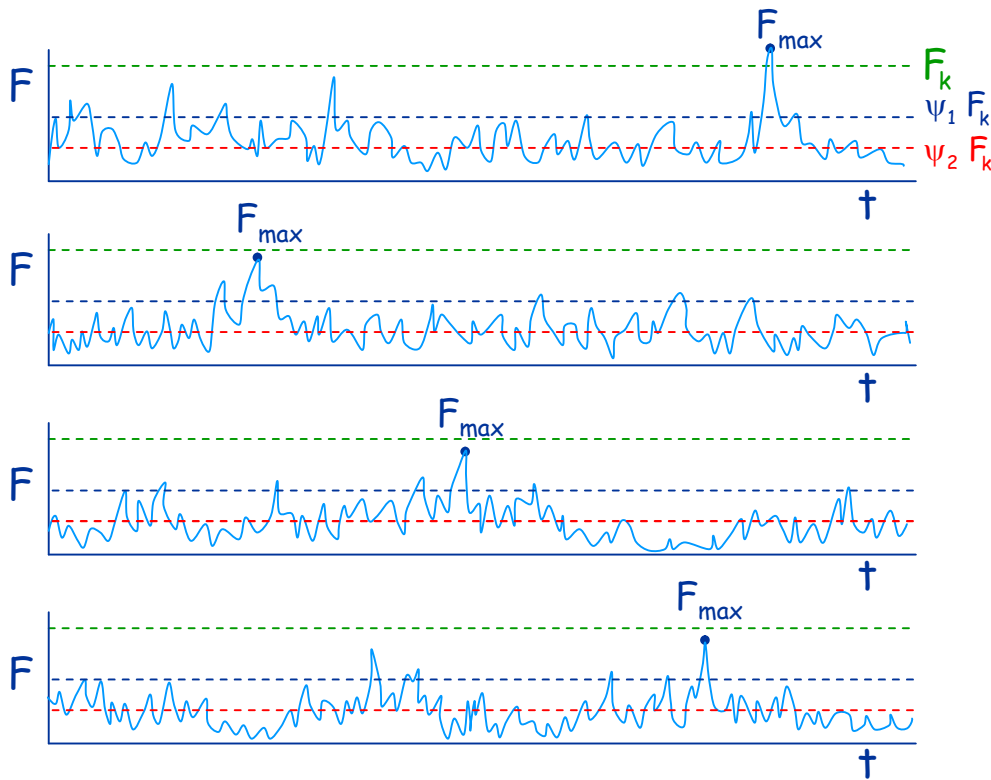
$\psi_1$  dipende dal tipo di carico

$\psi_1 = 0.5$  carico variabile per  
abitazione

0.2 per vento

# Tornando alle azioni . . . azioni variabili

Valore quasi permanente  $\psi_2 F_k$



È la media della  
distribuzione temporale in  
un periodo di riferimento

$\psi_2$  dipende dal tipo di carico

$\psi_2 = 0.3$  c. var. per abitazione  
0 per vento

# Tornando alle azioni . . . azioni variabili

Valore di combinazione (o raro)  $\psi_0 F_k$

Valore di durata breve ma ancora significativo nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili

Lo stesso coefficiente  $\psi_0$  si usa per i valori di calcolo

$\psi_0 F_d$  Valore di combinazione (o raro) per SLU

$\psi_0 = 0.7$  c. var. per abitazione  
0.6 per vento

$\psi_0 F_k$  Valore di combinazione (o raro) per SLE



# Valori dei coefficienti

$\Psi_0$   $\Psi_1$   $\Psi_2$

Categoria/Azione variabile	$\Psi_{0i}$	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{2i}$
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $\leq 30$ kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso $> 30$ kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota $\leq 1000$ m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota $> 1000$ m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

# Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} \gamma_{Qi} Q_{ik}$$

I carichi permanenti strutturali e quelli non strutturali ma compiutamente definiti ( $G_1$ ) sono sempre presenti; in genere si usa un unico coefficiente  $\gamma_G$  per tutte le parti della struttura

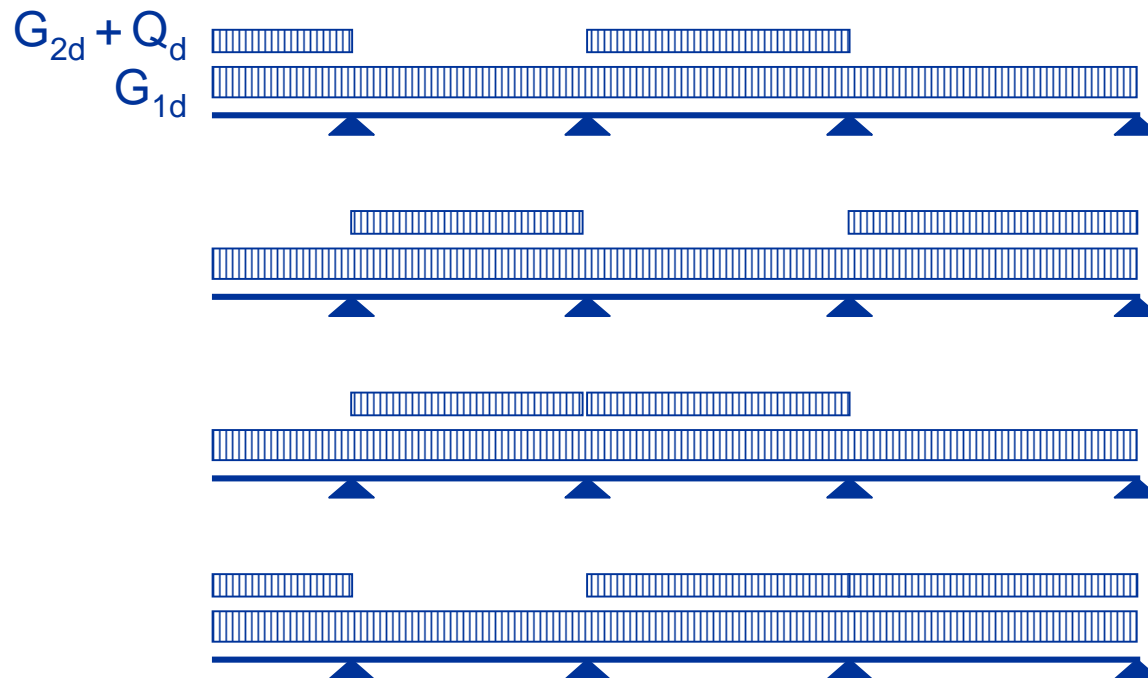
I carichi permanenti non compiutamente definiti e quelli variabili possono essere presenti o no

# Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} \gamma_{Qi} Q_{ik}$$

Esempio (per schema di trave continua):



# Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} \gamma_{Qi} Q_{ik}$$

Stato limite di esercizio:

combinazione rara

$$G_{1k} + G_{2k} + Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} Q_{ik}$$

combinazione frequente

$$G_{1k} + G_{2k} + \psi_{11} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$

combinazione quasi permanente

$$G_{1k} + G_{2k} + \sum_{i=1}^n \psi_{2i} Q_{ik}$$

# Combinazioni di carico

Stato limite ultimo

$$\gamma_{G1} G_{1k} + \gamma_{G2} G_{2k} + \gamma_{Q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{0i} \gamma_{Qi} Q_{ik}$$

Stato limite di esercizio:

combinazione rara

combinazione frequente

combinazione quasi permanente

Combinazione sismica:

al sisma si aggiungono i carichi verticali quasi permanenti

$$E + G_k + \psi_2 Q_k$$