

Corso di laurea in Ingegneria civile strutturale e geotecnica

Tecnica delle costruzioni

modulo A

09 – Azione del vento

Aurelio Gheresi

19/10/2020

Azioni prodotte dal vento

Riferimenti normativi

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17/1/2018)
Paragrafo 3.3. Azioni del vento
 - Fornisce le indicazioni base (che però non sufficienti per il progetto che dovete svolgere)
- Circolare 21/1/19
Paragrafo C 3.3. Azioni del vento
 - Fornisce indicazioni aggiuntive, indispensabili per la progettazione (ed anche altre meno importanti)
- Eurocodice 1, Azioni sulle strutture.
Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento

Pressione del vento

velocità del vento

- Il vento genera un sistema di pressioni e depressioni, variabili nel tempo, che agiscono perpendicolarmente alle superfici
- Il dato di partenza per valutare tali pressioni è la **velocità base di riferimento** del vento v_b , definita come:
 - 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 (punto 3.3.1)

Nota: se occorre fare riferimento ad un periodo di ritorno diverso da 50 anni, la normativa fornisce un'espressione per calcolare la corrispondente velocità di riferimento del vento (punto 3.3.2)

- La **velocità di riferimento** v_r è usualmente pari a v_b

$$v_r = v_b C_r \quad C_r \text{ tiene conto del periodo di ritorno}$$

Pressione del vento

velocità del vento

La velocità base di riferimento del vento v_b dipende da:

- Zona geografica
- Quota a_s del suolo rispetto al livello del mare, nel sito ove sorge la costruzione

$$V_b = V_{b,0} C_a$$

$v_{b,0}$ velocità base di riferimento al livello del mare

c_a coefficiente di altitudine

Zone geografiche



Pressione del vento

velocità del vento

La velocità base di riferimento del vento v_b dipende da:

- Zona geografica
- Quota a_s del suolo rispetto al livello del mare, nel sito ove sorge la costruzione

Per ciascuna zona geografica sono assegnati:

- $v_{b,0}$ velocità base di riferimento al livello del mare
- Parametri per il calcolo di c_a coefficiente di altitudine, che dipende da:
 - a_0 quota al di sotto della quale la velocità non varia
 - k_s coefficiente con cui si calcola la variazione di velocità in funzione della quota del sito ove sorge la costruzione

Pressione del vento

velocità del vento

La velocità base di riferimento del vento v_b dipende da:

- Zona geografica
- Quota a_s d
sorge la co

$$c_a = 1$$

$$\text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right)$$

$$\text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Per ciascuna z

- $v_{b,0}$ veloc
- Parametri per il calcolo di c_a coefficiente di altitudine, che dipende da:
 - a_0 quota al di sotto della quale la velocità non varia
 - k_s coefficiente con cui si calcola la variazione di velocità in funzione della quota del sito ove sorge la costruzione

Pressione del vento

velocità del vento

La velocità base di riferimento del vento v_b dipende da:

- Zona geografica
- Quota a_s del suolo rispetto al livello del mare, nel sito ove sorge la costruzione

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Pressione del vento

velocità del vento

La velocità base di riferimento del vento v_b dipende da:

- Zona geografica
- Quota a_s del suolo rispetto al livello del mare, nel sito ove sorge la costruzione

Esempio

- Sicilia \Rightarrow Zona 4
- Quota $a_s = 600$ m

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36

$$c_a = 1 + k_s \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) = 1 + 0.36 \left(\frac{600}{500} - 1 \right) = 1.072$$

$$v_b = v_{b,0} c_a = 28 \times 1.072 = 30.016 \text{ m/s}$$

Pressione del vento

- La **pressione del vento** p (punto 3.3.4) è data dall'espressione

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

nella quale

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il coefficiente di pressione, che dipende dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto al vento
- c_d è il coefficiente dinamico, che può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente

Pressione del vento

- La **pressione del vento** p (punto 3.3.4) è data dall'espressione

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

nella quale

- q_r è la **pressione cinetica di riferimento**
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il coefficiente di pressione, che dipende dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto al vento
- c_d è il coefficiente dinamico, che può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente

Pressione del vento

pressione cinetica di riferimento

- La **pressione cinetica di riferimento** q_r si ricava (punto 3.3.6) dalla velocità del vento

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2$$

ρ densità dell'aria, pari a 1.25 kg/m³

v_r la velocità di riferimento del vento (in m/s)

Esempio

- Sicilia (zona 4)
- Quota $a_s = 600$ m
 $v_r = v_b = 30.016$ m/s

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2 = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 30.016^2 = 563.1 \text{ N/m}^2 = 0.563 \text{ kN/m}^2$$

Pressione del vento

- La **pressione del vento** p (punto 3.3.4) è data dall'espressione

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

nella quale

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il **coefficiente di esposizione**
- c_p è il coefficiente di pressione, che dipende dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto al vento
- c_d è il coefficiente dinamico, che può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente

Pressione del vento

categoria di esposizione del sito

- Per valutare l'effettiva pressione del vento nel sito occorre valutare anche il **coefficiente di esposizione**, legato alla **categoria di esposizione** del sito, che dipende da:
 - Classe di rugosità del terreno
 - Zona geografica
 - Quota del suolo rispetto al livello del mare
 - Distanza dal mare

Pressione del vento

categoria di esposizione del sito

- Per valutare l'effettiva pressione del vento nel sito occorre valutare anche il coefficiente di esposizione, legato alla **categoria di esposizione** del sito, che dipende da:

- **Classe di rugosità del terreno**
- Zona geografica
- Quota del suolo rispetto al livello del mare
- Distanza dal mare

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	a) Mare e relativa fascia costiera (entro 2 km dalla costa); b) Lago (con larghezza massima pari ad almeno 1 km) e relativa fascia costiera (entro 1 km dalla costa) c) Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate,)

Pressione del vento

categoria di esposizione del sito

- Per valutare l'effettiva pressione del vento nel sito occorre valutare anche il coefficiente di esposizione, legato alla **categoria di esposizione** del sito, che dipende da:
 - Classe di rugosità del terreno
 - **Zona geografica**
 - Quota del suolo rispetto al livello del mare
 - Distanza dal mare

ZONE 1,2,3,4,5							ZONA 6						ZONE 7,8			ZONA 9			
A	--	IV	IV	V	V	V	A	--	III	IV	V	V	A	--	--	IV	A	--	I
B	--	III	III	IV	IV	IV	B	--	II	III	IV	IV	B	--	--	IV	B	--	I
C	--	*	III	III	IV	IV	C	--	II	III	III	IV	C	--	--	III	C	--	I
D	I	II	II	II	III	**	D	I	I	II	II	III	D	I	II	*	D	I	I
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5													* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1																			

Pressione del vento

categoria di esposizione del sito

- Per valutare l'effettiva pressione del vento nel sito occorre valutare anche il coefficiente di esposizione, legato alla **categoria di esposizione** del sito, che dipende da:
 - Classe di rugosità del terreno
 - Zona geografica
 - **Quota del suolo rispetto al livello del mare**
 - **Distanza dal mare**

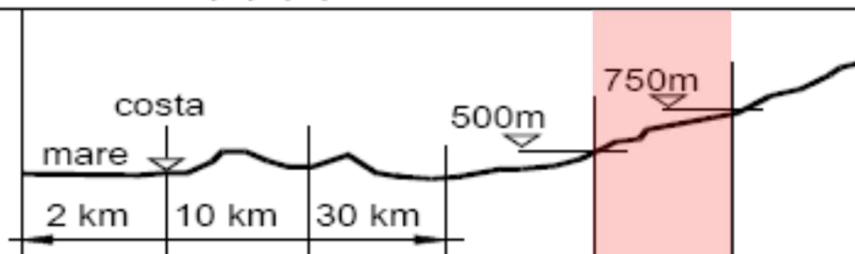
Pressione del vento

categoria di esposizione del sito

- Per valutare l'effettiva pressione del vento nel sito occorre individuare la **categoria di esposizione** del sito

Esempio

- Sicilia (zona 4)
- Quota $a_s = 600$ m
- Distanza mare = 70 km
- Classe di rugosità B

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						

La categoria di esposizione del sito è IV

Pressione del vento

coefficiente di esposizione

- Il **coefficiente di esposizione** del sito c_e viene calcolato mediante i parametri k_r z_0 z_{min} che dipendono dalla categoria di esposizione

Categoria di esposizione del sito	K_r	z_0 [m]	z_{min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

Pressione del vento

coefficiente di esposizione

- Il **coefficiente di esposizione** del sito c_e viene calcolato mediante i parametri k_r z_0 z_{\min} che dipendono dalla categoria di esposizione
- La pressione del vento varia lungo l'altezza z dell'edificio, quindi c_e dipende anche da z

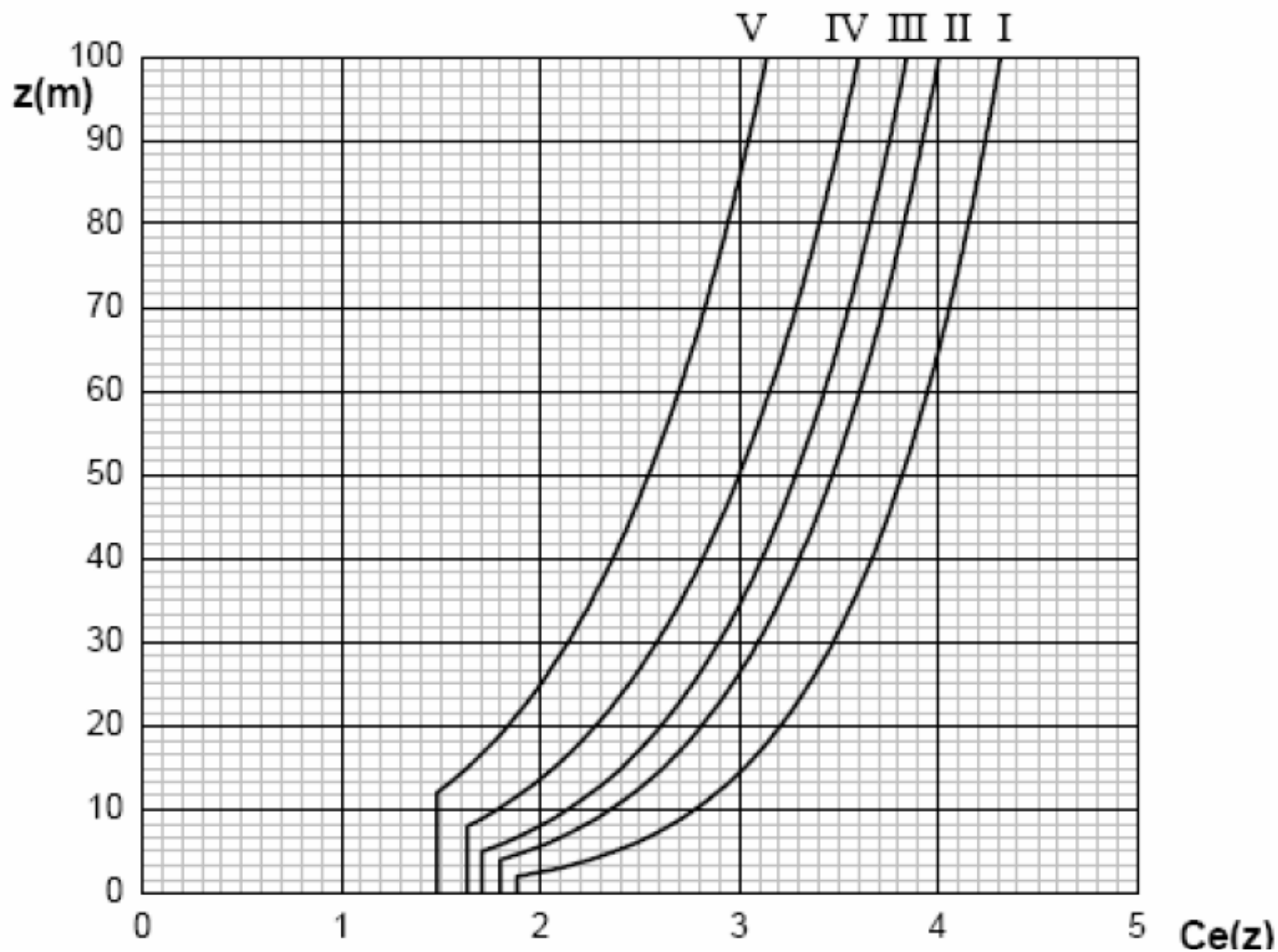
$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \right] \quad z \geq z_{\min}$$

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

Nota: nelle espressioni compare anche un coefficiente di topografia c_t che normalmente è pari a 1

Pressione del vento

coefficiente di esposizione



Pressione del vento

coefficiente di esposizione

- Per ciascuna categoria di esposizione sono definiti i parametri k_r z_0 z_{\min} che consentono di calcolare il **coefficiente di esposizione** del sito c_e
- La pressione del vento varia lungo l'altezza z dell'edificio, quindi c_e dipende anche da z

Esempio

- Categoria di esposizione del sito: IV

Categoria di esposizione del sito	K_r	z_0 [m]	z_{\min} [m]
IV	0,22	0,30	8

$$\begin{aligned}c_e(z_{\min}) &= k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \ln\left(\frac{z_{\min}}{z_0}\right)\right] = \\&= 0.22^2 \ln\left(\frac{8}{0.30}\right) \cdot \left[7 + \ln\left(\frac{8}{0.30}\right)\right] = 1.634\end{aligned}$$

Pressione del vento

- La **pressione del vento** p (punto 3.3.4) è data dall'espressione

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

nella quale

- q_r è la **pressione cinetica di riferimento**
- c_e è il **coefficiente di esposizione**
- c_p è il coefficiente di pressione, che dipende dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto al vento
- c_d è il coefficiente dinamico, che può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente

Pressione del vento

pressione cinetica \times coefficiente di esposizione

- Il valore della pressione cinetica di riferimento deve essere moltiplicato per il coefficiente di esposizione

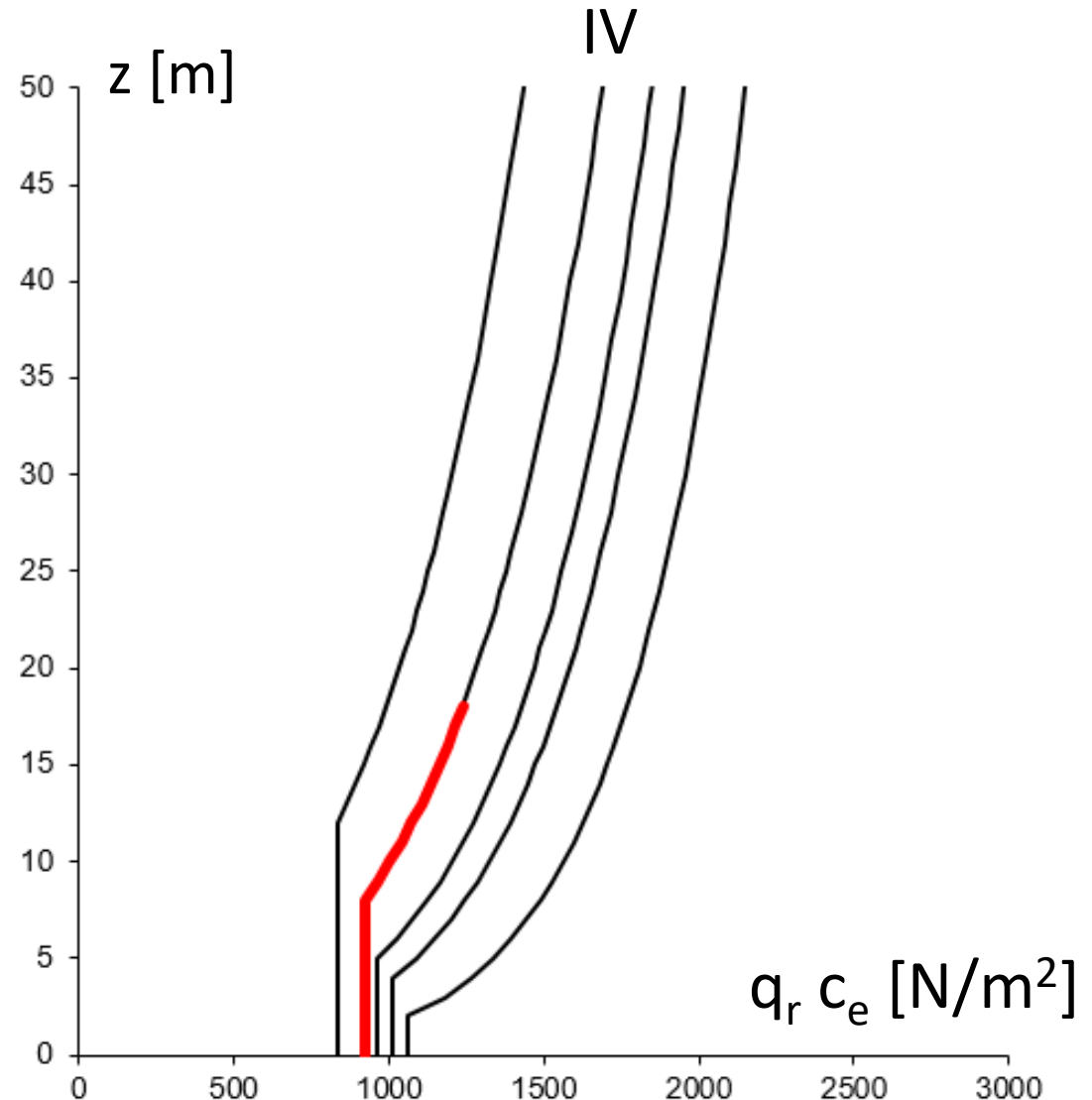
- Esempio:

per $z=8$ m

$$q_r c_e = 0.563 \times 1.634 = 0.920 \text{ kN/m}^2$$

per $z=18$ m

$$q_r c_e = 1.238 \text{ kN/m}^2$$



Pressione del vento

- La **pressione del vento** p (punto 3.3.4) è data dall'espressione

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

nella quale

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il **coefficiente di pressione**, che dipende dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto al vento
- c_d è il coefficiente dinamico, che può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente

Pressione del vento

coefficiente di pressione

- Parete sopravvento (positivo, pressione)

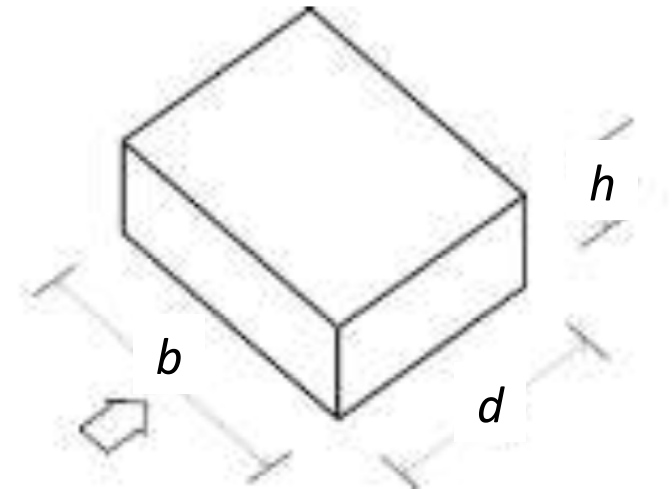
$$c_{pe} = 0.7 + 0.1 \frac{h}{d} \quad \frac{h}{d} \leq 1$$

$$c_{pe} = 0.8 \quad \frac{h}{d} > 1$$

- Parete sottovento (negativo, depressione)

$$c_{pe} = -0.3 - 0.2 \frac{h}{d} \quad \frac{h}{d} \leq 1$$

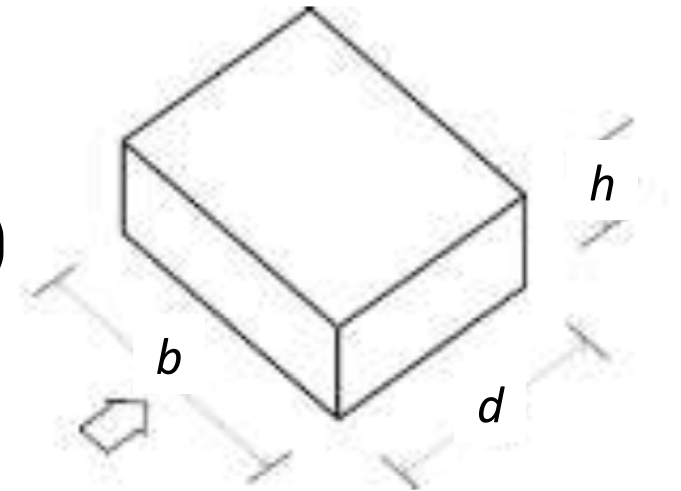
$$c_{pe} = -0.5 - 0.05 \left(\frac{h}{d} - 1 \right) \quad 1 < \frac{h}{d} \leq 5$$



Pressione del vento

azione orizzontale da applicare sulla facciata

- Se l'altezza h è minore della larghezza b , si applica a tutta la superficie la pressione valutata per $z=h$
- Se l'altezza h è maggiore di b (fino a $5d$) si applica:
 - Nella parte inferiore, fino alla quota $z=b$, la pressione valutata per $z=b$
 - Nella parte superiore, tra $z=b$ e $z=h$ la pressione valutata per $z=h$ (oppure una pressione variabile, eventualmente in tratti costanti, funzione della quota)



Pressione del vento

coefficiente di pressione

- Copertura piana

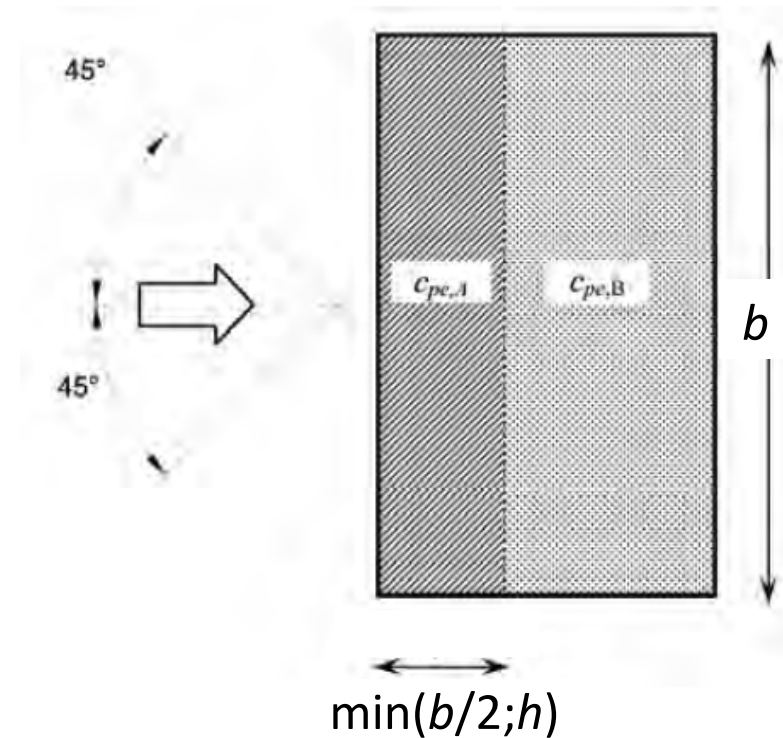
L'azione del vento è verticale

Fascia sopravvento (di profondità pari al minimo tra $b/2$ e h)

$$c_{pe} = -0.80$$

Nel resto

$$c_{pe} = \pm 0.20$$



- Questa azione è di scarsa importanza per il progetto da svolgere nel modulo A

Pressione del vento

coefficiente di pressione

Pressione interna:

- In assenza di aperture rilevanti

$$c_{pi} = +0.20$$

$$c_{pi} = -0.30$$

- Questa azione è di scarsa importanza per il progetto da svolgere nel modulo A

Nota:

Vi sono numerose altre situazioni, qui non riportate

- Coperture inclinate
- Tettoie
- Costruzioni con una parete completamente aperta
- eccetera ...

Pressione del vento

- La **pressione del vento** p (punto 3.3.4) è data dall'espressione

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

nella quale

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_p è il coefficiente di pressione, che dipende dalla geometria della costruzione e dal suo orientamento rispetto al vento
- c_d è il **coefficiente dinamico**, che può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente

Azione tangente del vento

- L'azione tangente del vento p_f (punto 3.3.5) è data dall'espressione

$$p_f = q_r c_e c_f$$

nella quale

- q_r è la pressione cinetica di riferimento
- c_e è il coefficiente di esposizione
- c_f è il coefficiente di attrito
valori che vanno da 0.01 (superficie liscia) a 0.04 (superficie molto scabra)
- Questa azione è di scarsa importanza per il progetto da svolgere nel modulo A