

# Lezione

Tecnica delle Costruzioni

# Carico da vento

# Azioni sulle costruzioni

## Fondamenti

I fenomeni meteorologici che si attuano nell'atmosfera terrestre sono prodotti dalle radiazioni del Sole. Esse danno luogo a regimi termici e a campi di pressione responsabili di movimenti delle masse d'aria, generalmente classificati in funzione della loro scala spaziale e temporale.

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

Assumendo inizialmente la costruzione fissa e indeformabile, il vento  $V$  applica sulla costruzione nel suo complesso, e sui suoi singoli elementi componenti, un sistema di azioni aerodinamiche  $F_s$ , funzioni della forma, dell'orientamento e delle dimensioni del corpo investito.

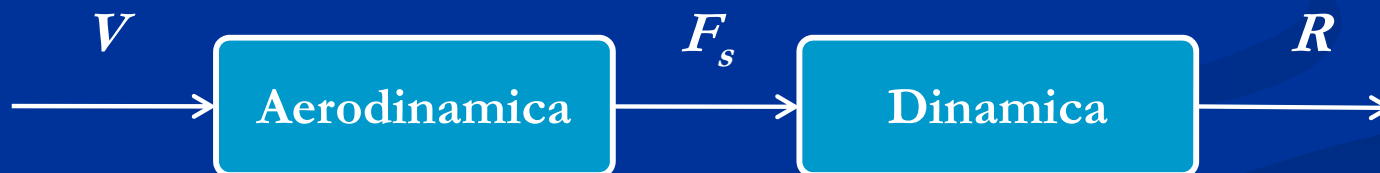
# Azioni sulle costruzioni

## Fondamenti

Ammettendo che la struttura sia sottoposta a spostamenti causati dal vento, ma che tali spostamenti siano tanto piccoli che lo stato del sistema si possa 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.

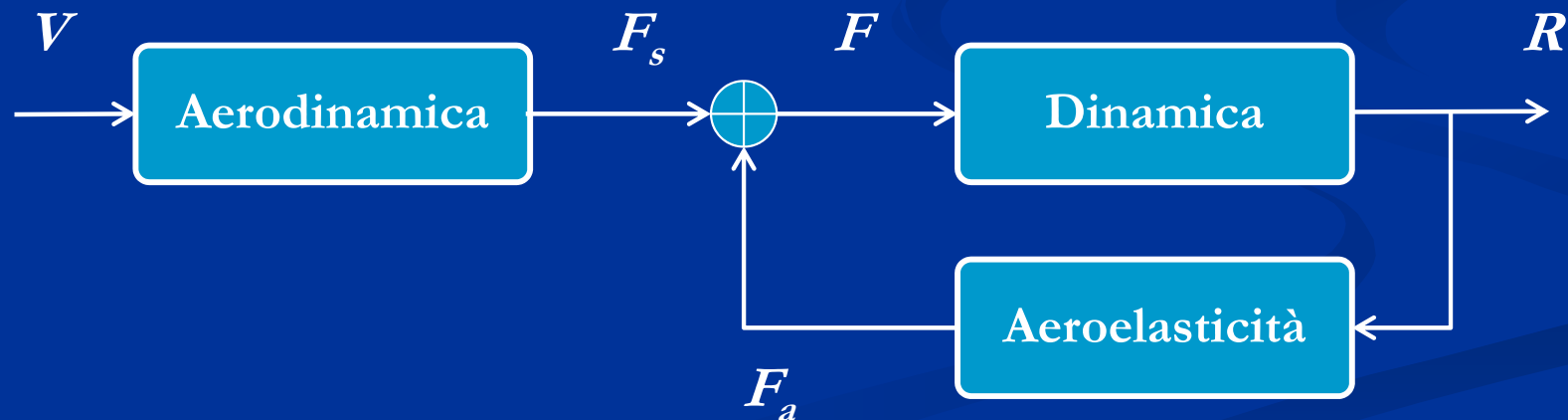




# Azioni sulle costruzioni

## Fondamenti

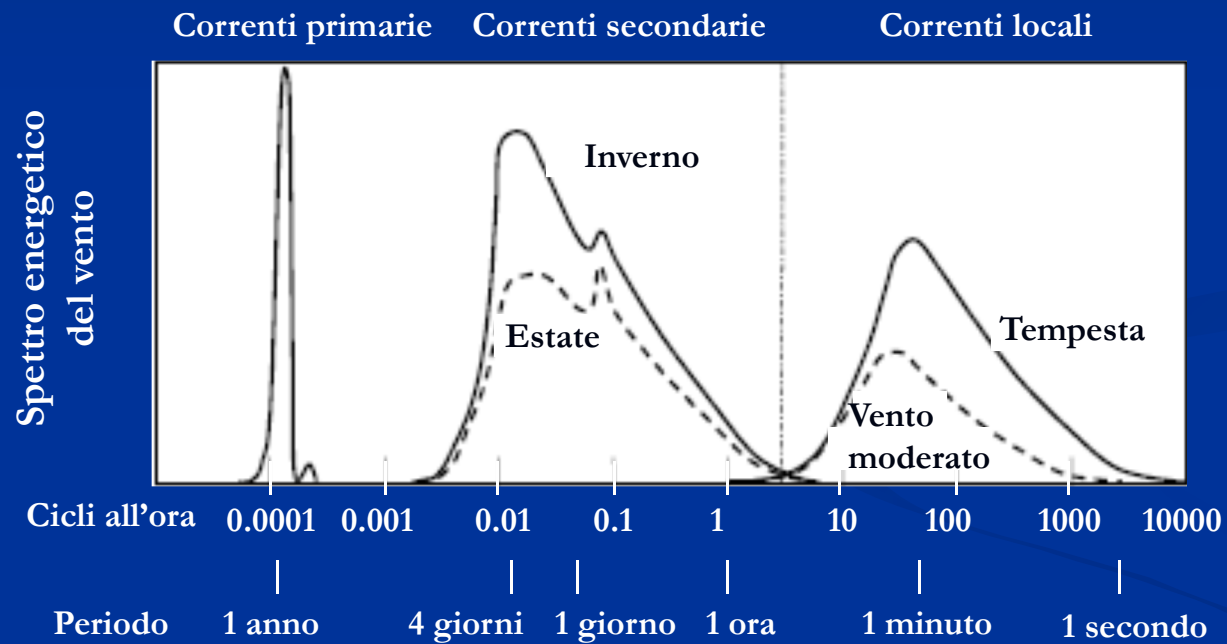
In realtà, soprattutto nel caso delle strutture leggere, flessibili e/o poco smorzate, caratterizzate da una forma aerodinamica suscettibile alle azioni del vento, gli spostamenti e le velocità strutturali sono talvolta così grandi da provocare fenomeni d'interazione vento-struttura, detti aeroelastici,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



# Il vento

## Classificazione

### SPETTRO ENERGETICO DEL VENTO



# Il vento

## Classificazione

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

# Caratterizzazione dell'azione da vento

# Il vento

## Misurazione della velocità del vento

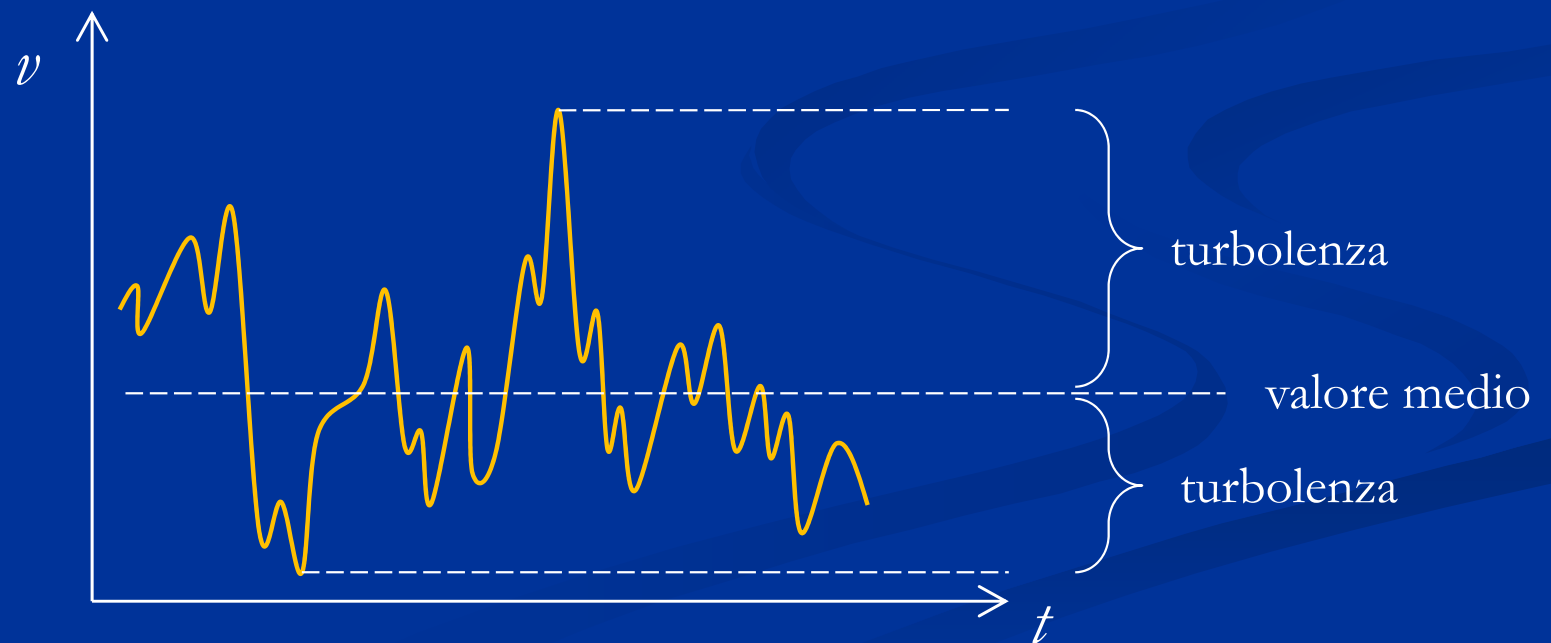
La velocità del vento si può calcolare con:

- ANEMOMETRO A COPPE
- ANEMOMETRO A FILO CALDO

# Il vento

## Velocità del vento

La velocità istantanea del vento varia casualmente nel tempo e nello spazio. Essa è costituita da una parte media, variabile lentamente nel tempo e nello spazio, e da una fluttuazione turbolenta a media nulla, variabile rapidamente nel tempo e nello spazio.



# Il vento

## Velocità del vento

I valori di progetto della velocità media e fluttuazione turbolenta del vento dipendono dalla:

- posizione geografica
- altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione,
- caratteristiche locali del terreno,
- rugosità e topografia,
- altezza sul suolo,
- probabilità di superamento in un anno
- periodo di ritorno.

# Il vento

## Velocità di riferimento

La velocità 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.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche  $v_b$  è data dall'espressione:

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

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



# Il vento

## Velocità di riferimento

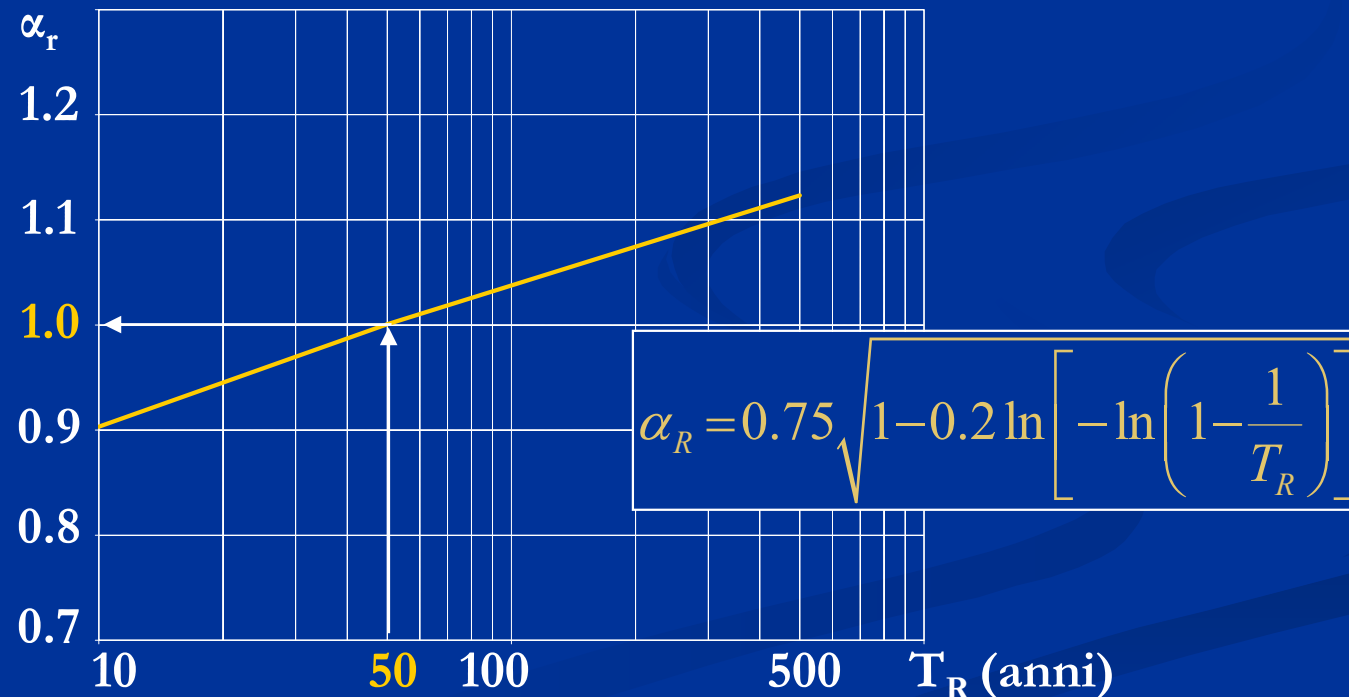
Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	$a_0$ [m]	$k_a$ [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con eccezione provincia di Trieste)	25	1000	0.010
2	Emilia Romagna	25	750	0.015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, 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

# Il vento

## Velocità di riferimento

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

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



# Il vento

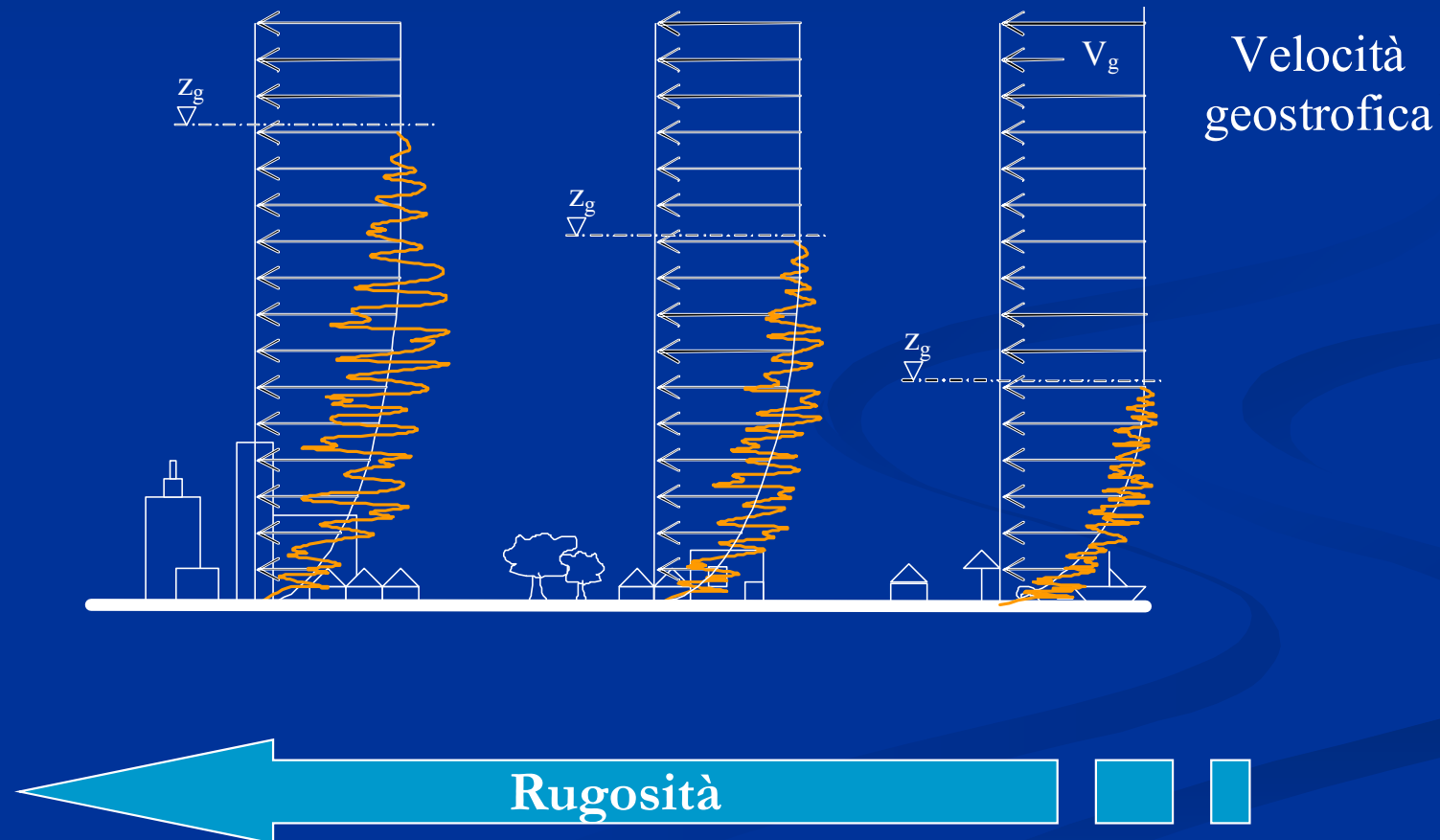
## Profilo verticale della velocità del vento



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

# Il vento

## Profilo verticale della velocità del vento



# Il vento

## Profilo verticale della velocità media

In mancanza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva rugosità e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, la velocità media del vento è fornita da:

$$v_m(z) = v_b c_m(z)$$

dove:

$v_b$  è la velocità di riferimento di progetto;

$c_m$  è il coefficiente di profilo medio del vento fornito dalla relazione:

$$c_m(z) = k_r \ln(z_{\min}/z_o) c_t(z_{\min}) \quad \text{per } z \leq z_{\min}$$

$$c_m(z) = k_r \ln(z/z_o) c_t(z) \quad \text{per } z > z_{\min}$$

dove:

$k_r, z_o, z_{\min}$  sono, rispettivamente, il fattore di terreno, la lunghezza di rugosità e l'altezza minima, in funzione della categoria di esposizione del sito;

$c_t$  è il coefficiente di topografia, in funzione delle caratteristiche topografiche e orografiche del sito.

# Il vento

## Valore di picco della velocità del vento

Si definisce valore di picco della velocità del vento  $v_p$  il valore medio di  $v_{max}$  associato al periodo di ritorno di progetto.

$$v_p(P; t) = v_m(z) + g_v(z) \sigma_v(P; t) = v_m(z) G_v(z)$$

con

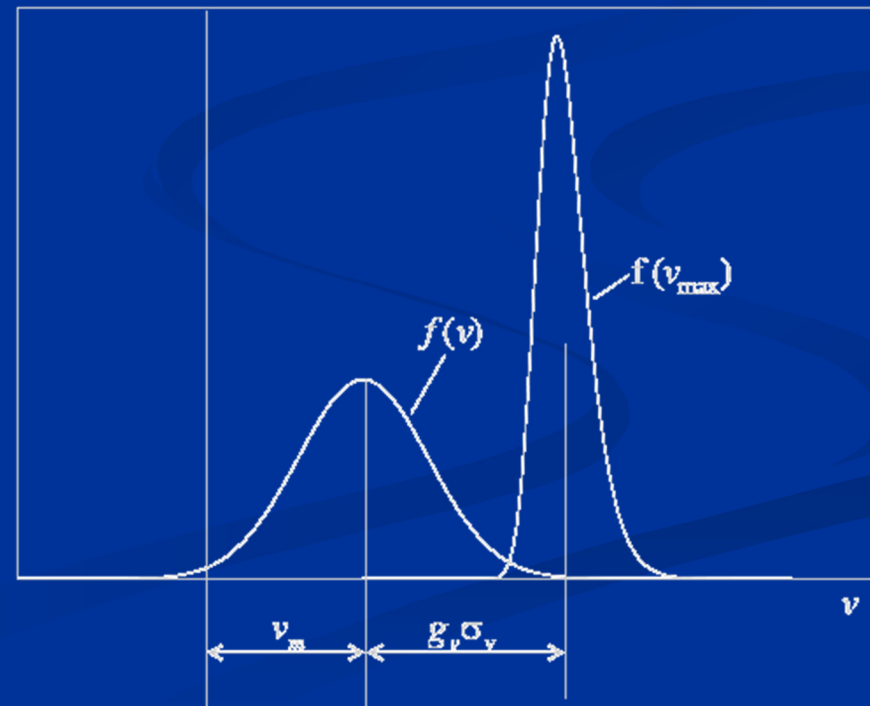
$$G_v(z) = 1 + g_v(z) I_v(z)$$

dove

$I_v$  è l'intensità della turbolenza,

$g_v$  è il coefficiente di picco di  $v$

$G_v$  è il fattore di raffica della velocità



# Il vento

## Valore di picco della velocità del vento

L'intensità della turbolenza è il rapporto fra la deviazione standard della componente longitudinale della turbolenza e la velocità media del vento. In mancanza di analisi specifiche, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, essa è fornita dalla relazione:

$$I_v(z) = \frac{1}{\ln(z_{\min}/z_o) c_t(z_{\min})} \quad \text{per } z \leq z_{\min}$$

$$I_v(z) = \frac{1}{\ln(z/z_o) c_t(z)} \quad \text{per } z > z_{\min}$$

dove:

$z_o, z_{\min}$  sono, rispettivamente, la lunghezza di rugosità e l'altezza minima, funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;  
 $c_t$  è il coefficiente di topografia, funzione delle caratteristiche topografiche e orografiche del sito ove sorge la costruzione.



# Il vento

## Pressione cinetica di picco

Il valore della velocità di picco del vento è:

$$v_p(P; t) = v_m(z) + g_v(z) \sigma_v(P; t) = v_m(z) [1 + g_v(z) I_v(z)]$$

Osservando che l'intensità della turbolenza è generalmente molto minore di 1, il valore di picco della pressione cinetica del vento può essere espresso mediante la relazione:

$$p(z) = \frac{1}{2} \rho v_p^2(z) \cong \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) [1 + 2g_v(z) I_v(z)]$$

dove  $\rho$  è la densità dell'aria.



$$p(z) \cong \frac{1}{2} \rho v_b^2 \cdot c_m^2(z) [1 + 2g_v(z) I_v(z)]$$

# L'azione da vento sulle costruzioni

# Azioni sulle costruzioni

## Azioni statiche equivalenti

Limitatamente alle costruzioni e agli elementi caratterizzati da forma regolare e dimensioni ordinarie, dotati di rigidità e smorzamento sufficientemente grandi da limitare gli effetti dinamici, da escludere l'occorrenza di fenomeni aeroelastici pericolosi ed effetti d'interferenza tali da amplificare la risposta dinamica,

è possibile valutare gli effetti indotti dal vento mediante azioni equivalenti che, applicate staticamente sulle costruzioni e/o sui loro elementi, diano origine agli effetti massimi indotti dall'applicazione dinamica delle azioni effettive del vento.

# Azioni sulle costruzioni

## Azioni statiche equivalenti

- Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.
- L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.
- 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

## Azione normale

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. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria 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

## Azione tangenziale

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. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

# Azioni sulle costruzioni

## 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>.

( Nota: della velocità di riferimento di si è discusso prima )

# Azioni sulle costruzioni

## Coefficiente di esposizione $c_e$

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.

In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, esso è dato dalla formula:

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

**Nota:** tale coefficiente è il prodotto del fattore di raffica del vento per la funzione di forma della velocità del vento in elevazione





# Azioni sulle costruzioni

## Coefficiente di esposizione

In assenza di analisi specifiche, per altezze sul suolo non maggiori di  $z = 200$  m, il coefficiente di esposizione è dato dalla formula:

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

dove

$k_r$ ,  $z_0$ ,  $z_{\min}$  (fattore di terreno, lunghezza di rugosità e altezza minima) 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

## Classe di rugosità

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

## Classe di rugosità

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

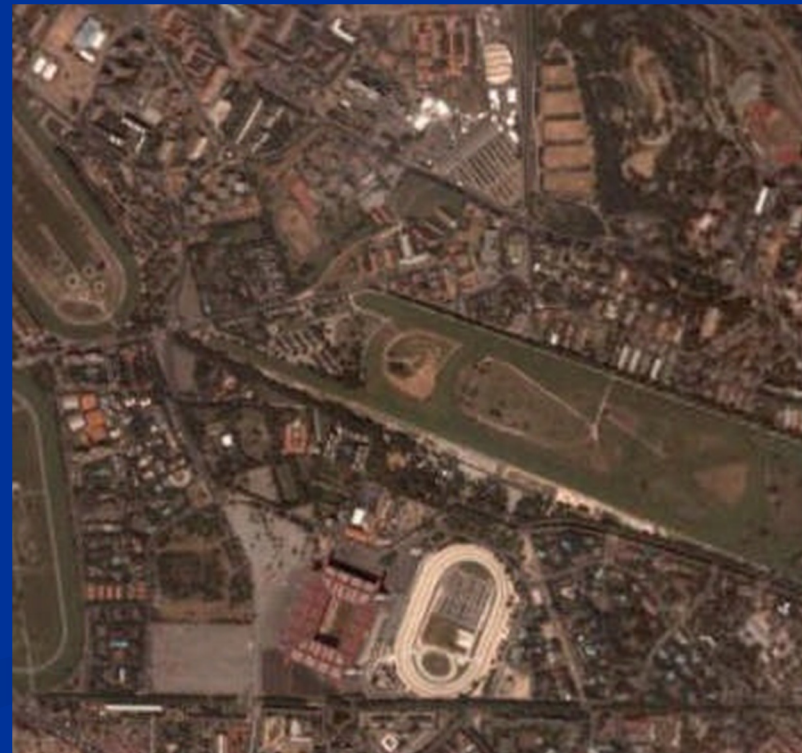




# Azioni sulle costruzioni

## Classe di rugosità

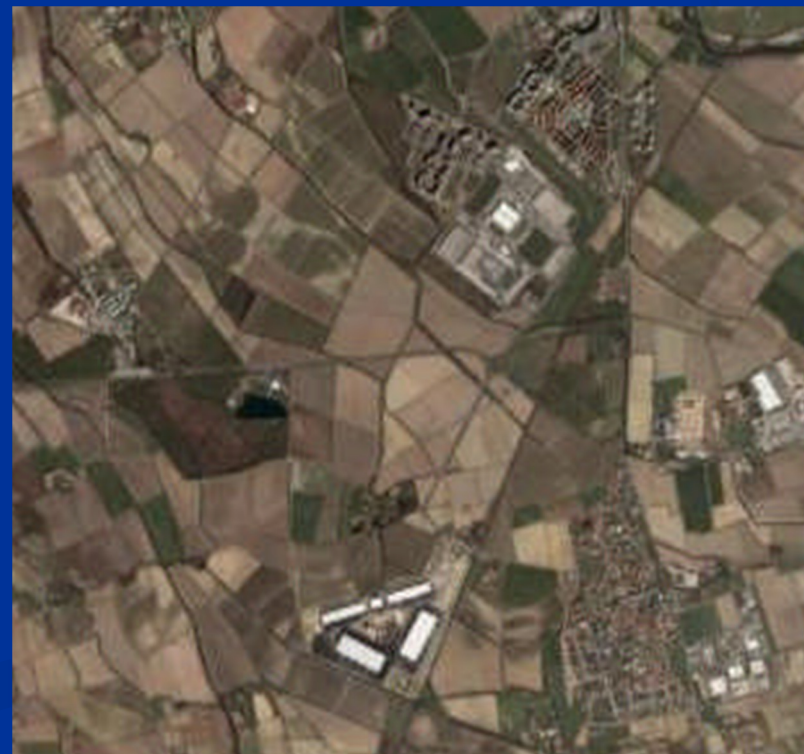
**B** Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive



# Azioni sulle costruzioni

## Classe di rugosità

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

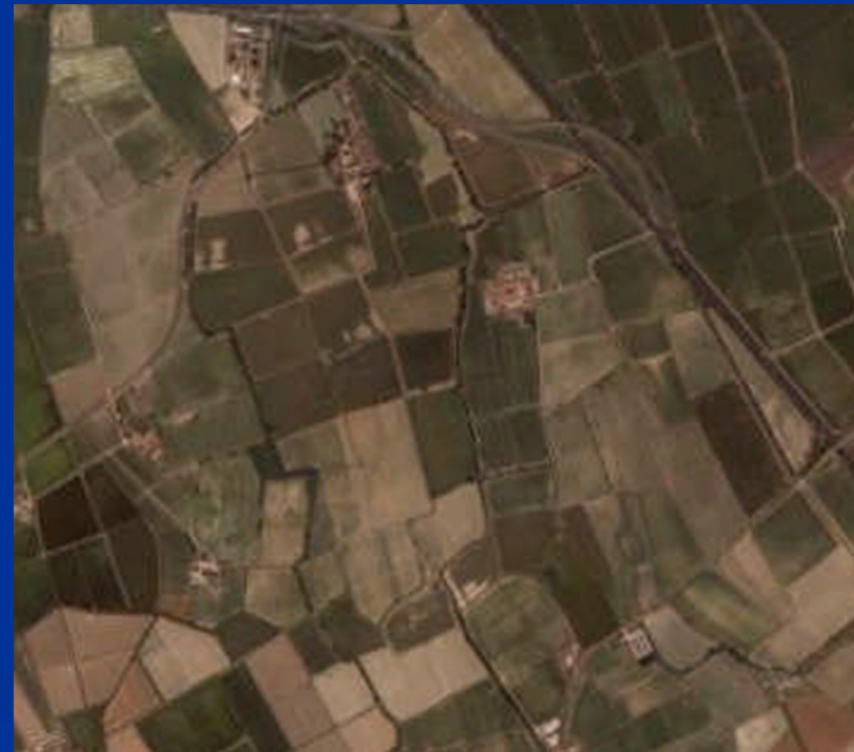




# Azioni sulle costruzioni

## Classe di rugosità

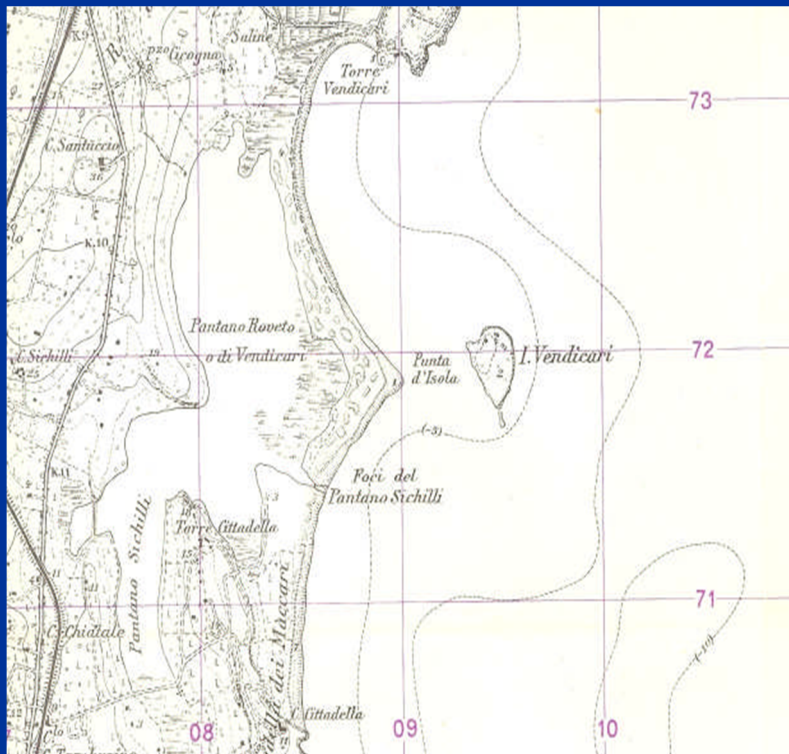
**D** Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)



# Azioni sulle costruzioni

## Classe di rugosità

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



# Azioni sulle costruzioni

## Categoria di esposizione

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						

ZONA 6					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

ZONE 7, 8			
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

## Coefficiente di topografia

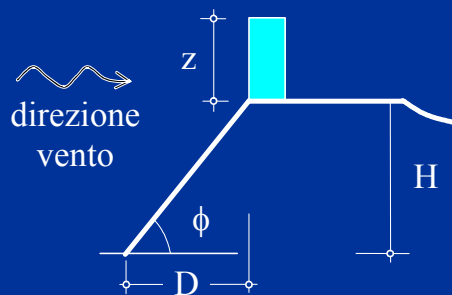
Il coefficiente di topografia  $c_t$  è posto di regola pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane.

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

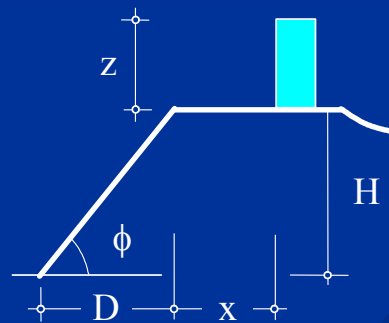
## Coefficiente di topografia

Costruzioni ubicate sulla  
cresta di una collina



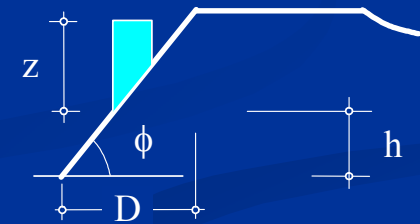
$$c_t = 1 + \beta\gamma$$

Costruzioni sul livello  
superiore di un dislivello



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

Costruzioni su un pendio



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

$$\beta = 0.5$$

$$z/H \leq 0.75$$

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

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

$$\beta = 0.0$$

$$z/H > 2$$

$$\gamma = 0.0$$

$$z/H \leq 0.75$$

$$\gamma = 5(H/D - 0.10)$$

$$0.10 < H/D \leq 0.30$$

$$\gamma = 1.0$$

$$H/D > 0.30$$

# Azioni sulle costruzioni

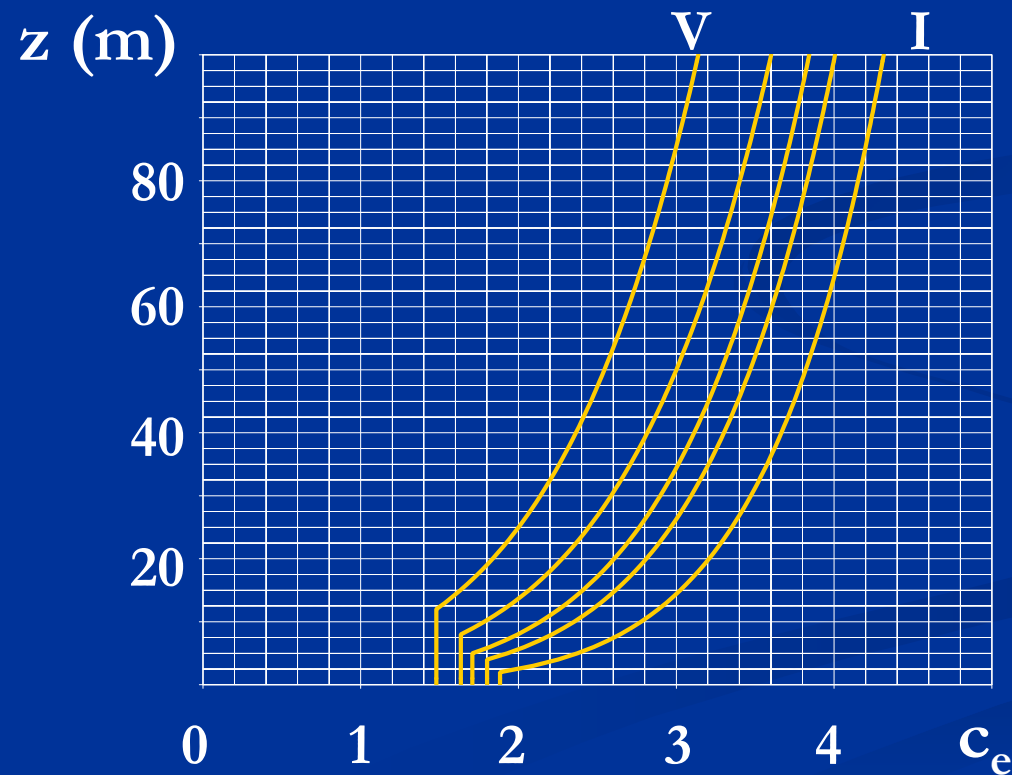
## Coefficiente di esposizione

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

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

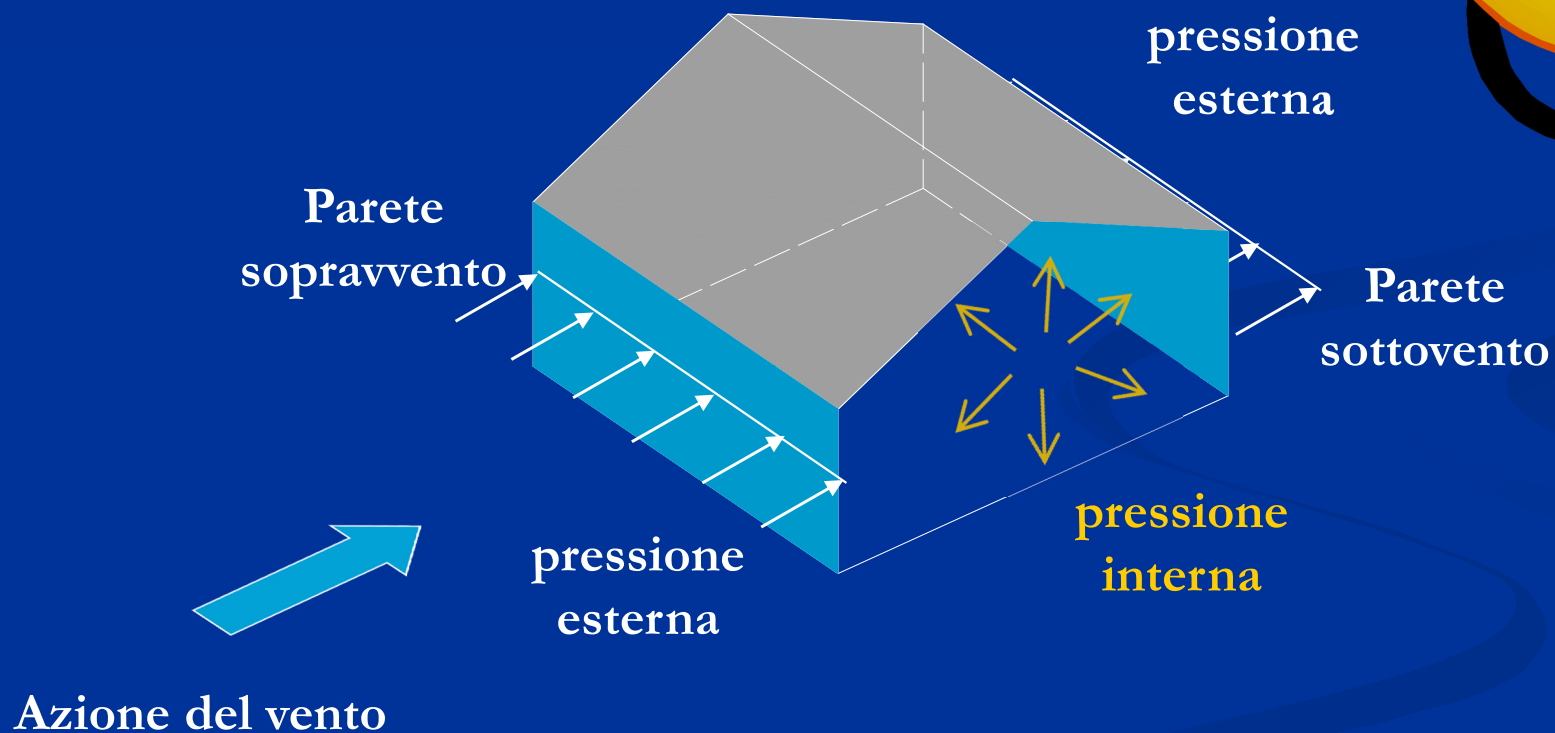
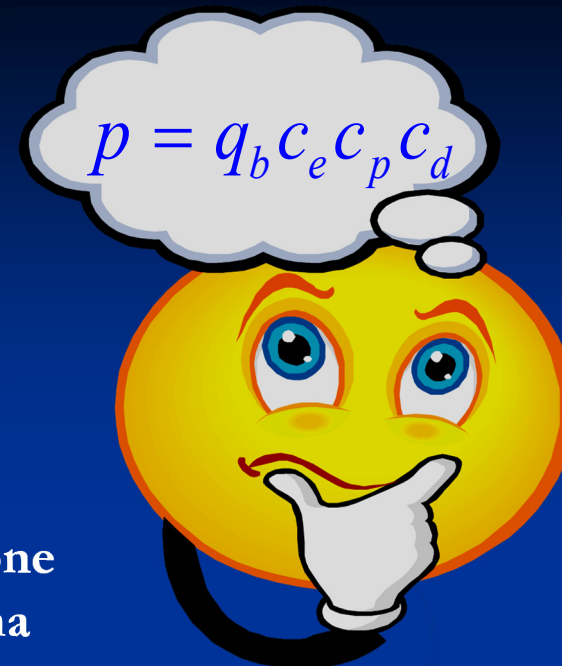
per  $z \geq z_{\min}$

per  $z < z_{\min}$



# Azioni sulle costruzioni

Coefficiente di forma  $c_p$

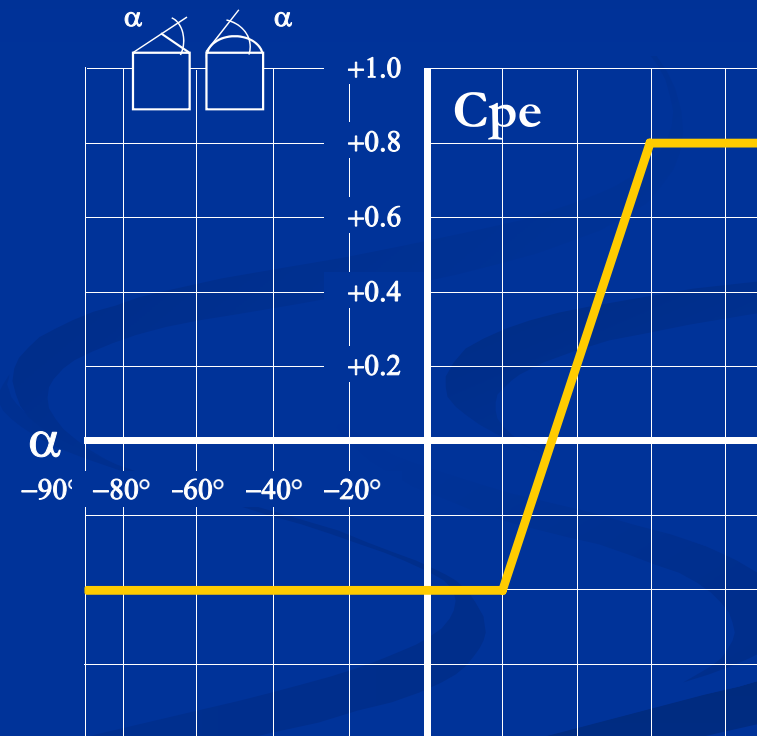


# Azioni sulle costruzioni

## 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):  
 $c_{pe} = - 0,4$



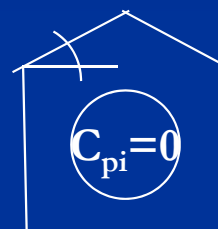
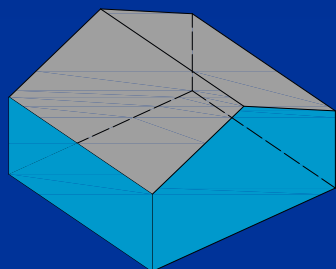
# Azioni sulle costruzioni

## Coefficiente di forma (interno)

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

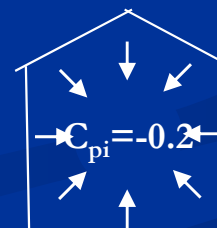
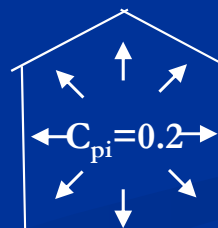
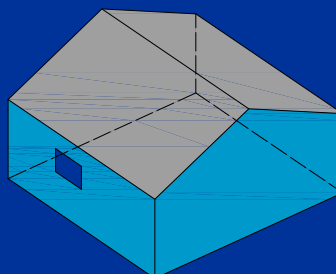
- costruzioni completamente stagne:

$$c_{pi} = 0$$



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

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

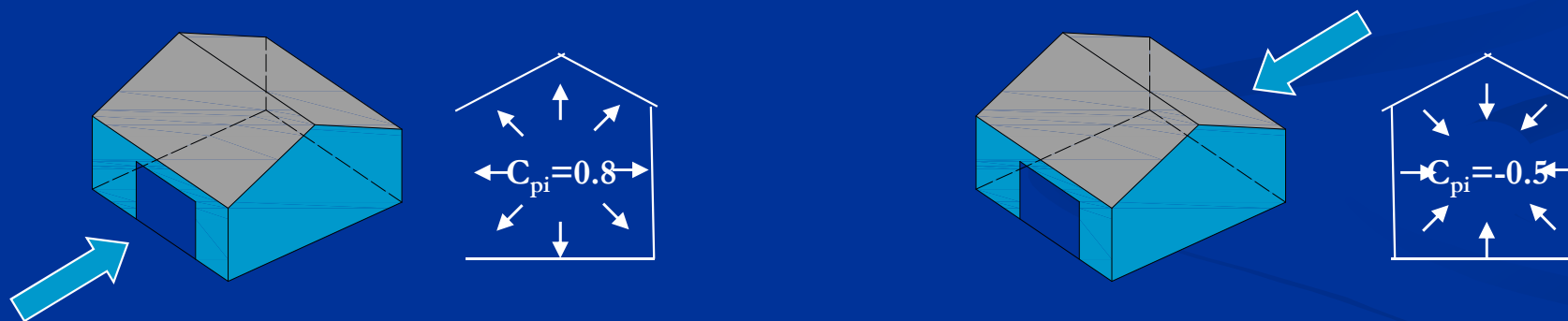


# Azioni sulle costruzioni

## Coefficiente di forma (interno)

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

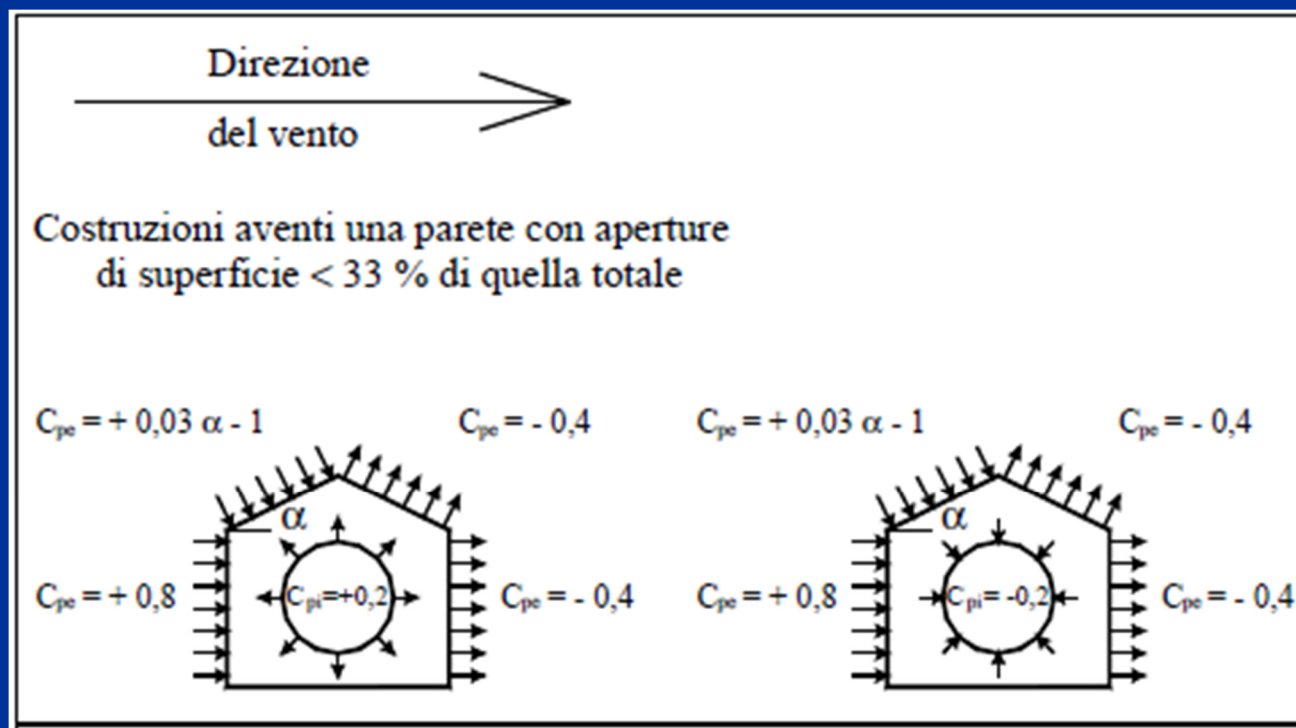
- costruzioni che hanno una parete con aperture di superficie non minore di  $1/3$  di quella totale:  
 $c_{pi} = + 0,8$  parete aperta sopravvento;  
 $c_{pi} = - 0,5$  parete aperta sottovento o parallela al vento;



- 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

## Coefficienti di forma per edifici

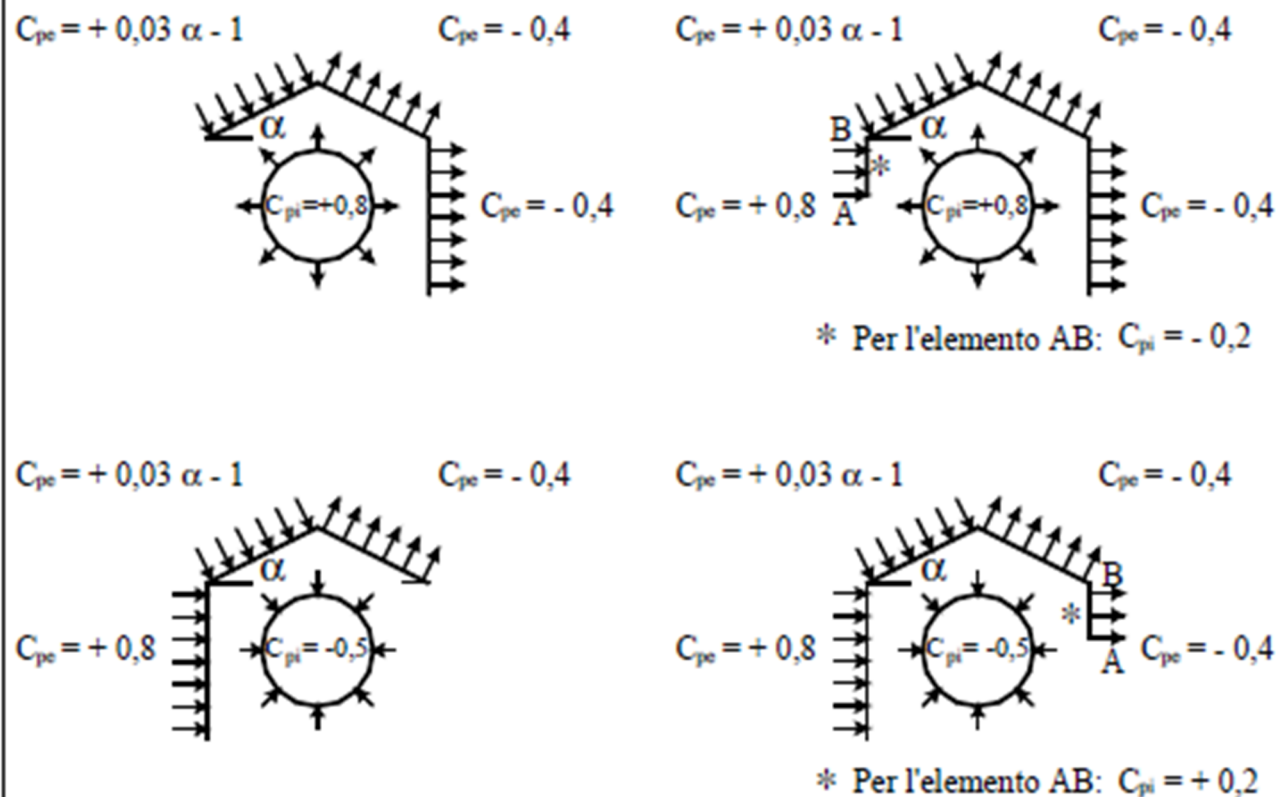




# Azioni sulle costruzioni

## Coefficienti di forma per edifici

Costruzioni aventi una parete con aperture  
di superficie  $\geq 33\%$  di quella totale

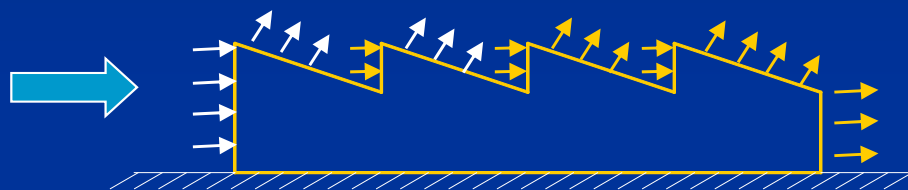


# Azioni sulle costruzioni

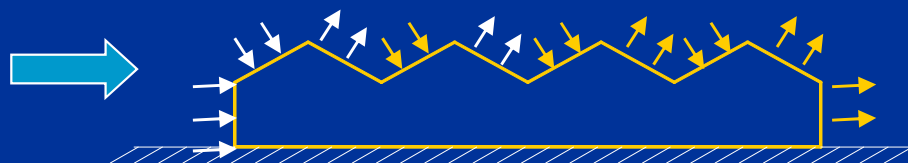
## Coefficiente di forma per coperture

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

Azioni sui singoli elementi:

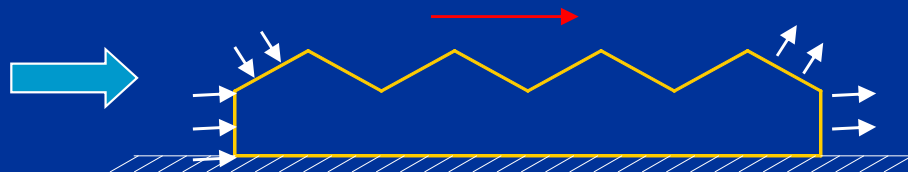


Riduzione del 25% del  $c_{pe}$  del secondo spiovente sopravvento



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

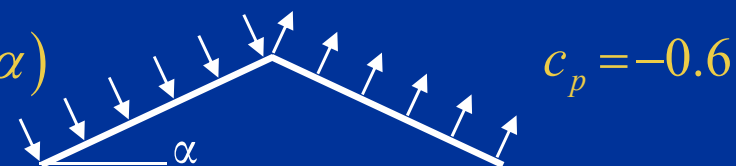
## Coefficiente di forma per tettoie e pensiline

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

Tettoie a due spioventi piani



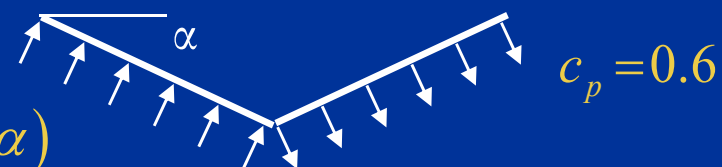
$$c_p = \pm 0.8(1 + \sin \alpha)$$



Tettoie a due spioventi con impluvio



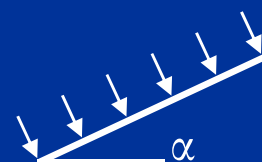
$$c_p = \pm 0.8(1 + \sin \alpha)$$



Tettoie ad uno spiovente piano



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

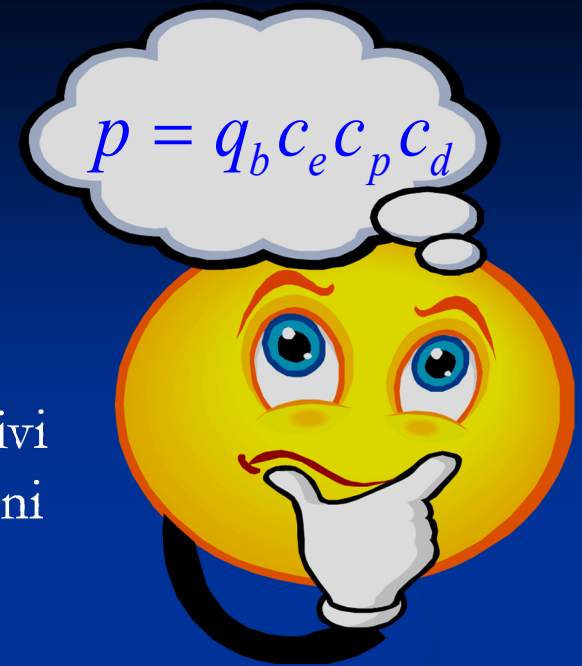


# Azioni sulle costruzioni

## Coefficiente dinamico $c_d$

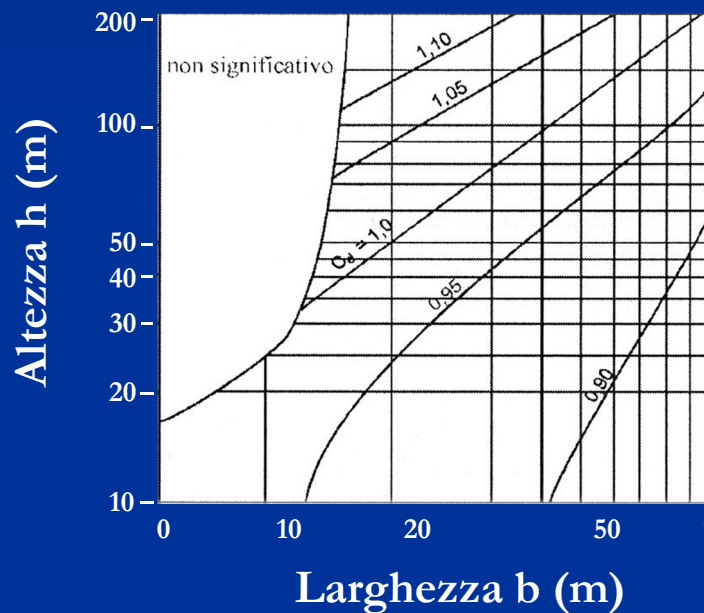
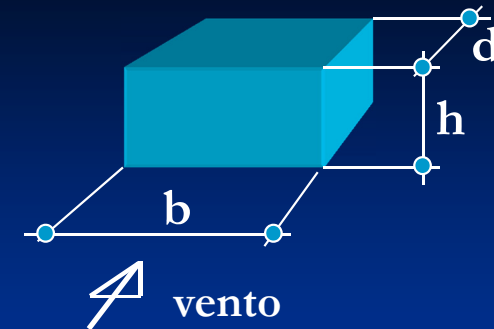
Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

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.

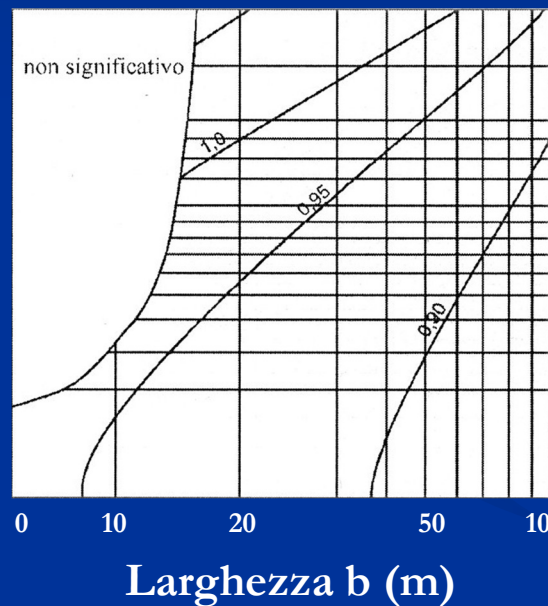


# Azioni sulle costruzioni

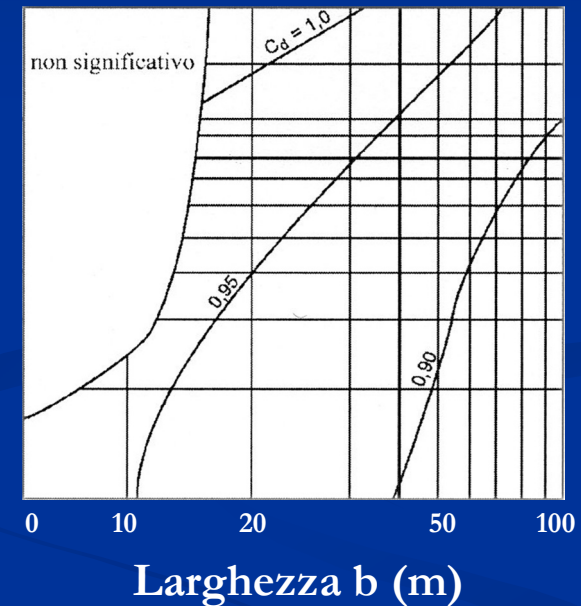
## Coefficiente dinamico



Strutture in acciaio



Strutture composte  
acciaio-calcestruzzo



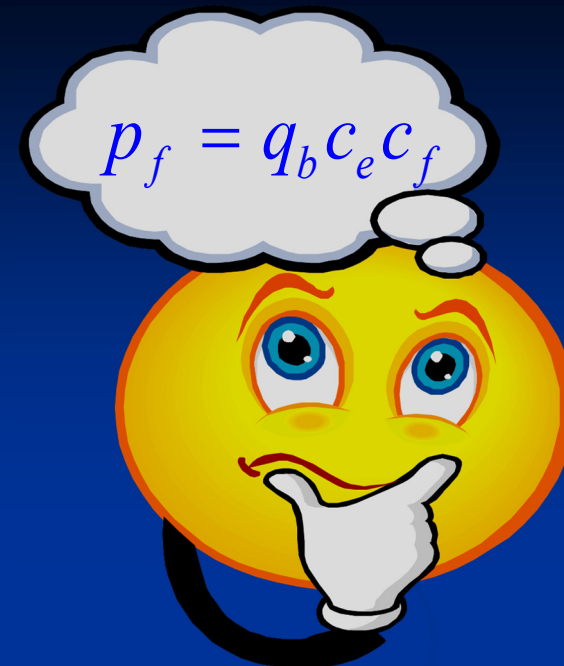
Strutture in c.a.  
oppure muratura

# Azioni sulle costruzioni

## Coefficiente d'attrito $c_f$

In assenza di più precise valutazioni ,  
si assumeranno i valori:

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

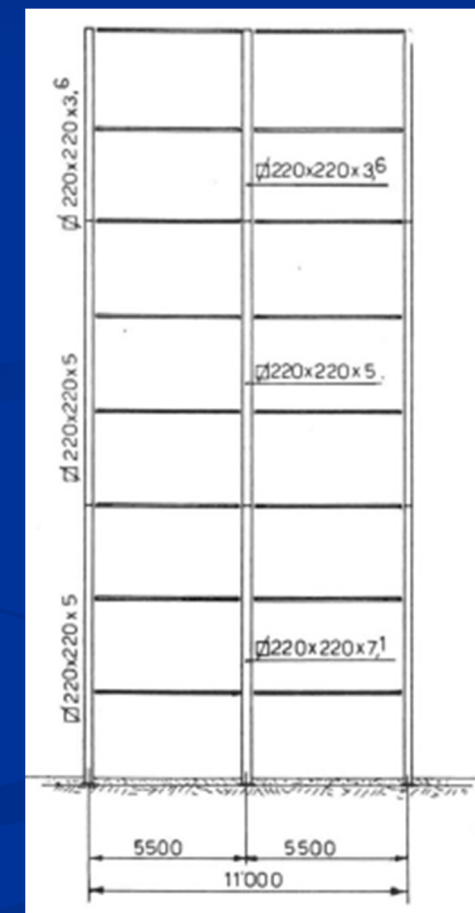
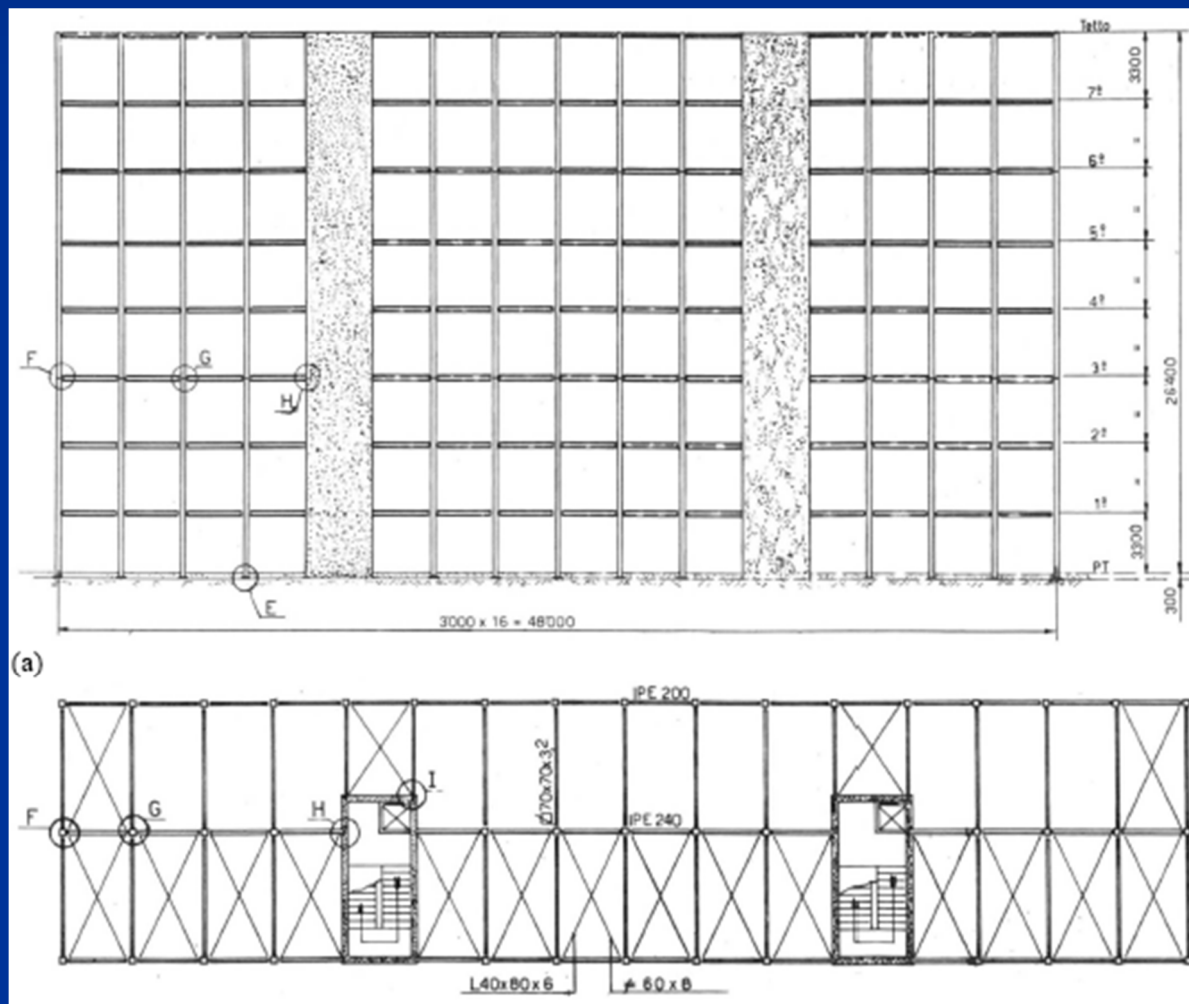


# Esempi

# Azioni sulle costruzioni

## Esempio n.1 – Edificio per civile abitazione

(sito a 600 m s.l.m.)





# Azioni sulle costruzioni

## 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

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

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

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

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

### 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

## 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	<b>IV</b>	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

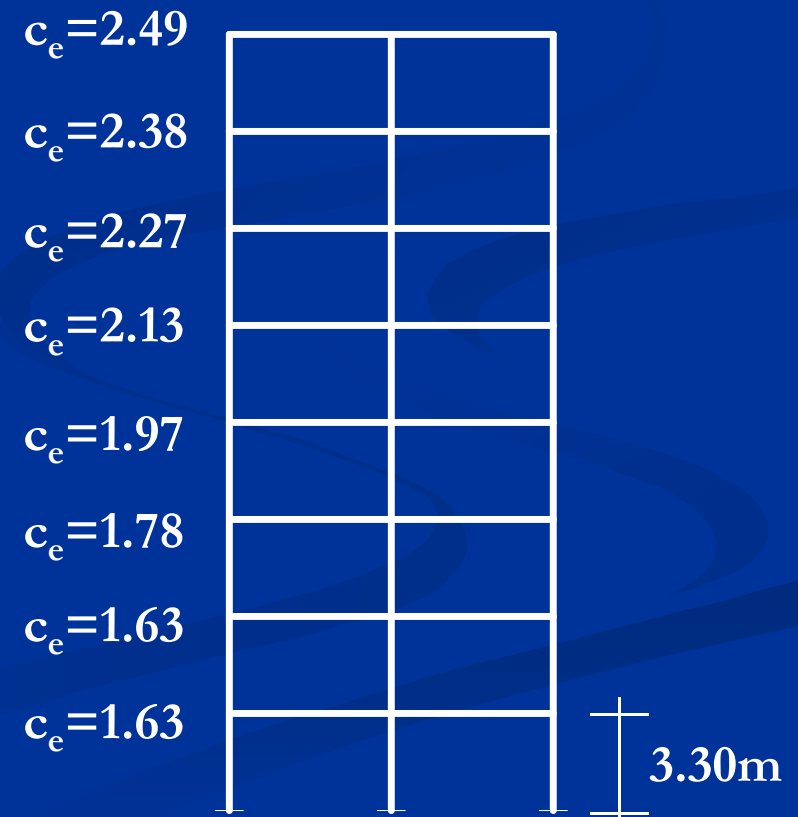
## Esempio n.1 – Edificio per civile abitazione

### Coefficiente di Esposizione

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

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

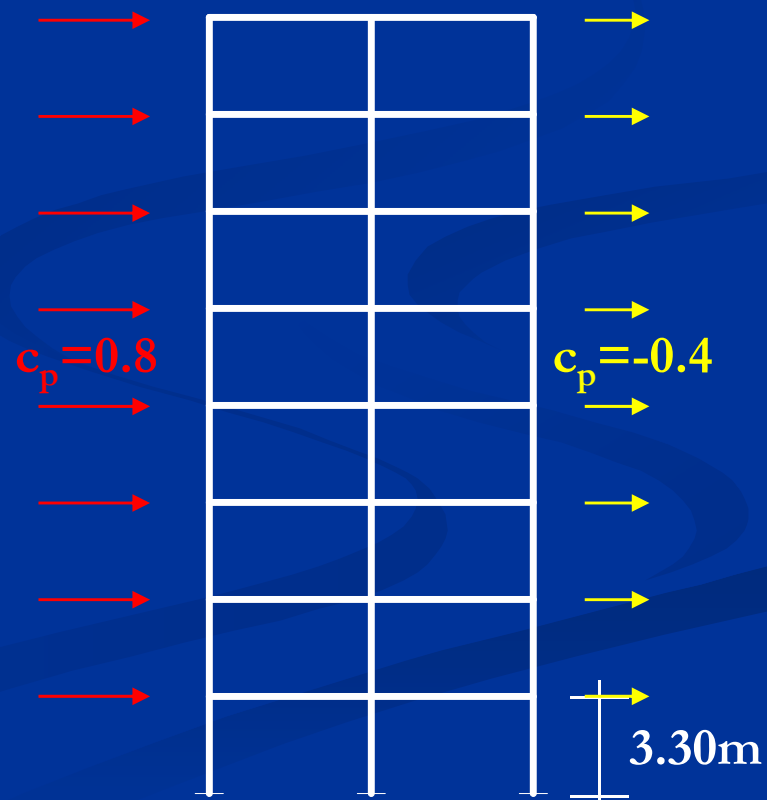
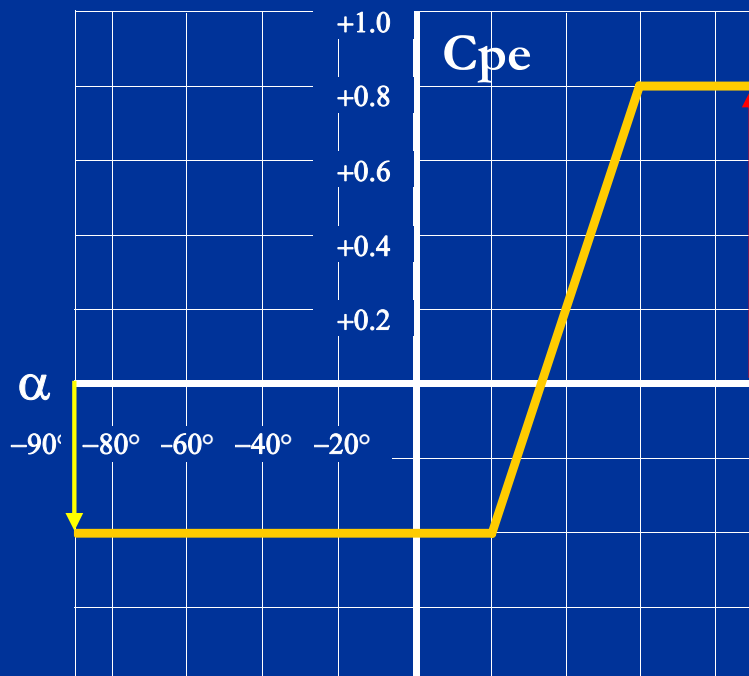
$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad z < z_{\min}$$



# Azioni sulle costruzioni

## Esempio n.1 – Edificio per civile abitazione

### Coefficiente di Forma



# Azioni sulle costruzioni

## Esempio n.1 – Edificio per civile abitazione

Pressioni del vento      $p = q_b c_e c_p c_d$

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

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

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

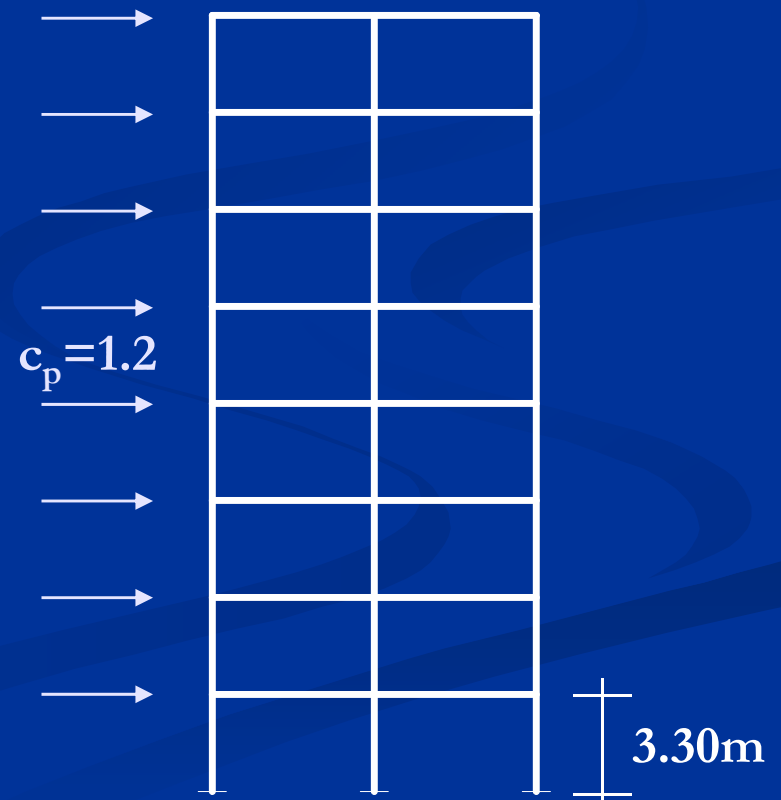
$$p = 562.5 \cdot 2.13 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.44 \text{ kN/m}^2$$

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

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

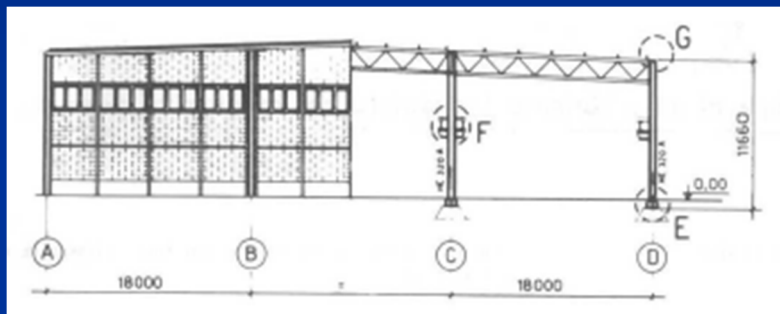
$$p = 562.5 \cdot 1.63 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.10 \text{ kN/m}^2$$

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



# Azioni sulle costruzioni

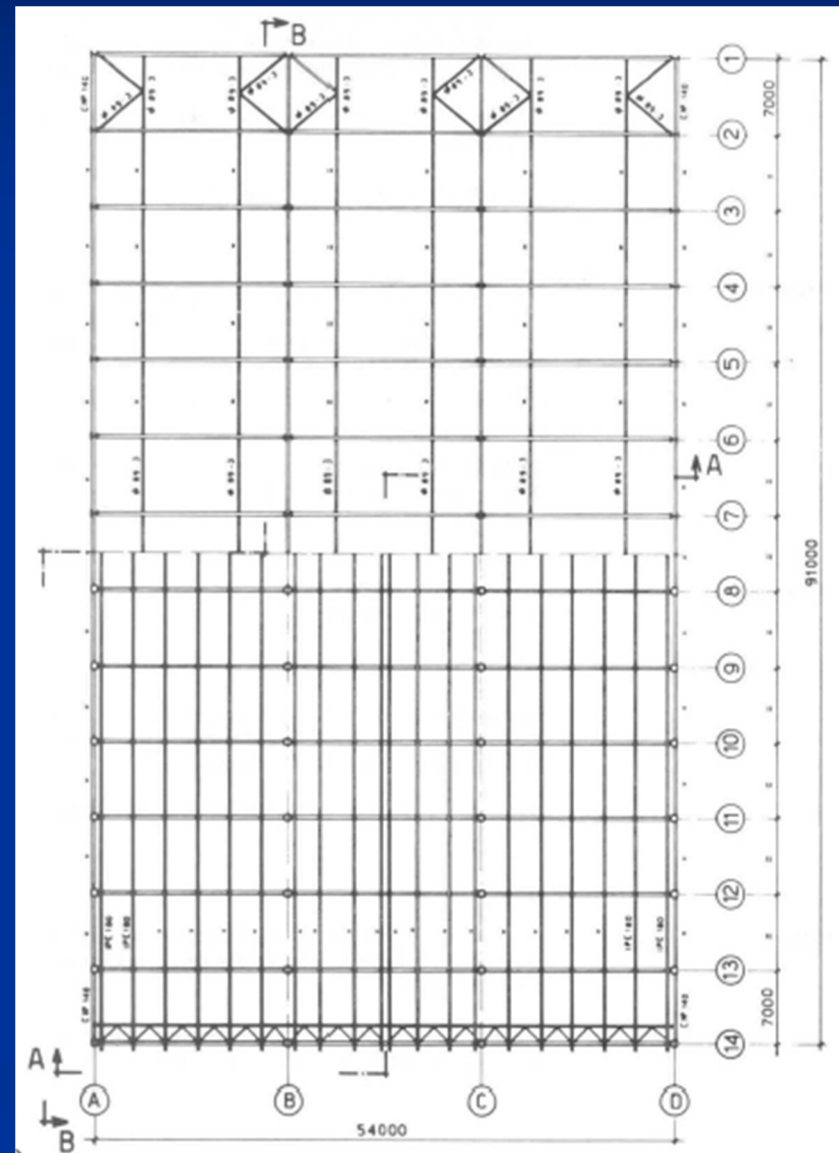
## Esempio n.2 - Fabbricato industriale



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

## 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

## 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						
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

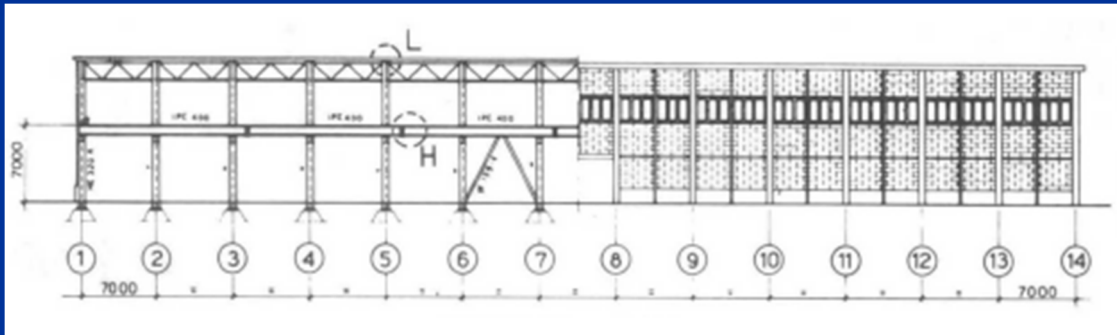


# Azioni sulle costruzioni

## Esempio n.2 - Fabbricato industriale



### Coefficiente di Esposizione



$k_r$	$z_0$ [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

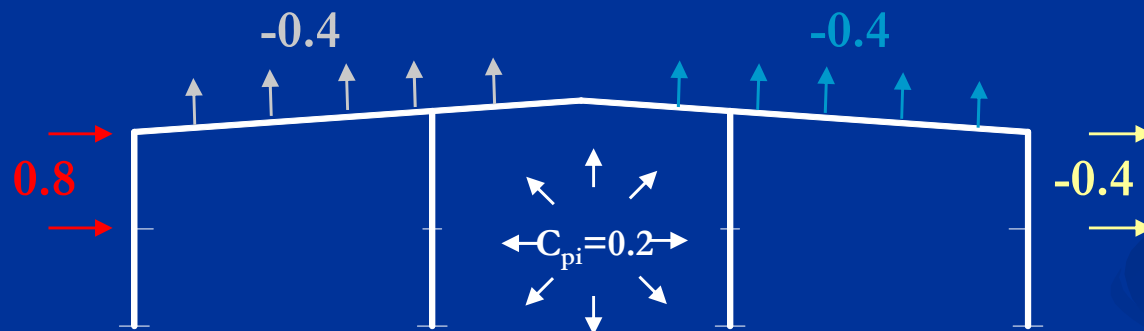
$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \cdot \left[ 7 + c_t \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \right] \quad z \geq z_{min}$$

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

# Azioni sulle costruzioni

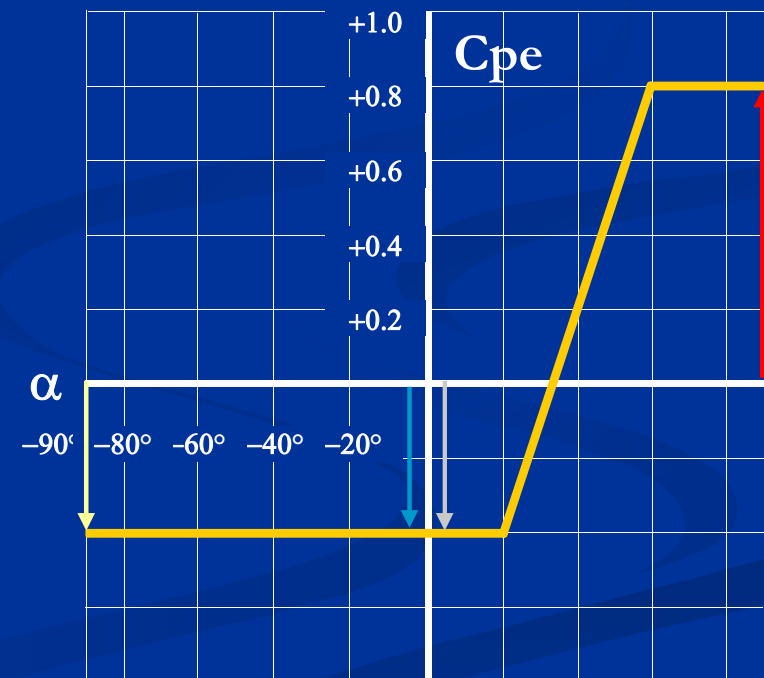
## Esempio n.2 - Fabbricato industriale

### 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

## Esempio n.2 - Fabbricato industriale

Pressione del vento  $p = q_b c_e c_p c_d$

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

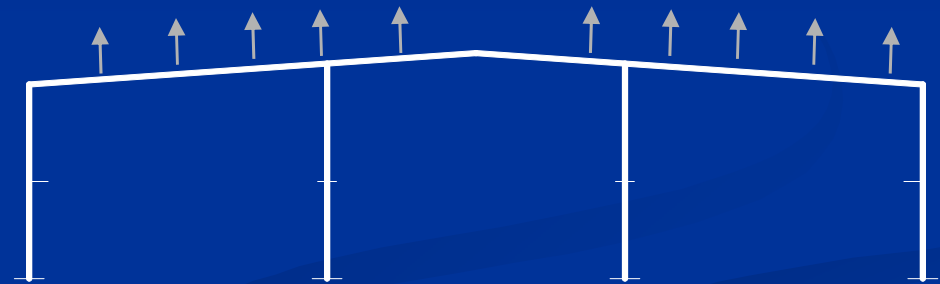
$$c_e(12.9 \text{ m}) = 2.31$$

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

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

$$c_d = 1$$

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



# Azioni sulle costruzioni

## Esempio n.2 - Fabbricato industriale

Pressione del vento  $p = q_b c_e c_p c_d$

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

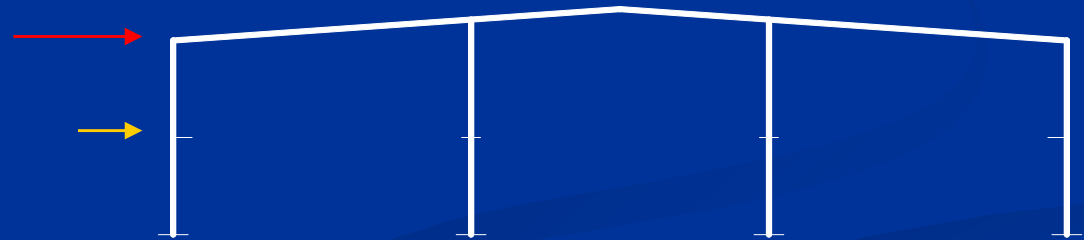
$$c_e(11.66 \text{ m}) = 2.24$$

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

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

$$c_d = 1$$

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



# Azioni sulle costruzioni

## Esempio n.2 - Fabbricato industriale

Pressione del vento  $p = q_b c_e c_p c_d$

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

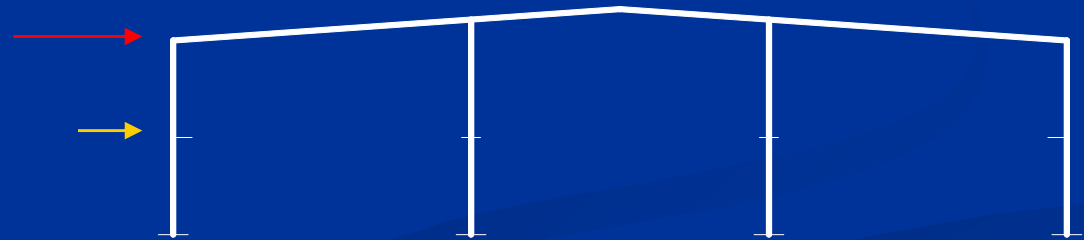
$$c_e(7.00 \text{ m}) = 1.91$$

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

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

$$c_d = 1$$

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



# Azioni sulle costruzioni

## 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 rigidezza 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

## 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

## 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. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.  
A titolo indicativo,  $St = 0,2$  nel caso di sezioni circolari.

...

# Azioni sulle costruzioni

## Interferenza

Si definiscono d'interferenza, i fenomeni tali da modificare il comportamento alle azioni del vento che una costruzione o un suo elemento avrebbe se fosse isolato. Secondo le diverse circostanze, tali fenomeni possono dare luogo ad effetti incrementali o riduttivi della velocità del vento, delle azioni aerodinamiche, della risposta dinamica e dei fenomeni aeroelastici.

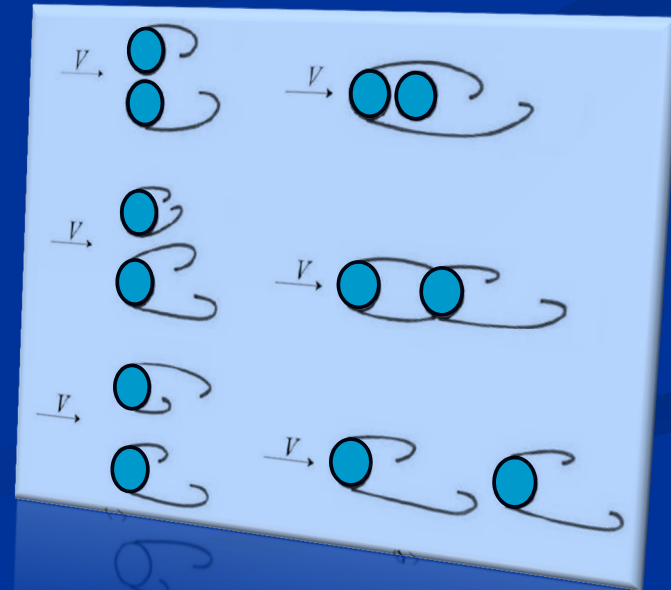
A livello di velocità del vento, l'interferenza nasce principalmente quando una costruzione possiede altezza comparabile con quella degli ostacoli che danno luogo, complessivamente, alla rugosità del terreno che la circonda. Essa pone particolari problemi soprattutto quando una costruzione bassa si trova in un bosco o in un centro cittadino. L'impiego del profilo logaritmico della velocità media del vento è corretto sopra lo strato limite superficiale. Le presenti Istruzioni adottano una forma parziale di cautela, imponendo che il campo di vento si conservi uniforme sotto una quota convenzionale di riferimento chiamata altezza minima,  $z_{min}$ . In nessun caso ciò tiene conto della riduzione o dell'aumento locale della velocità, in concomitanza di particolari distribuzioni degli ostacoli e di specifiche direzioni del flusso incidente.

# Azioni sulle costruzioni

## Interferenza aerodinamica

Il fenomeno dell'interferenza aerodinamica si manifesta quando due corpi ravvicinati danno luogo, indipendentemente dal loro spostamento, a variazioni rilevanti del campo di flusso locale e delle azioni aerodinamiche che competono ai corpi isolati. Questo fenomeno assume particolare rilevanza nel caso di costruzioni di analoga forma e tipologia, ad esempio gli edifici alti che emergono dal tessuto urbano, le tettoie di gradinate contrapposte negli stadi, i serbatoi, le torri di refrigerazione e i ponti affiancati, le ciminiere in gruppo, i cavi ravvicinati ecc.

*Interferenza aerodinamica  
fra cilindri in gruppo*



# Azioni sulle costruzioni

## Interferenza aeroelastica

L'interferenza aeroelastica è uno dei fenomeni più complessi e potenzialmente catastrofici. Essa si manifesta quando corpi ravvicinati leggeri, deformabili e poco smorzati si scambiano azioni dovute ai reciproci moti attraverso il fluido nel quale sono immersi. Rientrano in tale famiglia i fenomeni di sincronizzazione, galoppo e flutter che coinvolgono congiuntamente corpi vicini. Sono soprattutto noti e temuti i fenomeni di interazione struttura-vento-struttura inerenti gruppi di ciminiere, elementi snelli ravvicinati, cavi paralleli, impalcati di ponti affiancati sorretti da cavi.

FINE