

Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio  
Corso Integrato di Scienza e Tecnica delle Costruzioni  
Modulo di **Tecnica delle Costruzioni**

A.A. 2025-2026  
2° semestre

CFU 8

Docente

Marco Zucca

## **AZIONE DEL VENTO E DELLA NEVE**



**POLITECNICO**  
MILANO 1863  
Scuola Master Fratelli Pesenti



Università degli Studi di Cagliari

**DICAAR**

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA

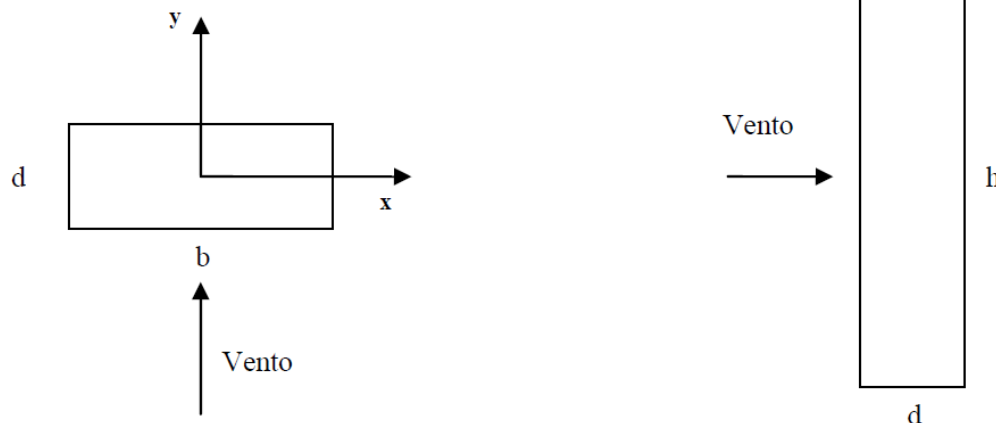
# AZIONE DEL VENTO

## Strumenti:

- **Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 17.01.2018, G.U. n. 42 del 20.02.2018 (CAP. 3)**
- **Circolare Ministeriale del 21.01.2019, G.U. n. 5 del 11.02.2019 (CAP. C.3)**

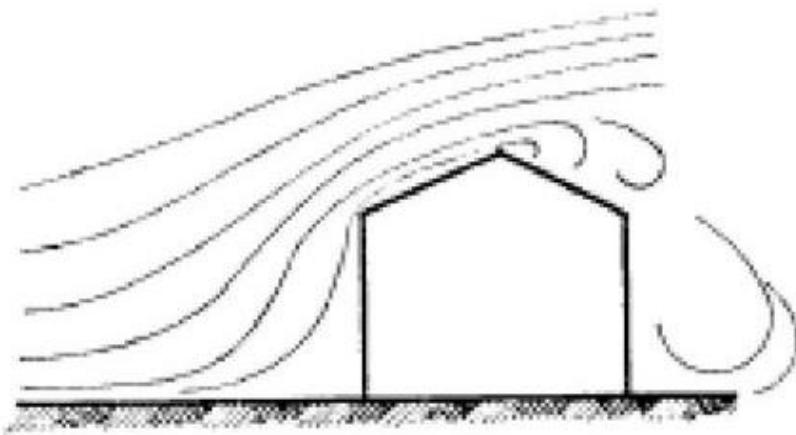
# Azione del vento

- 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 usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni **statiche equivalenti**.
- L'azione del vento si considera agente in direzione orizzontale secondo uno degli assi principali della struttura.

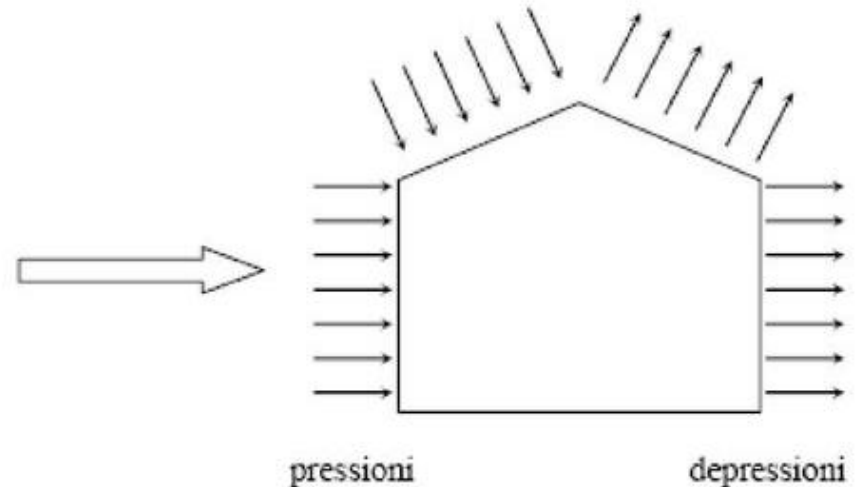


# Azione del vento

- 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.



*Andamento dei "filetti fluidi" del vento in presenza di un ostacolo*



*Schema delle pressioni*

# Azione del vento

## Pressione del vento

- La pressione del vento  $p$  è data dall'espressione:

$$p = q_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

- $q_r$  pressione cinetica di riferimento
- $c_e$  coefficiente di esposizione
- $c_p$  coefficiente di pressione
- $c_d$  coefficiente dinamico

### **3.3.6.           PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO**

La pressione cinetica di riferimento  $q_r$  è data dall'espressione:

$$q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2 \quad [3.3.6]$$

dove

$v_r$  è la velocità di riferimento del vento di cui al § 3.3.2;

$\rho$  è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25 kg/m<sup>3</sup>.

Esprimendo  $\rho$  in kg/m<sup>3</sup> e  $v_r$  in m/s,  $q_r$  risulta espresso in N/m<sup>2</sup>.

# Azione del vento

## 3.3.2. VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento  $v_r$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito al periodo di ritorno di progetto  $T_R$ . Tale velocità è definita dalla relazione:

$$v_r = v_b \cdot c_r \quad [3.3.2]$$

dove

$v_b$  è la velocità base di riferimento, di cui al § 3.3.1;

$c_r$  è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto  $T_R$ .

In mancanza di specifiche e adeguate indagini statistiche, il coefficiente di ritorno è fornito dalla relazione:

$$c_r = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \times \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \quad [3.3.3]$$

dove  $T_R$  è il periodo di ritorno espresso in anni.

Ove non specificato diversamente, si assumerà  $T_R = 50$  anni, cui corrisponde  $c_r = 1$ . Per un'opera di nuova realizzazione in fase di costruzione o per le fasi transitorie relative ad interventi sulle costruzioni esistenti, il periodo di ritorno dell'azione potrà essere ridotto come di seguito specificato:

- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto non superiore a tre mesi, si assumerà  $T_R \geq 5$  anni;
- per fasi di costruzione o fasi transitorie con durata prevista in sede di progetto compresa fra tre mesi ed un anno, si assumerà  $T_R \geq 10$  anni;

# Azione del vento

## 3.3.1. VELOCITÀ BASE DI RIFERIMENTO

La velocità base di riferimento  $v_b$  è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza sul suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito ad un periodo di ritorno  $T_R = 50$  anni.

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

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_a \quad [3.3.1]$$

$v_{b,0}$  è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);

$c_a$  è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$
$$c_a = 1 + k_s \left( \frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m} \quad [3.3.1.b]$$

dove:

$a_0, k_s$  sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);

$a_s$  è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

Tale zonazione non tiene conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente.

# Azione del vento



Tab. 3.3.I - Valori dei parametri  $v_{b,0}$ ,  $a_0$ ,  $k_s$

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

# Azione del vento

## 3.3.7. 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. 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:

$$\begin{aligned} c_e(z) &= k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] && \text{per } z \geq z_{\min} \\ c_e(z) &= c_e(z_{\min}) && \text{per } z < z_{\min} \end{aligned} \quad [3.3.7]$$

dove

$k_r, z_0, z_{\min}$  sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

$c_t$  è il coefficiente di topografia.

Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente 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

$c_t = 1$  coefficiente topografico

# Azione del vento

Tab. 3.3.III - *Classi di rugosità del terreno*

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, ....)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Si può assumere che il sito appartenga alla Classe A o B, purché la costruzione si trovi nell'area relativa per non meno di 1 km e comunque per non meno di 20 volte l'altezza della costruzione, per tutti i settori di provenienza del vento ampi almeno 30°. Si deve assumere che il sito appartenga alla Classe D, qualora la costruzione sorga nelle aree indicate con le lettere a) o b), oppure entro un raggio di 1 km da essa vi sia un settore ampio 30°, dove il 90% del terreno sia del tipo indicato con la lettera c). Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, si deve assegnare la classe più sfavorevole (l'azione del vento è in genere minima in Classe A e massima in Classe D).

# Azione del vento

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 9		
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

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			

# Azione del vento

Come si valuta  $c_e$  per un edificio?

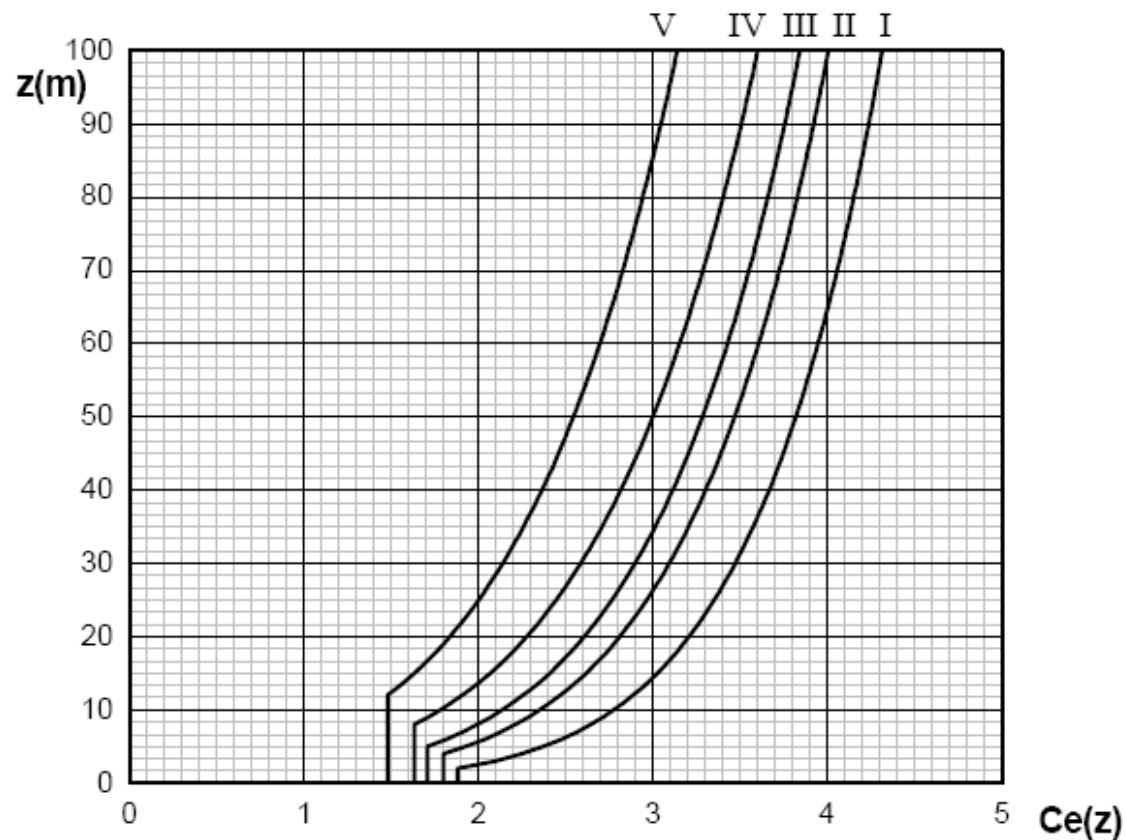
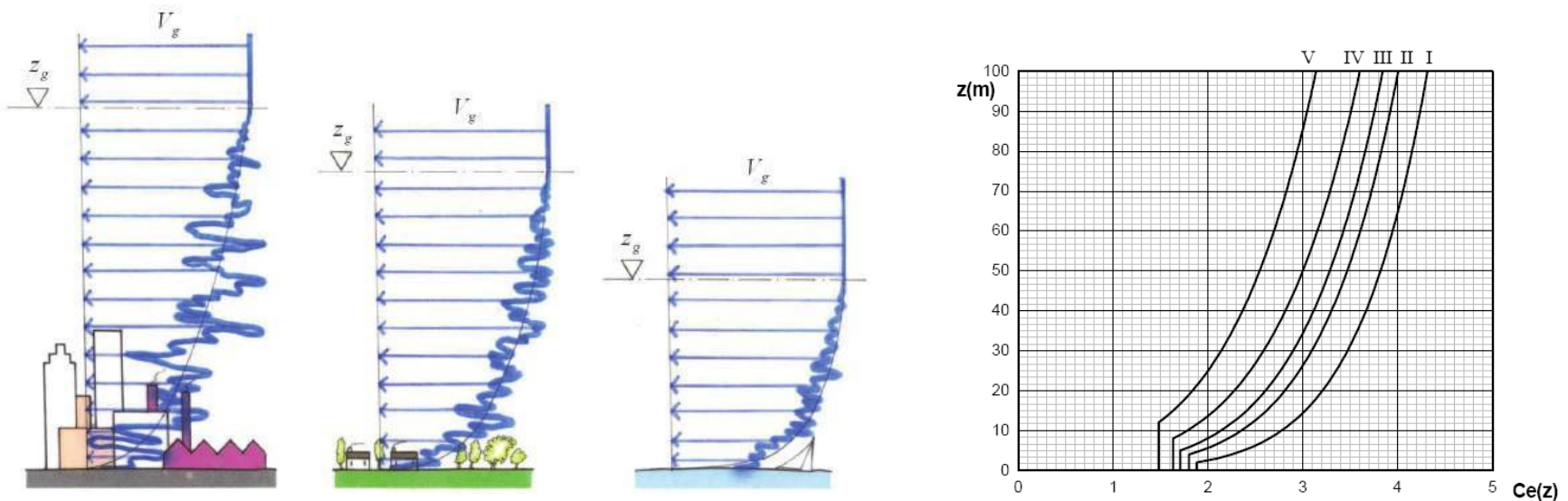


Figura 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione  $c_e$  con la quota (per  $c_t = 1$ )

# Azione del vento

## Altezza di riferimento per la faccia sopravvento

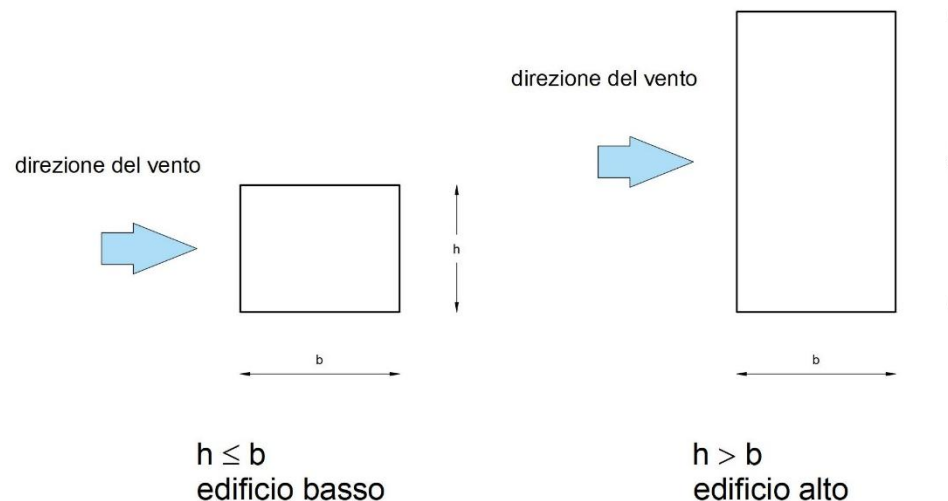
- La distribuzione altimetrica della pressione sulle pareti della costruzione è, in generale, diversa dal profilo della pressione cinetica di picco del vento indisturbato, come si ricava attraverso il coefficiente di esposizione.



# Azione del vento

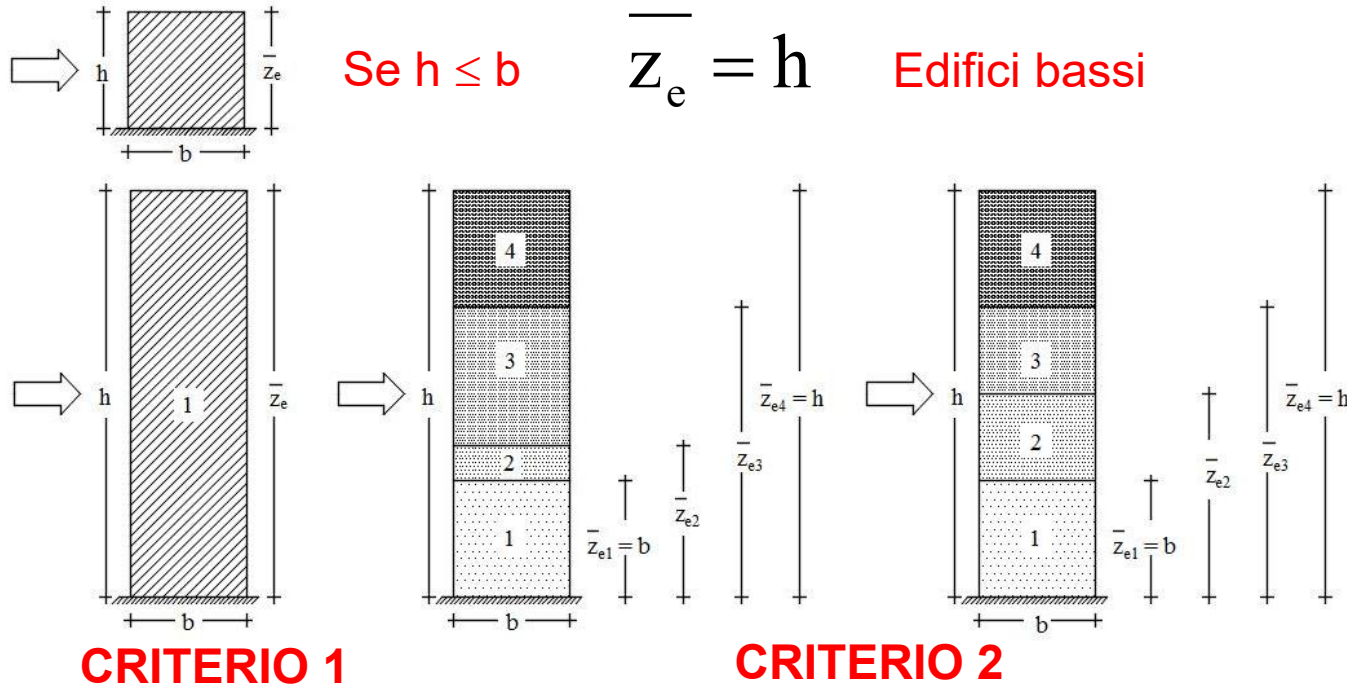
## Altezza di riferimento per la faccia sopravvento

- La distribuzione altimetrica della pressione sulle pareti della costruzione deve essere calcolata in modo cautelativo.
- Si valuta la pressione cinetica di picco in corrispondenza di un punto posto ad una quota di riferimento  $z_e$ .
- Occorre distinguere fra edifici bassi e alti.



# Azione del vento

Altezza di riferimento per la faccia sopravvento



Se  $h \leq b$   $\bar{z}_e = h$  Edifici bassi

Se  $b < h \leq 5d$  Edifici alti

**CRITERIO 1:**  $\bar{z}_e = h$   $d$  profondità dell'edificio

**CRITERIO 2:** L'edificio è suddiviso in tronchi di altezza arbitraria:  $\bar{z}_{e,i}$

LA PRESSIONE DEL VENTO RISULTA UNIFORME

# Azione del vento

## Coefficiente di pressione

- La determinazione del coefficiente di pressione è riportata nella Circolare Ministeriale nel § C3.3.8 Coefficienti aerodinamici.
- La valutazione in via semplificata prevede la determinazione del coefficiente globale di **pressione esterna**  $c_{pe}$  per gli edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde, inclinate e curvilinee.
- le pressioni esterne positive si intendono dirette verso l'interno delle costruzioni.

# Azione del vento

## Pareti verticali degli edifici

Tabella C3.3.I: Edifici a pianta rettangolare:  $c_{pe}$  per facce sopravento, sottovento e laterali

Faccia sopravento	$C_U = 2,0$	$C_U = 1,5$
$h/d \leq 1: c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$	$h/d \leq 0,5: c_{pe} = -0,5 - 0,8 \cdot h/d$	$h/d \leq 1: c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$
$h/d > 1: c_{pe} = 0,8$	$h/d > 0,5: c_{pe} = -0,9$	$1 < h/d \leq 5: c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$

**Pareti laterali**

**Pareti sottovento**

# Azione del vento

Coperture piane inclinazione  $\pm 5^\circ$

Tabella C3.3.III - Edifici rettangolari:  $c_{pe}$  per coperture piane.

Fascia sopravento di profondità pari al minimo tra $b/2$ e $h$ :	$c_{pe,A} = -0,80$
Restanti zone	$c_{pe,B} = \pm 0,20$

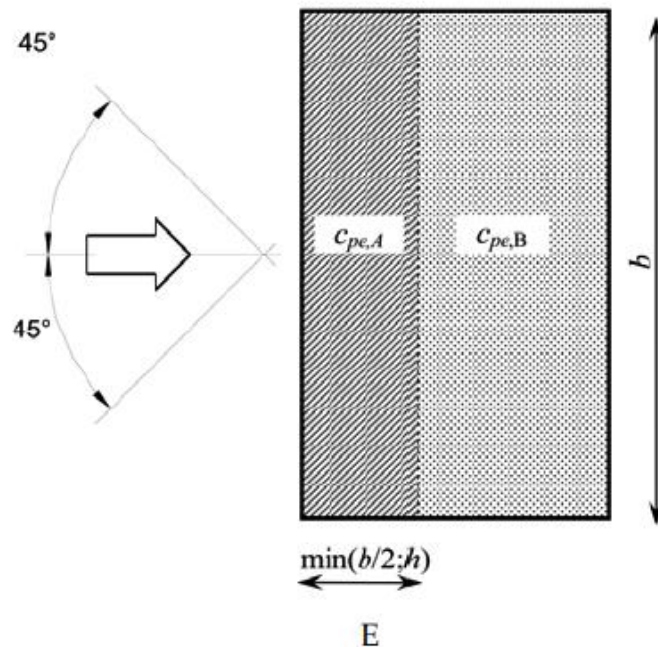


Figura C3.3.5 - Schema di riferimento per coperture piane

# Azione del vento

## Coperture a una falda

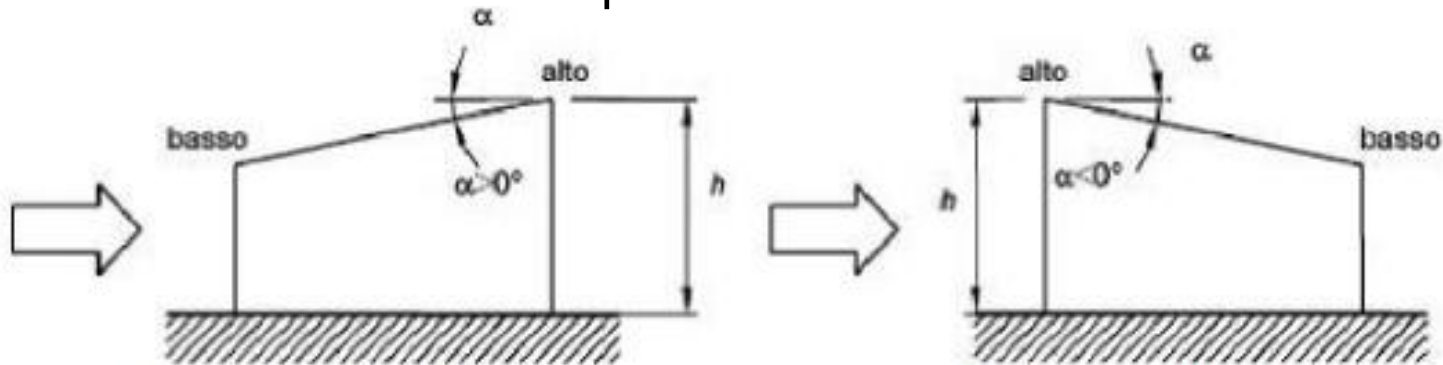


Figura C3.3.7 - Schema di riferimento per coperture a semplice falda

Tabella C3.3.V - Coefficienti di pressione per coperture a semplice falda ( $\alpha$  in  $^{\circ}$ ): vento perpendicolare alla direzione del colmo.

Valori negativi		Valori positivi	
$\alpha \leq -60^{\circ}$	$c_{pe} = -0,5$	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 45^{\circ}$	$c_{pe} = +\alpha/75$
$-60^{\circ} \leq \alpha \leq -15^{\circ}$	$c_{pe} = -0,5 - (\alpha+60)/90$	$45^{\circ} \leq \alpha \leq 75^{\circ}$	$c_{pe} = +0,6 + (\alpha-45)/150$
$-15^{\circ} \leq \alpha \leq 30^{\circ}$	$c_{pe} = -1,0 + (\alpha+15)/75$		
$30^{\circ} \leq \alpha \leq 45^{\circ}$	$c_{pe} = -0,4 + (\alpha-30)/37,5$		

Tabella C3.3.VI - Coefficienti di pressione per coperture a semplice falda ( $\alpha$  in  $^{\circ}$ ): vento parallelo alla direzione del colmo.

Fascia sopravento di profondità pari al minimo tra $b/2$ ed $h$	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 15^{\circ}$	$c_{pe,A} = -0,8 - \alpha/50$
	$15^{\circ} < \alpha$	$c_{pe,A} = -1,10$
Restanti zone	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 15^{\circ}$	$c_{pe,B} = -0,2 - \alpha/30$
	$15^{\circ} \leq \alpha \leq 45^{\circ}$	$c_{pe,B} = -0,7 - (\alpha-15)/150$
	$45^{\circ} \leq \alpha$	$c_{pe,B} = -0,9 + (\alpha-45)/75$

# Azione del vento

## Coperture a doppia falda

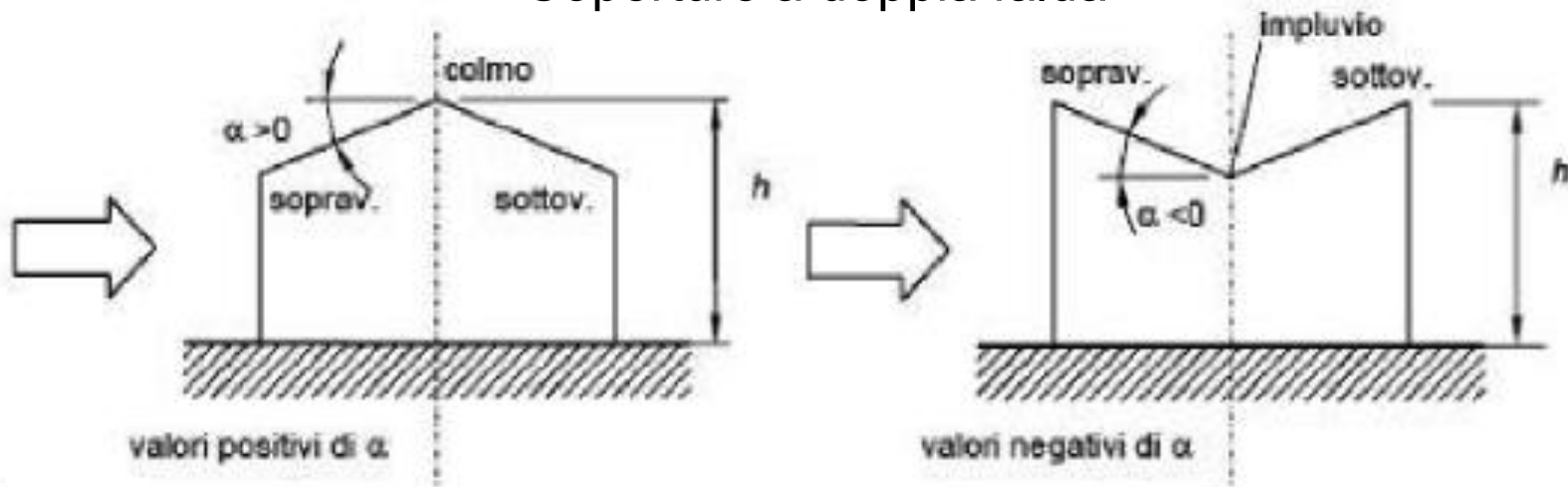


Figura C3.3.11 - Schema di riferimento per coperture a falda doppia

Tabella C3.3.IX - Coefficienti di pressione per coperture a doppia falda ( $\alpha$  in  $^{\circ}$ ): vento in direzione parallela al colmo.

$-75^{\circ} \leq \alpha \leq -15^{\circ}$	$c_{pe} = -0,85 + (\alpha + 60)/180$
$-15^{\circ} \leq \alpha \leq 15^{\circ}$	$c_{pe} = -0,6$
$15^{\circ} \leq \alpha \leq 45^{\circ}$	$c_{pe} = -0,6 + (\alpha - 15)/100$
$45^{\circ} \leq \alpha$	$c_{pe} = -0,3$

# Azione del vento

## Coperture a doppia falda

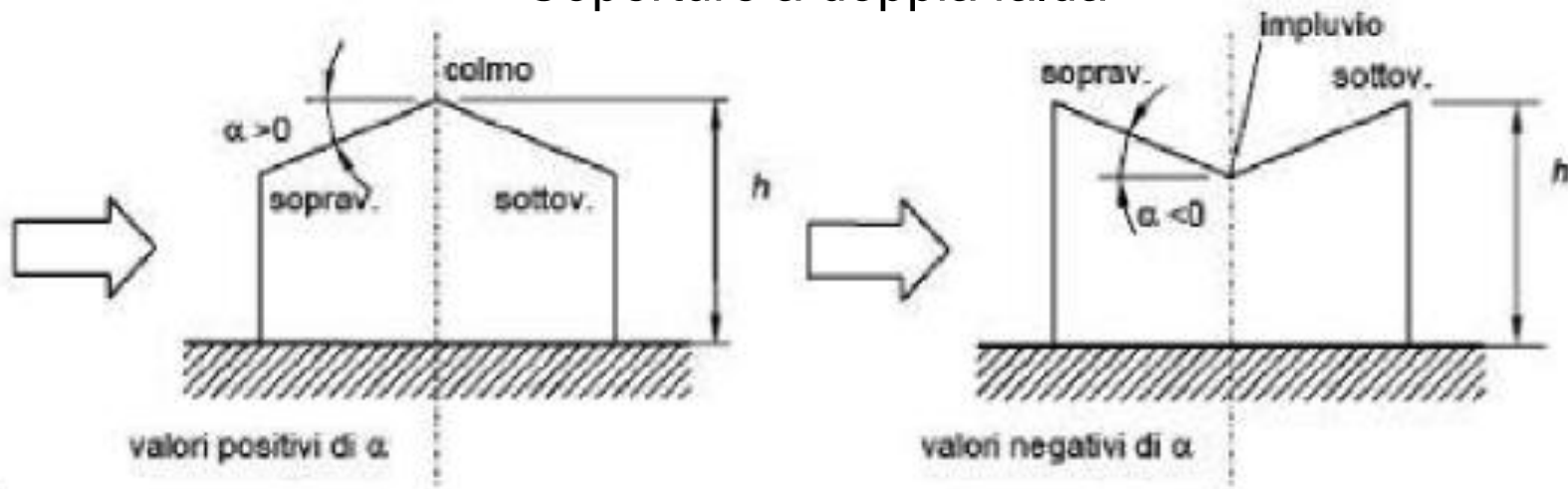


Figura C3.3.11 - Schema di riferimento per coperture a falda doppia

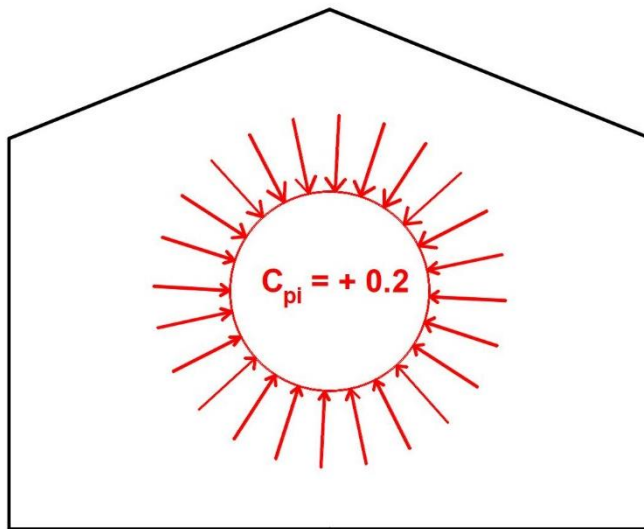
Tabella C3.3.X - Coefficienti di pressione per coperture a doppia falda ( $\alpha$  in  $^{\circ}$ ): vento in direzione parallela al colmo.

Fascia sopravvento di profondità pari al minimo tra $b/2$ ed $h$	$\alpha \leq -30^{\circ}$	$c_{pe,A} = -1,0$
	$-30^{\circ} \leq \alpha \leq 0^{\circ}$	$c_{pe,A} = -0,8 + \alpha/150$
	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 30^{\circ}$	$c_{pe,A} = -0,8 - \alpha/150$
	$30^{\circ} \leq \alpha$	$c_{pe,A} = -1,0$
Restanti zone:	$-45^{\circ} \leq \alpha \leq -30^{\circ}$	$c_{pe,B} = -0,9$
	$-30^{\circ} \leq \alpha \leq 10^{\circ}$	$c_{pe,B} = -0,9 + (\alpha+30)/100$
	$10^{\circ} \leq \alpha$	$c_{pe,B} = -0,5$

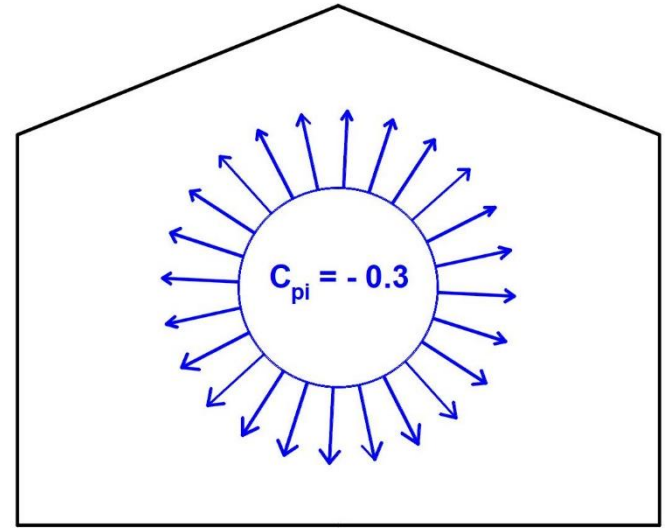
# Azione del vento

Coefficiente di pressione  $C_{pi}$

- Per la valutazione della **pressione interna** si assumerà: per costruzioni che hanno (o possono anche avere in condizioni eccezionali) una parete con aperture di superficie minore di 1/3 di quella totale:  $c_{pi} = +0,2$  e  $-0,3$  considerando il caso più gravoso.



pressione interna **POSITIVA** diretta verso l'interno della costruzione



pressione interna **NEGATIVA** diretta verso l'esterno della costruzione

# Azione del vento

Coefficiente di dinamico  $C_d$

- Il coefficiente dinamico è posto **cautelativamente pari a 1**.

# Azione della neve

## **3.4.1. CARICO DELLA NEVE SULLE COPERTURE**

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

$$q_s = q_{sk} \cdot \mu_i \cdot C_E \cdot C_t \quad [3.4.1]$$

dove:

$q_{sk}$  è il valore di riferimento del carico della neve al suolo, di cui al § 3.4.2;

$\mu_i$  è il coefficiente di forma della copertura, di cui al § 3.4.3;

$C_E$  è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.4;

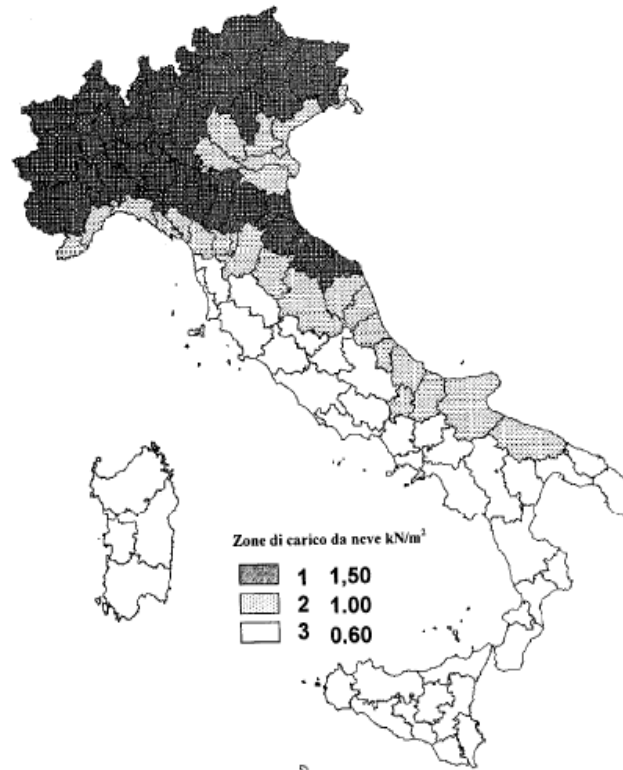
$C_t$  è il coefficiente termico di cui al § 3.4.5.

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

# Azione della neve

Valore caratteristico della neve al suolo  $q_{sk}$

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



# Azione della neve

## Zona I - Alpina

Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vicenza:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad [3.4.2]$$

$$q_{sk} = 1,39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

## Zona I - Mediterranea

Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Monza Brianza, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad [3.4.3]$$

$$q_{sk} = 1,35 [1 + (a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

# Azione della neve

## Zona II

Arezzo, Ascoli Piceno, Avellino, Bari, Barletta-Andria-Trani, Benevento, Campobasso, Chieti, Fermo, Ferrara, Firenze, Foggia, Frosinone, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, L'Aquila, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rieti, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona:

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad [3.4.4]$$

$$q_{sk} = 0,85 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

## Zona III

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

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad [3.4.5]$$

$$q_{sk} = 0,51 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

# Azione della neve

## Coefficiente di esposizione $C_E$

Tabella 3.4.I – Valori di  $C_E$  per diverse classi di topografia

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 significativa 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

## Coefficiente termico $C_t$

- Il coefficiente termico è posto **cautelativamente pari a 1**.

# Azione della neve

Coefficiente di forma  $\mu_i$

Tabella 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

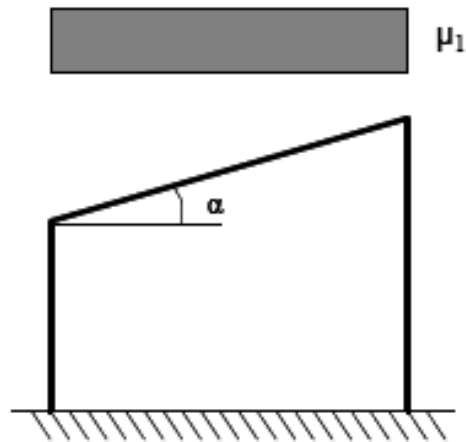


Figura 3.4.2 – Condizioni di carico per coperture ad una falda

# Azione della neve

Coefficiente di forma  $\mu_i$

Tabella 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_i$	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

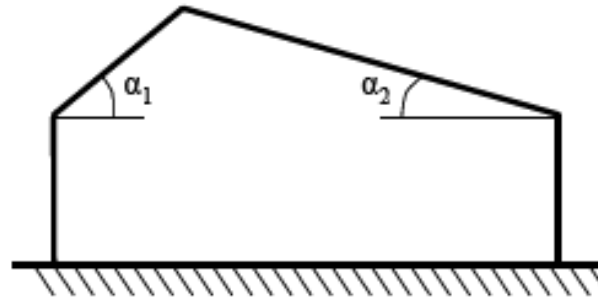
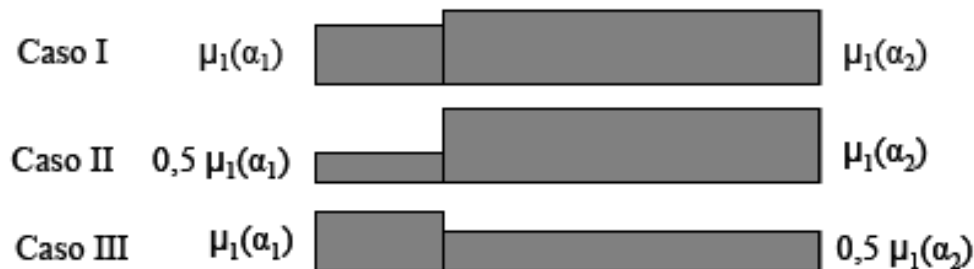


Figura 3.4.3 – Condizioni di carico per coperture a due falde