

# **TECNICA DELLE COSTRUZIONI 1**

**Prof. S. Lagomarsino**

**A.A. 2007-2008**

## **ESERCITAZIONE 1**

**L’AFFIDABILTA’ STRUTTURALE**

**(materiale preparato da Ing. Repetto)**

**I METODI DI CALCOLO DI NORMATIVA**

**IL CALCOLO DELLE AZIONI**

## **Definizione ‘intuitiva’ di affidabilità strutturale:**

E= effetto di un’azione sulla struttura;

$$E=f(\text{forze; proprietà geometriche})$$

R= resistenza della struttura;

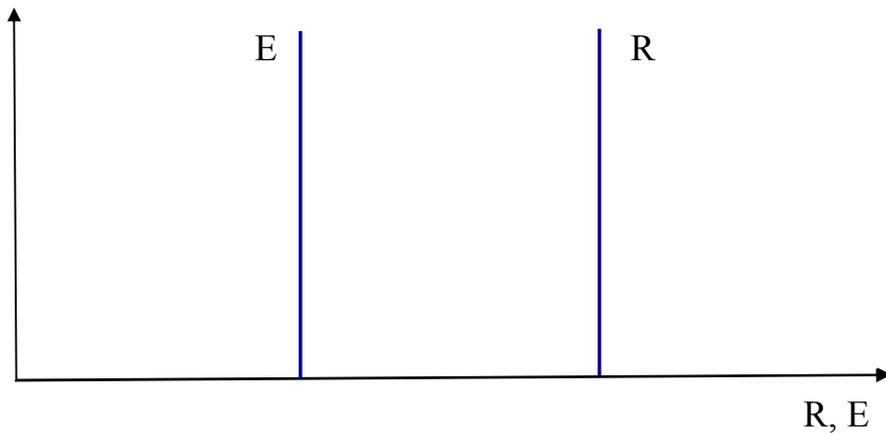
$$R=f(\text{proprietà dei materiali, proprietà geometriche})$$

La struttura è affidabile se risulta:

$$\mathbf{E < R}$$

## principi probabilistici di affidabilità strutturale

E, R noti con esattezza (deterministici) → verifica immediata



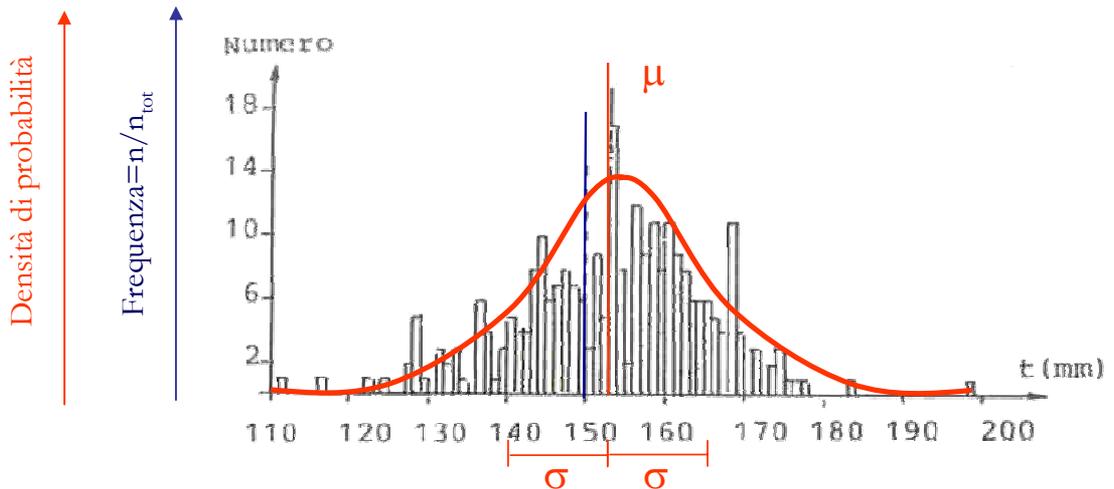
$$E < R$$

# principi probabilistici di affidabilità strutturale

E, R affetti da incertezze → descrizione probabilistica

Esempio: spessore di piastra in c.a.

$t_{\text{nominale}} = 15 \text{ cm}$



$\mu$  valore medio

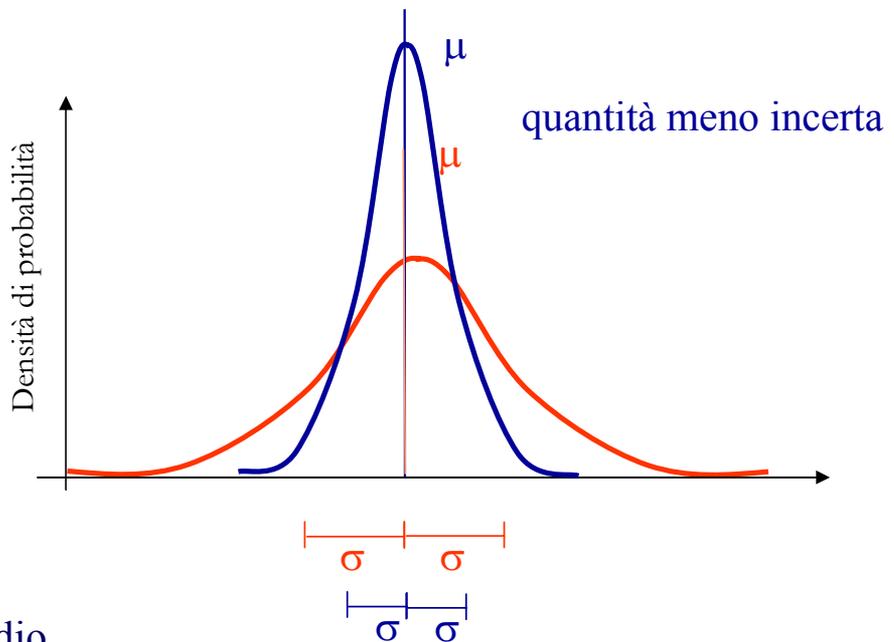
$\sigma$  deviazione standard

$p_t(t)$  densità di probabilità

## principi probabilistici di affidabilità strutturale

E, R affetti da incertezze → descrizione probabilistica

Densità di probabilità



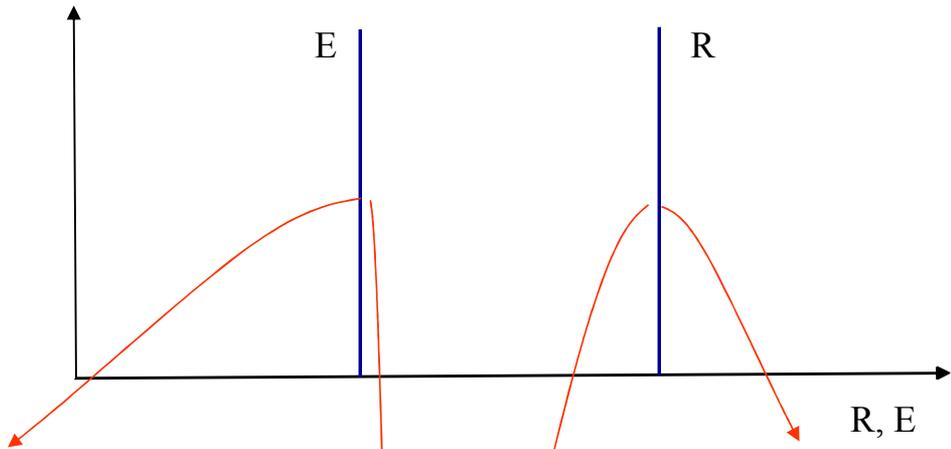
$\mu$  valore medio

$\sigma$  deviazione standard

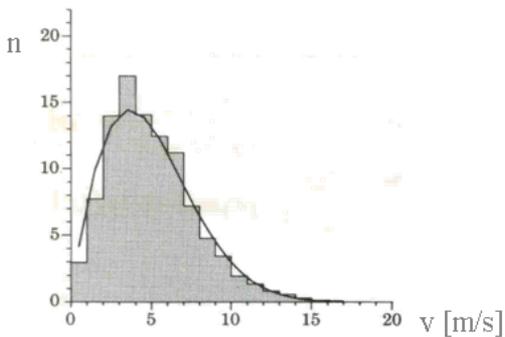
$p_t(t)$  densità di probabilità

# principi probabilistici di affidabilità strutturale

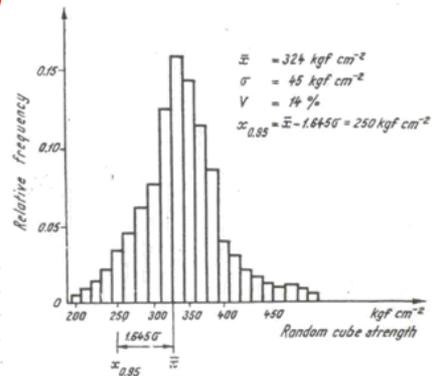
E, R affetti da incertezze → descrizione probabilistica



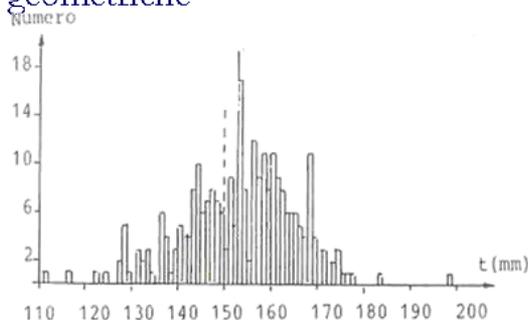
Incertezze sulle forze



Incertezze su proprietà dei materiali

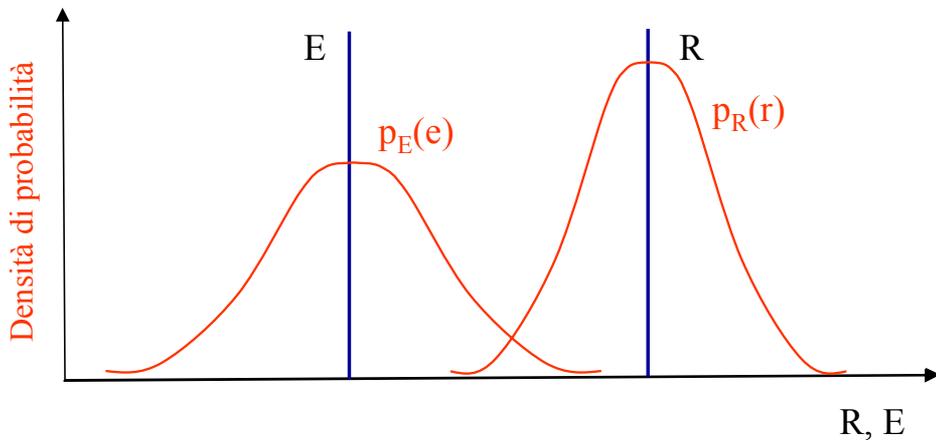


Incertezze su proprietà geometriche



## principi probabilistici di affidabilità strutturale

E, R affetti da incertezze → descrizione probabilistica



$P_f$  = probabilità di collasso =  $P[E \geq R]$  in periodo T

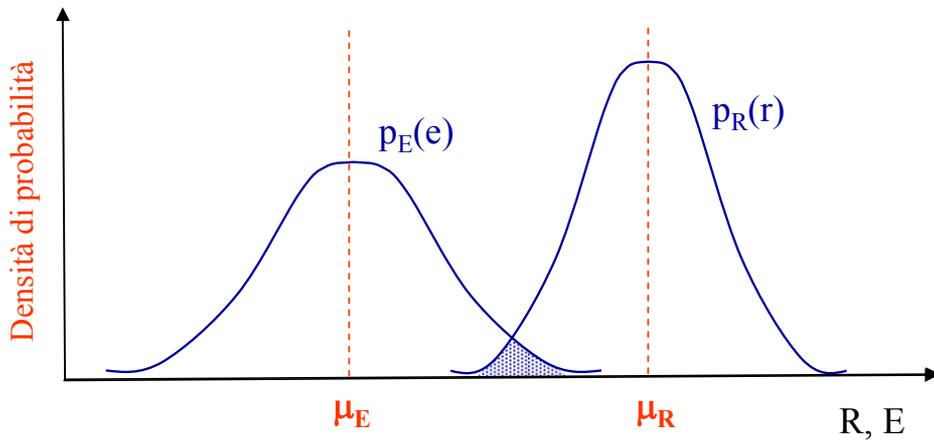
$P_s$  = probabilità di sicurezza o affidabilità  
=  $P[E < R]$  in periodo T

si ha  $P_s = 1 - P_f$

$g = R - E$  margine di sicurezza

## principi probabilistici di affidabilità strutturale

E, R affetti da incertezze → descrizione probabilistica

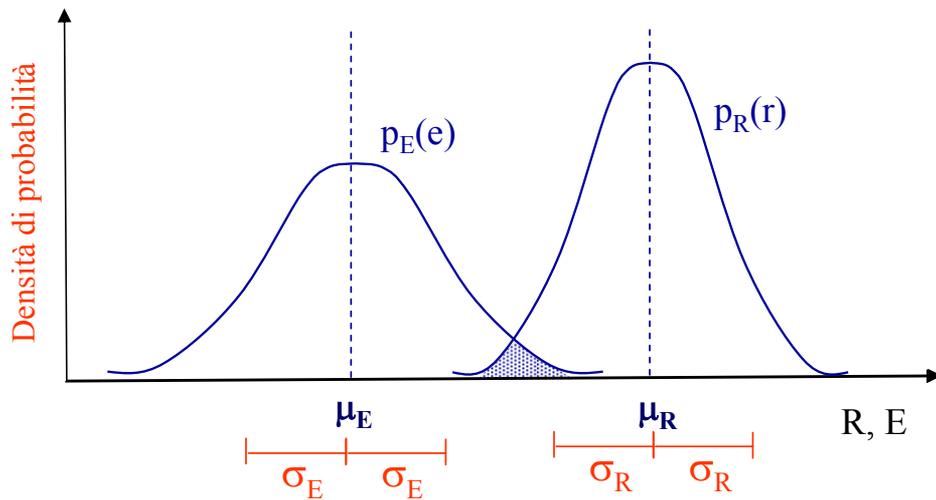


Probabilità di collasso dipende:

-dalla posizione relativa delle due curve →  $\mu_R$   $\mu_E$

## principi probabilistici di affidabilità strutturale

E, R affetti da incertezze → descrizione probabilistica

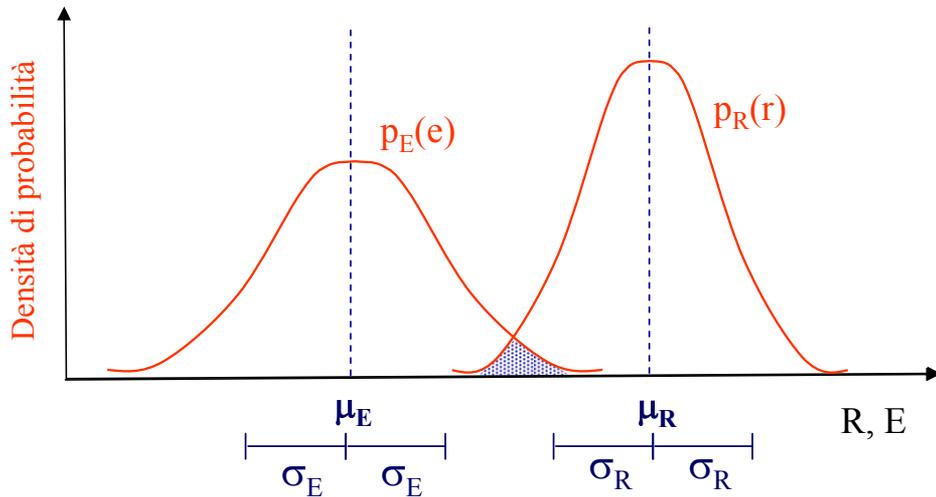


Probabilità di collasso dipende:

- dalla posizione relativa delle due curve →  $\mu_R$   $\mu_E$
- dalla dispersione delle due curve →  $\sigma_R$   $\sigma_E$

## principi probabilistici di affidabilità strutturale

E, R affetti da incertezze → descrizione probabilistica



Probabilità di collasso dipende:

- dalla posizione relativa delle due curve →  $\mu_R$   $\mu_E$
- dalla dispersione delle due curve →  $\sigma_R$   $\sigma_E$
- dalla forma delle due curve →  $p_R$   $p_E$

Nota: probabilità di collasso è sempre  $> 0$

## **analisi di affidabilità**

### **procedimento generale di analisi**

- 1) Scelta e formulazione di stati limite
- 2) Modellazione probabilistica delle azioni
- 3) Modellazione probabilistica delle proprietà del sistema
- 4) Analisi e caratterizzazione probabilistica della risposta del sistema
- 5) Determinazione della probabilità di collasso nei confronti degli stati limite
- 6) Giudizio sulla probabilità di crisi in base a considerazioni economiche e politiche

A seconda delle semplificazioni introdotte in questo percorso si definiscono formati di sicurezza di livello decrescente da livello IV a livello 0

**Analisi di livello I o metodi semi-probabilistici**  
(per es., Metodo agli Stati Limite)

**Eurocodici, Norme Tecniche 2008,  
D.M. '96**

**Analisi di livello 0 o metodi non probabilistici**  
(per es., Metodo alle Tensioni Ammissibili)

**D.M. '96, altre norme ed istruzioni  
meno recenti**

## analisi di affidabilità

**D.M. '96, altre norme ed istruzioni meno recenti**

### **Analisi di livello 0 o metodi non probabilistici:**

l'affidabilità del sistema è garantita dall'applicazione 'deterministica' di una serie di regole nelle quali sono definiti i valori nominali delle variabili e opportuni coefficienti di sicurezza

- 1) Scelta e formulazione di situazioni pericolose (per es. superamento limite elastico)
- 2) *Definizione di valori nominali delle azioni*
- 3) *Definizione di valori nominali delle proprietà del sistema*
- 4) *Applicazione di una serie di regole definito formato di sicurezza*
- 5) - 6) *Calibrazione*

Formato di sicurezza:

Confronto diretto tra E effetto delle azioni e R resistenza della struttura

$$\text{Max } E < R/\gamma$$

coefficiente di sicurezza

## analisi di affidabilità

**Eurocodici, Norme  
Tecniche 2008, D.M. '96**

### **Analisi di livello I o metodi semi-probabilistici:**

l'affidabilità del sistema è garantita dall'applicazione 'deterministica' di una serie di regole nelle quali sono definiti i valori caratteristici delle variabili e opportuni coefficienti di sicurezza dipendenti dalle incertezze delle variabili. L'applicazione del formato di sicurezza deve garantire automaticamente il raggiungimento di una affidabilità limite. Il procedimento 'probabilistico' di calibrazione assicura tale requisito

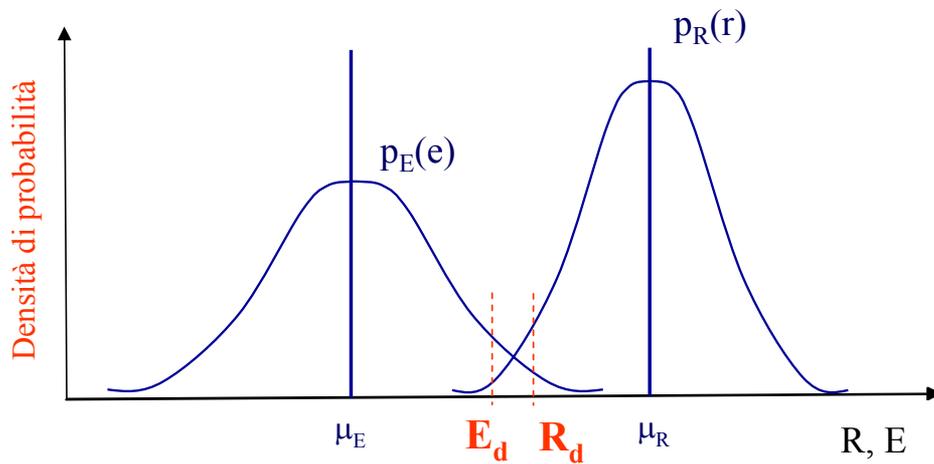
- 1) Scelta e formulazione di stati limite
- 2) *Definizione di valori caratteristici delle azioni*
- 3) *Definizione di valori caratteristici delle proprietà del sistema*
- 4) *Applicazione di una serie di regole definito formato di sicurezza*
- 5) - 6) *Calibrazione*

# analisi di affidabilità

## Analisi di livello I o metodi semi-probabilistici:

Formato di sicurezza:

$$E_d < R_d \longleftarrow \text{Valori di progetto (design)}$$



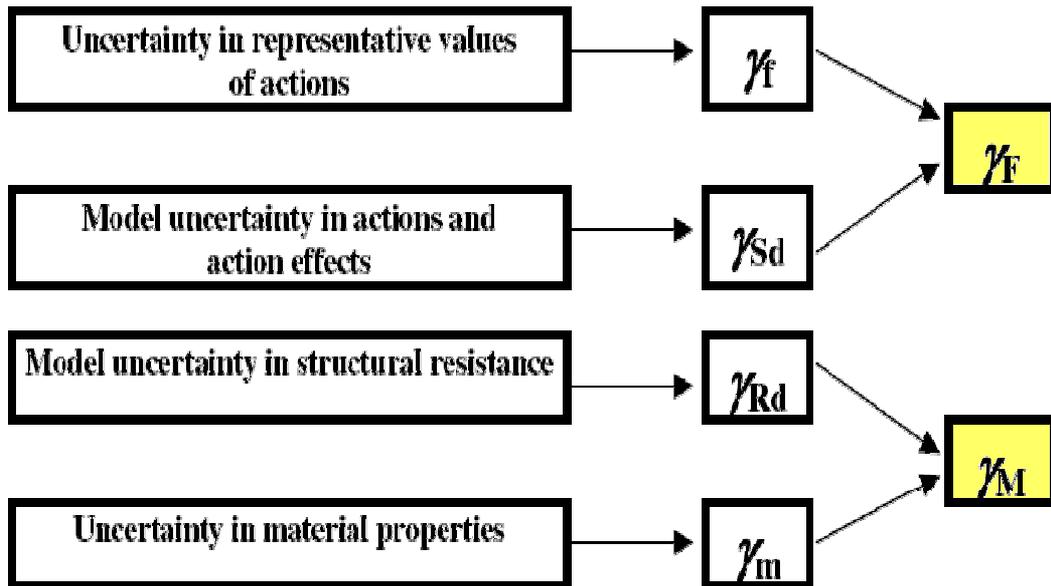
# analisi di affidabilità

## Analisi di livello I o metodi semi-probabilistici:

Formato di sicurezza:

$$E_d < R_d \quad E_d = f(\gamma_F F_k) \quad R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Fattori parziali di sicurezza



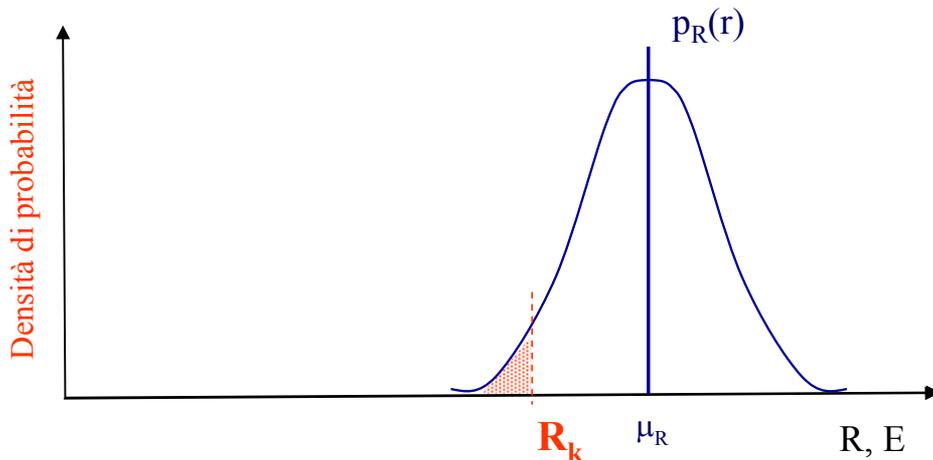
## analisi di affidabilità

### Analisi di livello I o metodi semi-probabilistici:

Formato di sicurezza:

$$E_d < R_d \quad E_d = f(\gamma_F F_k) \quad R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Valori caratteristici di resistenza  $R_k$ : frattile inferiore del 5%



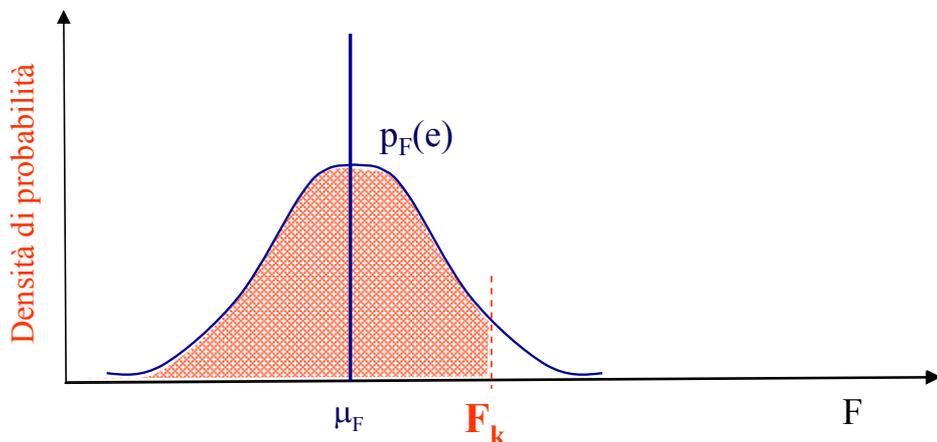
# analisi di affidabilità

## Analisi di livello I o metodi semi-probabilistici:

Formato di sicurezza:

$$E_d < R_d \quad E_d = f(\gamma_F F_k) \quad R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Valori caratteristici di azioni  $F_k$ : frattile inferiore del 95% (dei massimi in T)



# **NORMATIVE ED ISTRUZIONI TECNICHE DI RIFERIMENTO:**

## **DECRETO MINISTERIALE 14 gennaio 2008**

Norme tecniche per le costruzioni

## **DECRETO MINISTERIALE LL.PP 16 gennaio 1996**

Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”

## **Circolare ministeriale LL.PP 4 luglio 1996 n. 156**

Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi” di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996

## **CNR-UNI 10011 giugno 1988**

Costruzioni in acciaio: Istruzioni per il calcolo, l’esecuzione, il collaudo e al manutenzione

## **EUROCODICE 3 – 2003**

Progetto di strutture in Acciaio

## **EUROCODICE 1 – 2002**

Azioni sulle strutture

# Analisi di livello I o metodi semi-probabilistici

## IL METODO AGLI STATI LIMITE

**Eurocodici, Norme  
Tecniche 2008, D.M. '96**

### **Azioni sulle costruzioni**

Le azioni sulle costruzioni possono essere classificate secondo 4 diversi criteri:

- a) Tipologia
- b) Risposta strutturale
- c) Variabilità nel tempo
- d) Variabilità nello spazio

#### *a) Classificazione delle azioni secondo la loro tipologia*

- 1) Azioni dirette: forze concentrate o distribuite sull'elemento
- 2) Azioni indirette: deformazioni imposte
- 3) Azioni chimico-fisiche: agenti aggressivi, umidità, gelo, ecc.

#### *b) Classificazione delle azioni secondo la risposta strutturale*

- 1) Azioni statiche: spostamenti variano in modo lento nel tempo. Non si considerano valori significativi di velocità e accelerazione
- 2) Azioni dinamiche: causano valori significativi di velocità e accelerazione

## **Azioni sulle costruzioni**

### *c) Classificazione delle azioni secondo la loro variazione nel tempo*

- 1) Azioni permanenti: agiscono per tutta la durata della vita della struttura con variazioni trascurabili di intensità (peso proprio, precompressione, deformazioni imposte, pressione del terreno o dell'acqua, ecc)
  
- 2) Azioni variabili: agiscono con valori istantanei che possono essere diversi
  - 2.a) azioni variabili di lunga durata (mobili, apparecchiature, ecc.)
  - 2.b) azioni variabili di breve durata (carichi mobili, installazioni momentanee, vento, sisma)
  
- 3) Azioni eccezionali: la loro presenza non può essere esclusa ma e' comunque molto improbabile (collisioni, esplosioni, incendi, trombe d'aria, ecc)

### *d) Classificazione delle azioni secondo la loro variazione nello spazio*

- 1) Azioni fisse: la loro distribuzione spaziale e' determinata a priori
  
- 2) Azioni libere: possono assumere una qualsiasi distribuzione spaziale (carichi mobili, ecc.)

## Azioni sulle costruzioni

### *Approccio normativo*

Si considerano solo azioni *statiche*.

Azioni *dinamiche* sono trattate attraverso la definizione di azioni *statiche equivalenti*

Azioni considerate:

- peso proprio
- carichi permanenti
- carichi variabili: da destinazione d'uso, neve, vento, sisma
- azioni eccezionali
- variazioni termiche
- cedimenti vincolari
- corrosione e degrado

Combinazione delle azioni tiene conto della ridotta probabilità di intervento simultaneo di tutte le azioni con il loro valore piu' sfavorevole.

# Azioni sulle costruzioni

## *Approccio normativo*

### **Stati limite ultimi**

**corrispondenti al valore estremo della capacità portante o comunque al raggiungimento di condizioni estreme**

- perdita di equilibrio di una parte o dell'insieme della struttura,;
- collasso per trasformazione della struttura o di una sua parte in meccanismo;
- instabilità per deformazione;
- rottura localizzata della struttura per fatica o azioni statiche;
- deformazione plastica o di fluage, o fessurazione o scorrimento di giunti tale da rendere necessaria la sostituzione della struttura;
- degrado o corrosione che rendano necessaria la sostituzione della struttura.

### **Stato limite di esercizio**

**legato alle esigenze di impiego normale e di durata**

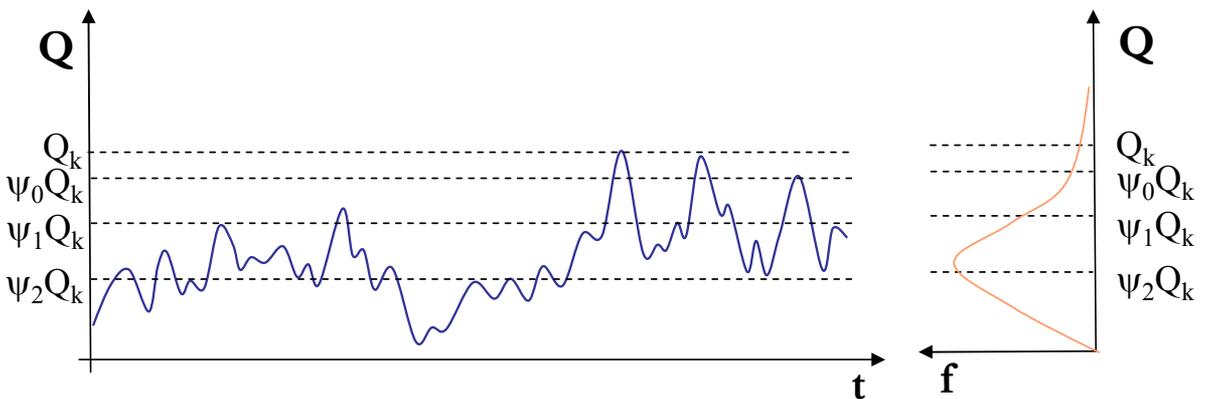
- deformazioni eccessive;
- fessurazioni premature o eccessive;
- degrado o corrosione;
- spostamenti eccessivi (senza perdita dell'equilibrio);
- vibrazioni eccessive.

# Azioni sulle costruzioni

## Approccio normativo

### Combinazioni delle azioni

$$E_d = \gamma_{sd} E \left\{ \gamma_{gj} G_{kj}; \gamma_P P; \gamma_{q1} Q_{k1}; \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ki}; a_d \dots \right\}$$



$Q_k$  valore caratteristico

$\psi_0 Q_k$  valore di combinazione (s.l.u.)

$\psi_1 Q_k$  valore frequente (s.l.e.) = valore superato per un tempo  
 $\Delta t = 0.05 \Delta t_r =$  frattile 95%

$\psi_2 Q_k$  valore quasi permanente (s.l.e.) = valore superato per un  
tempo  $\Delta t = 0.5 \Delta t_r =$  valore medio

# Azioni sulle costruzioni

## Approccio normativo

### Stato limite ultimo

$$F_d = \gamma_g G_k + \gamma_p P_k + \gamma_q Q_{lk} + \sum_{i=2}^n \gamma_q (\Psi_{0i} Q_{ik})$$

$\gamma_g = 1,4$  (1,0 se il suo contributo a sfavore di sicurezza);

$\gamma_p = 0,9$  (1,2 se il suo contributo a favore di sicurezza);

$\gamma_q = 1,5$  (0 se il suo contributo è a sfavore di sicurezza);

$G_k$  il valore caratteristico delle azioni permanenti;

$P_k$  il valore caratteristico della forza di precompressione;

$Q_{lk}$  il valore caratteristico dell'azione di base di ogni combinazione;

$Q_{ik}$  i valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti;

$\Psi_{0i}$  coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo da determinarsi sulla base di considerazioni statistiche; non inferiore a 0,7 per i carichi variabili di esercizio nei fabbricati per abitazione e uffici e/o non inferiori a 0,7 per neve e vento.

### Azioni eccezionali

$$F_d = G_k + Q_{dk} + \gamma_{ex} Q_{ex}$$

$\gamma_{ex} = 1,0-1,5$

$G_k$  il valore caratteristico delle azioni permanenti;

$Q_{dk}$  frazione di azioni caratteristiche di durata superiore a 30 giorni/anno;

$Q_{ex}$  valore nominale dell'azione eccezionale;

# Azioni sulle costruzioni

## *Approccio normativo*

### Stato limite di esercizio

#### Combinazioni rare

$$F_d = G_k + P_k + Q_{lk} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} Q_{ik})$$

#### Combinazioni frequenti

$$F_d = G_k + P_k + \psi_{1i} Q_{lk} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} Q_{ik})$$

#### Combinazioni quasi permanenti

$$F_d = G_k + P_k + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} Q_{ik})$$

- $\Psi_{0i}$       coefficiente di combinazione allo stato limite ultimo  
 $\Psi_{1i}$       coefficiente atto a definire i valori frattili di ordine 0.95  
 $\Psi_{2i}$       coefficiente atto a definire i valori medi

Azione	$\Psi_{0i}$	$\Psi_{1i}$	$\Psi_{2i}$
Carichi variabili nei fabbricati per abitazione	0,7	0,5	0,2
Uffici e negozi	0,7	0,6	0,3
Autorimesse	0,7	0,7	0,6
Vento e neve	0,7	0,2	0

## Pesi propri

### Pesi propri dei materiali strutturali

Conglomerato cementizio ordinario	24,0	$\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Conglomerato cementizio ordinario armato (e/o precompresso)	25,0	"
Conglomerati "leggeri": da determinarsi caso per caso	(14,0 ÷ 20,0)	"
Conglomerati "pesanti": da determinarsi caso per caso	(28,0 ÷ 50,0)	"
Acciaio	78,5	"
Ghisa	72,5	"
Alluminio	27,0	"
Legname:		
Abete, Castagno	6,0	"
Quercia, Noce	8,0	"
Pietrame:		
Tufo vulcanico	17,0	"
Calcere compatto	26,0	"
Calcere tenero	22,0	"
Granito	27,0	"
Laterizio (pieno)	18,0	"
Malta di calce	18,0	"
Malta di cemento	21,0	"

# Pesi propri

## Pesi propri di elementi costruttivi

Materiali	Peso dell'unità di volume o di superficie	
<b>A) Malte</b>		
Malta bastarda	19,00	kN/m <sup>3</sup>
Malta di gesso	12,00	"
Intonaco (spessore 1,5 cm)	0,30	kN/m <sup>2</sup>
<b>B) Manti di copertura</b>		
Manto impermeabilizzante di asfalto o simile	0,30	"
Manto impermeabilizzante prefabbricato con strati bituminosi di feltro, di vetro o simili	0,10	"
Tegole mantate (embrici e coppi)	0,60	"
Sottotegole di tavelloni (spessore 3-4 cm)	0,35	"
Lamiere di acciaio ondulate o nervate	0,12	"
Lamiere di alluminio ondulate o nervate	0,05	"
Lastre traslucide di resina artificiale, ondulate o nervate	0,10	"
<b>C) Muratura</b>		
Muratura di mattoni pieni	18,00	kN/m <sup>3</sup>
Muratura di mattoni semipieni	16,00	"
Muratura di mattoni forati	11,00	"
Muratura di pietrame e malta	22,00	"
Muratura di pietrame listato	21,00	"
Muratura di blocchi forati di calcestruzzo	12,00	"
<b>D) Pavimenti (escluso sottofondo)</b>		
Gomma, linoleum o simili	0,10	kN/m <sup>2</sup>
Legno	0,25	"
Laterizio o ceramica o gres o graniglia (spessore 2 cm)	0,40	"
Marmo (spessore 3 cm)	0,80	"
<b>E) Vetri</b>		
Normale (3 mm)	0,075	"
Forte (4 mm)	0,10	"
Spesso (5 mm)	0,125	"
Spesso (6 mm)	0,15	"
Retinato (8 mm)	0,20	"

# Pesi propri

## Pesi propri di materiali in deposito e insilabili

Materiali	Peso dell'unità di volume $\frac{kN}{m^3}$	Materiali	Peso dell'unità di volume $\frac{kN}{m^3}$
<b>A) Laterizi diversi</b>		<b>E) Rocce</b>	
Mattoni pieni comuni	17,00	Ardesia	27,00
Mattoni semipieni	13,00	Arenaria	23,00
Mattoni forati	8,00	Basalto	29,00
Mattoni refrattari	20,00	Calcere compatto	26,00
<b>B) Legnami</b>		Calcere tenero	22,00
Abete, acero, castagno,		Diorite	29,00
cileglio, duginale, lance,		Dolomia	26,00
mogano, olmo, pino,		Gneiss	27,00
pioppo, pino rigido,		Granito	27,00
salici	6,00	Marmo saccaroide	27,00
Carpini, faggio, frassino,		Pomice	8,00
noce, querce, robinia,		Porfido	26,00
teak	8,00	Sienite	28,00
Bosso, ebano	12,00	Travertino	24,00
<b>C) Metalli</b>		Tufo vulcanico	17,00
Acciaio	78,50	Argilla compatta	21,00
Alluminio	27,00	<b>F) Sostanze varie</b>	
Bronzo	88,00	Benzina	7,40
GHisa	72,50	Bitume	13,00
Leghe di alluminio	28,00	Calce in sacchi	10,00
Magnesio	18,00	Carbone in legna	3,20
Nichelio	88,00	Carbone fossile in pezzi	9,00
Ottone	86,00	Carta	10,00
Piombo	114,00	Cemento in sacchi	15,00
Rame	80,00	Dinamite	15,00
Stagno	73,00	Fibre tessili	13,50
Zinco	72,00	Ghiaccio	9,00
<b>D) Prodotti agricoli</b>		Lana di vetro	1,00
Erba fresca sciolta	4,00	Legname in ciocchi	4,00
Farina in sacchi	5,00	Petrolio	8,00
Fieno sciolto	0,70	Sughero	3,00
Fieno pressato	3,00	Torba asciutta	2,50
Fumento	7,80	Torba umida	8,00
Letame fresco	3,00	Vetro	25,00
Letame maturo	6,00	Acqua dolce	10,00
Mangimi in pani	10,00	Acqua di mare	10,30
Paglia sciolta	0,60		
Paglia pressata	1,50		
Tabacco legato o in balle	3,60		

Materiali	Peso dell'unità di volume $\frac{kN}{m^3}$	Angolo di attrito interno
<b>A) Materiali sciolti da costruzione</b>		
Sabbia	17,00	30°
Ghiaia e pietrisco	15,00	30°
Sabbia e ghiaia bagnata	20,00	30°
Sabbia e ghiaia asciutta	19,00	35°
Calce in polvere	10,00	25°
Cemento in polvere	14,00	25°
Cenere in coke	7,00	25°
Ceneri volanti	10,00	45°
Gesso	13,00	45°
Pomice	7,00	35°
<b>B) Combustibili solidi</b>		
Scone d'alto forno diametro medio 30-70 mm	15,00	40°
Scone d'alto forno, minute	11,00	25°
Scone leggere d'alto forno	7,00	35°
<b>C) Prodotti agricoli</b>		
Carbon fossile allo stato naturale mediamente umido	10,00	45°
Coke	5,00	45°
Lignite	7,00	35°
Mattonelle di lignite alla rinfusa	8,00	30°
<b>C) Prodotti agricoli</b>		
Barbabietola	5,50	40°
Crusca e farina	5,00	45°
Fumenti, legumi, patate, semi di lino, zucchero	7,50	35°
Riso	8,00	35°
Semola di grano	5,50	30°

## Carichi variabili per edifici

Sovraccarichi distinti per tipo di locale e per distribuzione spaziale.

I sovraccarichi verticali concentrati: verifiche locali distinte

I sovraccarichi orizzontali lineari vanno considerati sui singoli elementi

I sovraccarichi indicati non vanno cumulati, sulle medesime superfici, con quelli relativi alla neve.

	Tipo di locale	Verticali ripartiti kN/m <sup>2</sup>	Verticali concentrati kN	Orizzontali lineari kN/m
1	Ambienti non suscettibili di affollamento (locali abitazione e relativi servizi, alberghi, uffici non aperti al pubblico) e relativi terrazzi a livello praticabili	2,00	2,00	1,00
2	Ambienti suscettibili di affollamento (ristoranti, caffè, banche, ospedali, uffici aperti al pubblico, caserme) e relativi terrazze a livello praticabili	3,00	2,00	1,00
3	Ambienti suscettibili di grande affollamento (sale convegni, cinema, teatri, chiese, negozi, tribune con posti fissi) e relativi terrazzi a livello praticabili	4,00	3,00	1,50
4	Sale da ballo, palestre, tribune libere, aree di vendita con esposizione diffusa (mercati, grandi magazzini, librerie, ecc.), e relativi terrazzi a livello praticabili, balconi e scale	5,00	4,00	3,00
5	Balconi, ballatoi e scale comuni (esclusi quelli pertinenti alla Cat. 4)	4,00	2,00	1,50
6	Sottotetti accessibili (per sola manutenzione)	1,00	2,00	1,00
7	Coperture:			
	- non accessibili	0,50	1,20	-
	- accessibili: secondo categoria di appartenenza (da 1 a 4)	-	-	-
	- speciali (impianti, eliporti, altri): secondo il caso	-	-	-
8	Rimesse e parcheggi:			
	- per autovetture di peso a pieno carico fino a 30 kN	2,50	2 x 10,00	1,00
	- per transito di automezzi di peso superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso			
9	Archivi, biblioteche, magazzini, depositi, laboratori, officine e simili: da valutarsi secondo il caso ma comunque	≥6,00	6,00	1,00

# Neve

Carico neve sulle coperture:  $q_s = \mu_i q_{sk}$

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura;

$q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico neve al suolo.

Valore con  $T_R=200$  anni

## Zona I

$$q_{sk} = 1,60 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s < 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 1,60 + 3 (a_s - 200)/1000 \text{ kN/m}^2$$

$$200 < a_s < 750 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 3,25 + 8,5 (a_s - 750)/1000 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 750 \text{ m}$$

## Zona II

$$q_{sk} = 1,15 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s < 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 1,15 + 2,6 (a_s - 200)/1000 \text{ kN/m}^2$$

$$200 < a_s < 750 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 2,58 + 8,5 (a_s - 750)/1000 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 750 \text{ m}$$

## Zona III

$$q_{sk} = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s < 200 \text{ m}$$

$$q_{sk} = 0,75 + 2,2 (a_s - 200)/1000 \text{ kN/m}^2$$

$$200 < a_s < 750 \text{ m}$$

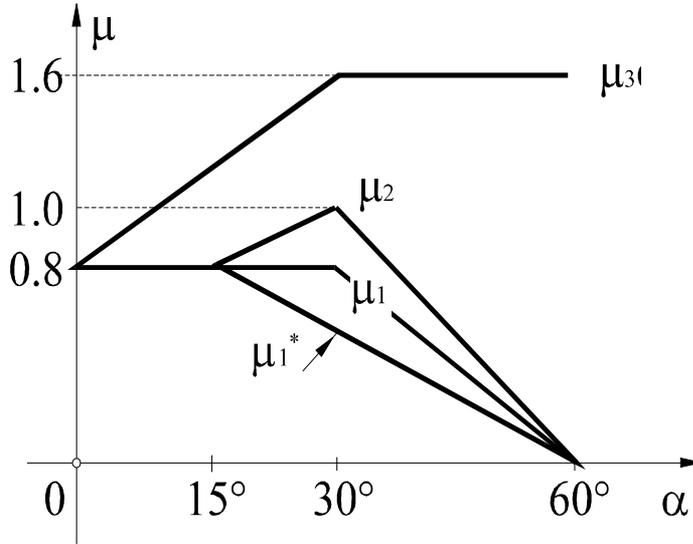
$$q_{sk} = 1,96 + 8,5 (a_s - 750)/1000 \text{ kN/m}^2$$

$$a_s > 750 \text{ m}$$

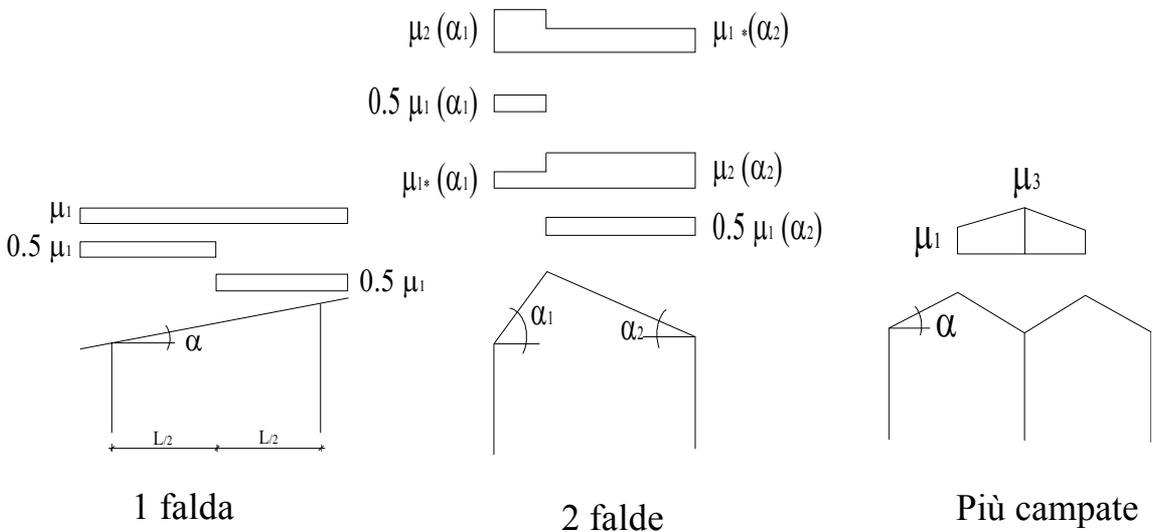


# Neve

coefficienti di forma della copertura a falde: dipendono dall'angolo di inclinazione



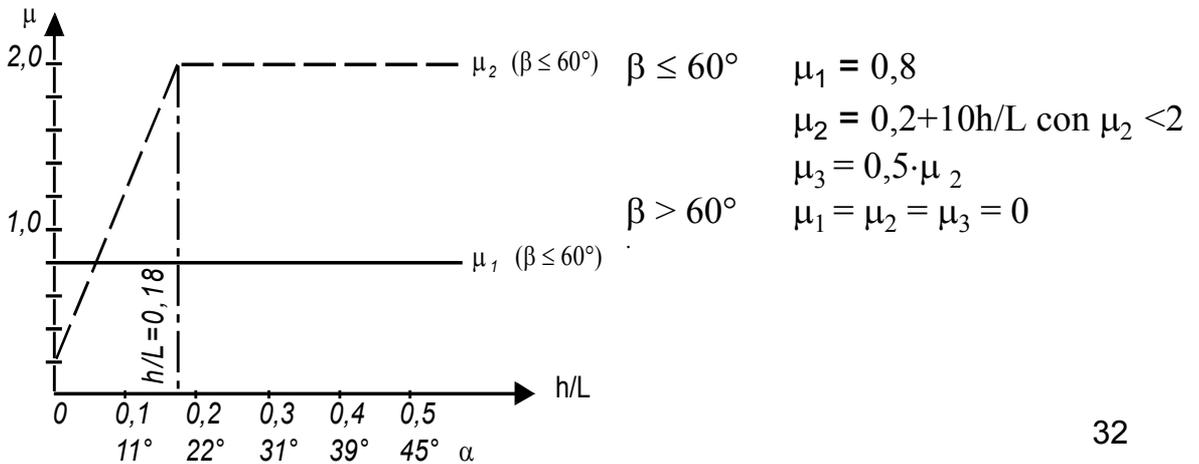
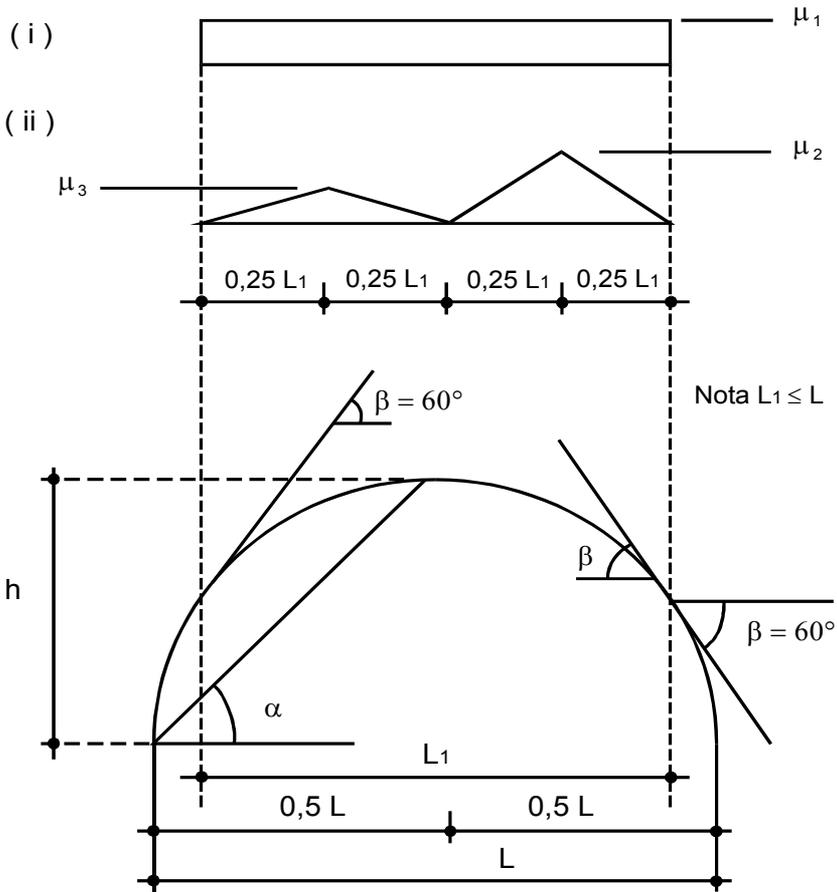
condizioni di carico per tetti a falde



# Neve

## coefficienti di forma di coperture particolari

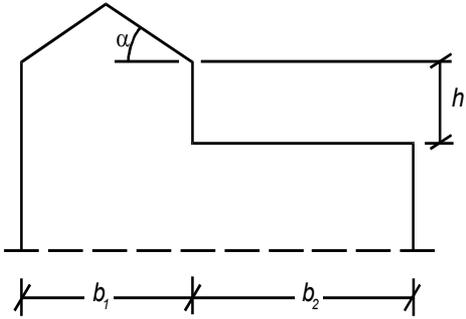
### Coperture cilindriche



# Neve

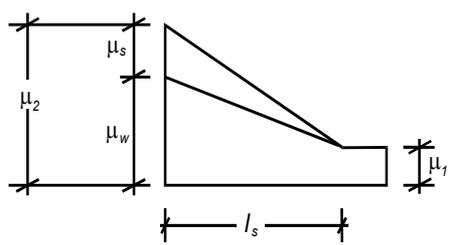
coefficienti di forma di coperture particolari

Coperture con bruschi cambiamenti di quota



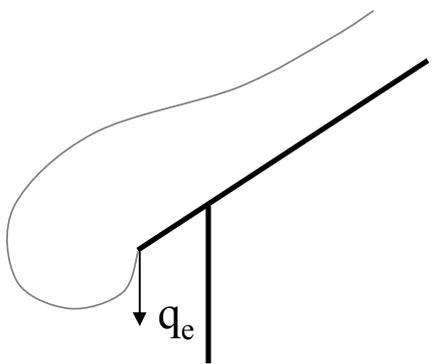
$$\mu_1 = 0,8$$
$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

$\mu_s$  = accumulo per scivolamento  
 $\mu_w$  = accumulo per trasporto di vento



$$l_s = 2h$$

Neve sporgente dall'estremità di una copertura



$$q_e = \frac{k \cdot \mu_i^2 \cdot q_{sk}^2}{\gamma}$$

$\gamma$  = densità della neve = 3 kN/m<sup>3</sup>

## Vento

Direzione di regola orizzontale.

Per le costruzioni usuali le azioni dinamiche sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti.

Per costruzioni di forma o tipologia inusuale, i necessita l'applicazione di specifici procedimenti analitici, numerici o sperimentali adeguatamente comprovati.

Pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

$$p = q_{ref} C_e C_p C_d$$

dove

$q_{ref}$  è la pressione cinetica di riferimento;

$C_e$  è il coefficiente di esposizione;

$C_p$  è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria e dell'orientamento rispetto alla direzione del vento.

$C_d$  è il coefficiente dinamico.

## Vento

$q_{ref}$  è la pressione cinetica di riferimento in  $kN/m^2$ ;

$$q_{ref} = v_{ref}^2 / 1.6$$

nella quale  $v_{ref}$  è la velocità di riferimento del vento (in  $m/s$ ).  $Tr = 50$  anni

$$v_{ref} = v_{ref,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_{ref} = v_{ref,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_s > a_0$$

$a_s$  è l'altitudine sul livello del mare (in  $m$ ) del sito.

Zona	Descrizione	$v_{ref,0}$ (m/s)	$a_0$ (m)	$k_a$ (1/s)
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,012
2	Emilia Romagna	25	750	0,024
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,030
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,030
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,024
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,030
7	Liguria	29	1000	0,024
8	Provincia di Trieste	31	1500	0,012
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,030

## Vento

$c_e$  è il coefficiente di esposizione;

dipende dall'altezza della costruzione  $z$  sul suolo, dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dall'esposizione del sito ove sorge la costruzione.

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \left[ 7 + c_t \cdot \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \right] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

Categorie di esposizione del sito	$k_r$	$z_0$ (m)	$z_{\min}$ (m)
I	0.17	0.01	2
II	0.19	0.05	4
III	0.20	0.10	5
IV	0.22	0.30	8
V	0.23	0.70	12

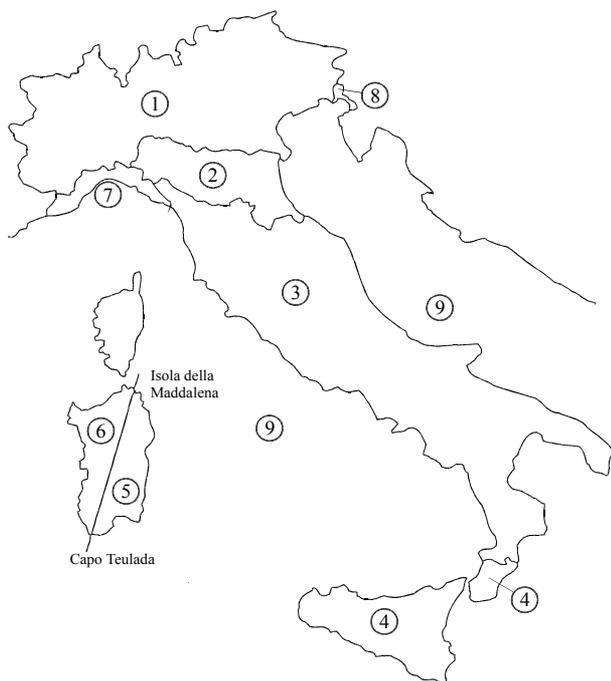
## Vento

rugosità e dalla topografia del terreno

Classi di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni, ...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi, ...)
<p>L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno.</p> <p>Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe di rugosità A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione.</p> <p>Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi rigorose, verrà assegnata la classe più sfavorevole.</p>	

# Vento

## categoria di esposizione del sito



ZONE 1,2,3,4,5						
	mare	costa	500m	750m		
	2 km	10 km	30 km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
	mare	costa	500m		
	2 km	10 km	30 km		
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

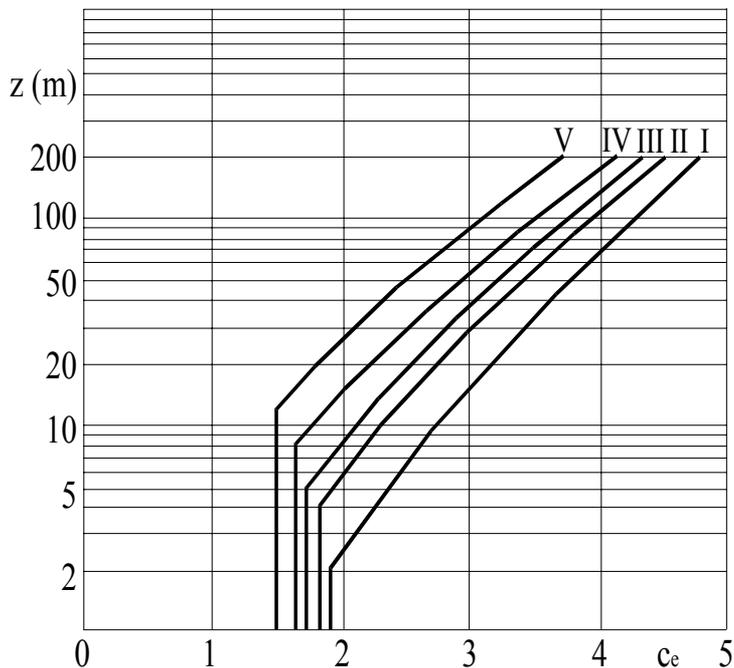
ZONE 7,8			
	mare	costa	
	1.5 km	0.5 km	
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
	mare	costa
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

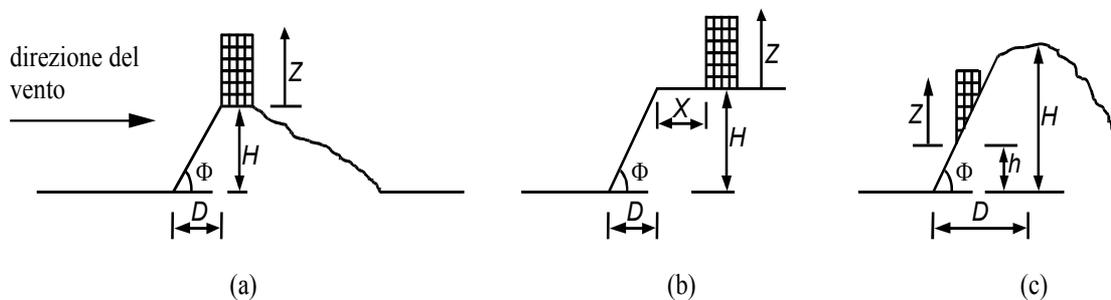
# Vento

$c_e$  è il coefficiente di esposizione;

per  $c_t = 1$  (pianura, zone ondulato, collinose, montane)



$c_t$  è il coefficiente di topografia.



# Vento

$c_p$  è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria e dell'orientamento rispetto alla direzione del vento.

$c_{pe}$  coefficiente di forma (esterno)

- per elementi sopravvento (cioè direttamente investiti dal vento)

$\alpha \geq 60^\circ$ :

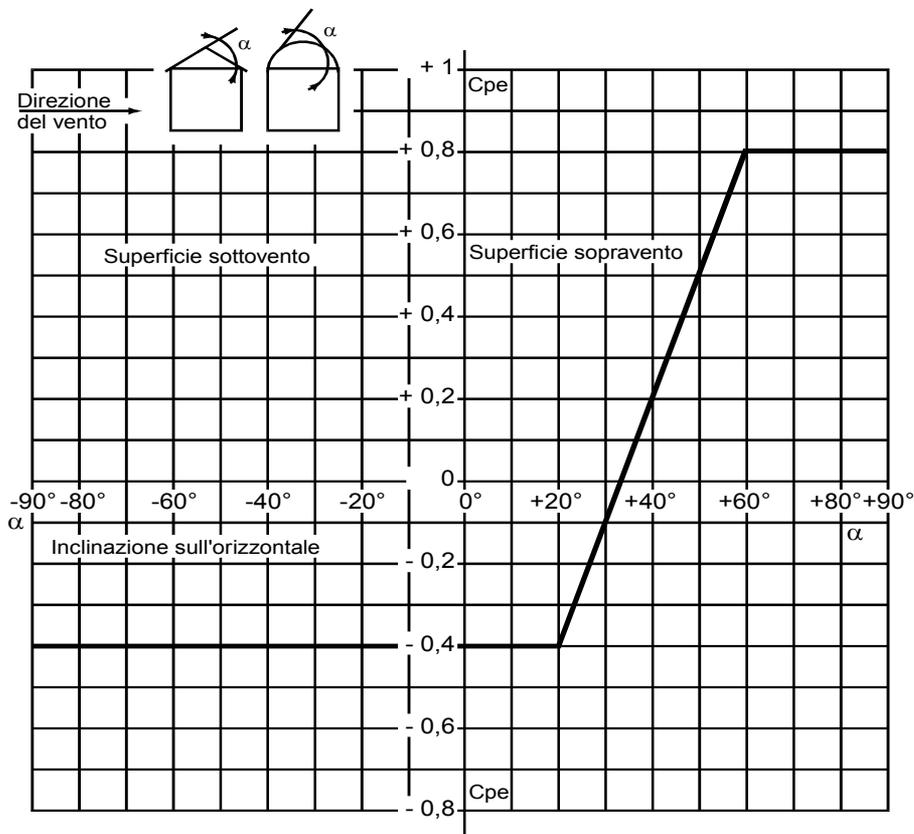
$c_{pe} = + 0,8$

- per elementi sopravvento,  $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ :

$c_{pe} = + 0,03 \alpha - 1$  (a in gradi)

- per elementi sopravvento,  $0^\circ < \alpha < 20^\circ$  e per elementi sottovento:

$c_{pe} = - 0,4$



## Vento

$c_p$  è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria e dell'orientamento rispetto alla direzione del vento.

$c_{pi}$  coefficiente di forma (interno)

- per costruzioni completamente stagne:  $c_{pi} = 0$

- per costruzioni non stagne:  $c_{pi} = \pm 0,2$

-per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale:

$c_{pi} = + 0,8$  quando la parete aperta è sopravento;

$c_{pi} = - 0,5$  quando la parete aperta è sottovento o parallela al vento;

-per costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale:

$c_{pe} + c_{pi} = \pm 1,2$  per gli elementi normali alla direzione del vento;

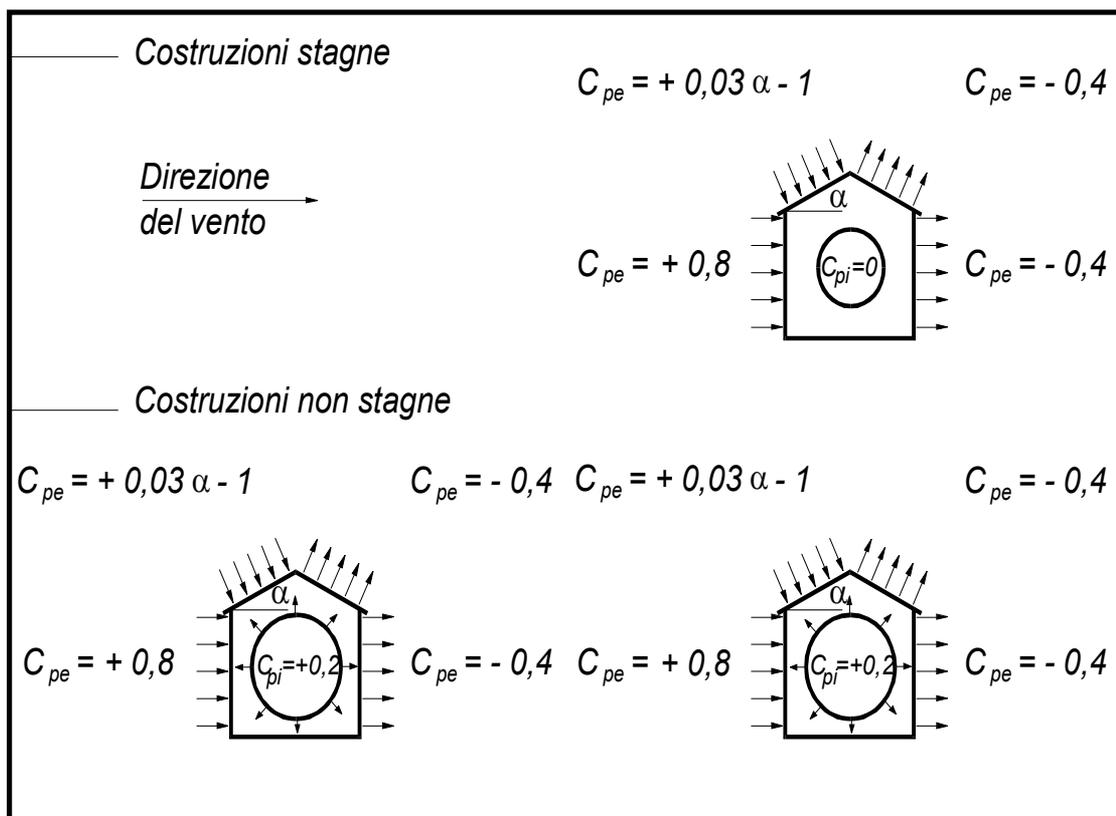
$c_{pi} = \pm 0,2$  per i rimanenti elementi.

# Vento

$c_p$  è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria e dell'orientamento rispetto alla direzione del vento.

$c_{pe}$  coefficiente di forma (esterno)

$c_{pi}$  coefficiente di forma (interno)



# Vento

$c_p$  è il coefficiente di forma, funzione della tipologia e della geometria e dell'orientamento rispetto alla direzione del vento.

## COPERTURE MULTIPLE

### TETTOIE E PENSILINE ISOLATE

- tettoie e pensiline a due spioventi piani

$$c_p = 0,6 \cdot (1 + \sin \alpha) \quad \text{per spiovente sopravvento}$$

$$c_p = 0,6 \quad \text{per spiovente sottovento}$$

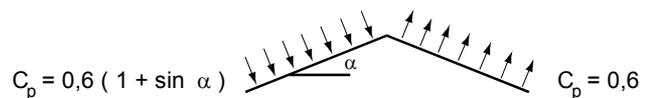
- tettoie e pensiline a un solo spiovente piano

$$c_p = 0,8 \quad \text{per } \alpha \leq 35^\circ$$

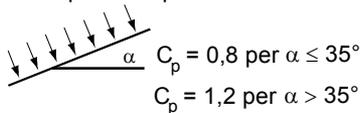
$$c_p = 1,2 \quad \text{per } \alpha > 35^\circ$$

Direzione  
del vento →

Due spioventi piani con displuvio



Uno spiovente piano



Due spioventi piani con impluvio

