

Corso di Aggiornamento  
Norme Tecniche per le Costruzioni

**Modulo 1**  
**Sicurezza Strutturale ed Azioni**

Ordine degli Ingegneri, Catania  
17 ottobre 2008  
Melina Bosco

# Carico da vento

DM 14/01/08 - Par. 3.3  
Eurocodice 1 - parte 1.4

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

L'avvento di tecnologie e materiali innovativi ha permesso una nuova generazione di opere di crescente arditezza e complessità caratterizzate da notevole snellezza e leggerezza

Tali opere si espongono all'azione aerodinamica del vento che assume il ruolo di azione primaria



Highcliff, Hong Kong, China, 2003



# Carico da vento

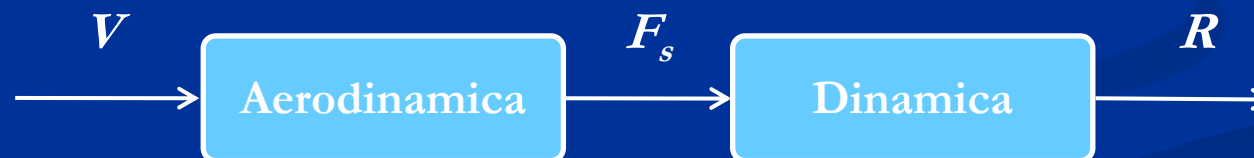
## Fondamenti

L'analisi delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni è fondata sulla valutazione della velocità del vento  $V$  nel sito della costruzione.....

Se gli spostamenti della struttura causati dal vento sono tali che lo stato del sistema si può identificare con la configurazione iniziale, la risposta  $R$  può essere determinata con i metodi classici dell'analisi strutturale.

Tale risposta è di tipo :

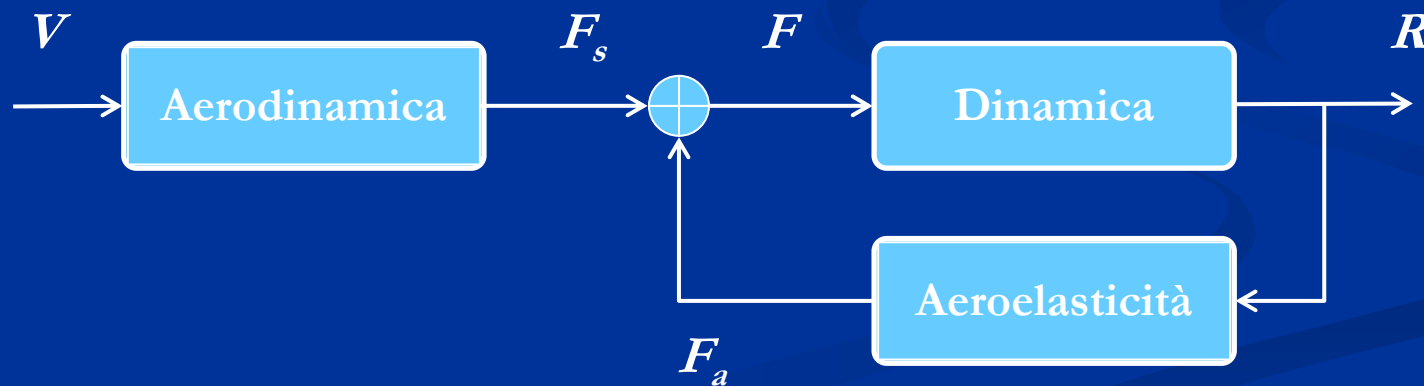
- statico, per le strutture di grandi dimensioni, rigide e smorzate
- dinamico per le strutture piccole o snelle, flessibili e/o poco smorzate.



# Azioni sulle costruzioni

## Fondamenti

In realtà, soprattutto nel caso delle strutture leggere, flessibili e/o poco smorzate, caratterizzate da una forma aerodinamica suscettibile alle azioni del vento, gli spostamenti e le velocità strutturali sono talvolta così grandi da provocare fenomeni d'interazione vento-struttura, detti aeroelastici, che modificano il vento incidente, le azioni aerodinamiche e la risposta.



# Azioni sulle costruzioni

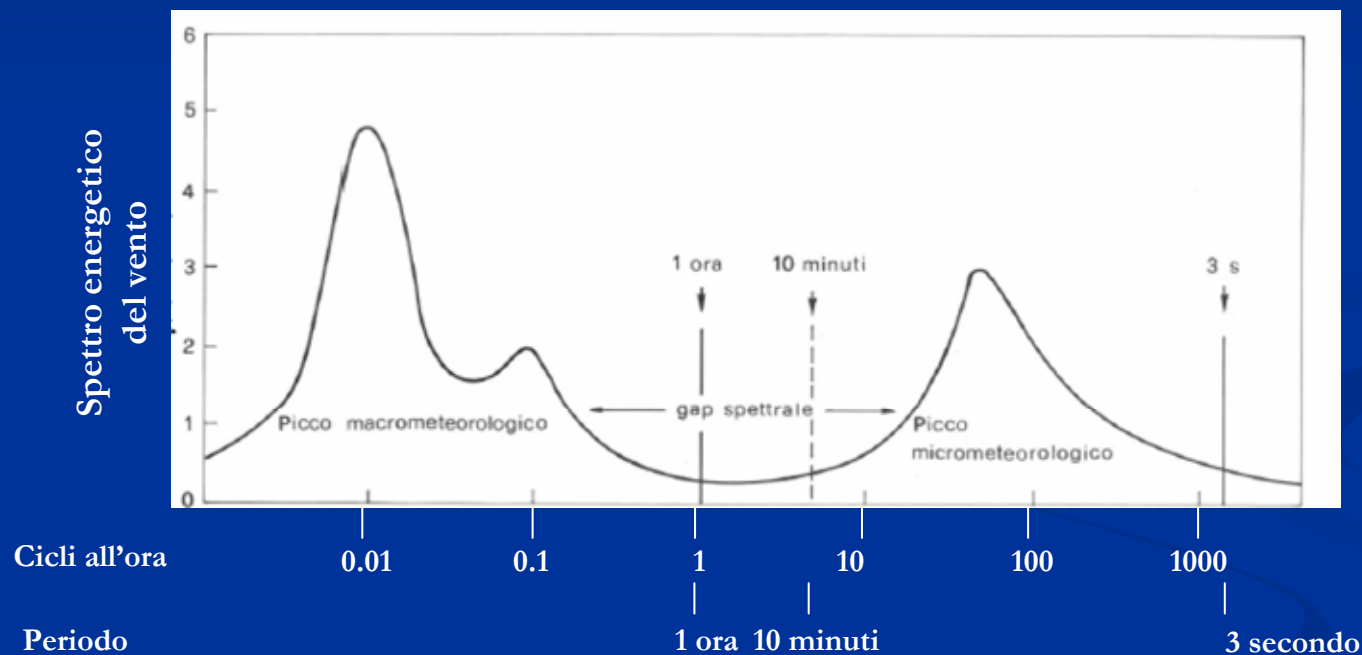
## Classificazione dei venti

CORRENTI PRIMARIE	Alisei	
	Venti occidentali	
	Venti orientali	
CORRENTI SECONDARIE	Cicloni	Extra-tropicali
		Tropicali
CORRENTI LOCALI	Legate a particolari condizioni geografiche	Brezze
		Föhn
		Venti catabatici
	Legate a particolari condizioni atmosferiche	Venti frontali
		Downburst
		Tromba d'aria

# Azioni sulle costruzioni

## Classificazione dei venti

### SPETTRO ENERGETICO DEL VENTO



Picco macro-meteorologico (corrisponde alla ricorrenza degli eventi eolici)

Picco micro-meteorologico (corrisponde alle fluttuazioni turbolente)

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

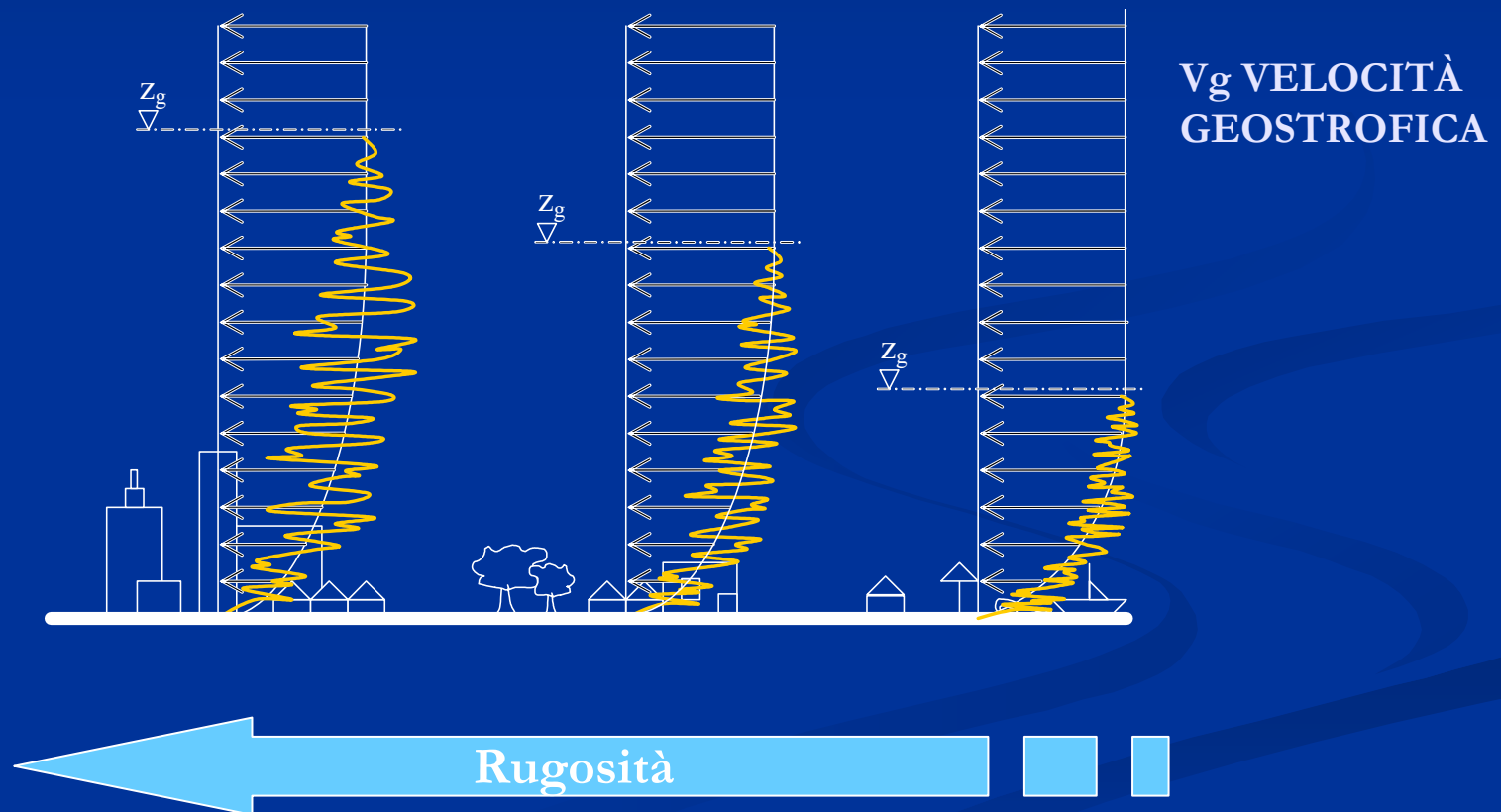


L'altezza del gradiente dipende dalla scabrezza del suolo espressa dal parametro  $z_0$  detto **LUNGHEZZA DI RUGOSITÀ**



# Carichi da vento

## PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITA' DEL VENTO



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### GENERALITA'

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni di forma o tipologia inusuale, oppure di grande altezza o lunghezza, o di rilevante snellezza e leggerezza, o di notevole flessibilità e ridotte capacità dissipative, il vento può dare luogo ad effetti la cui valutazione richiede l'uso di metodologie di calcolo e sperimentali adeguate allo stato dell'arte e che tengano conto della dinamica del sistema.

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

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

- Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne
- L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna ed interna
- Nel caso di costruzioni o elementi di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenti esercitate dal vento.
- L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando, come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio per le torri a base quadrata o rettangolare, si deve considerare anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

# Azioni sulle costruzioni

## Velocità e pressione cinetica del vento

La valutazione della velocità di progetto e della pressione cinetica di picco del vento procede secondo i passi seguenti:

- (a) definita la posizione geografica e l'altitudine sul livello del mare della costruzione, si valuta la velocità base di riferimento  $v_b$
- (b) definito il periodo di ritorno di progetto  $T_R$ , si valuta la velocità di riferimento di progetto  $v_r$
- (c) definita la rugosità locale del terreno nel sito ove sorge la costruzione, si determina la categoria di esposizione;
- (d) definita la topografia locale del sito ove sorge la costruzione, si valuta il coefficiente di topografia  $c_t$
- (e) si valuta la pressione cinetica di picco del vento  $q_p$ .

# Azioni sulle costruzioni

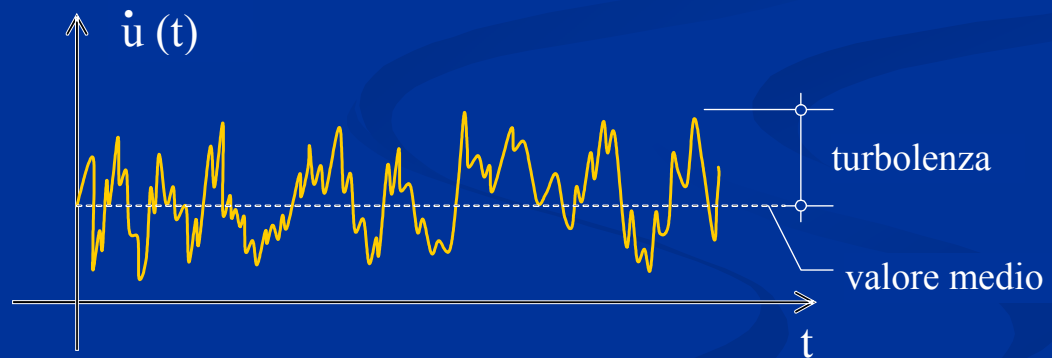
## Carichi da vento

### ANDAMENTO TEMPORALE DELLA VELOCITA' DEL VENTO

La velocità del vento si può calcolare con:

- anemometro a coppe
- anemometro a filo caldo

Registrazione della  
velocità del vento



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### VELOCITA' DI RIFERIMENTO

$v_b$  è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

$$\begin{aligned} v_b &= v_{b,0} && \text{per } a_s \leq a_0 \\ v_b &= v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) && \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m} \end{aligned}$$

dove:

$v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_a$  sono parametri forniti in tabella e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone;  
 $a_s$  è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

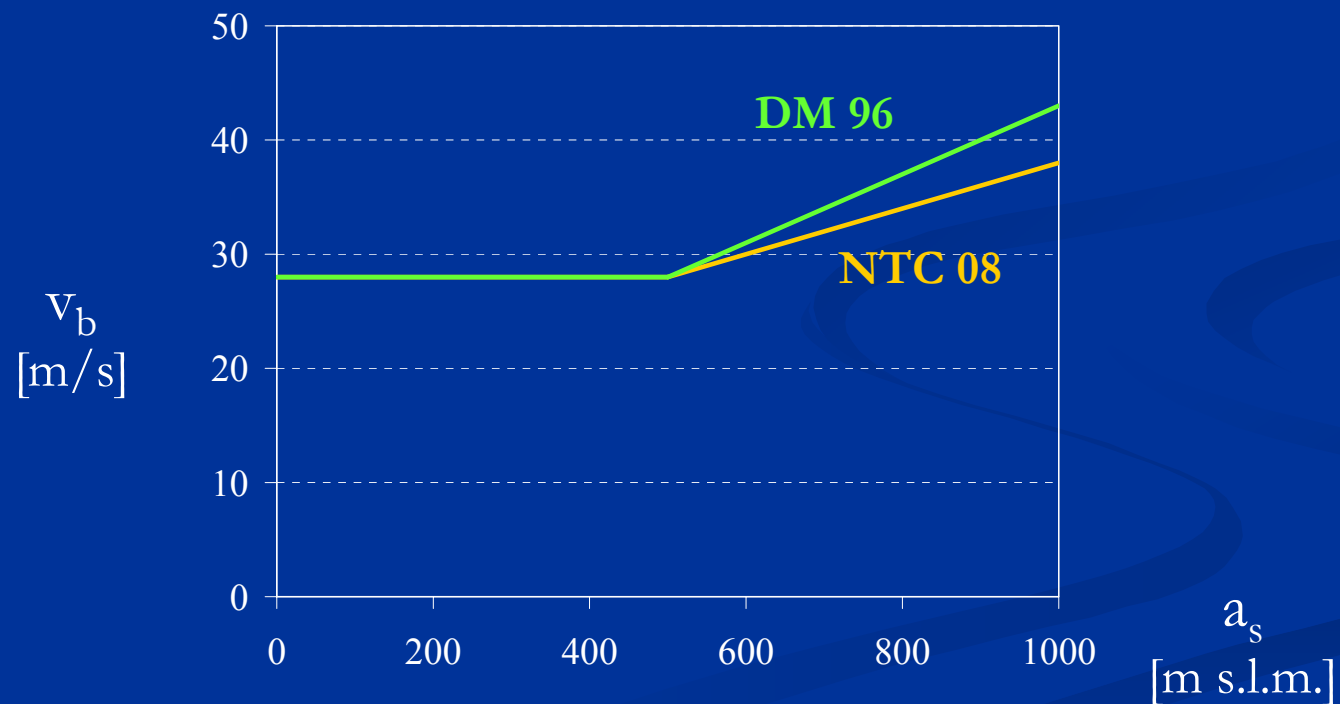
Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con eccezione provincia di Trieste)	25	1000	0.010
2	Emilia Romagna	25	750	0.015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0.020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0.015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0.020
7	Liguria	28	1000	0.015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0.010
9	Isole (con l'esclusione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0.020



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Variazioni in normativa nella velocità di riferimento del vento per la Sicilia



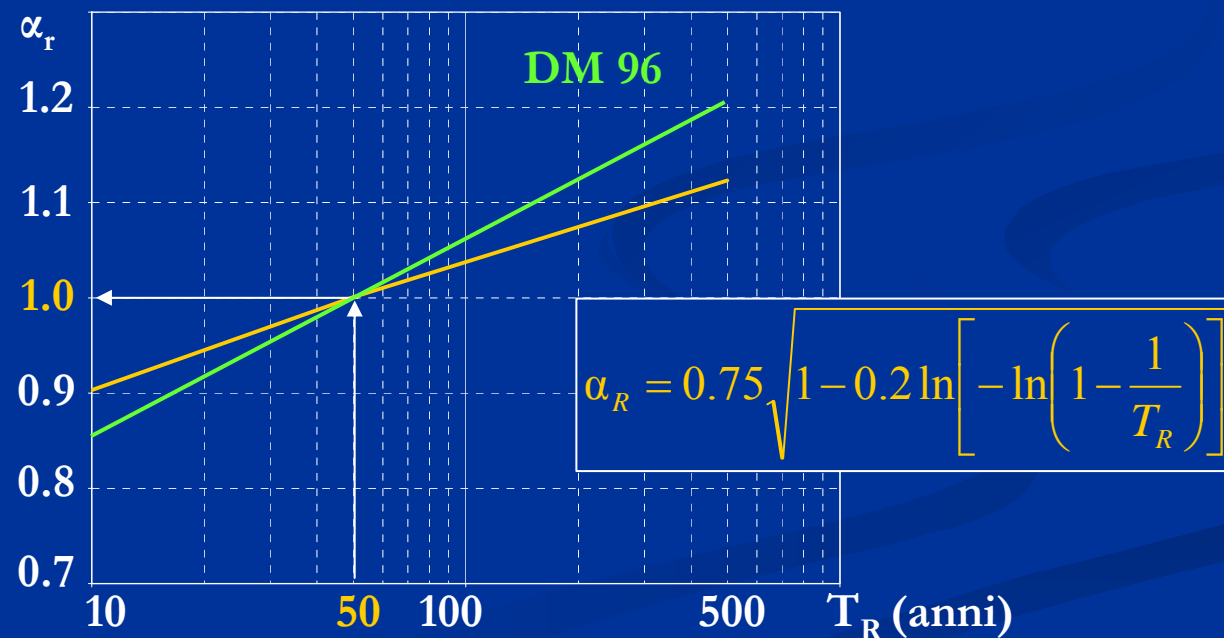
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### VELOCITA' DI RIFERIMENTO

Per periodi di ritorno diversi da 50 anni ( $10 \leq T_r \leq 500$  anni)

$$v_b(T_R) = \alpha_R v_b$$



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### PRESSIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

dove

$q_b$  è la pressione cinetica di riferimento;

$c_e$  è il coefficiente di esposizione;

$c_p$  è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

$c_d$  è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### AZIONE TANGENZIALE DEL VENTO

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione:

$$p_f = q_b c_e c_f$$

dove

$q_b$  ,  $c_e$  sono la pressione cinetica di riferimento e il coefficiente di esposizione;

$c_f$  è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

La pressione cinetica di riferimento  $q_b$  (in N/m<sup>2</sup>) è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$



EQUAZIONE DI  
BERNOULLI

dove

$v_b$  è la velocità di riferimento del vento (in m/s);

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1.25 kg/m<sup>3</sup>.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot v_b^2 = 0.625 \cdot v_b^2 = \frac{1}{1.6} v_b^2$$

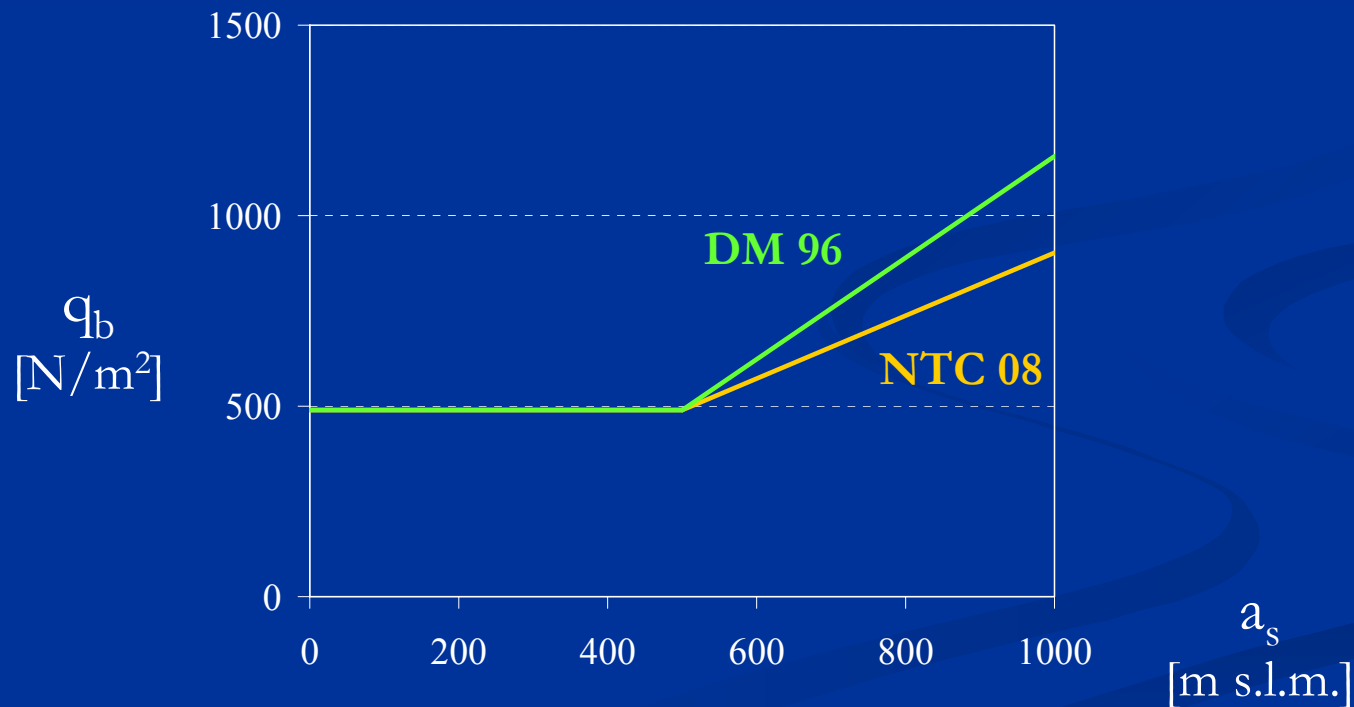
Espressione fornita  
nel DM 96

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

Si riscontrano riduzioni della pressione di riferimento analoghe a quelle ottenute per la velocità di riferimento



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione  $c_e$  dipende dall'altezza  $z$  sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m:

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

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

dove

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

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

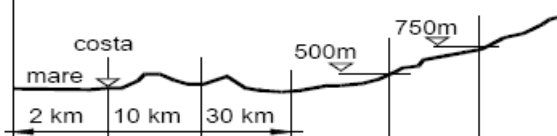
(segue)

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### CATEGORIA DI ESPOSIZIONE

#### ZONE 1, 2, 3, 4, 5

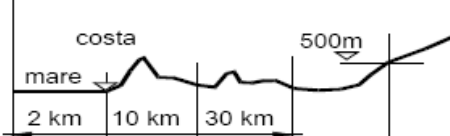


		2 km	10 km	30 km	500m	750m
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**

\* 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



		2 km	10 km	30 km
A	--	III	IV	V
B	--	II	III	IV
C	--	II	III	III
D	I	I	II	II

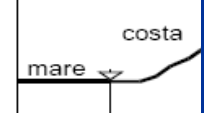
#### ZONE 7, 8



		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



A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Categoria di esposizione	$k_r$	$z_0$ [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



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### CLASSE DI RUGOSITA'

A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
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 (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe 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.

Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### CLASSE DI RUGOSITA'

**A** Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m

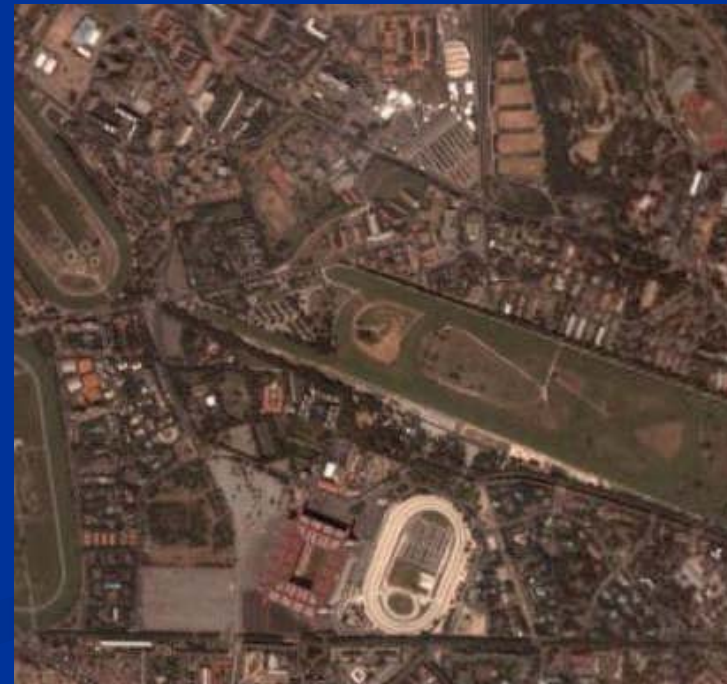


# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### CLASSE DI RUGOSITA'

**B** Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive





# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### CLASSE DI RUGOSITA'

**C** Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### CLASSE DI RUGOSITA'

**D** Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

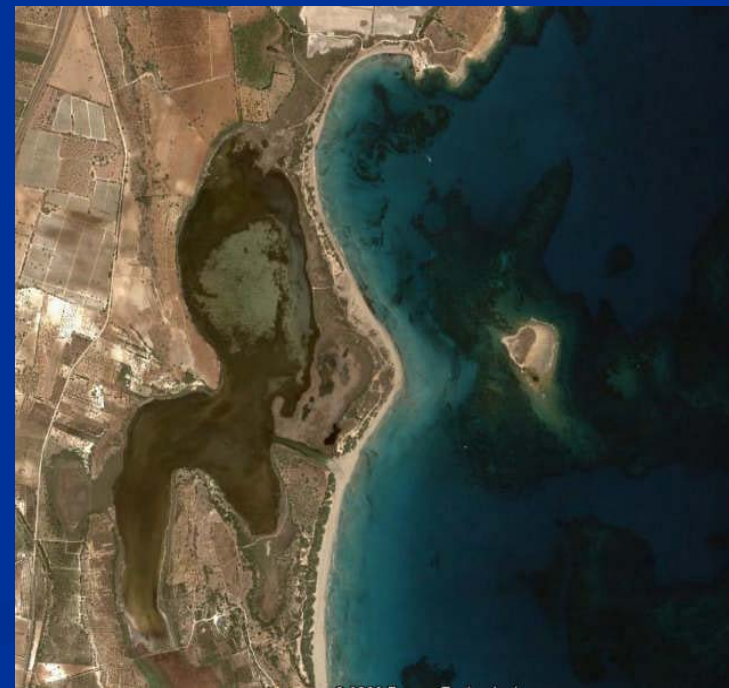
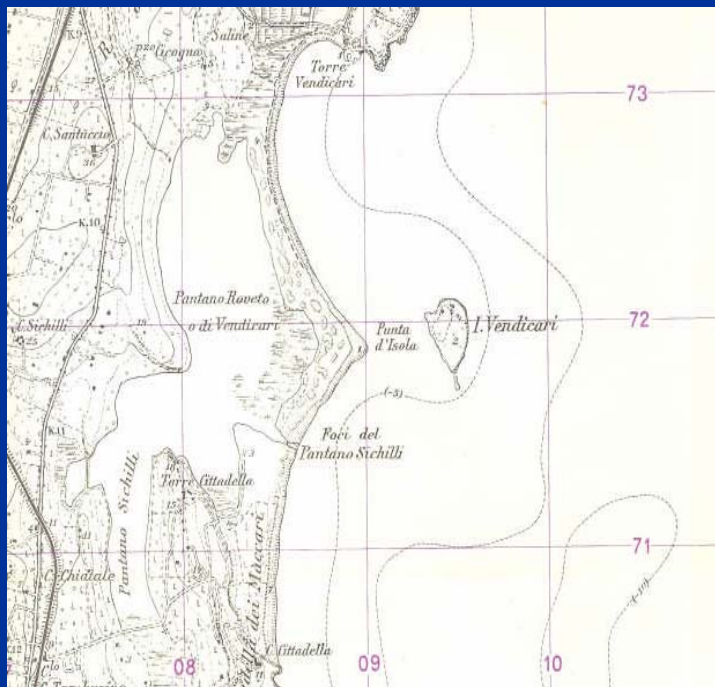


# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### CLASSE DI RUGOSITA'

**D** Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)





# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI TOPOGRAFIA

Il coefficiente di topografia  $c_t$  è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

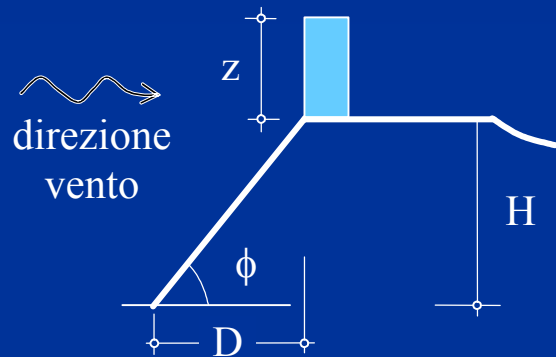
Nel caso di costruzioni ubicate presso la sommità di colline o pendii isolati il coefficiente di topografia può essere valutato dal progettista con analisi più approfondite.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

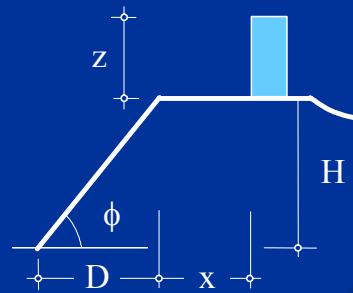
### COEFFICIENTE DI TOPOGRAFIA

Costruzioni ubicate sulla  
cresta di una collina



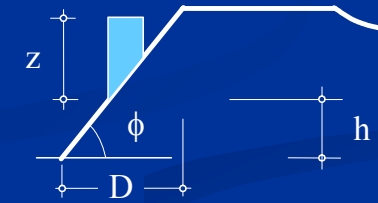
$$c_t = 1 + \beta\gamma$$

Costruzioni sul livello  
superiore di un dislivello



$$c_t = 1 + \beta\gamma(1 - 0.1x/H) \geq 1$$

Costruzioni su un pendio



$$c_t = 1 + \beta\gamma h/H$$

$$\beta = 0.5$$

$$z/H \leq 0.75$$

$$\beta = 0.8 - 0.4 z/H$$

$$0.75 < z/H \leq 2$$

$$\beta = 0.0$$

$$z/H > 2$$

$$\gamma = 0.0$$

$$H/D \leq 0.10$$

$$\gamma = 5(H/D - 0.10) \quad 0.10 < H/D \leq 0.30$$

$$\gamma = 1.0$$

$$H/D > 0.30$$



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

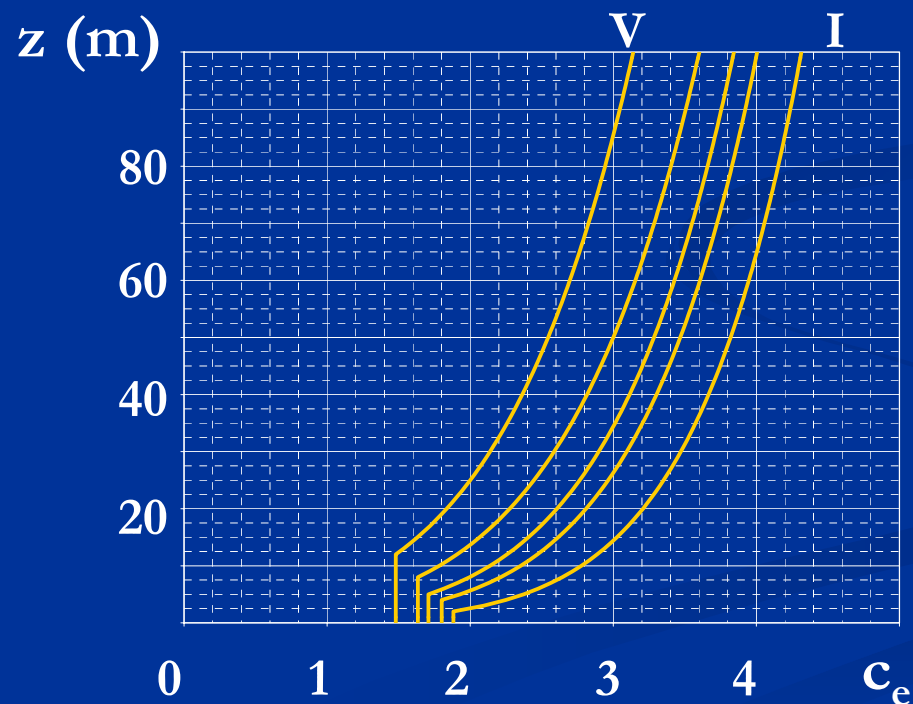
### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

$$c_e(z) = k_r 2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)]$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min})$$

per  $z \geq z_{\min}$

per  $z < z_{\min}$



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

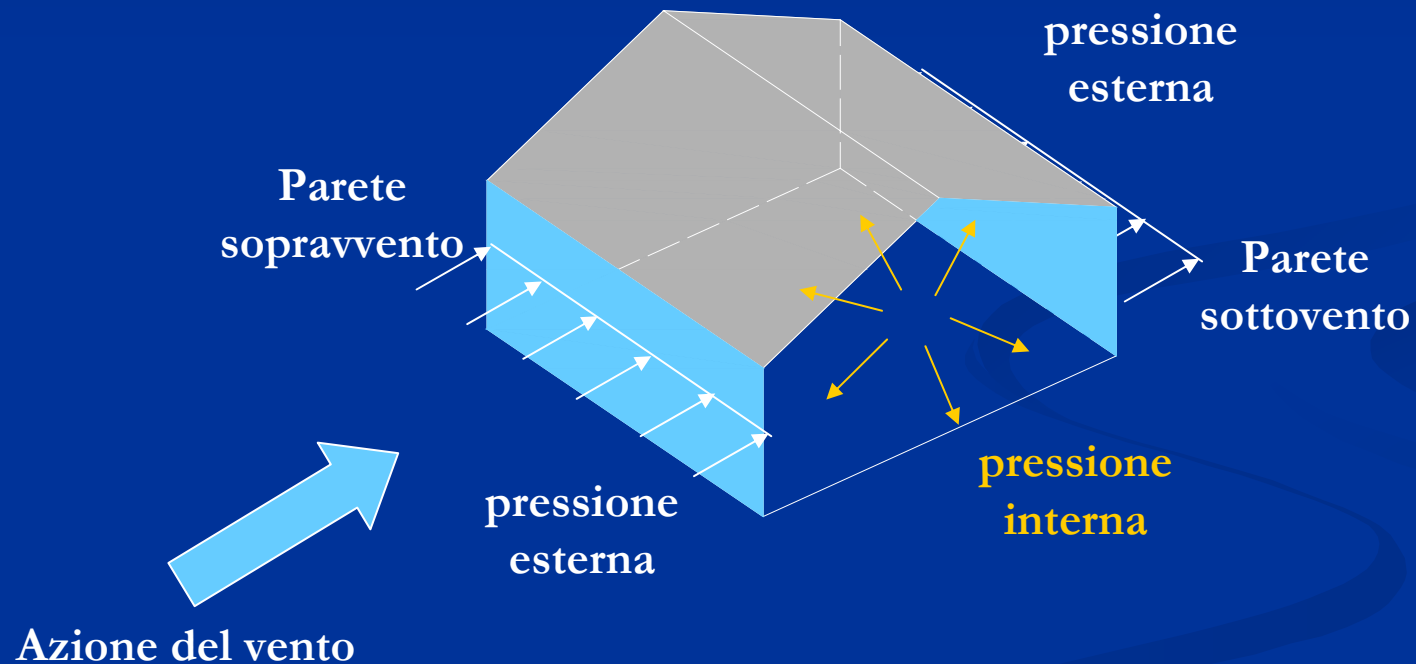
### COEFFICIENTE DI ATTRITO

Superficie	Coeff. di Attrito $C_f$
Liscia (acciaio, cemento a faccia liscia...)	0.01
Scabra (cemento a faccia scabra, catrame...)	0.02
Molto scabra (ondulata, costolata, piegata...)	0.04

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA



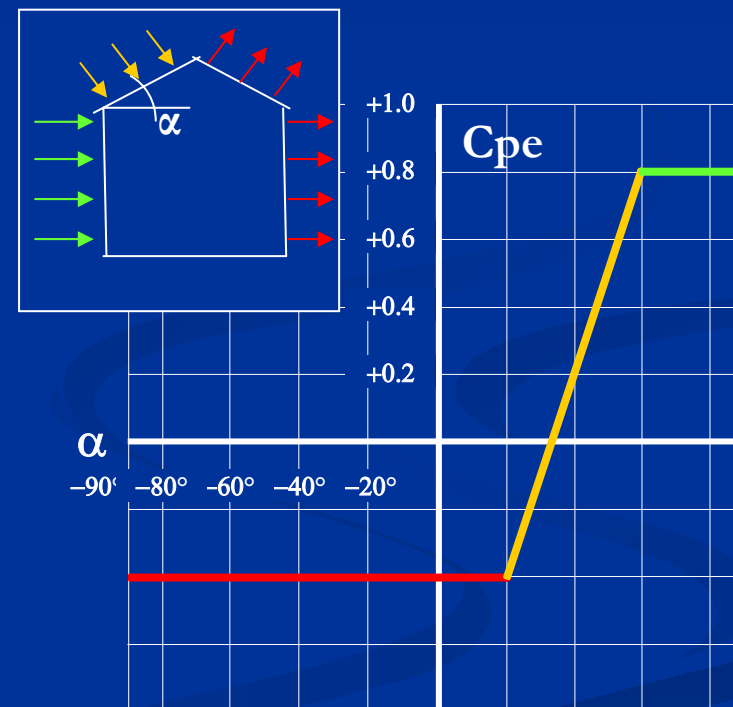
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA (esterno)

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curve

- per elementi sopravvento con inclinazione sull'orizzontale  $\alpha \geq 60^\circ$ :  
 $c_{pe} = + 0,8$
- per elementi sopravvento, con inclinazione sull'orizzontale  $20^\circ < \alpha < 60^\circ$ :  
 $c_{pe} = + 0,03 \alpha - 1$  ( $\alpha$  in gradi)
- per elementi sopravvento, con inclinazione sull'orizzontale  $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$  e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente):  
 $c_{pe} = - 0,4$



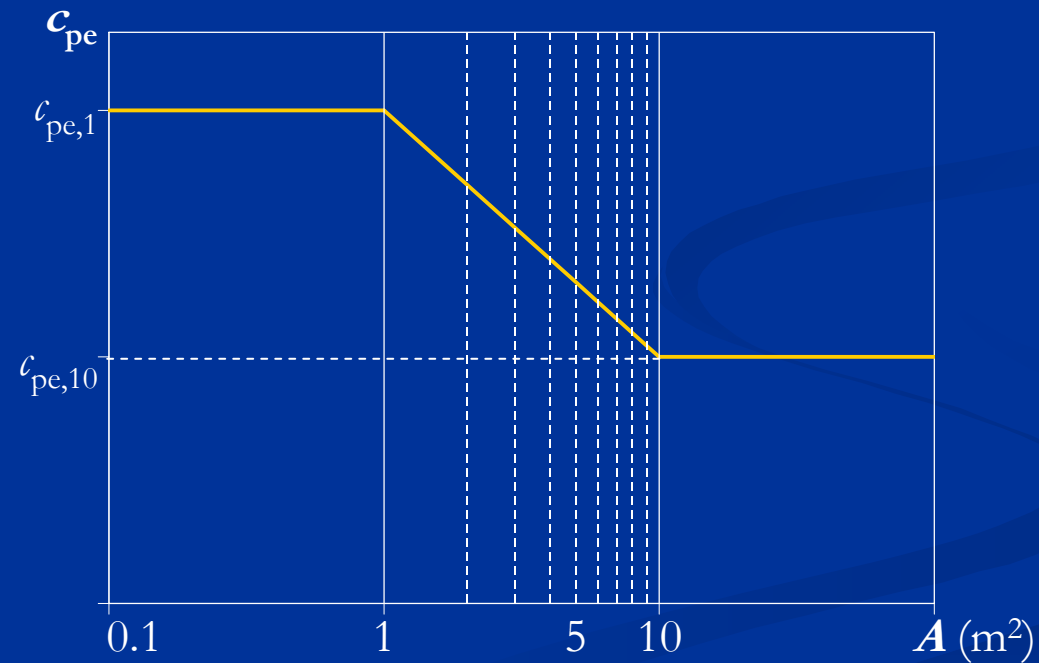
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA (esterno)

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curve

I coefficienti di pressione esterna dipendono dalla dimensione dell'area caricata  $A$

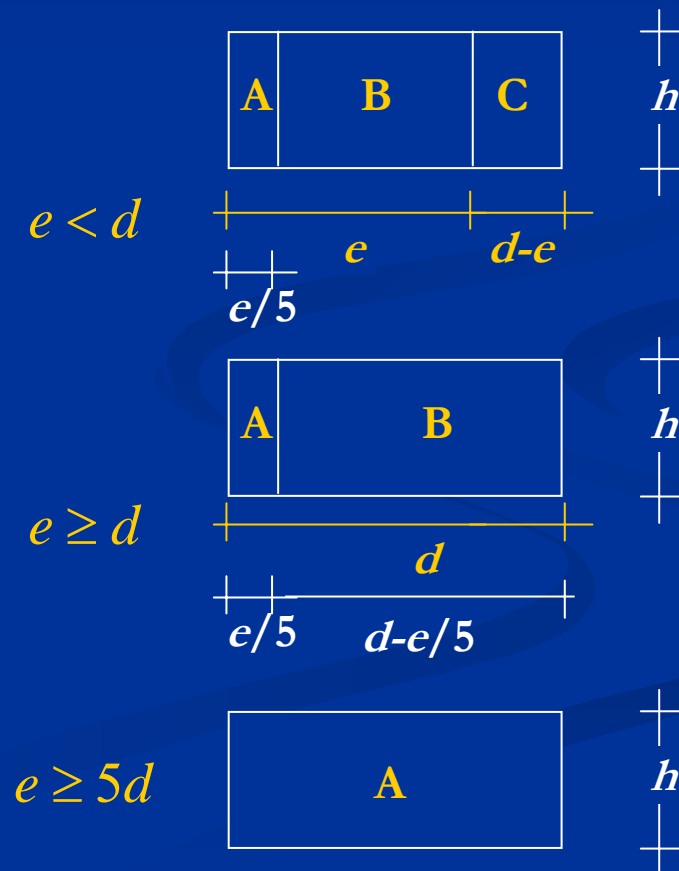
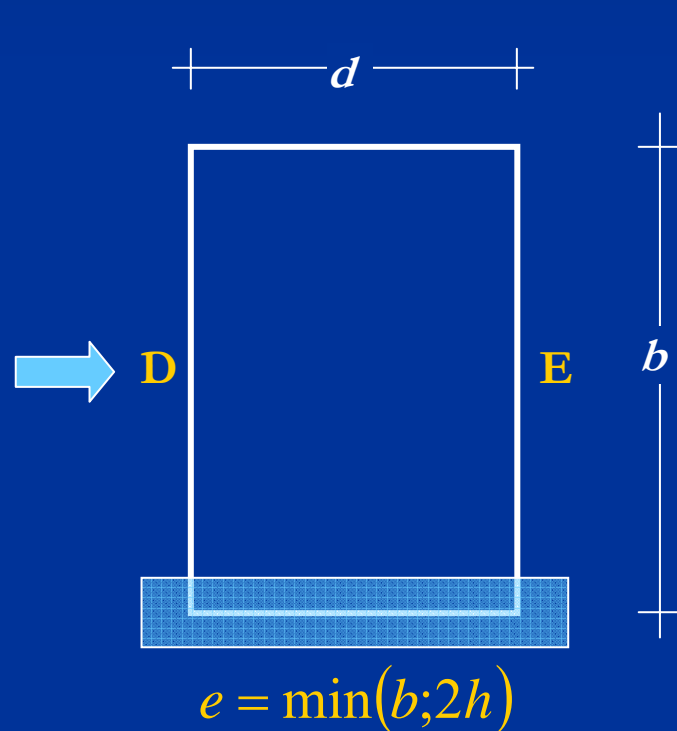


# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curve

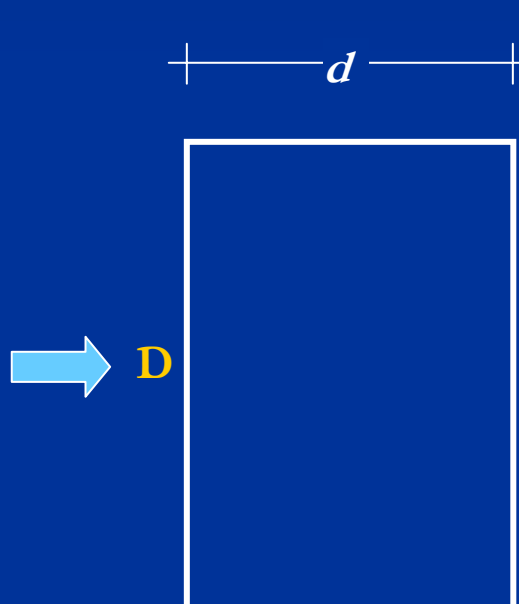


# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curve



Zona	A		B		C		D		E	
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		0.8	1.0	-0.7	
1	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		0.8	1.0	-0.5	
$\leq 0.25$	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5		0.7	1.0	-0.3	

# Azioni sulle costruzioni

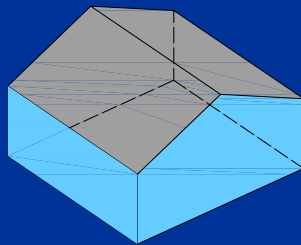
## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA (interno)

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curve

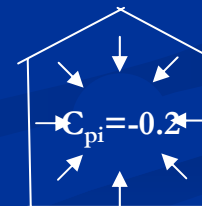
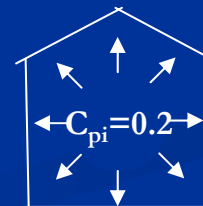
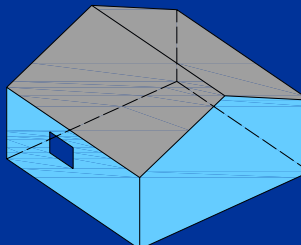
- costruzioni completamente stagne:

$$c_{pi} = 0$$



- costruzioni che hanno (o possono avere) una parete con aperture di superficie minore di 1/3 di quella totale:

$$c_{pi} = \pm 0,2$$





# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA (interno)

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate o curve

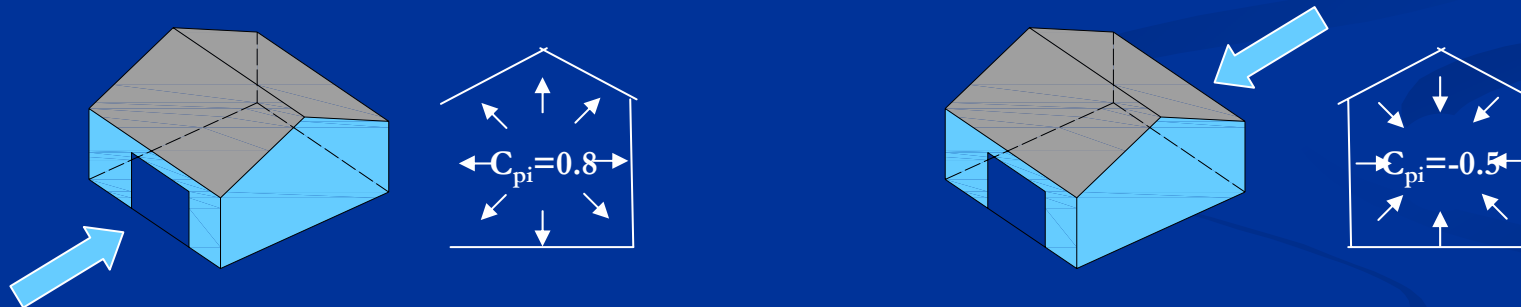
- costruzioni che hanno una parete con aperture di superficie non minore di  $1/3$  di quella totale:

$$c_{pi} = +0,8$$

parete aperta sopravvento;

$$c_{pi} = -0,5$$

parete aperta sottovento o parallela al vento;



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

$$c_{pe} + c_{pi} = \pm 1,2$$

elementi normali al vento;

$$c_{pi} = \pm 0,2$$

per rimanenti elementi

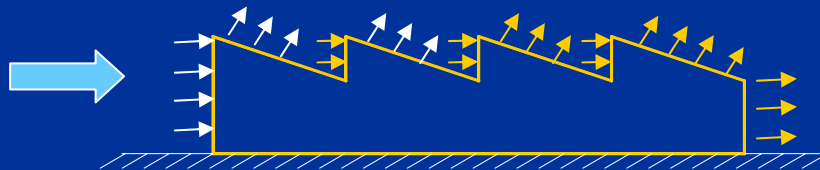
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

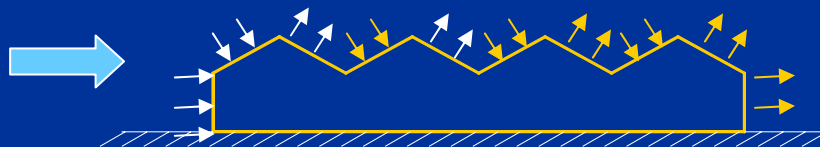
### COEFFICIENTE DI FORMA

Edifici con coperture multiple (in direzione ortogonale alle linee di colmo)

Azioni sui singoli elementi:

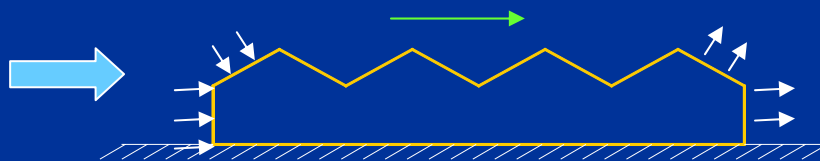


Riduzione del 25% del  $c_{pe}$  del secondo spiovente sopravvento



Riduzione del 25% del  $c_{pe}$  di entrambi gli spioventi delle coperture successive

Azioni d'insieme:



Si applicano al primo e all'ultimo spiovente le pressioni valutate per edifici singoli

Azione tangenziale sulla superficie proiettata in piano  $0.10 q_{ref} c_e$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

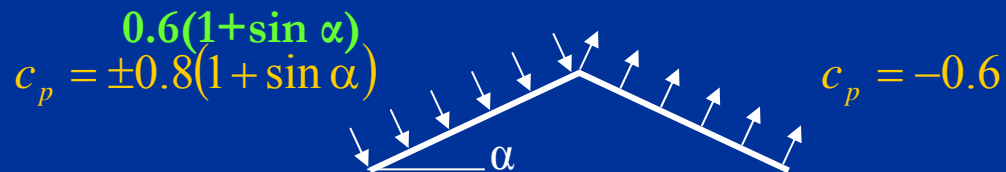
Tettoie e pensiline isolate (con  $h/L_{\max} < 1$ )

Tettoie a due spioventi piani



direzione vento

$$c_p = \pm 0.8(1 + \sin \alpha)$$

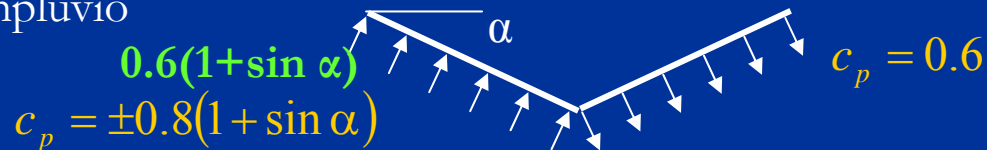


Tettoie a due spioventi con impluvio



direzione vento

$$c_p = \pm 0.8(1 + \sin \alpha)$$



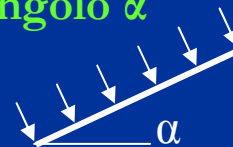
Tettoie ad uno spiovente piano



direzione vento

$$c_p = \pm 1.2(1 + \sin \alpha)$$

dipendeva dall'angolo  $\alpha$

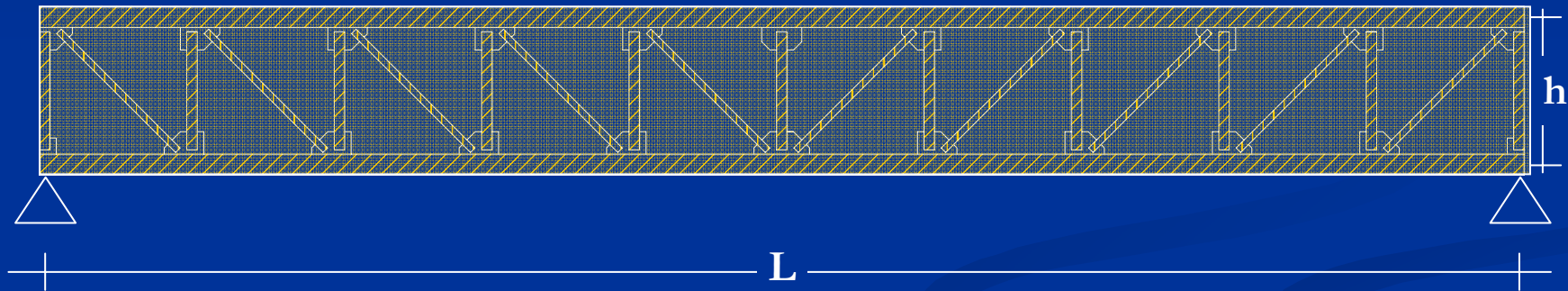


# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

Travi isolate ad anima piena e reticolari



$$\left. \begin{array}{l} \text{Hatched area} \quad S_p \\ \text{Dotted area} \quad S = L \times h \end{array} \right\} \varphi = \frac{S_p}{S} \rightarrow$$

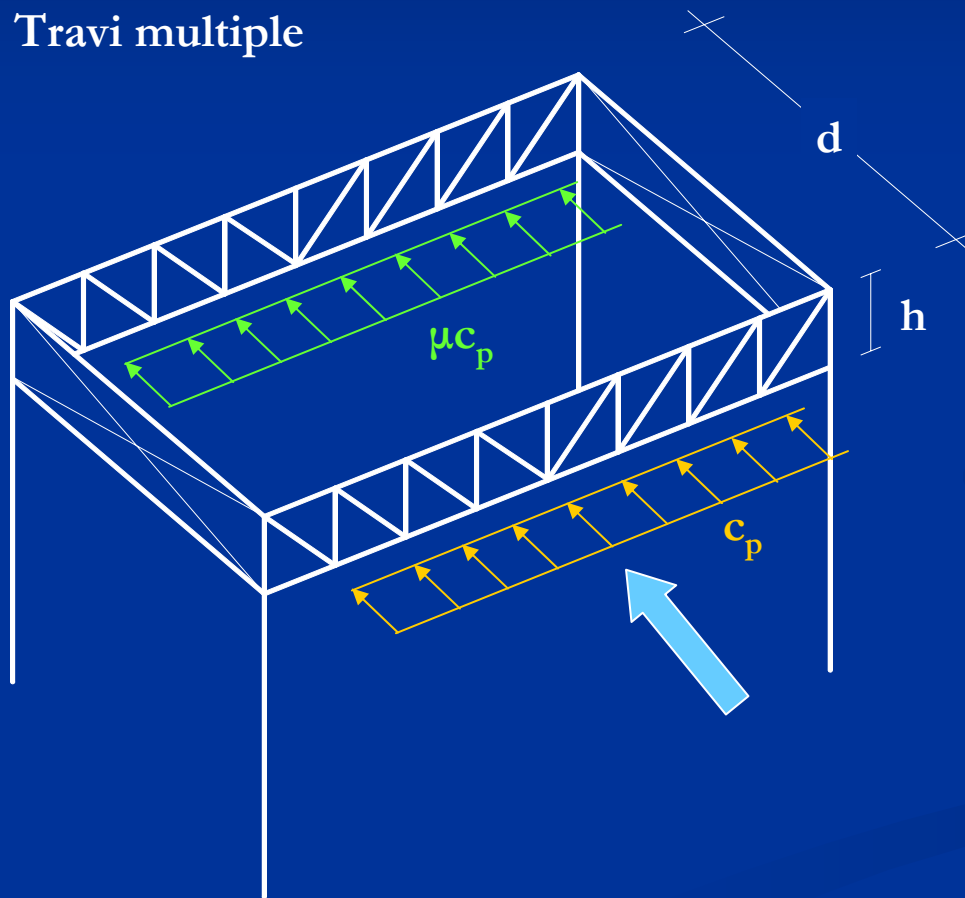
$$\begin{array}{lll} c_p = 2 - \frac{4}{3} \varphi & \text{per} & \varphi < 0.3 \\ c_p = 1.6 & \text{per} & 0.3 \leq \varphi < 0.8 \\ c_p = 2.4 - \varphi & \text{per} & 0.8 \leq \varphi \leq 1.0 \end{array}$$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

Travi multiple



Per travi con  $d \leq 2h$ :

$$\mu = 1 - 1.2\varphi \quad \text{per } \varphi \leq \frac{2}{3}$$

$$\mu = 0.2 \quad \text{per } \varphi \geq \frac{2}{3}$$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

Torri e pali a traliccio a sezione rettangolare o quadrata

Per vento diretto normalmente ad una delle pareti:

$$c_p = \begin{cases} 2.4 & \text{per torri con elementi tubolari a sezione circolare} \\ 2.8 & \text{per torri con elementi aventi sezione diversa dalla circolare} \end{cases}$$

L'azione di insieme esercitata dal vento spirante normalmente ad una delle pareti va valutata con riferimento alla superficie della parte piena di una sola faccia

Per vento diretto secondo la bisettrice dell'angolo formato tra le due pareti:

$$c_p = \begin{cases} 1.15 \times 2.4 & \text{per torri con elementi tubolari a sezione circolare} \\ 1.15 \times 2.8 & \text{per torri con elementi aventi sezione diversa dalla circolare} \end{cases}$$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

#### Corpi cilindrici

Per corpi cilindrici a sezione circolare di diametro  $d$  e altezza  $h$  (in metri):

$$c_p = \begin{cases} 1.2 & \text{per } d\sqrt{q} \leq 2.2 \\ 1.783 - 0.263d\sqrt{q} & \text{per } 2.2 < d\sqrt{q} \leq 4.2 \\ 0.7 & \text{per } 4.2 \leq d\sqrt{q} \end{cases}$$

essendo  $q = q_b c_e$  [N/m<sup>2</sup>]

L'azione d'insieme esercitata dal vento va valutata con riferimento alla superficie proiettata sul piano ortogonale alla direzione del vento.

Espressioni valide anche per corpi prismatici aventi per sezione un poligono regolare con numero di lati non inferiore ad 8 ( $d$  = diametro del cerchio circoscritto)

# Azioni sulle costruzioni

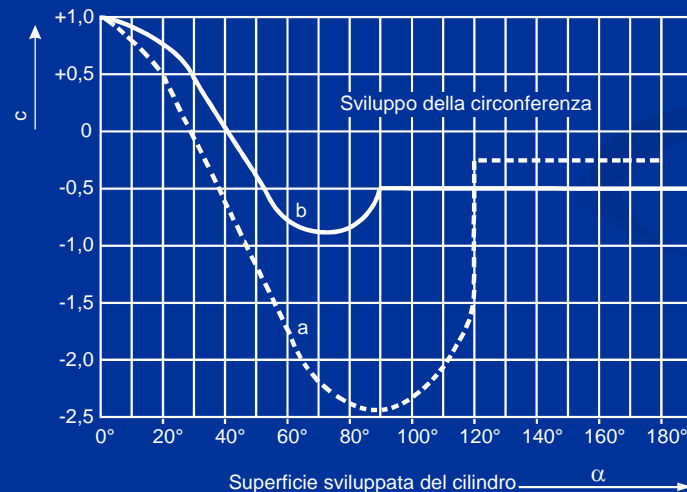
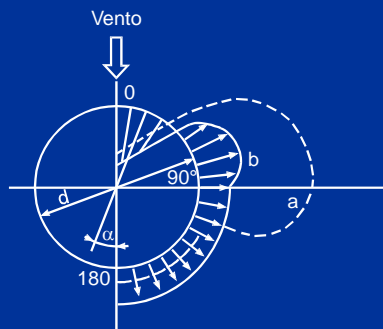
## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DI FORMA

#### Pressioni massime locali

Non devono essere tenute in conto per la determinazione delle azioni d'insieme

Distribuzione della pressione esterna sulle superfici cilindriche e sferiche



Curva a (superfici lisce)

Curva b (superfici ruvide)



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DINAMICO

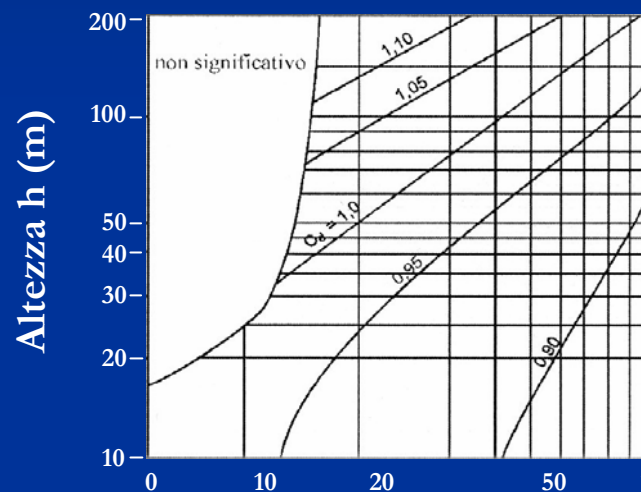
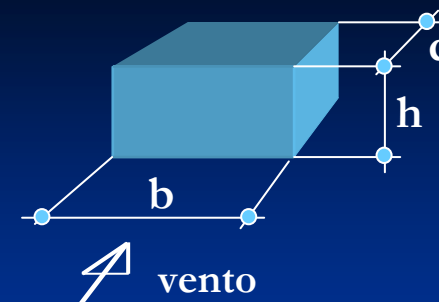
Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

# Azioni sulle costruzioni

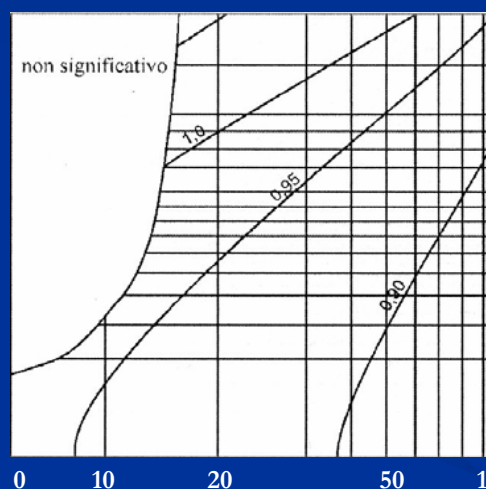
## Carichi da vento

### COEFFICIENTE DINAMICO



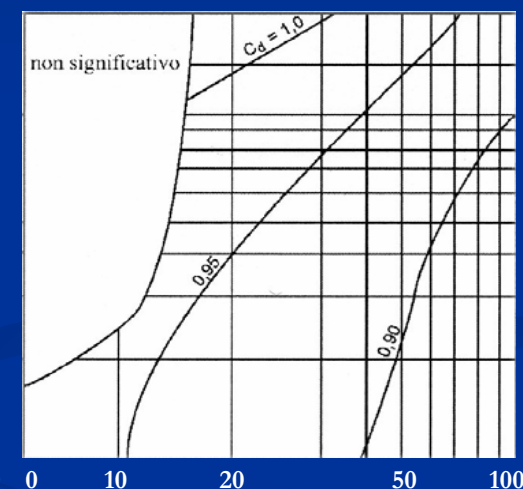
Larghezza b (m)

Strutture in acciaio



Larghezza b (m)

Strutture composte  
acciaio-calcestruzzo



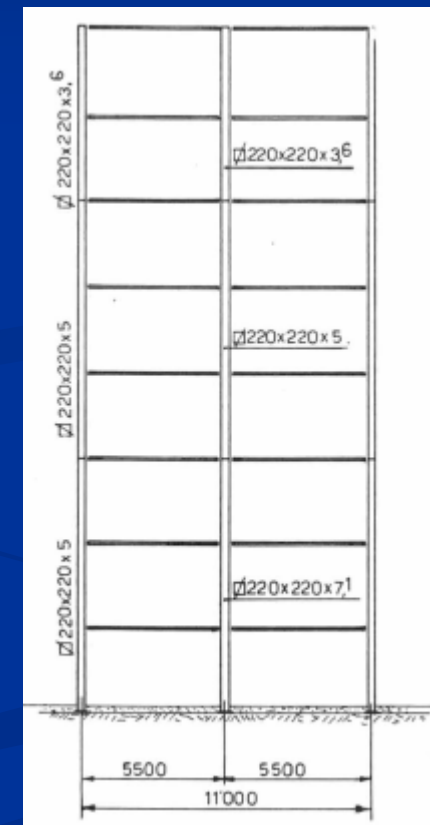
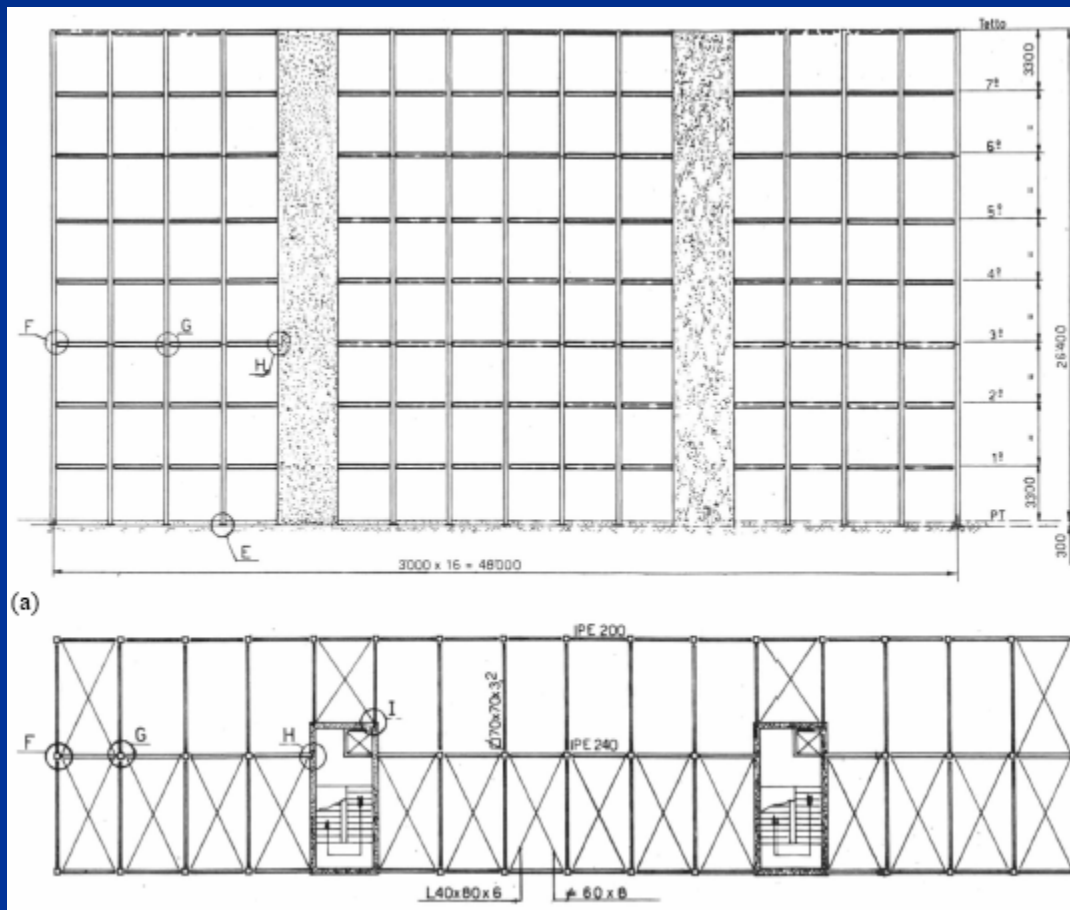
Larghezza b (m)

Strutture in c.a.  
oppure muratura

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione (sito a 600 m s.l.m.)



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione



Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.020

### Velocità di riferimento

$$v_b = v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a(a_s - a_0) = 28 + 0.02(600 - 500) = 30 \text{ m/s}$$

$$a_s \leq a_0 = 500 \text{ m}$$

$$a_s > 500 \text{ m}$$

### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = 0.5 \cdot 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 30^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 562.5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

### Categoria di Esposizione

Classe di Rugosità A (Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m)



ZONE 1,2,3,4,5						
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						

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

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

Categoria di esposizione	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
IV	0.22	0.30	8

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

Coefficiente di Esposizione

$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
0.22	0.30	8

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

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

$$c_e = 2.49$$

$$c_e = 2.38$$

$$c_e = 2.27$$

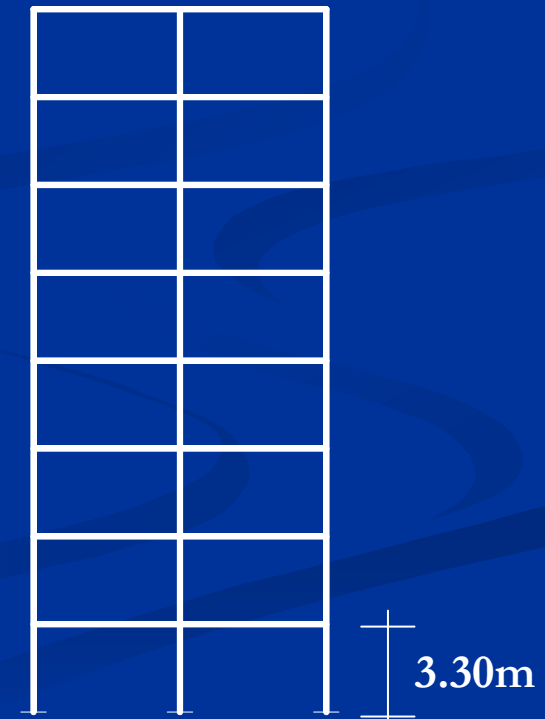
$$c_e = 2.13$$

$$c_e = 1.97$$

$$c_e = 1.78$$

$$c_e = 1.63$$

$$c_e = 1.63$$

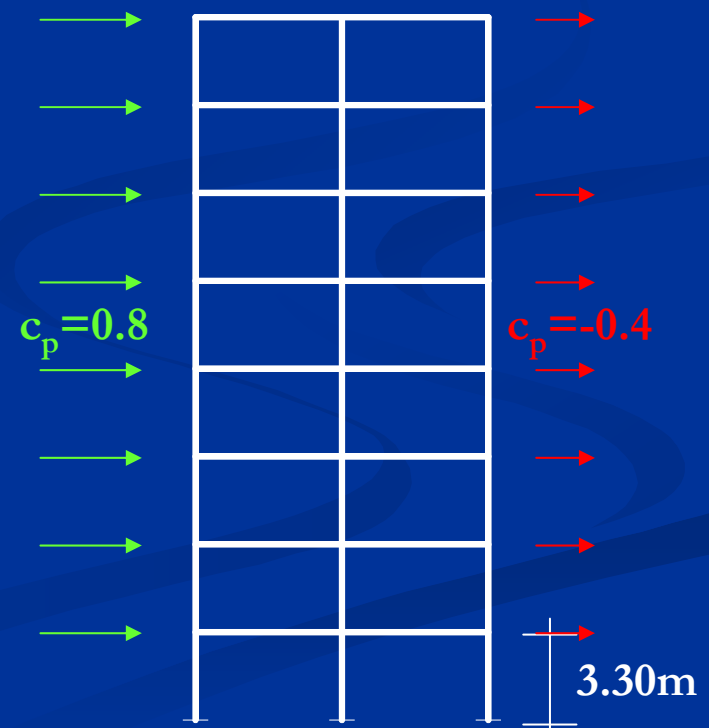
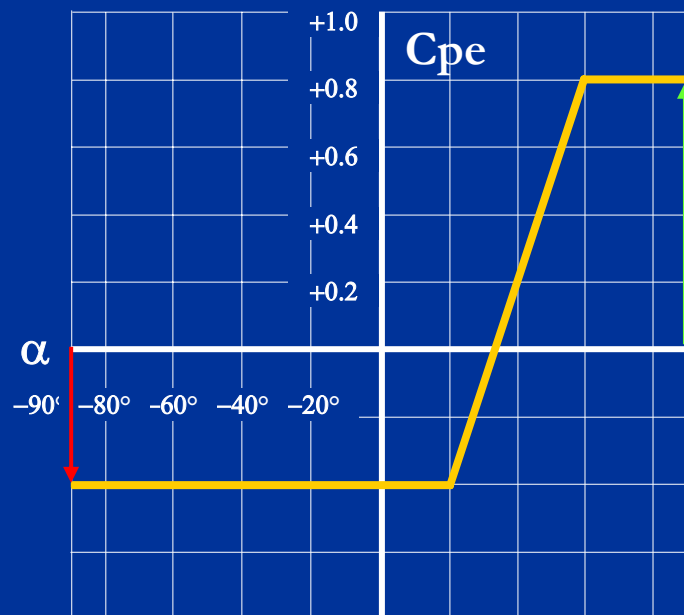


# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

### Coefficiente di Forma



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

Pressioni del vento  $p = q_b c_e c_p c_d$

$$p = 562.5 \cdot 2.49 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.68 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 562.5 \cdot 2.38 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.61 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 562.5 \cdot 2.27 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.53 \text{ kN/m}^2$$

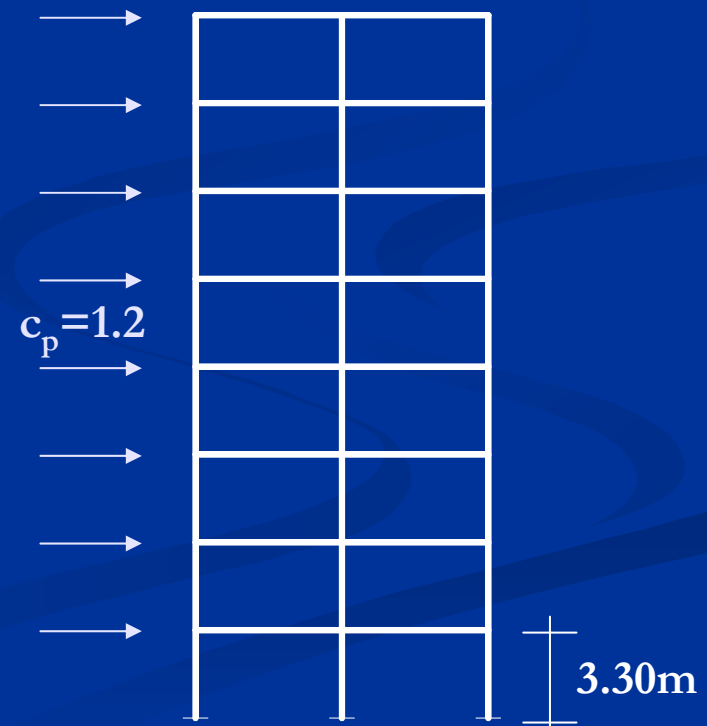
$$p = 562.5 \cdot 2.13 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.44 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 562.5 \cdot 1.97 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.33 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 562.5 \cdot 1.78 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.20 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 562.5 \cdot 1.63 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.10 \text{ kN/m}^2$$

$$p = 562.5 \cdot 1.63 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.10 \text{ kN/m}^2$$

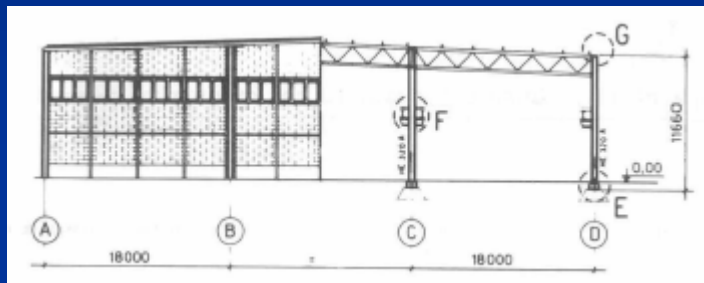




# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

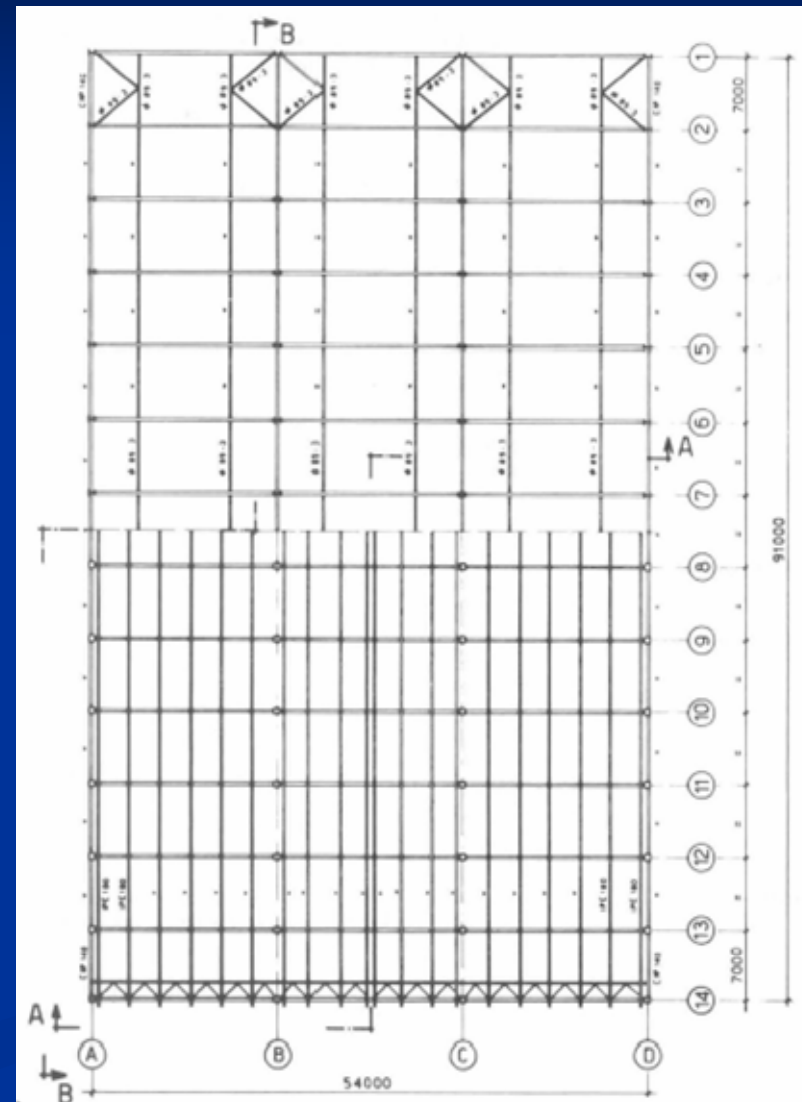
### Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale



Copertura a doppia falda con  
inclinazione di  $4^\circ$

Copertura a doppia falda con Linea  
di colmo posta a 13.54m

Costruzione con  $V_N=50$  anni  
Sita nella zona industriale di Catania



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale



Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.020

### Velocità di riferimento

$$v_b = v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) = 28 + 0.02 (a_s - 500)$$

$$\text{per } a_s \leq a_0 = 500 \text{ m}$$

$$\text{per } 500 \text{ m} < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

### Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = 0.5 \cdot 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 28^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 490 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

### Categoria di Esposizione

Classe di Rugosità B (Aree urbane non di classe A, suburbane, industriali e boschive)



ZONE 1,2,3,4,5						
	2 km	10 km	30 km	500m	750m	
	costa	mare				
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						

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

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

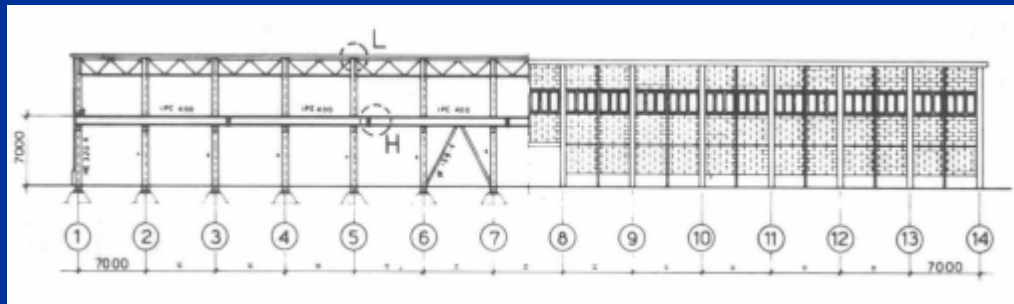
Categoria di esposizione	$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
III	0.20	0.10	5

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

### Coefficiente di Esposizione



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

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



$k_r$	$z_0$ [m]	$z_{\min}$ [m]
0.20	0.10	5

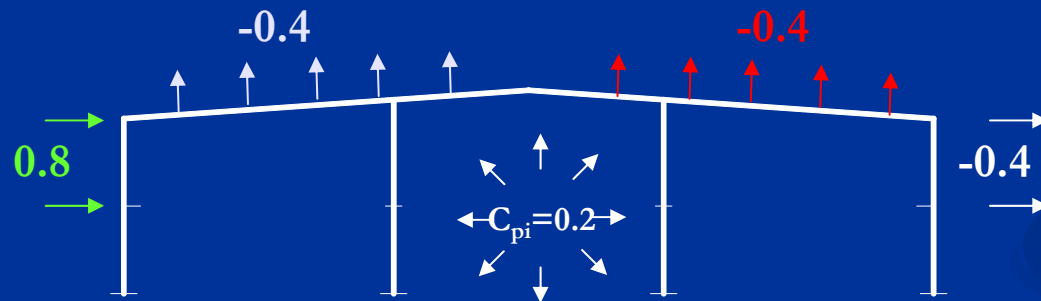
$z$ [m]	$C_e$
<5.00	1.71
7.00	1.91
11.66	2.24
13.54	2.34

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

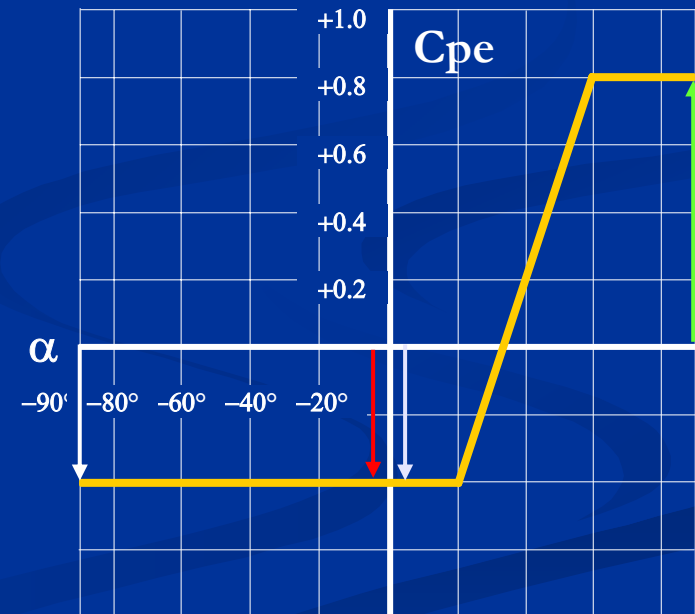
Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

### Coefficienti di forma



costruzioni che ha una parete con aperture di superficie minore di  $1/3$  di quella totale:

$$c_{pi} = \pm 0,2$$



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Pressione del vento  $p = q_b c_e c_p c_d$

$$q_b = 490 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

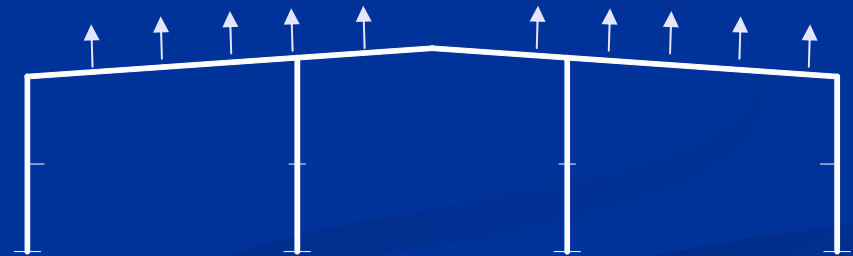
$$c_e(12.9 \text{ m}) = 2.31$$

$$c_{p,e} = -0.4$$

$$c_{p,i} = -0.2$$

$$c_d = 1$$

$$p = -679.14 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Pressione del vento  $p = q_b c_e c_p c_d$

$$q_b = 490 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

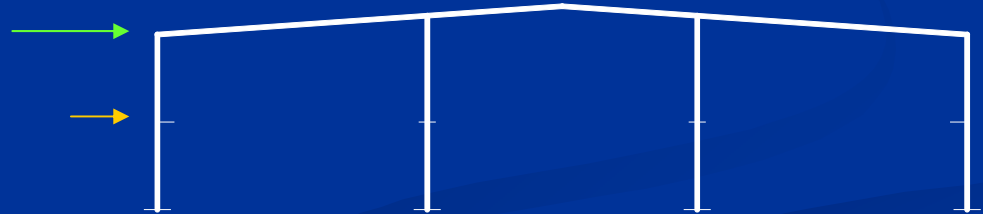
$$c_e(11.66 \text{ m}) = 2.24$$

$$c_{p,e} = 0.8$$

$$c_{p,i} = 0.2$$

$$c_d = 1$$

$$p = 1097.6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Pressione del vento  $p = q_b c_e c_p c_d$

$$q_b = 490 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

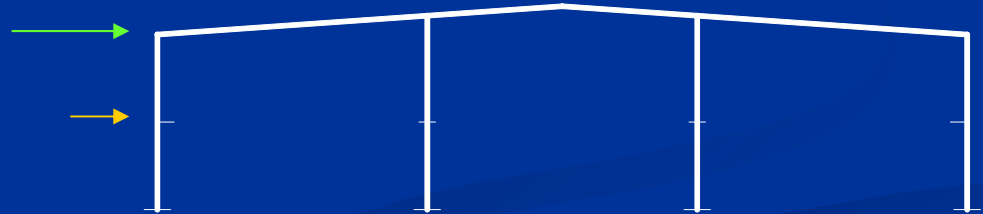
$$c_e(7.00 \text{ m}) = 1.91$$

$$c_{p,e} = 0.8$$

$$c_{p,i} = 0.2$$

$$c_d = 1$$

$$p = 935.9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$





# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### PARTICOLARI PRECAUZIONI PROGETTUALI

Strutture particolarmente deformabili quali antenne, ciminiere, ponti o strutture sorretti da cavi devono essere verificate anche rispetto ai fenomeni di interazione vento-struttura, i quali possono indurre vibrazioni strutturali, degrado delle caratteristiche di rigidità della struttura, o fatica nei collegamenti.

Le verifiche di non superamento di stati limite ultimi e di esercizio saranno condotte mediante procedimenti analitici, sperimentali o numerici che tengano conto delle conoscenze attuali in materia.

L'azione del vento può assumere, inoltre, particolare rilievo per la presenza in uno stesso sito di più corpi strutturali. Nel progetto di strutture non usuali per forma, tipologia, dimensione e collocazione urbanistica, si dovrà procedere ad una valutazione accurata della risposta al vento, mediante comprovati metodi sperimentali o numerici.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### Effetti torsionali

Nel caso di costruzioni di grandi dimensioni o di forma non simmetrica quali gli edifici alti, gli impalcati da ponte e le strutture di sostegno per insegne pubblicitarie di grandi dimensioni le azioni del vento inducono effetti torsionali che possono essere incrementati dalla risposta dinamica della struttura investita.

Tali effetti possono essere valutati, quando rilevanti, mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### Distacco di vortici

Per strutture o elementi strutturali snelli di forma cilindrica quali ciminiere, torri per l'illuminazione, elementi di travi reticolari, ponti ed edifici alti, si deve tener conto dell'effetto dinamico dovuto al distacco alternato dei vortici da un lato e dall'altro del corpo investito dal vento. Esso produce una forza ciclica ortogonale alla direzione del vento e all'asse del corpo cilindrico, la cui frequenza  $f_s$  è data dalla formula di Strouhal:

$$f_s = S_t v / b$$

dove:

- $b$  è la dimensione della sezione trasversale perpendicolare alla direzione del vento;
- $v$  è la velocità media del vento;
- $S_t$  è il numero di Strouhal, funzione della forma della sezione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento.



$$S_t = 0.11$$



$$S_t = 0.20$$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da vento

### Fenomeni di natura aeroelastica

Le forze di natura aeroelastica o autoeccitate sono presenti a causa del moto relativo fra la struttura e il fluido).

Le forze aeroelastiche, funzioni del moto e delle velocità del vento, cambiano il comportamento della struttura modificando frequenze proprie e fattori di smorzamento.

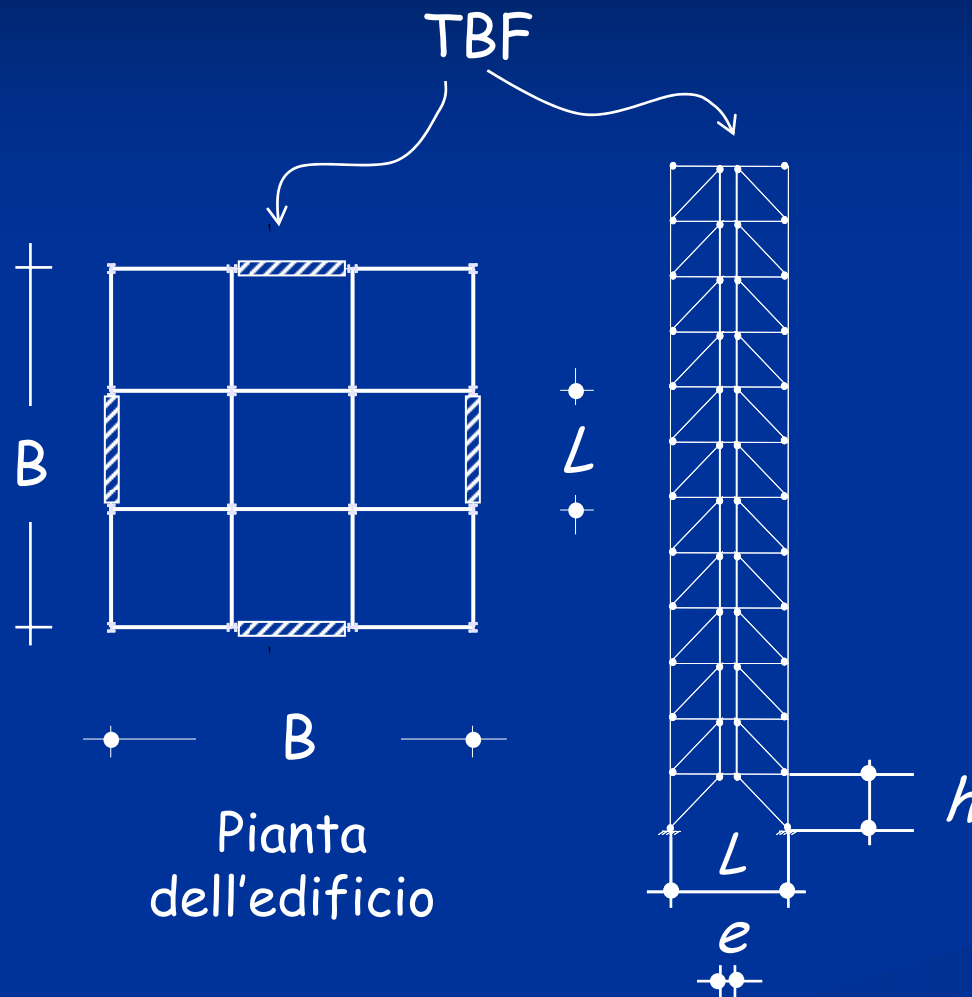
Si definiscono **critiche** le velocità del vento il cui superamento rende negativo lo smorzamento e/o labile la struttura. La prima situazione dà luogo a fenomeni aeroelastici comunemente chiamati *galloping*, tipico di elementi strutturali non circolari, o *flutter*, tipico di ponti sospesi o strallati o di profili alari. La seconda situazione dà luogo a un fenomeno aeroelastico comunemente chiamato *divergenza*, tipico delle lastre molto sottili, ad esempio i cartelloni pubblicitari.

Flutter torsionale escluso se:

$$\frac{1.2 v_{ml}}{d \cdot n_{1,m}} \leq 3$$

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



### Caratteristiche geometriche :

$B \Rightarrow 24 \text{ m}$

$L \Rightarrow 8 \text{ m}$

$h \Rightarrow 3.3 \text{ m}$

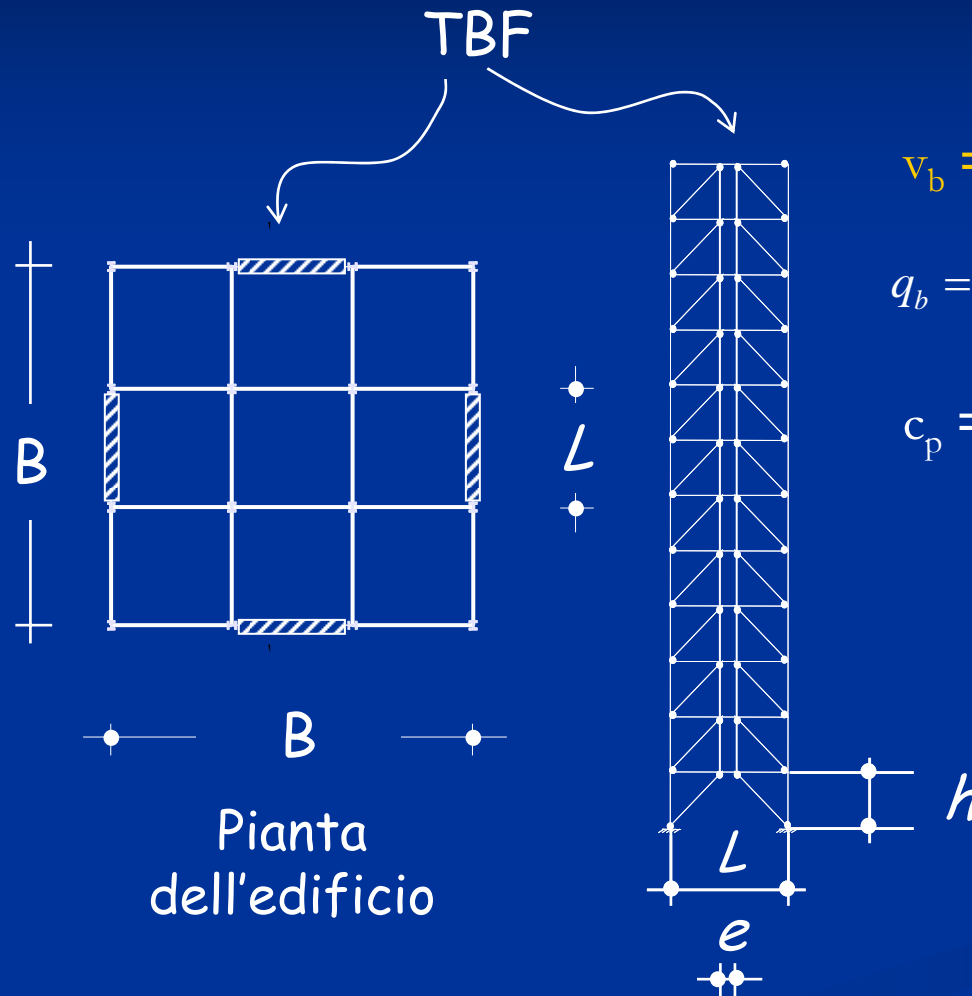
$e \Rightarrow 0.8 \text{ m}$   
 $2.4 \text{ m}$

**Carichi**  $5 \text{ kN/m}^2$   
(perman. + variabili)

**Massa**  $294 \text{ t}$   
(piano)

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



$$v_b = v_{b,0} = 28 \text{ m/s} \quad \text{per } a_s \leq a_0 = 500 \text{ m}$$

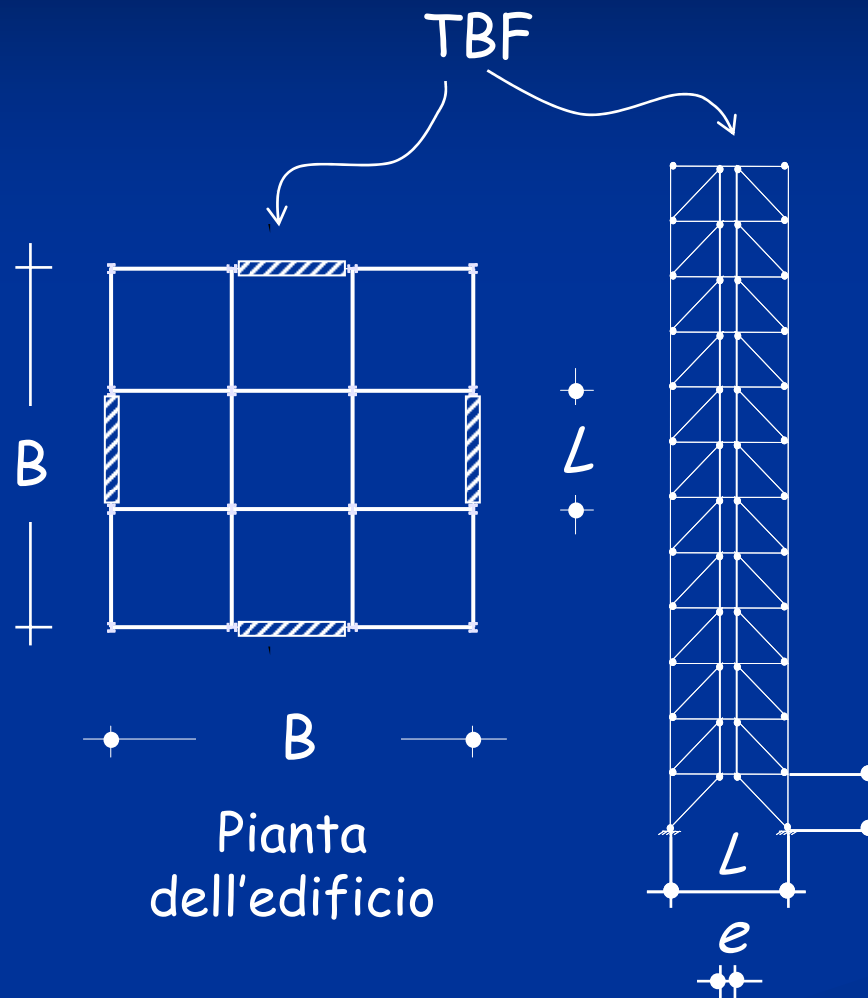
$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = 0.5 \cdot 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 28^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 490 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$c_p = 0.8 + 0.4 = 1.2$$

ZONE 1,2,3,4,5						
		costa				
	mare					
	2 km	10 km	30 km	500m	750m	
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						

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma

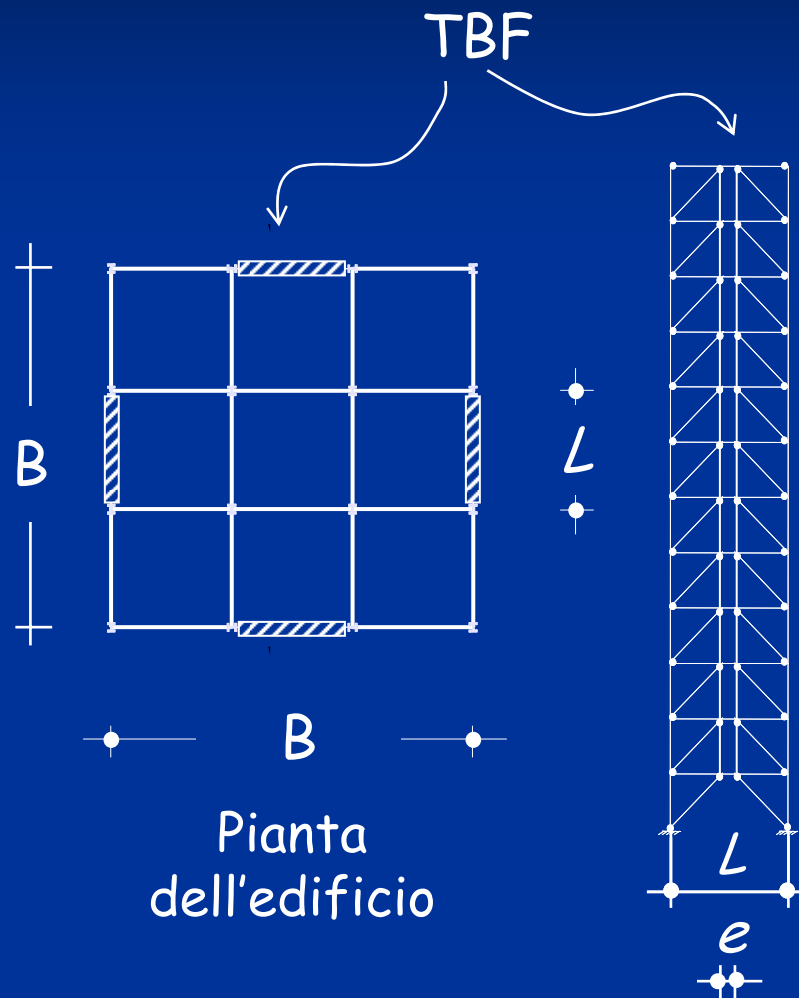


piano	z	ce	cp	q N/m <sup>2</sup>	A	F [kN]
12	39.6	3.1059	1.2	1826.3	36	65.75
11	33	2.9689	1.2	1745.7	72.0	125.69
10	30	2.8984	1.2	1704.3	72.0	122.71
9	27	2.8213	1.2	1658.9	72.0	119.44
8	24	2.7361	1.2	1608.8	72.0	115.83
7	21	2.6409	1.2	1552.8	72.0	111.80
6	18	2.5327	1.2	1489.2	72.0	107.22
5	15	2.4072	1.2	1415.5	72.0	101.91
4	12	2.2573	1.2	1327.3	72.0	95.57
3	9	2.0699	1.2	1217.1	72.0	87.63
2	6	1.8170	1.2	1068.4	72.0	76.92
1	3	1.7075	1.2	1004.0	72.0	72.29
tot						1202.77

piano	z	ce	cp	q N/m <sup>2</sup>	A	F [kN]
16	48	3.2533	1.2	1912.9	36	68.87
15	45	3.2035	1.2	1883.7	72.0	135.62
14	42	3.1507	1.2	1852.6	72.0	133.39
13	39	3.0943	1.2	1819.5	72.0	131.00
12	36	3.0340	1.2	1784.0	72.0	128.45
11	33	2.9689	1.2	1745.7	72.0	125.69
10	30	2.8984	1.2	1704.3	72.0	122.71
9	27	2.8213	1.2	1658.9	72.0	119.44
8	24	2.7361	1.2	1608.8	72.0	115.83
7	21	2.6409	1.2	1552.8	72.0	111.80
6	18	2.5327	1.2	1489.2	72.0	107.22
5	15	2.4072	1.2	1415.5	72.0	101.91
4	12	2.2573	1.2	1327.3	72.0	95.57
3	9	2.0699	1.2	1217.1	72.0	87.63
2	6	1.8170	1.2	1068.4	72.0	76.92
1	3	1.7075	1.2	1004.0	72.0	72.29
tot						1734.34

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



## Azione tangenziale del vento?

piano	z	ce	cp	q N/m2	A	F [kN]
12	39.6	3.1059	1.2	1826.3	36	65.75
...						
2	6	1.8170	1.2	1068.4	72.0	76.92
1	3	1.7075	1.2	1004.0	72.0	72.29
tot						1202.77

$$P_f = q_b \times c_e \times c_f = 490 \times 3.1 \times 0.04 = 60.76 \text{ N/m}^2$$

$$F = P_f \times A = 60.76 \times 24 \times 24 = 35 \text{ kN}$$

piano	z	ce	cp	q N/m2	A	F [kN]
16	48	3.2533	1.2	1912.9	36	68.87
...						
2	6	1.8170	1.2	1068.4	72.0	76.92
1	3	1.7075	1.2	1004.0	72.0	72.29
tot						1734.34

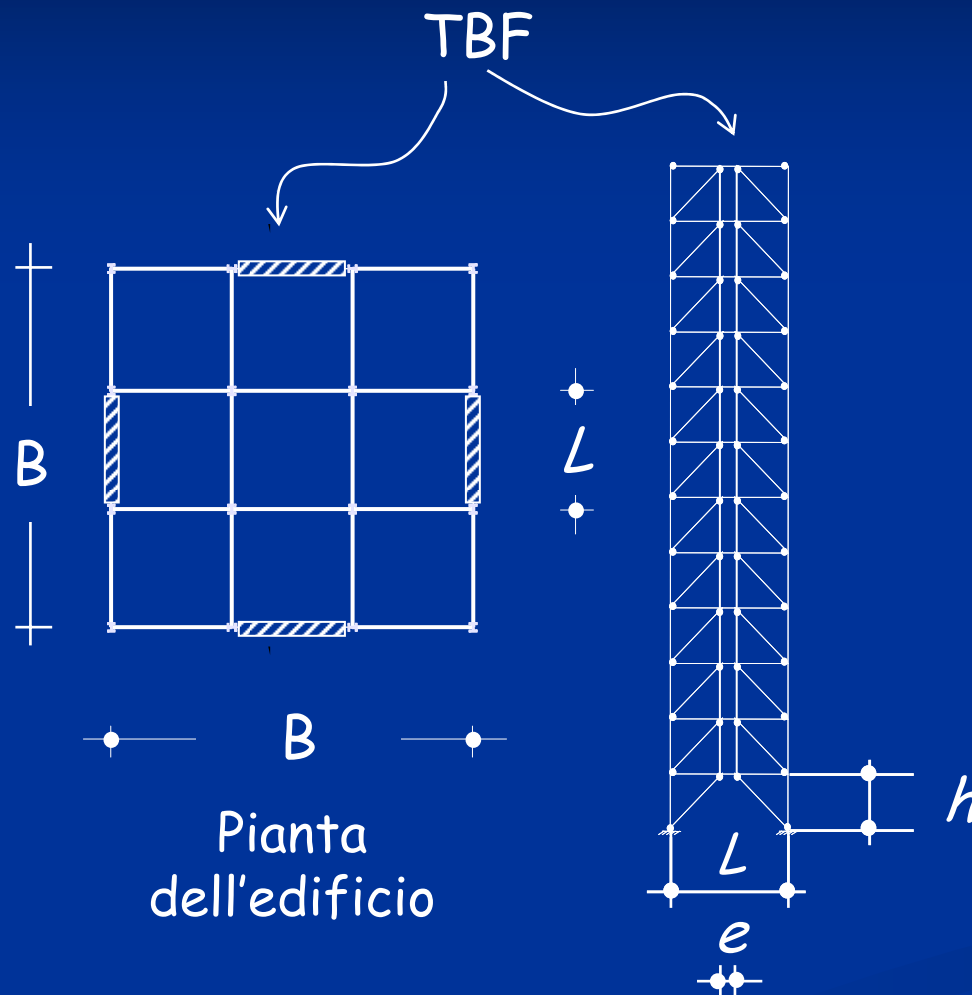
$$P_f = q_b \times c_e \times c_f = 490 \times 3.25 \times 0.04 = 63.7 \text{ N/m}^2$$

$$F = P_f \times A = 63.7 \times 24 \times 24 = 36.7 \text{ kN}$$



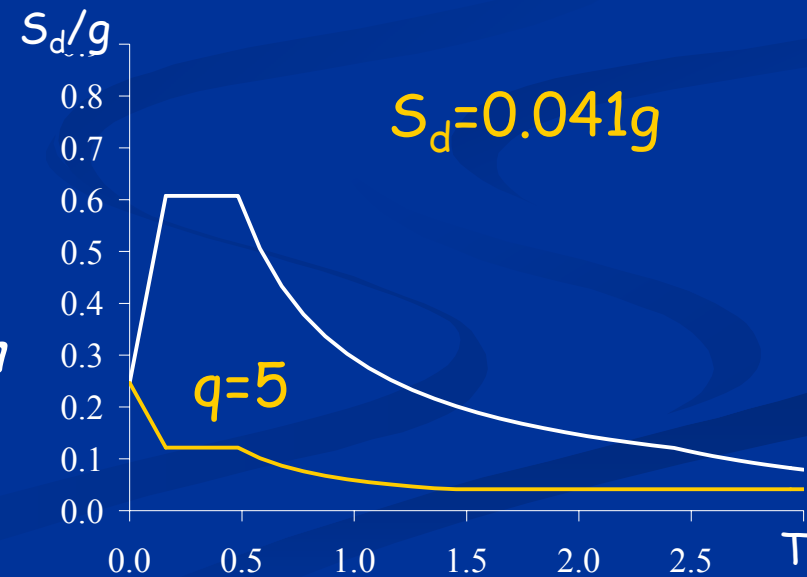
# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



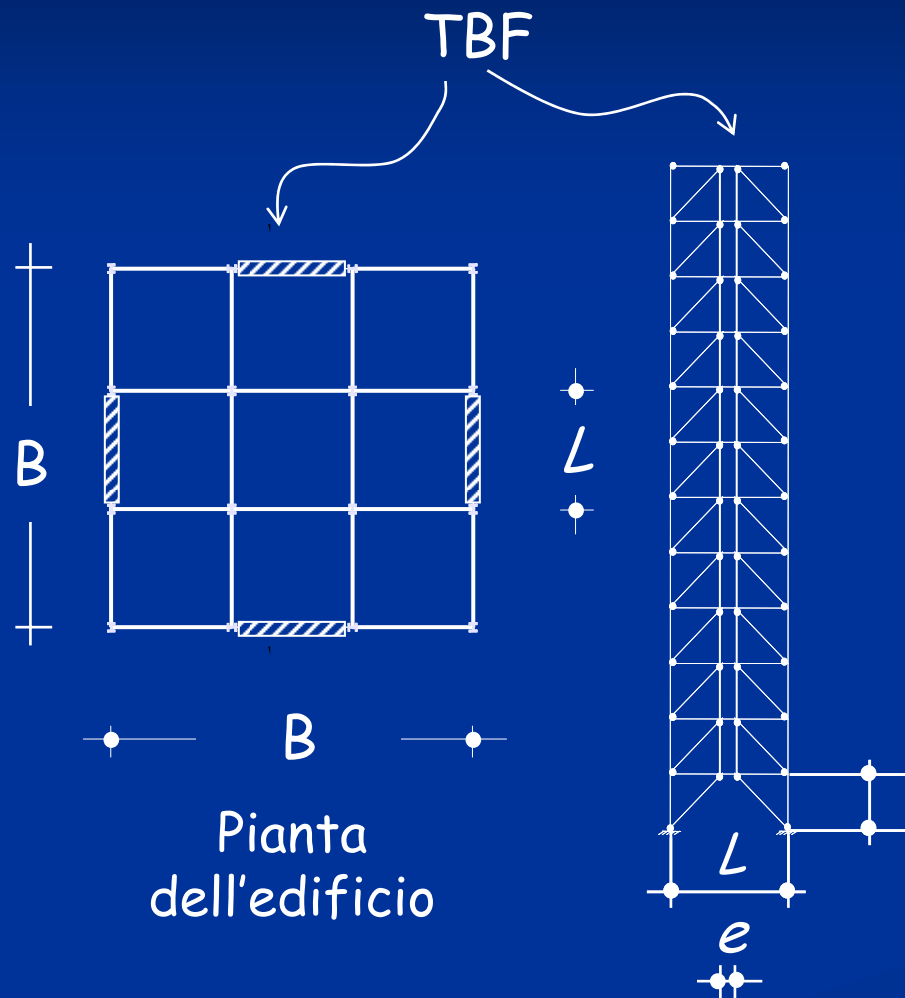
Periodo fondamentale di vibrazione

	12 piani	16 piani
$e/L=0.1$	1.73 s	2.35 s
$e/L=0.3$	2.23 s	3.24 s



# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



Periodo fondamentale di vibrazione

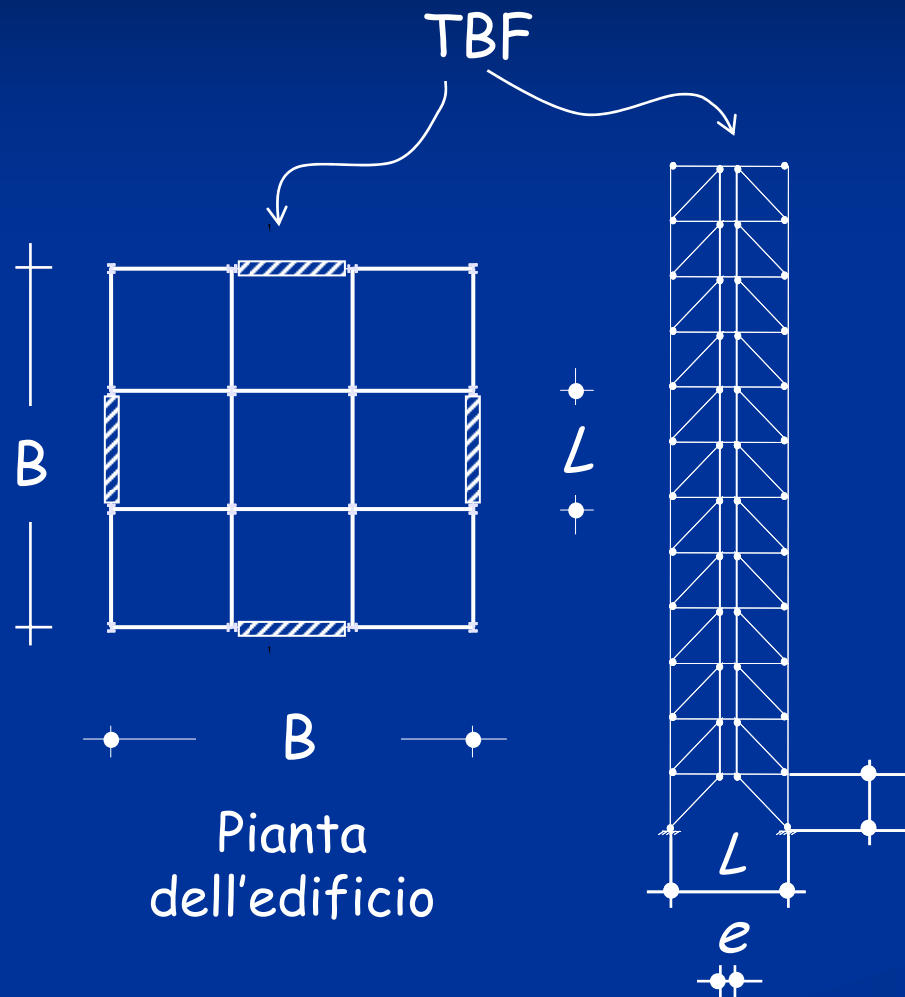
	12 piani	16 piani
$e/L=0.1$	1.73 s	2.35 s
$e/L=0.3$	2.23 s	3.24 s

Tagli alla base per sisma

	12 piani	16 piani
$e/L=0.1$	1230 kN	1640 kN
$e/L=0.3$	1230 kN	1640 kN

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



### Periodo fondamentale di vibrazione

	12 piani	16 piani
$e/L=0.1$	1.73 s	2.35 s
$e/L=0.3$	2.23 s	3.24 s

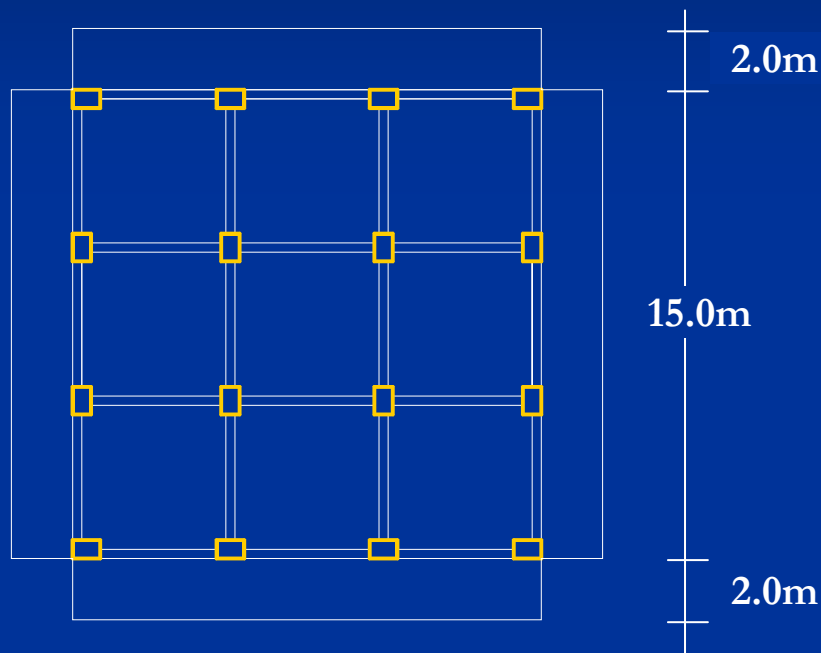
### Tagli alla base per sisma

	12 piani	16 piani
$e/L=0.1$	1230 kN	1640 kN
$e/L=0.3$	1230 kN	1640 kN
vento	1202 kN	1734 kN
	1232 kN	1771 kN

Azioni da vento da moltiplicare x 1.5 allo SLU

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



### Caratteristiche geometriche :

$B \Rightarrow 15 \text{ m}$

$L \Rightarrow 5 \text{ m}$

$h \Rightarrow 3.0 \text{ m}$

$S \Rightarrow 2.0 \text{ m}$

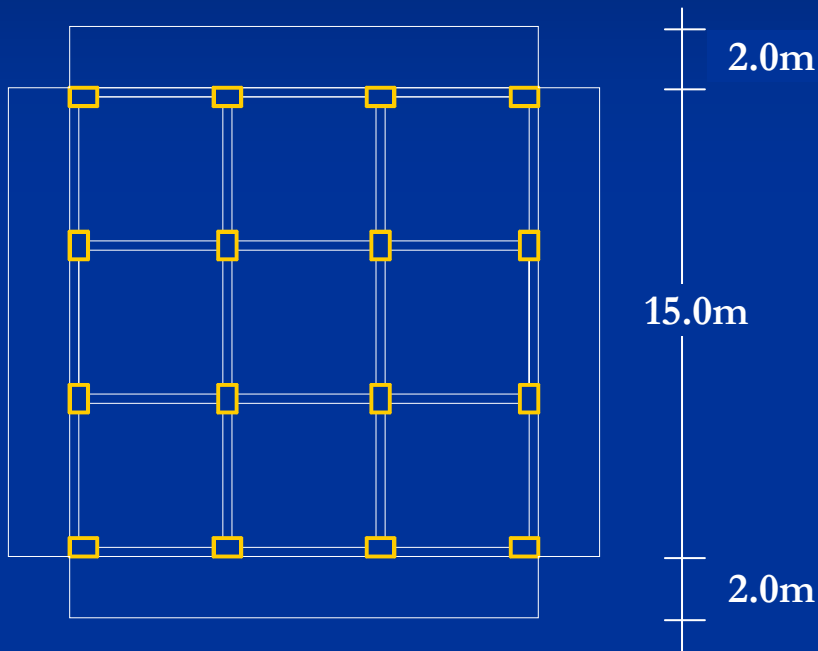
**Massa** 320 t  
(piano)

**Carichi solaio:**  $5.7 + 0.3 \times 2 = 6.3 \text{ kN/m}^2$

**Carichi sbalzo:**  $4.5 + 0.6 \times 4 = 6.9 \text{ kN/m}^2$

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma

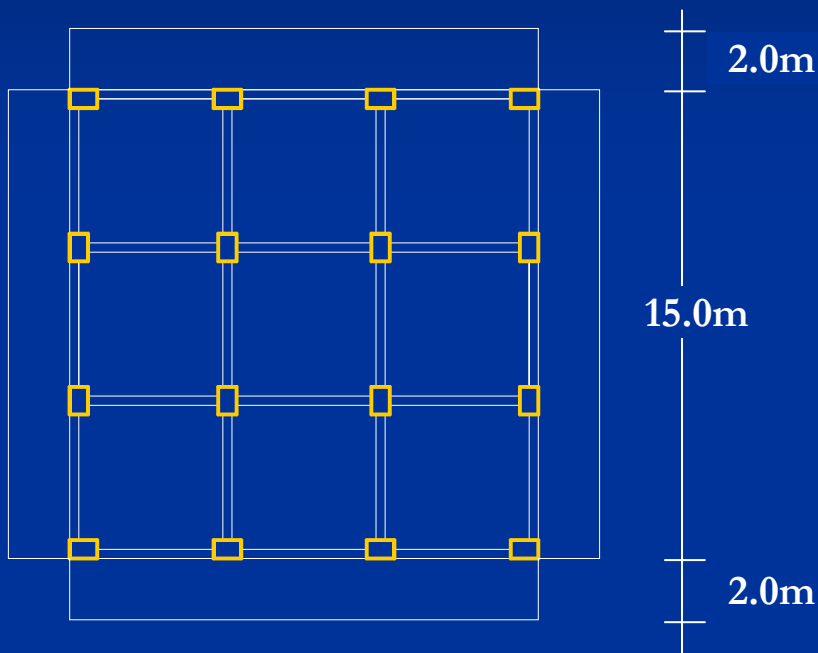


vb	28	m/s
qb	490	N/m2
categ esp	III	
L ort	15	m

## 20 piani

piano	z	ce	cp	q [N/m2]	A	F [kN]
20	60	3.4280	1.2	2015.6	22.5	45.35
19	57	3.3875	1.2	1991.8	45.0	89.63
18	54	3.3450	1.2	1966.9	45.0	88.51
17	51	3.3004	1.2	1940.6	45.0	87.33
16	48	3.2533	1.2	1912.9	45.0	86.08
15	45	3.2035	1.2	1883.7	45.0	84.76
14	42	3.1507	1.2	1852.6	45.0	83.37
13	39	3.0943	1.2	1819.5	45.0	81.88
12	36	3.0340	1.2	1784.0	45.0	80.28
11	33	2.9689	1.2	1745.7	45.0	78.56
10	30	2.8984	1.2	1704.3	45.0	76.69
9	27	2.8213	1.2	1658.9	45.0	74.65
8	24	2.7361	1.2	1608.8	45.0	72.40
7	21	2.6409	1.2	1552.8	45.0	69.88
6	18	2.5327	1.2	1489.2	45.0	67.02
5	15	2.4072	1.2	1415.5	45.0	63.70
4	12	2.2573	1.2	1327.3	45.0	59.73
3	9	2.0699	1.2	1217.1	45.0	54.77
2	6	1.8170	1.2	1068.4	45.0	48.08
1	3	1.7075	1.2	1004.0	45.0	45.18
tot						1437.83

# Vento vs Sisma



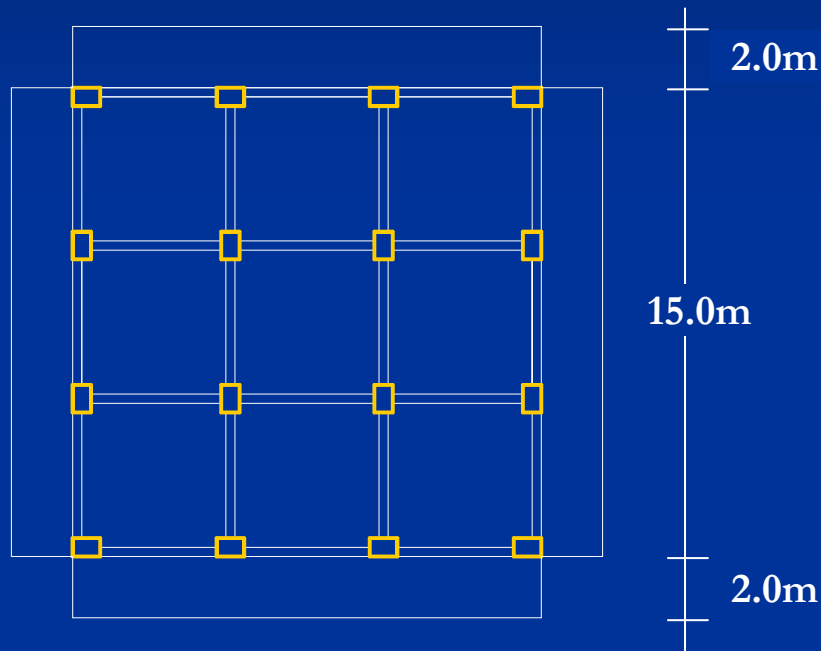
<b>vb</b>	28	m/s
<b>qb</b>	490	N/m2
<b>categ esp</b>	III	
<b>L ort</b>	15	m

# 30 piani

piano	z	ce	cp	q [N/m2]	A	F [kN]
30	90	3.7556	1.2	2208.3	22.5	49.69
29	87	3.7277	1.2	2191.9	45.0	98.63
28	84	3.6989	1.2	2175.0	45.0	97.87
27	81	3.6692	1.2	2157.5	45.0	97.09
26	78	3.6385	1.2	2139.4	45.0	96.27
25	75	3.6066	1.2	2120.7	45.0	95.43
24	72	3.5737	1.2	2101.3	45.0	94.56
23	69	3.5394	1.2	2081.2	45.0	93.65
22	66	3.5038	1.2	2060.2	45.0	92.71
21	63	3.4667	1.2	2038.4	45.0	91.73
20	60	3.4280	1.2	2015.6	45.0	90.70
19	57	3.3875	1.2	1991.8	45.0	89.63
18	54	3.3450	1.2	1966.9	45.0	88.51
17	51	3.3004	1.2	1940.6	45.0	87.33
16	48	3.2533	1.2	1912.9	45.0	86.08
15	45	3.2035	1.2	1883.7	45.0	84.76
14	42	3.1507	1.2	1852.6	45.0	83.37
13	39	3.0943	1.2	1819.5	45.0	81.88
12	36	3.0340	1.2	1784.0	45.0	80.28
11	33	2.9689	1.2	1745.7	45.0	78.56
10	30	2.8984	2.2	3124.5	45.0	140.60
9	27	2.8213	3.2	4423.7	45.0	199.07
8	24	2.7361	4.2	5630.8	45.0	253.39
7	21	2.6409	5.2	6728.9	45.0	302.80
6	18	2.5327	6.2	7694.3	45.0	346.25
5	15	2.4072	7.2	8492.7	45.0	382.17
4	12	2.2573	8.2	9069.8	45.0	408.14
3	9	2.0699	9.2	9331.0	45.0	419.90
2	6	1.8170	10.2	9081.2	45.0	408.65
1	3	1.7075	11.2	9370.9	45.0	421.69
tot					5041.39	

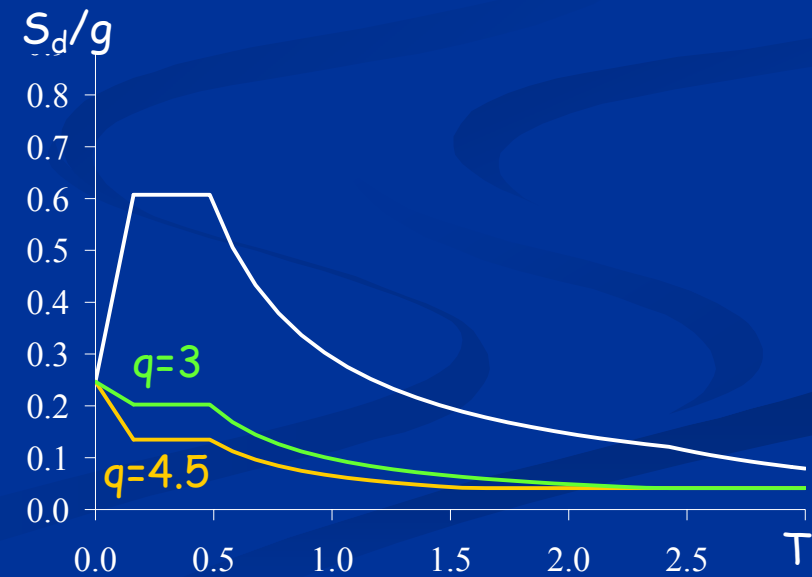
# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



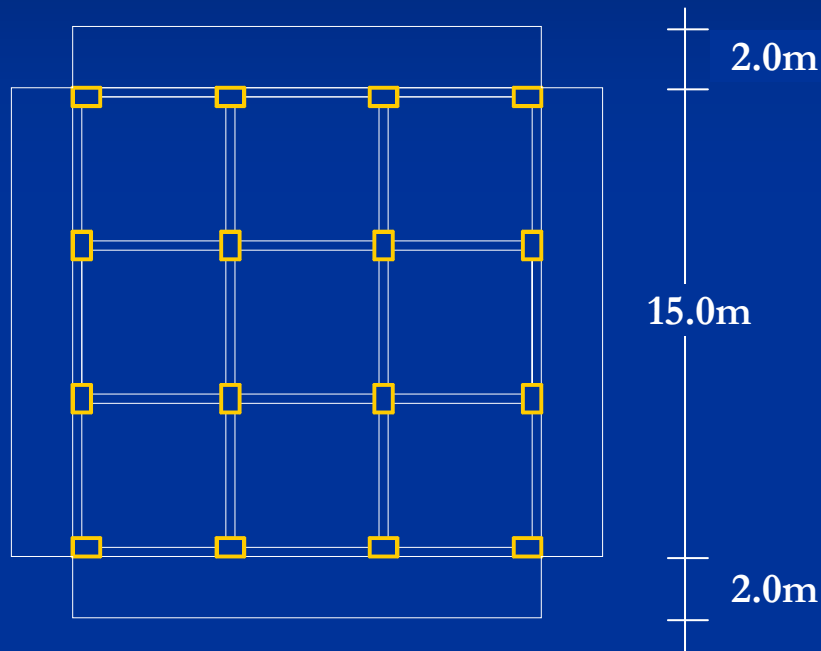
Periodo fondamentale  
di vibrazione

20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s



# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



Periodo fondamentale  
di vibrazione

20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s

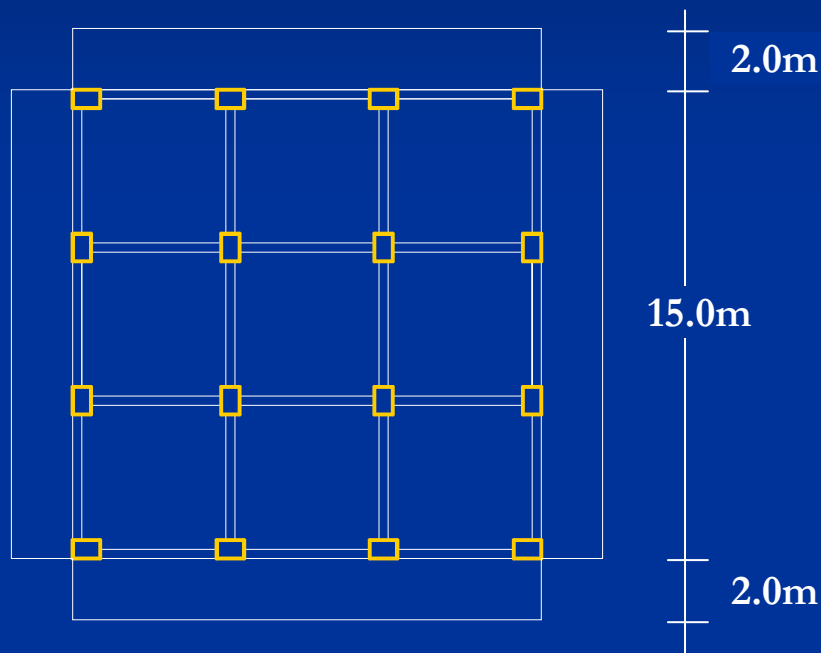
$S_d / g$

	20 piani	30 piani
$q = 3.0$	0.051	0.041
$q = 4.5$	0.041	0.041



# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



### Periodo fondamentale di vibrazione

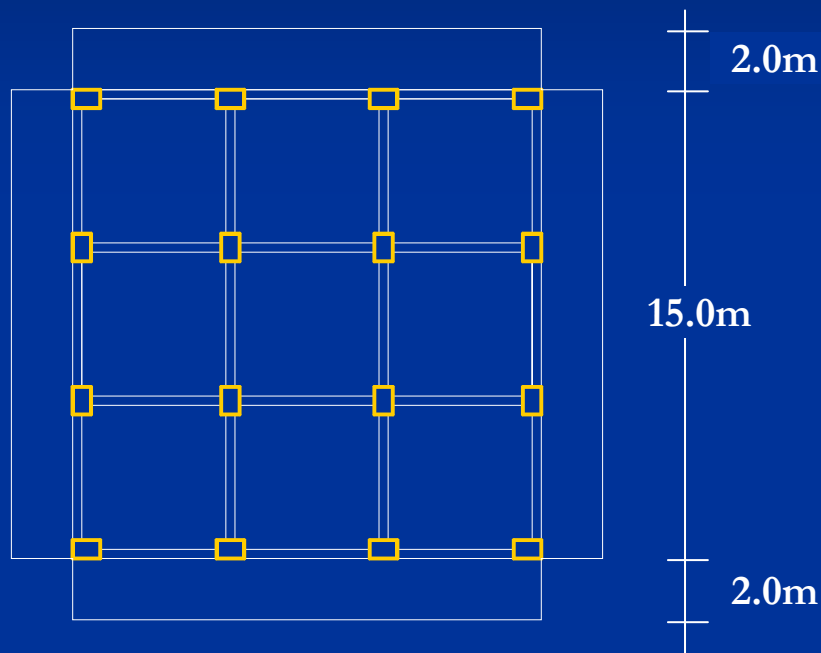
20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s

### Tagli alla base

	20 piani	30 piani
$q = 3.0$	2774 kN	3346 kN
$q = 4.5$	2230 kN	3346 kN

# Azioni sulle costruzioni

## Vento vs Sisma



### Periodo fondamentale di vibrazione

20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s

### Tagli alla base

	20 piani	30 piani
$q = 3.0$	2774 kN	3346 kN
$q = 4.5$	2230 kN	3346 kN
<b>Vento</b>	<b>1438 kN</b>	<b>5041 kN</b>

Azioni da vento da moltiplicare x 1.5 allo SLU

# Carico da neve

DM 14/01/08 – Par. 3.4  
Eurocodice 1 – parte 1.3

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

### CARICO NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t$$

dove:

$q_s$  è il carico neve sulla copertura;

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

$q_{sk}$  è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m<sup>2</sup>], fornito per un periodo di ritorno di 50 anni;

$C_E$  è il coefficiente di esposizione;

$C_t$  è il coefficiente termico.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

### VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona.

In mancanza di indagini statistiche e studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento della neve al suolo, per località con  $a_s < 1500$  m s. l. m., non deve essere minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

Aspetti specifici e locali, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente.

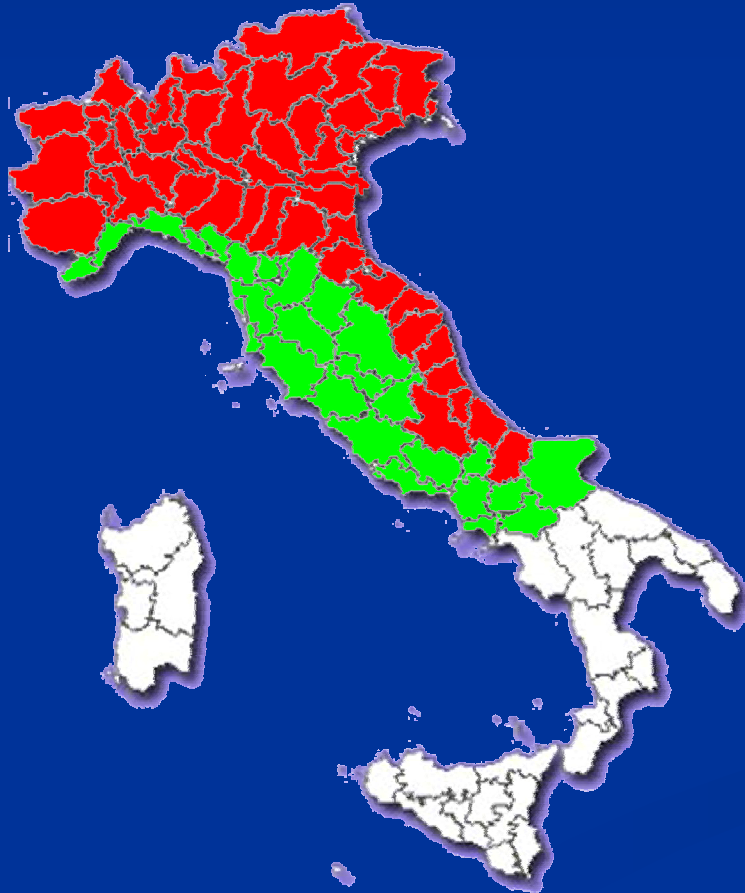
Per  $a_s > 1500$  m s. l. m. si dovrà fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 m.

# Azioni sulle costruzioni

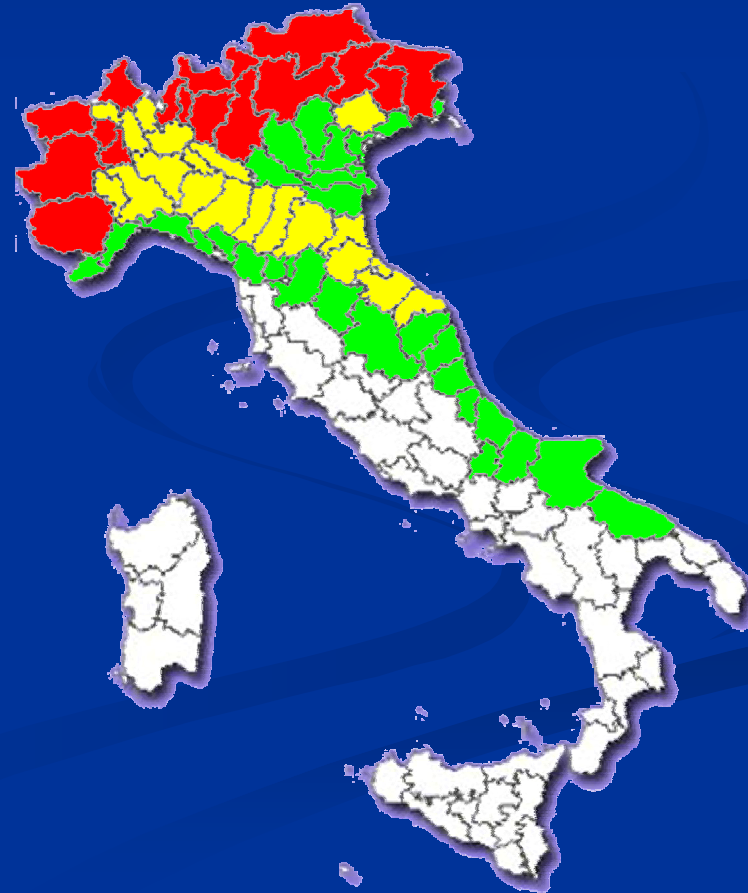
## Carichi da neve

VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

DM 16-01-96

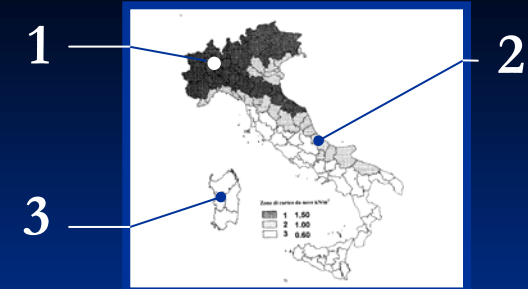


NTC 2008



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve



### VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

#### Zona I - Alpina

Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.

#### Zona I – Mediterranea

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.

#### Zona II

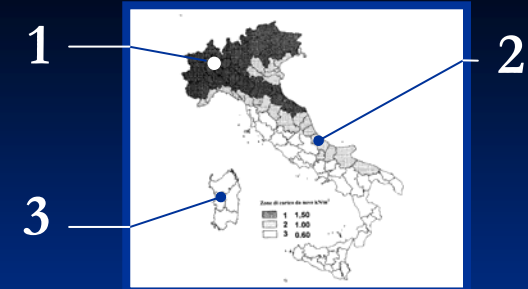
Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.

#### Zona III

Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastro, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve



### VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Zona I  
Alpina



$$q_{sk} = 1.50 \text{ kN/m}^2$$
$$q_{sk} = 1.39 \left[ 1 + \left( a_s / 728 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

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

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

Zona I  
Mediterranea



$$q_{sk} = 1.50 \text{ kN/m}^2$$
$$q_{sk} = 1.35 \left[ 1 + \left( a_s / 602 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

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

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

Zona II



$$q_{sk} = 1.00 \text{ kN/m}^2$$
$$q_{sk} = 0.85 \left[ 1 + \left( a_s / 481 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

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

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

Zona III



$$q_{sk} = 0.60 \text{ kN/m}^2$$
$$q_{sk} = 0.51 \left[ 1 + \left( a_s / 481 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2$$

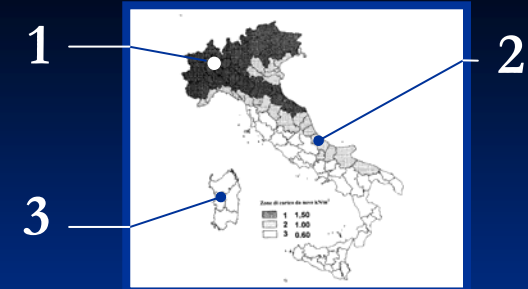
$$a_s \leq 200 \text{ m}$$

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



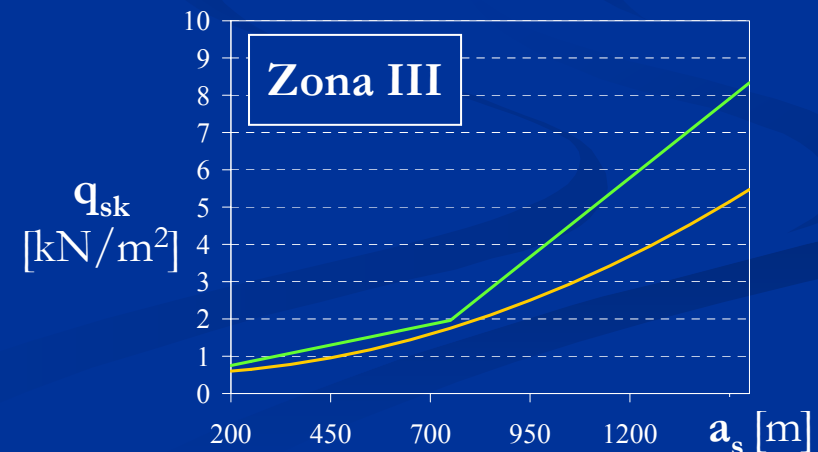
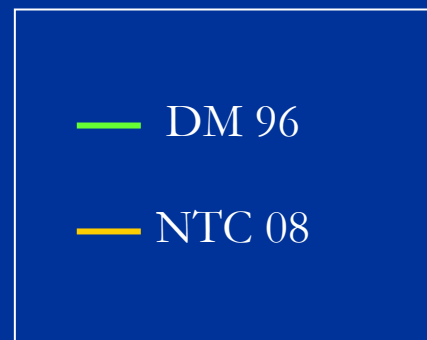
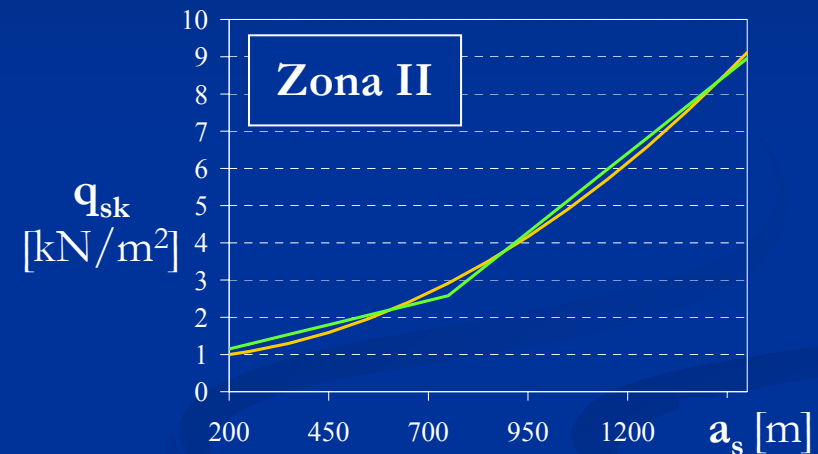
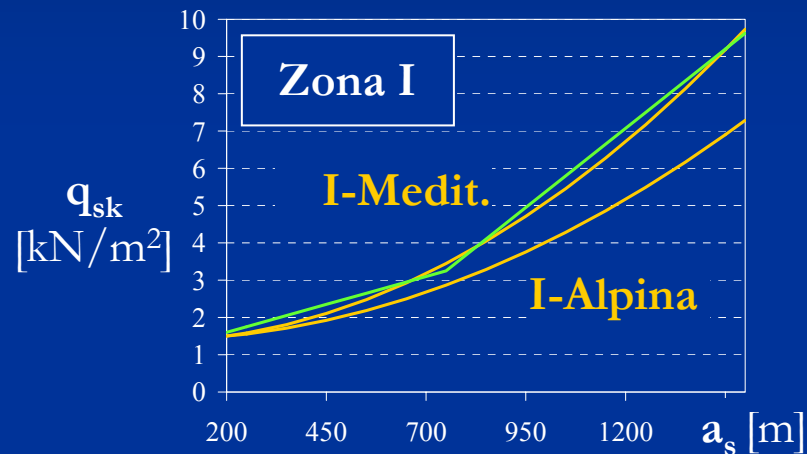
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve



### VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Confronti NTC 2008 – DM96



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

### COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione  $C_E$  modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera.

Topografia	Descrizione	$C_E$
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati senza costruzioni o alberi più alti.	0.9
Normale	Aree in cui non è presente una significativamente rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1.0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti.	1.1

Nell'Eurocodice 1  $C_E$  varia tra 0.8 e 1.2.

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

### COEFFICIENTE TERMICO

Tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione.

Tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura.

In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato  $C_t = 1$ .

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

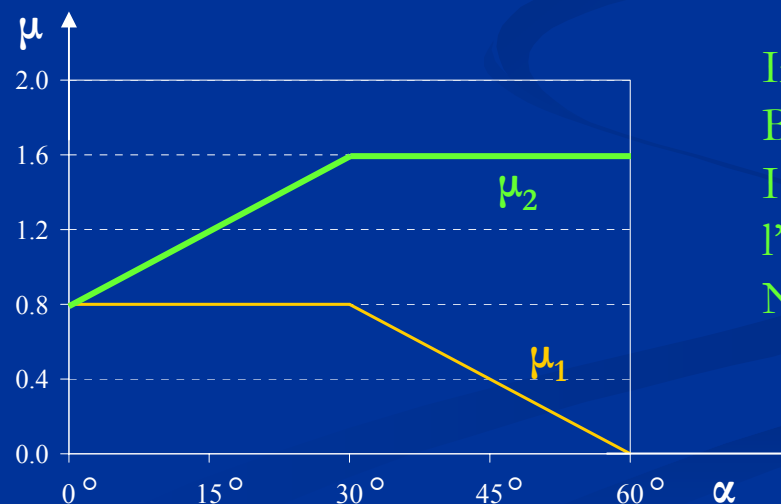
### CARICO NEVE SULLE COPERTURE

Devono essere considerate le due seguenti principali disposizioni di carico:

- carico da neve depositata in assenza di vento;
- carico da neve depositata in presenza di vento.

#### Coefficiente di forma per le coperture

I valori del coefficiente di forma  $\mu_1$ , riportati in grafico si riferiscono alle coperture ad una o due falde.



Introdotta nella  
Bozza delle  
Istruzioni per  
l'applicazione delle  
NTC 2008

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

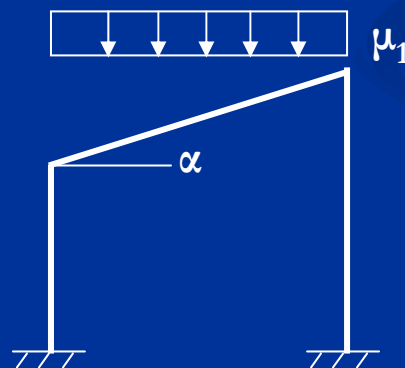
### Coperture ad una falda

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

In presenza di parapetti o barriere nell'estremità più bassa della falda:

$$\mu_1 = 0,8$$

La condizione in figura deve essere utilizzata per entrambi i casi di carico con o senza vento.



# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

### Coperture a due falde

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

In presenza di parapetti o barriere nell'estremità più bassa della falda  $\mu_1 = 0,8$

Caso 3

$\mu_1(\alpha_1)$



$0.5\mu_1(\alpha_2)$

Caso 2

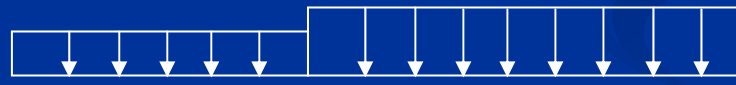
$0.5\mu_1(\alpha_1)$



$\mu_1(\alpha_2)$

Caso 1

$\mu_1(\alpha_1)$



$\mu_1(\alpha_2)$

Neve con  
vento

Neve senza  
vento



Scompare la condizione con il carico applicato su una sola falda

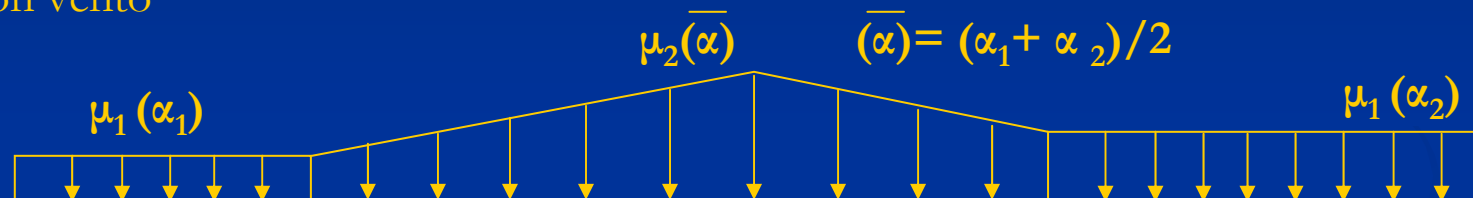
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

Coperture a più falde ( $\alpha < 60^\circ$ )

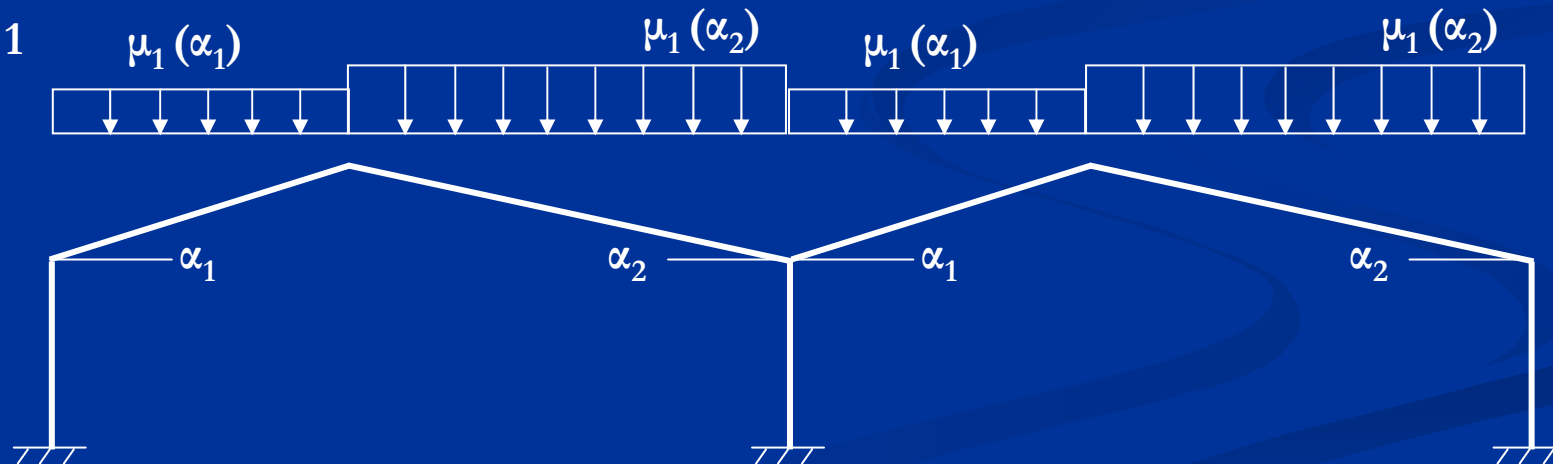
Neve con vento

Caso 2



Neve senza vento

Caso 1



Accumuli per irregolarità nel piano di copertura sono da considerare solo per  $L > 3.5\text{m}$  e  $\alpha \geq 30^\circ$

# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

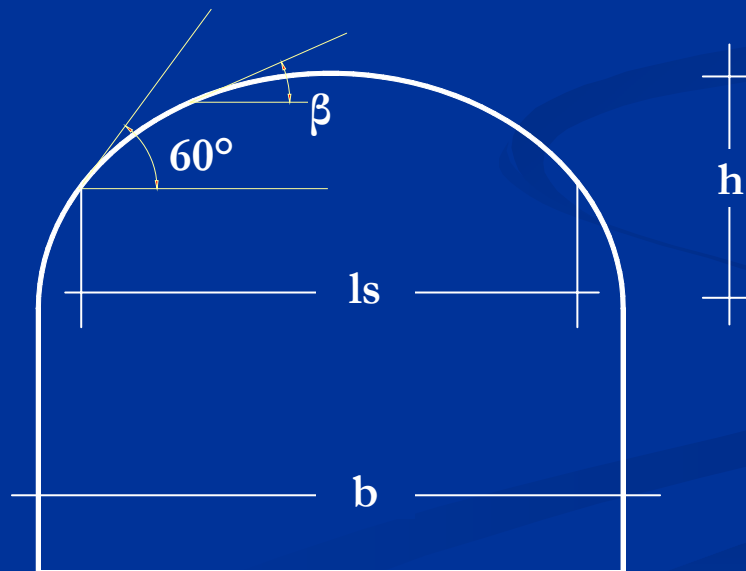
### Coperture cilindriche

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

Neve con Vento



Neve senza Vento





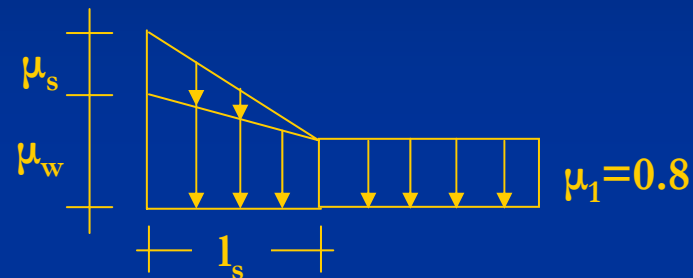
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

Coperture adiacenti o vicine a costruzioni più alte

### Caso 2

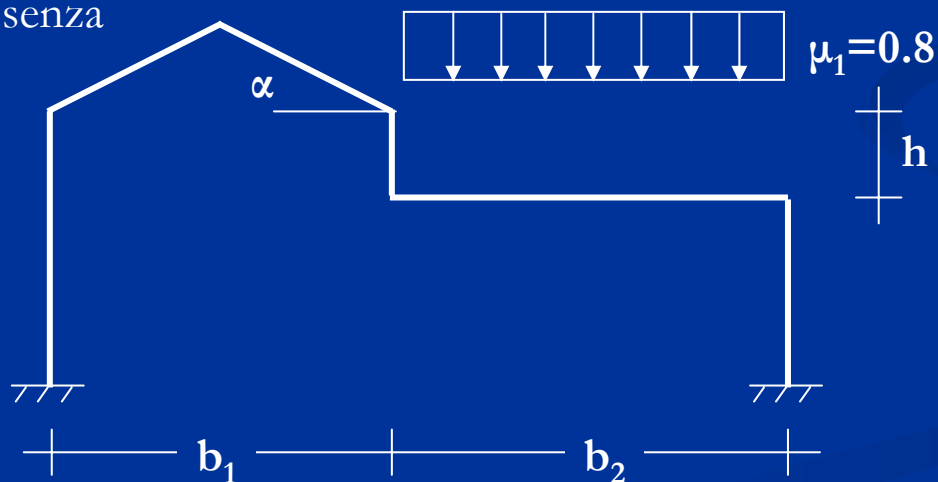
Neve con vento



Si tiene conto dello scivolamento della neve della copertura a quota superiore e del deposito di neve dovuto alla “ombra aerodinamica”

### Caso 1

Neve senza vento



$\mu_s = 50\%$  massimo carico sulla falda superiore ( $\alpha > 15^\circ$ )

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \leq \frac{\gamma h}{q_{sk}}$$

$0.8 \leq \mu_w \leq 4.0$  **Aumentato rispetto al DM96**

$$5 \leq l_s = 2h \leq 15 \text{ m}$$

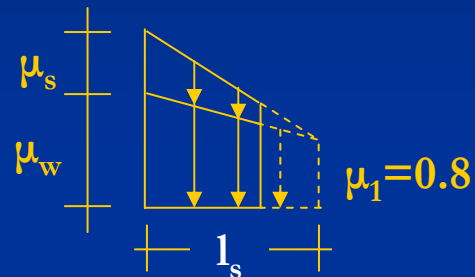
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

Coperture adiacenti o vicine a costruzioni più alte

### Caso 2

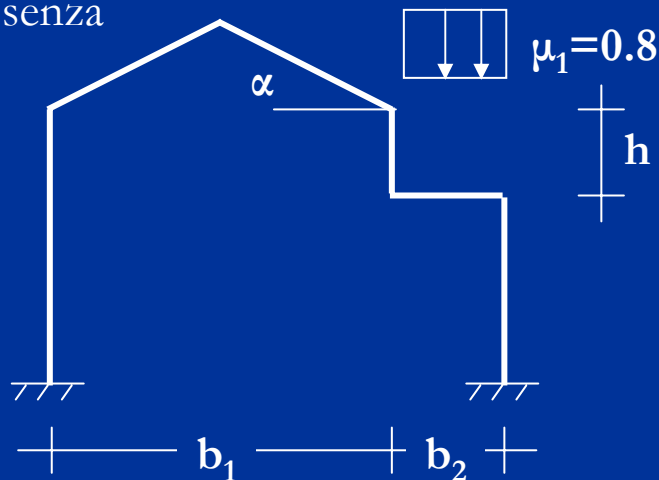
Neve con vento



Si tiene conto dello scivolamento della neve della copertura a quota superiore e del deposito di neve dovuto alla “ombra aerodinamica”

### Caso 1

Neve senza vento



$\mu_s = 50\%$  massimo carico sulla falda superiore ( $\alpha > 15^\circ$ )

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \leq \frac{\gamma h}{q_{sk}}$$

$$0.8 \leq \mu_w \leq 4.0$$

$$5 \leq l_s = 2h \leq 15 \text{ m}$$

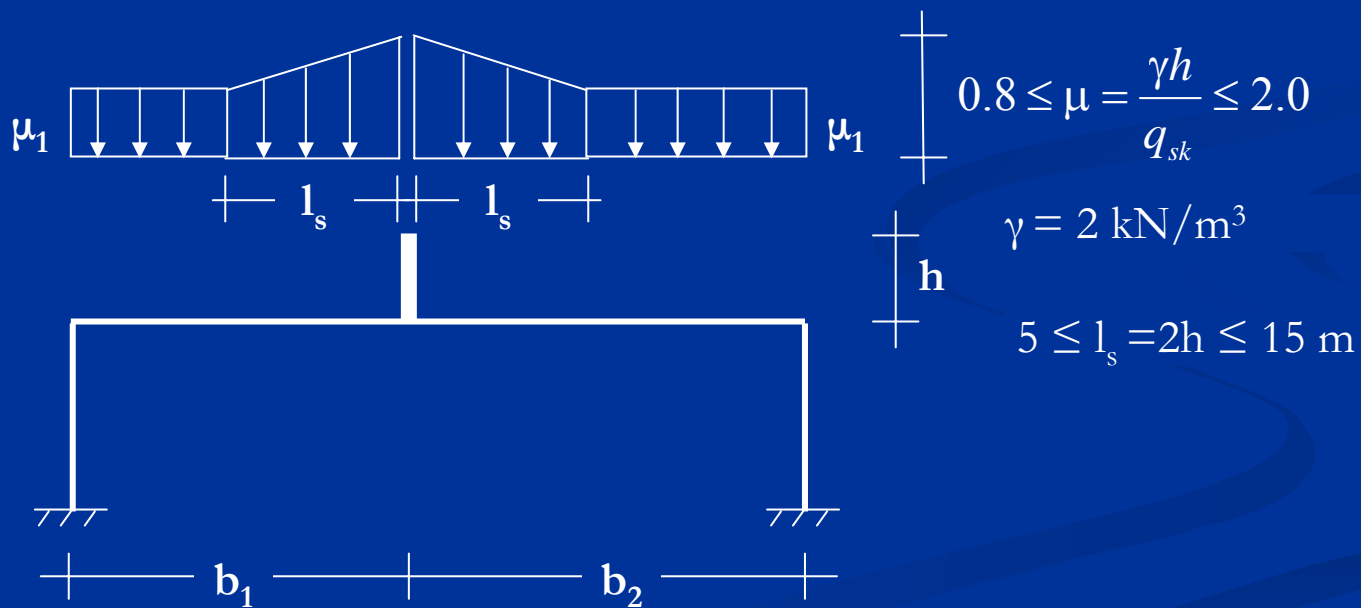
# Azioni sulle costruzioni

## Carichi da neve

### Effetti locali

Interessano solamente le membrature su cui agisce la neve (non considerare nelle verifiche globali della struttura)

### Accumuli in presenza di sporgenze



# Azioni sulle costruzioni

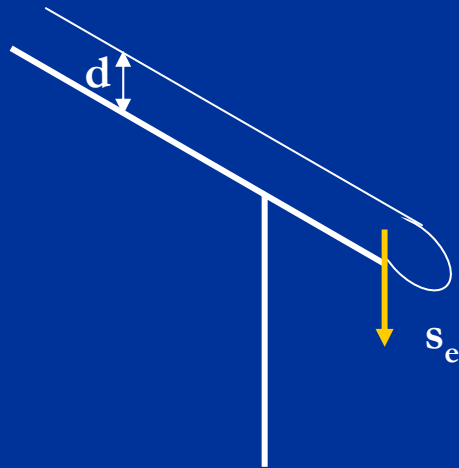
## Carichi da neve

### Effetti locali

Interessano solamente le membrature su cui agisce la neve (non considerare nelle verifiche globali della struttura)

### Neve aggettante dal bordo di una copertura

Nella verifica delle parti di copertura a sbalzo sulle murature di facciata per  $a_s > 800\text{m}$



Carico da neve per unità di lunghezza:

$$s_e = k \cdot q_s^2 / \gamma$$

$$\gamma = 3.0 \text{ kN/m}^3$$

$k = 3/d$  (irregolarità della forma della neve)  
assunto  $= 1$  nel DM96

$q_s$  carico corrispondente alla distribuzione più sfavorevole

# Carico termico

DM 14/01/08 – Par. 3.5  
Eurocodice 1 – parte 1.5

# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

Gli elementi di strutture portanti devono essere controllati per assicurare che lo spostamento termico non causi una sovra-sollecitazione della struttura

1. Disposizione di giunti di espansione
2. Inclusione degli effetti termici nella fase di progettazione

# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

Variazioni giornaliere e stagionali della temperatura esterna, irraggiamento solare e convezione, comportano variazioni della distribuzione di temperatura nei singoli elementi strutturali.

La severità delle azioni termiche è in generale influenzata da più fattori:

1. Le condizioni climatiche del sito
2. l'esposizione
3. la massa complessiva della struttura
4. L'eventuale presenza di elementi non strutturali isolanti.

# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

### Temperatura dell'aria esterna

La temperatura dell'aria esterna,  $T_{\text{est}}$ , può assumere il valore:

$$\begin{array}{ll} T_{\text{max}} & \text{(temperatura massima estiva)} \\ T_{\text{min}} & \text{(temperatura minima invernale)} \end{array}$$

Con riferimento ad un periodo di ritorno di 50 anni:

$$T_{\text{max}} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad T_{\text{min}} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

### Temperatura dell'aria interna

Dipende dalla tipologia della costruzione e dalla destinazione d'uso

$$T_{\text{int}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

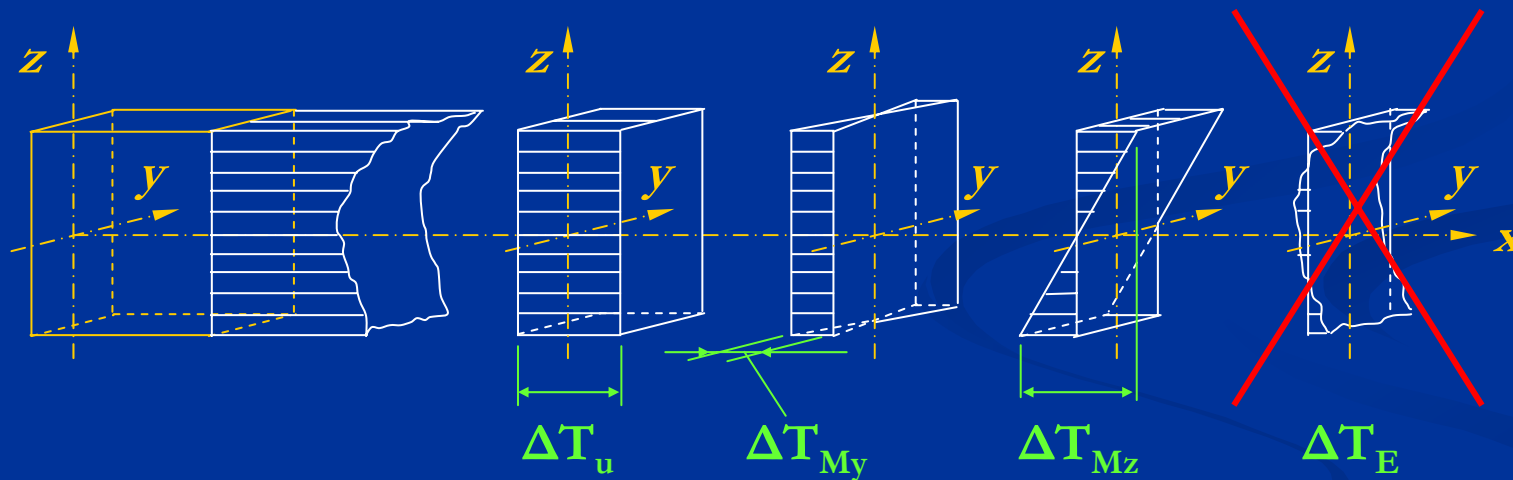


# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

### Rappresentazione delle azioni

La distribuzione di temperatura all'interno di un singolo elemento strutturale può essere scomposta in 4 componenti:



Non produce alcun effetto di forza netta sull'elemento

# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

### Distribuzione della temperatura negli elementi strutturali

Il campo di temperatura sulla sezione di un elemento strutturale monodimensionale con asse longitudinale  $x$  può essere in generale descritto mediante:

- a) una componente uniforme  $\Delta T_u = T - T_0$  pari alla differenza tra la temperatura media attuale  $T$  e quella iniziale alla data della costruzione  $T_0$ ;

$$T_0 = 15^\circ\text{C}$$

$$T = \frac{T_{\text{sup,est}} + T_{\text{sup,int}}}{2}$$

- b) due componenti variabili con legge lineare secondo gli assi principali  $y$  e  $z$  della sezione,  $\Delta T_{My}$  e  $\Delta T_{Mz}$ .

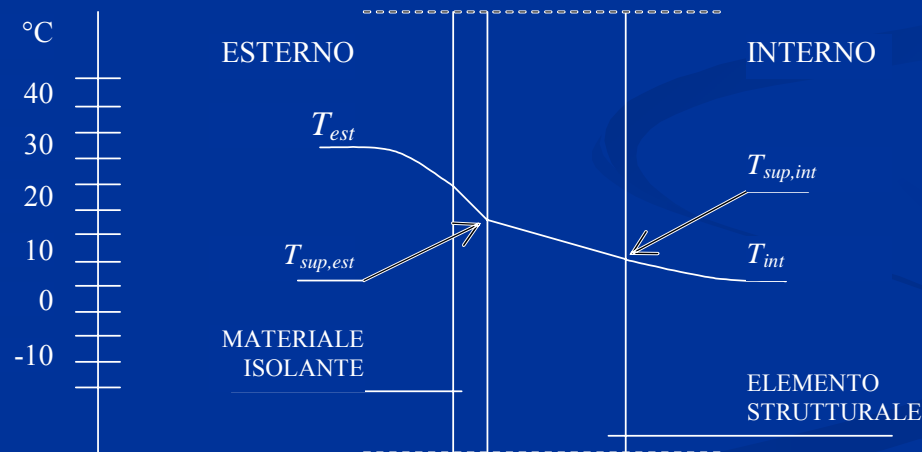
In presenza di elevati gradienti termici si deve tener conto degli effetti indotti dall'andamento non lineare della temperatura all'interno delle sezioni.

# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

### Distribuzione della temperatura negli elementi strutturali

$T_{sup,est}$  e  $T_{sup,int}$  sono valutate a partire dalla temperatura dell'aria esterna,  $T_{est}$ , e di quella interna,  $T_{int}$ , tenendo conto del **trasferimento di calore per irraggiamento e per convezione** all'interfaccia aria-costruzione e della **eventuale presenza di materiale isolante**.



# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

### Contributo dell'irraggiamento

Stagione	Natura della superficie	Incremento di temperatura	
		Superfici esposte a Nord-est	Superfici esposte a Sud-ovest o orizzontali
Estate	Superficie riflettente	0° C	18° C
	Superficie chiara	2° C	30° C
	Superficie scura	4° C	42° C
Inverno		0° C	0° C

Estate

$$T_{\text{sup,est}} = 45^{\circ} + \begin{cases} 18^{\circ} \\ 30^{\circ} \\ 42^{\circ} \end{cases}$$

Inverno

$$T_{\text{sup,est}} = T_{\text{min}} = -15^{\circ}$$

# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

### AZIONI TERMICHE SUGLI EDIFICI

Se l'azione termica non è fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura si può tener conto della sola componente  $\Delta T_u$

Tipo di struttura	$\Delta T_u$
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15^{\circ}\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10^{\circ}\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25^{\circ}\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15^{\circ}\text{C}$

In caso contrario deve essere valutato più approfonditamente il problema della trasmissione del calore.

Valori uguali a quelli forniti nel DM 96

# Azioni sulle costruzioni

## Temperatura

### PARTICOLARI PRECAUZIONI NEL PROGETTO DI STRUTTURE SOGGETTE AD AZIONI TERMICHE SPECIALI

Strutture ed elementi strutturali in contatto con liquidi, aeriformi o solidi a temperature diverse, quali ciminiere, tubazioni, sili, serbatoi, torri di raffreddamento, ecc., devono essere progettati tenendo conto delle distribuzioni di temperatura corrispondenti alle specifiche condizioni di servizio.

### EFFETTI DELLE AZIONI TERMICHE

Coefficienti di dilatazione termica  $\alpha_T$  per diversi materiali.

Materiale	$\alpha_T$ [ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ]	Materiale	$\alpha_T$ [ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ]
Alluminio	24	Cls alleggerito	7
Acciaio da carpenteria	12	Muratura	$6 \div 10$
Cls strutturale	10	Legno (parallelo fibre)	5
Strutture acciaio-cls	12	Legno (ortog. fibre)	$30 \div 70$

# Azioni Eccezionali

DM 14/01/08 – Par. 3.6  
Eurocodice 1 – parti 1.2 e 1.7

# Azioni Eccezionali

## Generalità

Si presentano in occasione di eventi quali:

- incendi
- esplosioni
- urti

Quando non si effettuano verifiche specifiche nei confronti delle azioni eccezionali, la concezione strutturale, i dettagli costruttivi ed i materiali utilizzati dovranno essere tali da evitare che la struttura possa essere danneggiata in misura sproporzionata rispetto alla causa.



# Azioni Eccezionali

## Incendio: Richieste di Prestazioni

Le costruzioni devono essere progettate e costruite in modo da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti e limitare la propagazione del fuoco e dei fumi in accordo alle norme antincendio. Tali obiettivi sono raggiunti attraverso misure e sistemi di protezione attiva e passiva.

Livello I	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze del collasso delle strutture siano accettabili o dove il rischio sia trascurabile
Livello II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione
Livello III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza
Livello IV	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse
Livello V	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento totale delle strutture stesse

# Azioni Eccezionali

## Procedura di analisi della resistenza al fuoco

L'analisi della resistenza al fuoco può essere così articolata:

1. Individuazione dell'incendio di progetto appropriato alla costruzione
2. Analisi dell'evoluzione della temperatura all'interno degli elementi strutturali
3. Analisi del comportamento meccanico delle strutture esposte al fuoco
4. Verifiche di sicurezza

# Azioni Eccezionali

## 1. Incendio di progetto

L'incendio convenzionale di progetto è definito attraverso una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo (espresso in minuti primi), della temperatura dei gas di combustione  $\theta_g$  nell'intorno della superficie degli elementi strutturali

Materiali combustibili di natura prevalentemente cellulosa:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Incendi di quantità rilevanti di idrocarburi:

$$\theta_g = 1080 \cdot (1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Gli incendi vengono generalmente applicati ad un compartimento dell'edificio alla volta

# Azioni Eccezionali

## 2. Analisi dell'evoluzione della temperatura

Il campo termico all'interno dei componenti della struttura viene valutato risolvendo il corrispondente problema di propagazione del calore tenendo conto del trasferimento del calore per

- irraggiamento
- convezione dai gas alla superficie esterna degli elementi

Occorre tenere conto di eventuale presenza di materiali protettivi

Indicazioni più dettagliate sono fornite nell'Eurocodice 1 – parte 1.2

# Azioni Eccezionali

## 3. Analisi del comportamento meccanico

Il comportamento meccanico della struttura è analizzato tenendo conto della riduzione della resistenza meccanica dei componenti dovuta al danneggiamento dei materiali per effetto della temperatura.

Si deve tener conto di eventuali effetti delle sollecitazioni iperstatiche dovute alle dilatazioni termiche contrastate (azioni indirette) ad eccezione dei seguenti casi:

- È riconoscibile a priori che sono trascurabili o favorevoli
- Sono implicitamente tenute in conto nei modelli semplificati e conservativi di comportamento strutturale in condizioni di incendio

# Azioni Eccezionali

## 4. Verifiche di sicurezza

La verifica viene eseguita controllando che la resistenza meccanica venga mantenuta per il tempo corrispondente alla classe di resistenza al fuoco della struttura con riferimento alla curva nominale d'incendio

Le **classi di resistenza** al fuoco sono 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360 ed esprimono il tempo, in minuti, durante il quale la resistenza al fuoco deve essere garantita

# Azioni Eccezionali

## Esplosioni: classificazione delle azioni

Gli effetti delle esplosioni possono essere tenuti in conto nella progettazione delle costruzioni in cui possono presentarsi miscele esplosive di polveri o gas in aria (sono escluse esplosioni che si verificano all'esterno dell'edificio)

Le azioni di progetto dovute alle esplosioni sono classificate sulla base degli effetti che possono produrre sulle costruzioni:

Categoria di azione	Possibili effetti
1	effetti trascurabili sulle strutture
2	effetti localizzati su parte delle strutture
3	effetti generalizzati sulle strutture

# Azioni Eccezionali

## Esplosioni: Modellazione delle azioni dovute

Le azioni dovute alle esplosioni sono rappresentate mediante distribuzioni di pressione agenti simultaneamente su tutte le pareti dell'ambiente

Per esplosioni di categoria 2, in presenza di idonei pannelli di sfogo negli ambienti a rischio:

$$p_d = \max \begin{cases} 3 + p_v \\ 3 + p_v/2 + 0.04/(A_v/V)^2 \end{cases} \quad \text{con} \quad 0.05\text{m}^{-1} \leq A_v/V \leq 0.15\text{m}^{-1}$$

$p_v$  pressione statica uniformemente distribuita in corrispondenza della quale le aperture di sfogo cedono [ $\text{kN}/\text{m}^2$ ];

$A_v$  area delle aperture di sfogo [ $\text{m}^2$ ];

$V$  volume dell'ambiente [ $\text{m}^3$ ]

Tutti gli elementi chiave e le connessioni devono comunque sopportare una pressione di progetto  $p_d = 20\text{kN}/\text{m}^2$  (applicata da ogni direzione)



# Azioni Eccezionali

## Esplosioni: criteri di progettazione

Sono considerati accettabili danneggiamenti localizzati, anche gravi, dovuti ad esplosioni a condizioni che ciò non esponga al pericolo l'intera struttura o che la capacità portante sia mantenuta per un tempo sufficiente affinché siano prese le necessarie misure di emergenza.

Possono essere adottate misure di protezione:

- Introduzione di superfici che collassano sotto sovrappressioni prestabilite
- Giunti strutturali per separare porzioni di edificio a rischio
- Prevenzione di crolli significativi in conseguenza di cedimenti strutturali localizzati

# Azioni Eccezionali

## Urti (Generalità)

Si distinguono le azioni dovute a:

- Collisioni da veicoli;
- Collisioni da treni;
- Collisioni da imbarcazioni;
- Collisioni da aeromobili.

Non vengono prese in esame le azioni eccezionali dovute a fenomeni naturali (caduta di rocce, frane o valanghe).

# Azioni Eccezionali

## Classificazione delle azioni dovute agli urti

Le azioni di progetto dovute agli urti sono classificate sulla base degli effetti che possono produrre sulle costruzioni:

Categoria di azione	Possibili effetti
1	effetti trascurabili sulle strutture
2	effetti localizzati su parte delle strutture
3	effetti generalizzati sulle strutture

# Azioni Eccezionali

## Urti da traffico veicolare

Le azioni da urto hanno direzione parallela a quella del moto del veicolo al momento dell'impatto. Si possono considerare simultaneamente due azioni nella direzione parallela ( $F_{d,x}$ ) e ortogonale ( $F_{d,y}$ ) alla direzione normale di marcia.

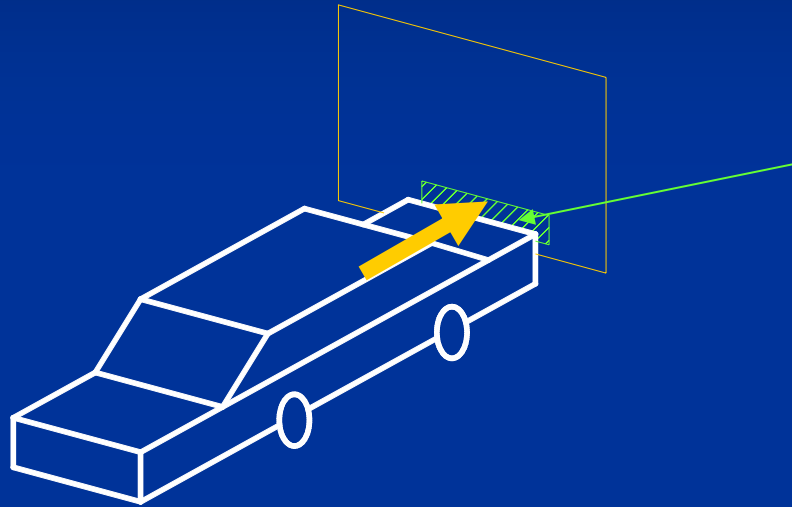
$$F_{dy} = 0.50 F_{dx}$$

Tipo di strada	Tipo di veicolo	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Autostrade, strade extraurbane	-	1000
Strade locali	-	750
Strade urbane	-	500
Aree di parcheggio e autorimesse	Automobili	50
	Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi masse > 3.5t	150

# Azioni Eccezionali

## Urti da traffico veicolare

### Urti su membrature verticali



Area di impronta  **$h=0.25\text{m}$**   
 **$b=\min(1.5, L)$**

Posizione forza (al di sopra della  
superficie di marcia)  **$h=0.50\text{m}$**

### Urti su membrature orizzontali al di sopra della strada

$$F = r F_{dx}$$

$r = 1.0$  (per altezze del sottovia fino a 5 m)

$r = 0.0$  (per altezze del sottovia superiori a 6 m)

$r$  per interpolazione per altezze intermedie

Le stesse azioni devono essere considerate sull'intradosso dell'elemento strutturale con una inclinazione pari a  $10^\circ$

# Azioni Eccezionali

## Urti da traffico veicolare

### Traffico veicolare sopra i ponti

In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di **100kN**

Essa deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100mm sotto la sommità dell'elemento o 1.0m sopra il livello del piano di marcia.

La forza deve essere applicata su una linea lunga 0.5m

# Azioni Eccezionali

## Urti da traffico ferroviario

In caso di deragliamento può verificarsi la collisione tra veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia.

In assenza di specifiche analisi di rischio si possono assumere le seguenti azioni statiche equivalenti:

Per  $d$  (distanza degli elementi esposti dall'asse del binario)  $\leq 5.0$  m:

- **4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia**
- **1500 kN in direzione perpendicolare**

Per  $5.0\text{m} < d \leq 15.0$  m:

- **2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia**
- **750 kN in direzione perpendicolare**

Per  $d > 15.0$  m:

- **Nessuna azione**

Le forze non devono essere agenti simultaneamente e devono essere applicate a 1.80m dal piano del ferro

# Azioni Eccezionali

## Urti da imbarcazioni

Si possono considerare agenti, non simultaneamente, due azioni nelle direzioni parallela ( $F_{d,x}$ ) e ortogonale ( $F_{d,y}$ ) alla direzione del moto dell'imbarcazione, con:

$$F_{d,y} = 0.50 F_{d,x}$$

Simultaneamente all'azione  $F_{d,y}$  deve essere considerata l'azione tangenziale  $F_R$  dovuta all'attrito

$$F_R = 0.40 F_{d,y}$$

Classe imbarcazione	Lunghezza [m]	Massa a pieno carico [t]	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Piccola	50	3000	30000
Media	100	10000	80000
Grande	200	40000	240000
Molto grande	300	100000	460000



# Azioni Eccezionali

## Urti da elicotteri

Se in progetto è previsto il possibile atterraggio di elicotteri sulla copertura della costruzione, si deve considerare un'azione eccezionale per gli atterraggi di emergenza

Forza statica verticale equivalente di progetto:

$$F_d = 100\sqrt{m}$$

Con m massa in tonnellate dell'aeromobile

Si deve considerare che le azioni dell'urto possano agire su ogni parte dell'area di atterraggio e del tetto ad almeno una distanza di 7m dai limiti dell'atterraggio. L'area di impatto può essere assunta pari a 2m x 2m.

FINE