



Tecnica delle costruzioni - A

LE AZIONI SULLE STRUTTURE

Ing. Claudio Sebastiani

Proff. Arch. Silvia Santini

Indice

- Introduzione

- Normative
- Classificazione delle azioni
- Metodo semiprobabilistico agli stati limite

- Azioni

- Azioni permanenti
- Azioni variabili
 1. Antropiche
 2. Vento
 3. Neve
 4. Temperatura

- Combinazione delle azioni

- Esercizio

Norme italiane

D.M. 17 gennaio 2018 – IV Edizione – Ministero delle infrastrutture e dei trasporti n°8

Circolare Del 21/01/2019 n.7 C.S.LL.PP - Ministero delle infrastrutture e dei trasporti

Istruzione per l'applicazione dell'aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018

Norme europee

Eurocodice 1-Azioni sulle strutture-parte1-1:Azioni in generale-Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici.

Eurocodice 1-Azioni sulle strutture-parte1-3:Azioni in generale-Carichi neve

Eurocodice 1-Azioni sulle strutture-parte1-4:Azioni in generale-Azione del vento

Classificazione per tipo di azione:

- **Forze** (Peso, pressione del vento, spinta della terra o di un liquido, ecc.)
- **Spostamenti impressi** (Cedimenti delle fondazioni, moto di trascinamento)
- **Deformazioni dei materiali** dovute a fattori esterni (variazione della temperatura) o interni (ritiro del calcestruzzo)
- **Azioni chimiche** (Carbonatazione del cls, corrosione dell'acciaio)
- **Fuoco**

Classificazione delle azioni

Classificazione in base al tipo di risposta della struttura

- **Azioni statiche** (sono azioni che variano lentamente nel tempo in modo da rendere trascurabili gli effetti dinamici) non provocano accelerazioni significative della struttura o di alcune sue parti;
- **Azioni dinamiche** azioni che causano accelerazioni della struttura e dei suoi componenti;
- **Azioni pseudostatiche** azioni dinamiche rappresentabili mediante un'azione statica equivalente

Classificazione delle azioni

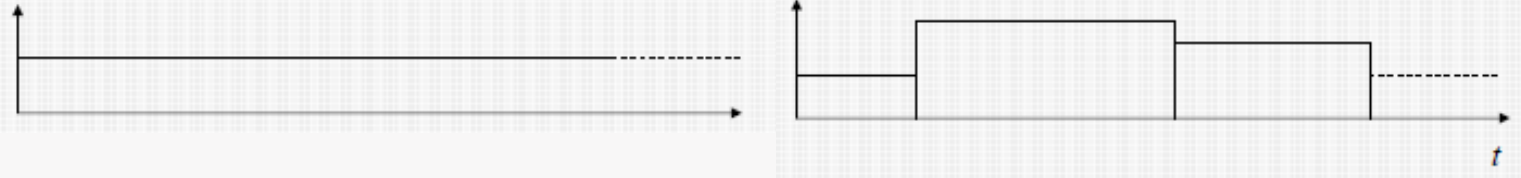
Classificazione in base alla evoluzione nel tempo

- **Azioni permanenti [G]** (non variano o variano molto lentamente durante la vita della struttura)
- **Azioni variabili [Q]** (variano più o meno rapidamente nel tempo, ma sono quasi sempre presenti)
- **Azioni accidentali o eccezionali [A]** (solo raramente sono presenti, ma i loro effetti possono avere gravi conseguenze)

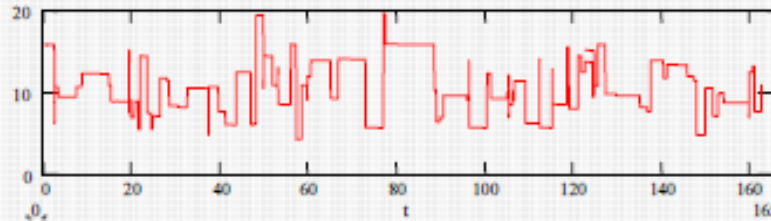
Modelli delle azioni

Classifica in base alla evoluzione nel tempo

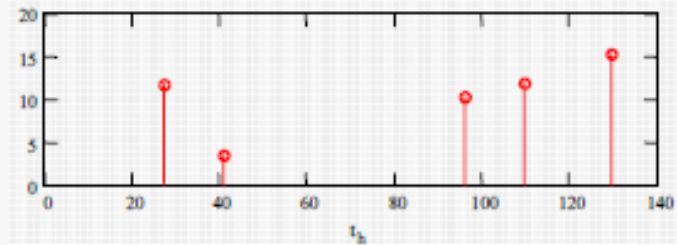
- **Azioni permanenti [G]** (non variano – o variano molto lentamente – durante la vita della struttura)



- **Azioni variabili [Q]** (variano più o meno rapidamente nel tempo, ma sono quasi sempre presenti)



- **Azioni accidentali o eccezionali [A]** (solo raramente sono presenti, ma i loro effetti possono avere gravi conseguenze)



La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Metodo semiprobabilistico agli stati limite

Il confronto tra resistenza e sollecitazione avviene nel seguente modo: si definisce un parametro caratteristico della sollecitazione E_k , un valore caratteristico della resistenza R_k , dopodichè una volta definiti questi valori caratteristici andiamo a definire dei valori di calcolo E_d ed R_d nel seguente modo:

$$E_d = E_k \gamma_E$$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

$$R_d \geq E_d$$

Dove:

E_k, R_k : Sono valori caratteristici

E_d, R_d : Sono valori di calcolo

γ_E, γ_R : Sono coefficienti parziali

Stati limite

La verifica strutturale deve essere articolata per stati limite, cioè ogni struttura deve essere verificata rispetto ai possibili stati limite che si differenziano in:

- **Stati limite ultimi (SLU):** definiscono le condizioni di collasso (convenzionale) della struttura o di qualche elemento rilevante (Trave, pilastro, ecc.)



- **Stati limite di esercizio (SLE):** definiscono le condizioni per le quali (convenzionalmente) viene meno la funzionalità dell'opera senza che ne sia compromessa la stabilità



Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

Coefficienti di sicurezza (SLU)

NTC2018 - par.2.5.2.

I principali stati limite ultimi sono 3:

- **EQU** stato limite di equilibrio come copro rigido
- **STR** stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione
- **GEO** stato limite di resistenza del terreno

Azioni non geotecniche

STR → A1

Azioni geotecniche

STR → A1

GEO → A2

Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti G_1 ;

γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali G_2 ;

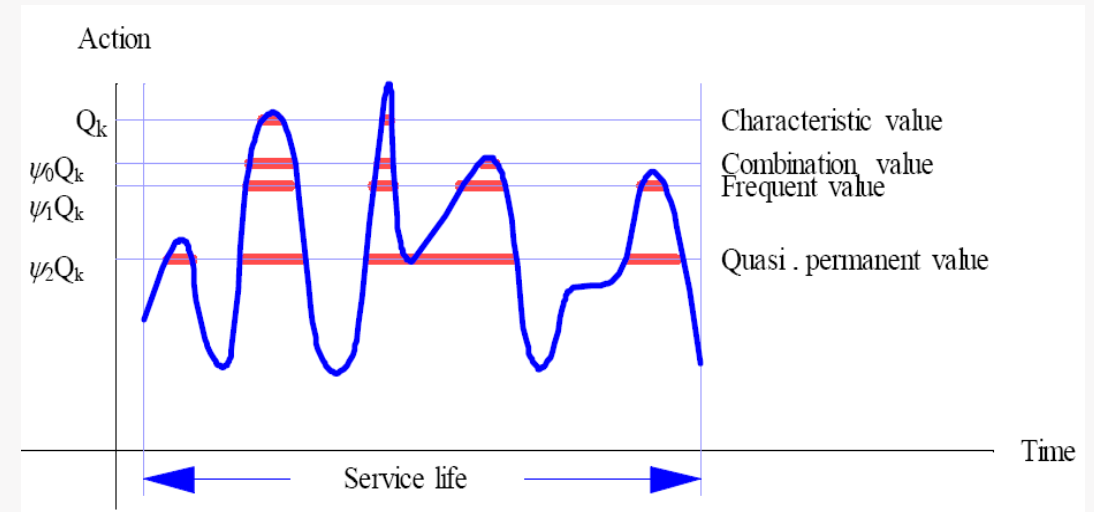
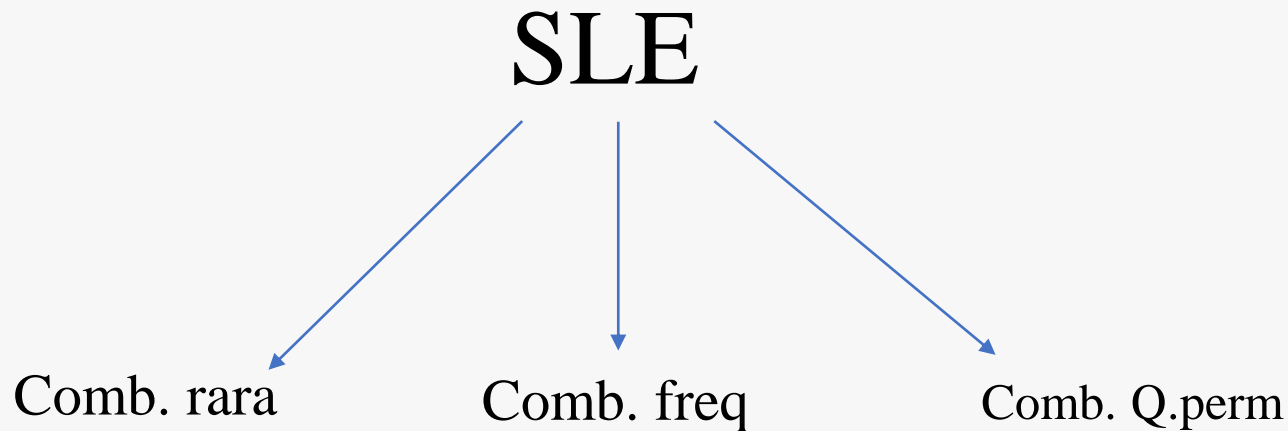
γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

Stati limite di esercizio (SLE)

NTC2018 - par.2.5.2.

SLE REVERSIBILI: una volta che l'azione cessa, la struttura torna ad essere come era prima dell'azione stessa (Es. vibrazione)

SLE IRREVERSIBILI: la struttura al termine dell'azione si trova deteriorata, danneggiata rispetto a come era prima dell'azione (Es. fessurazione, corrosione, degrado)



Coefficienti di combinazione

NTC2018 – Tab.2.5.1.

Ψ serve a ridurre i carichi variabili per tenere in considerazione della bassa probabilità di contemporaneità dei massimi valori dei carichi variabili

Il progettista deve fare tante combinazioni dei carichi variabili al fine di trovare la combinazione più gravosa

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Carichi permanenti

- **Peso proprio della struttura [G1]:**

Rappresenta il peso proprio degli elementi strutturali

- **Peso dei sovraccarichi permanenti [G2]:** Sono elementi che pur facendo parte dell'edificio non hanno una funzione strutturale: tamponature, pavimenti, intonaci, ecc.

Carichi variabili

A questa categoria si assegnano i carichi prodotti dall'uso corrente della costruzione

- **Carico folla:** Peso di persone, arredi, veicoli, merci conservate
- **Azione del vento**
- **Azione della neve**
- **Etc..**

Peso proprio degli elementi

NTC2018 – Tab. 3.1.1

Il calcolo del peso dipende dal volume dell'elemento e dal peso specifico dei materiali:

$$G_{ki} = V \cdot \gamma$$

Valore caratteristico

Volume

Peso specifico

Tab. 3.1.I - Pesi dell'unità di volume dei principali materiali

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME [kN/m³]
Calcestruzzi cementizi e malte	
Calcestruzzo ordinario	24,0
Calcestruzzo armato (e/o precompresso)	25,0
Calcestruzzi "leggeri": da determinarsi caso per caso	14,0 + 20,0
Calcestruzzi "pesanti": da determinarsi caso per caso	28,0 + 50,0
Malta di calce	18,0
Malta di cemento	21,0
Calce in polvere	10,0
Cemento in polvere	14,0
Sabbia	17,0
Metalli e leghe	
Acciaio	78,5
Ghisa	72,5
Alluminio	27,0
Materiale lapideo	
Tufo vulcanico	17,0
Calcere compatto	26,0
Calcere tenero	22,0
Gesso	13,0
Granito	27,0
Laterizio (pieno)	18,0
Legnami	
Conifere e pioppo	4,0 + 6,0
Latifoglie (escluso pioppo)	6,0 + 8,0
Sostanze varie	
Acqua dolce (chiara)	9,81
Acqua di mare (chiara)	10,1
Carta	10,0
Vetro	25,0

Carichi variabili per edifici (folla)

NTC2018 – tab.3.1.II

- Carichi verticali uniformemente distribuiti q_k
- Carichi verticali concentrati Q_k
- Carichi orizzontali lineari H_k

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale			
	Aree per attività domestiche e residenziali; sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi (ad esclusione delle aree soggette ad affollamento), camere di degenza di ospedali	2,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi, ballatoi	4,00	4,00	2,00
B	Uffici			
	Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico	2,00	2,00	1,00
	Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	3,00	2,00	1,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	4,00	4,00	2,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento			
	Cat. C1 Aree con tavoli, quali scuole, caffè, ristoranti, sale per banchetti, lettura e ricevimento	3,00	3,00	1,00
	Cat. C2 Aree con posti a sedere fissi, quali chiese, teatri, cinema, sale per conferenze e attesa, aule universitarie e aule magne	4,00	4,00	2,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli al movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, aree d'accesso a uffici, ad alberghi e ospedali, ad atri di stazioni ferroviarie	5,00	5,00	3,00
	Cat. C4. Aree con possibile svolgimento di attività fisiche, quali sale da ballo, palestre, palcoscenici.	5,00	5,00	3,00
	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita, con le seguenti limitazioni		
	≥ 4,00	≥ 4,00	≥ 2,00	

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

I tramezzi e gli impianti leggeri degli edifici per abitazioni e per uffici potranno assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, purché i solai abbiano adeguata capacità di ripartizione trasversale.

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e per uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico permanente uniformemente distribuito g_2 , purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito g_2 potrà essere correlato al peso proprio per unità di lunghezza G_2 delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $1,00 < G_2 \leq 2,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $2,00 < G_2 \leq 3,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,20 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $3,00 < G_2 \leq 4,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 1,60 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $4,00 < G_2 \leq 5,00 \text{ kN/m}$: $g_2 = 2,00 \text{ kN/m}^2$.

Gli elementi divisori interni con peso proprio maggiore di $5,00 \text{ kN/m}$ devono essere considerati in fase di progettazione, tenendo conto del loro effettivo posizionamento sul solaio.

Elementi divisori interni

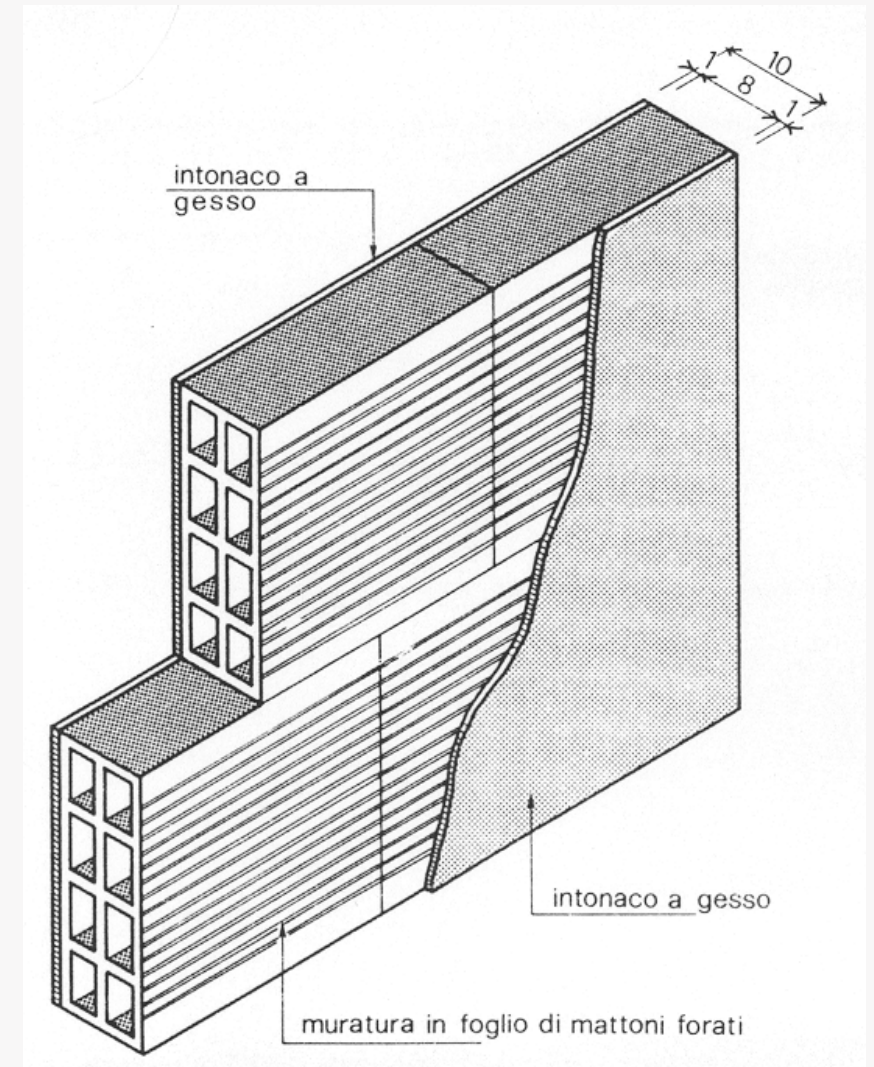
NTC2018 - par.3.1.3.

muratura in mattoni forati per tramezzi interni

<i>componenti</i>	<i>s [m]</i>	γ [kNm ⁻³]	<i>pesi</i> [kNm ⁻²]
muratura in mattoni forati	0.080	11.00	0.880
intonaco interno a gesso	2x0.010	12.00	0.240
arrotondamento	-	-	0.030
totale			1.150

$$G_2 = 1,15 \frac{kN}{m^2} h_{tramezzo} = 1,15 \cdot 2,7m = 3,105 \frac{kN}{m}$$

- per elementi divisori con $G_2 \leq 1,00$ kN/m : $g_2 = 0,40$ kN/m²;
- per elementi divisori con $1,00 < G_2 \leq 2,00$ kN/m : $g_2 = 0,80$ kN/m²;
- per elementi divisori con $2,00 < G_2 \leq 3,00$ kN/m : $g_2 = 1,20$ kN/m²;
- **per elementi divisori con $3,00 < G_2 \leq 4,00$ kN/m : $g_2 = 1,60$ kN/m²;**
- per elementi divisori con $4,00 < G_2 \leq 5,00$ kN/m : $g_2 = 2,00$ kN/m².



Il carico neve sulle coperture sarà valutato con la seguente espressione:

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

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura;

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

C_E è il coefficiente di esposizione

C_t è il coefficiente termico

Il carico agisce in direzione verticale (azione gravitazionale) ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Zone di carico

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

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:

$$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad [3.4.3]$$
$$q_{sk} = 1,35 [1 + (a_s/602)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

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

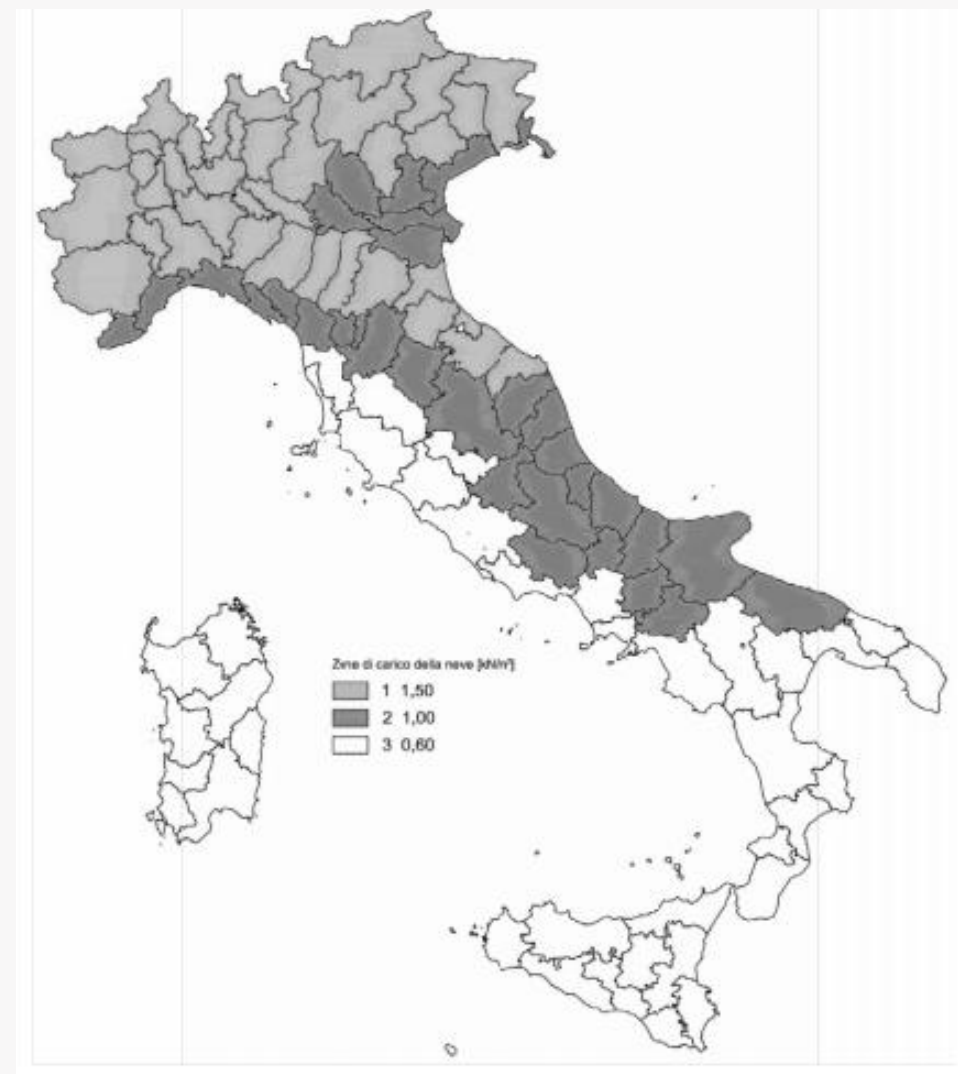
Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Grosseto, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia-Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Roma, Salerno, Sassari,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

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m} \quad [3.4.5]$$
$$q_{sk} = 0,51 [1 + (a_s/481)^2] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si deve fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 m.

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 può 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 e un anno, si assumerà $T_R \geq 10$ anni.



L'altitudine di riferimento a_s (m) è la quota del suolo sul livello del mare nel sito dove è realizzata la costruzione.

Coefficiente di forma μ

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

3.4.3.1 GENERALITÀ

I coefficienti di forma delle coperture dipendono dalla forma stessa della copertura e dall'inclinazione sull'orizzontale delle sue parti componenti e dalle condizioni climatiche locali del sito ove sorge la costruzione.

In assenza di dati suffragati da opportuna documentazione, i valori nominali del coefficiente di forma μ_1 delle coperture ad una o a due falde possono essere ricavati dalla Tab. 3.4.II, essendo α , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Si assume che alla neve non sia impedito di scivolare. Se l'estremità più bassa della falda termina con un parapetto, una barriera od altre ostruzioni, allora il coefficiente di forma non potrà essere assunto inferiore a 0,8 indipendentemente dall'angolo α .

Per coperture a più falde, per coperture con forme diverse, così come per coperture contigue a edifici più alti o per accumulo di neve contro parapetti o più in generale per altre situazioni ritenute significative dal progettista si deve fare riferimento a normative o documenti di comprovata validità.

Coefficiente di forma μ

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

3.4.3.2 COPERTURA AD UNA FALDA

Nel caso delle coperture ad una falda, si deve considerare la condizione di carico riportata in Fig. 3.4.2.

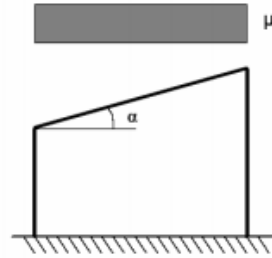


Fig. 3.4.2 - Condizioni di carico per coperture ad una falda

3.4.3.3 COPERTURA A DUE FALDE

Nel caso delle coperture a due falde, si devono considerare le tre condizioni di carico alternative, denominate *Caso I*, *Caso II* e *Caso III* in Fig. 3.4.3.

Neve senza vento: Caso I

Neve con vento: Caso II e III

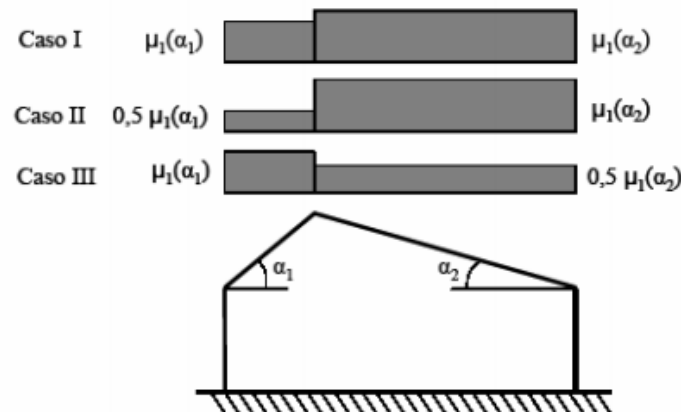


Fig. 3.4.3 - Condizioni di carico per coperture a due falde

Coefficiente di esposizione C_E

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

Il coefficiente di esposizione C_E tiene conto delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati di questo coefficiente sono forniti in Tab. 3.4.I per diverse classi di esposizione. Se non diversamente indicato, si assumerà $C_E = 1$.

Tab. 3.4.I – Valori di C_E per diverse classi di esposizione

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

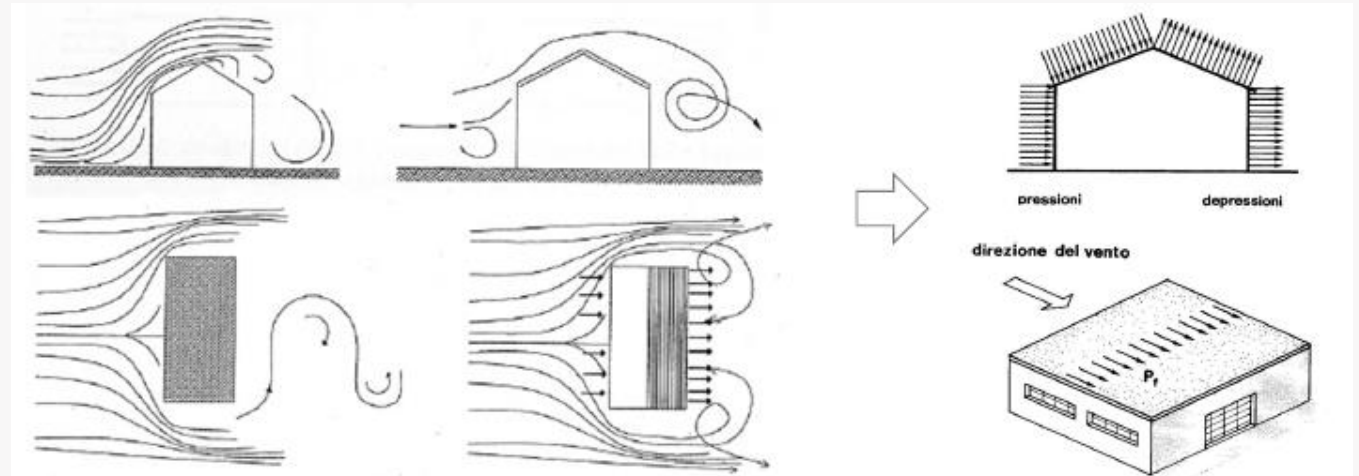
$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t$$

Il coefficiente termico tiene conto della riduzione del carico della neve, a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente dipende dalle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere posto $C_t = 1$.

Carico vento

NTC2018 - par.3.3.

Il vento esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo provocando in generale effetti dinamici. Tacoma Narrow bridge (1940) (Fenomeno di instabilità Flutter)



Le azioni del vento si traducono in pressioni e depressioni agenti normalmente sulle superfici, sia esterne che interne, che compongono la costruzione.

Nel caso di costruzioni o elementi di grande estensione, sono significative anche le azioni tangenti esercitate dal vento.

Carico vento



Carico vento

La forza sismica e gravitazionale sono proporzionali alla massa dell'opera mentre **l'azione del vento dipende dalla superficie esposta**.

Le strutture snelle e leggere (torri, ciminiere, ponti di grande luce) sono più sensibili al vento, quelle rigide e massicce (edifici in c.a e muratura di modesta altezza) sono più sensibili all'azione sismica.

Per le costruzioni usuali l'azione del vento è convenzionalmente ricondotta ad **azioni statiche equivalenti**, per costruzioni di forma, dimensione o tipologia inusuale sono necessarie valutazioni specifiche che tengano conto della dinamica del sistema.

Direzione del vento: si considera di regola orizzontale e corrispondente ad uno degli **assi principali della pianta** della costruzione, in casi particolari (es. torri) si deve considerare anche il vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

Pressione del vento (normale)

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

Pressione del vento (tangenziale)

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Dove:

q_r = la pressione cinetica di riferimento

c_e = è il coefficiente di esposizione

c_p = è il coefficiente di pressione

c_d = è il coefficiente dinamico

c_f = è il coefficiente d'attrito

Pressione cinetica di riferimento q_r

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

La pressione cinetica di riferimento è data dalla seguente formula:

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

Dove:

v_r = è la velocità di riferimento del vento

ρ = è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1,25kg/m³

Esprimendo ρ [kg/m³] e v_r [m/s] allora q_r [N/m²]

Velocità di riferimento v_r

$$\begin{aligned} p &= q_r c_e c_p c_d \\ p_f &= q_r c_e c_f \end{aligned} \longrightarrow q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2$$

$$v_r = v_b c_r$$

v_b è la velocità base di riferimento

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

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

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;

Velocità base di riferimento v_b

$$p = q_r c_e c_p c_d \quad p_f = q_r c_e c_f \quad \longrightarrow \quad q_r = \frac{1}{2} \rho v_r^2 \quad \longrightarrow \quad v_r = v_b c_r$$

$$v_b = v_{b,0} c_a$$

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

c_a è il coefficiente di altitudine

a_0, k_s sono parametri forniti dalla tabella Tab 3.3.1

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

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 \leq a_s \leq 1500m$$



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

Coefficiente di esposizione c_e

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

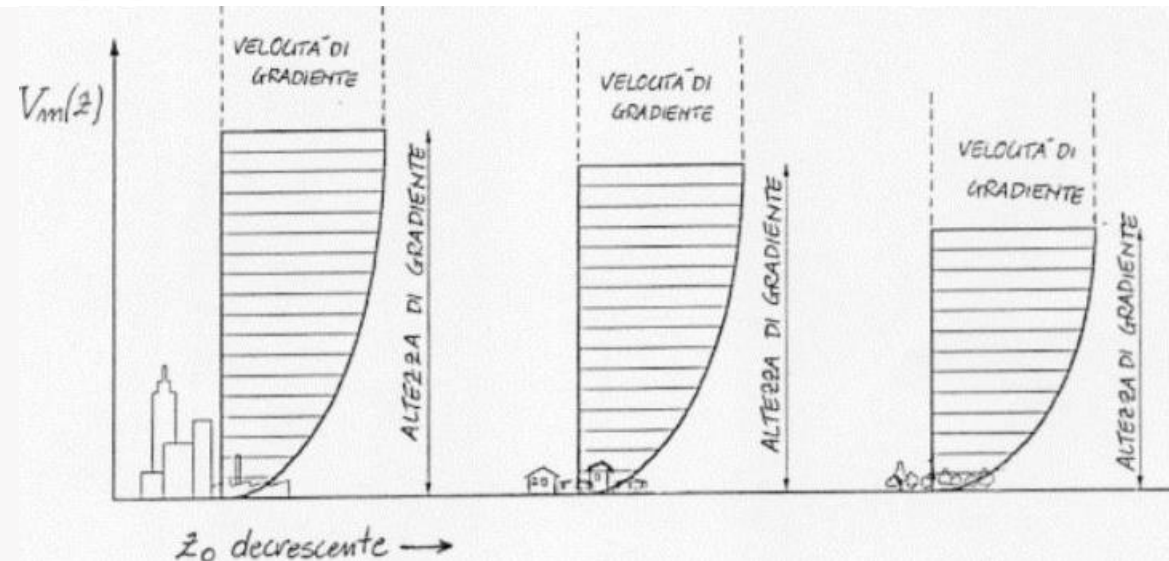
Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza 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.



Coefficiente di esposizione c_e

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

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.

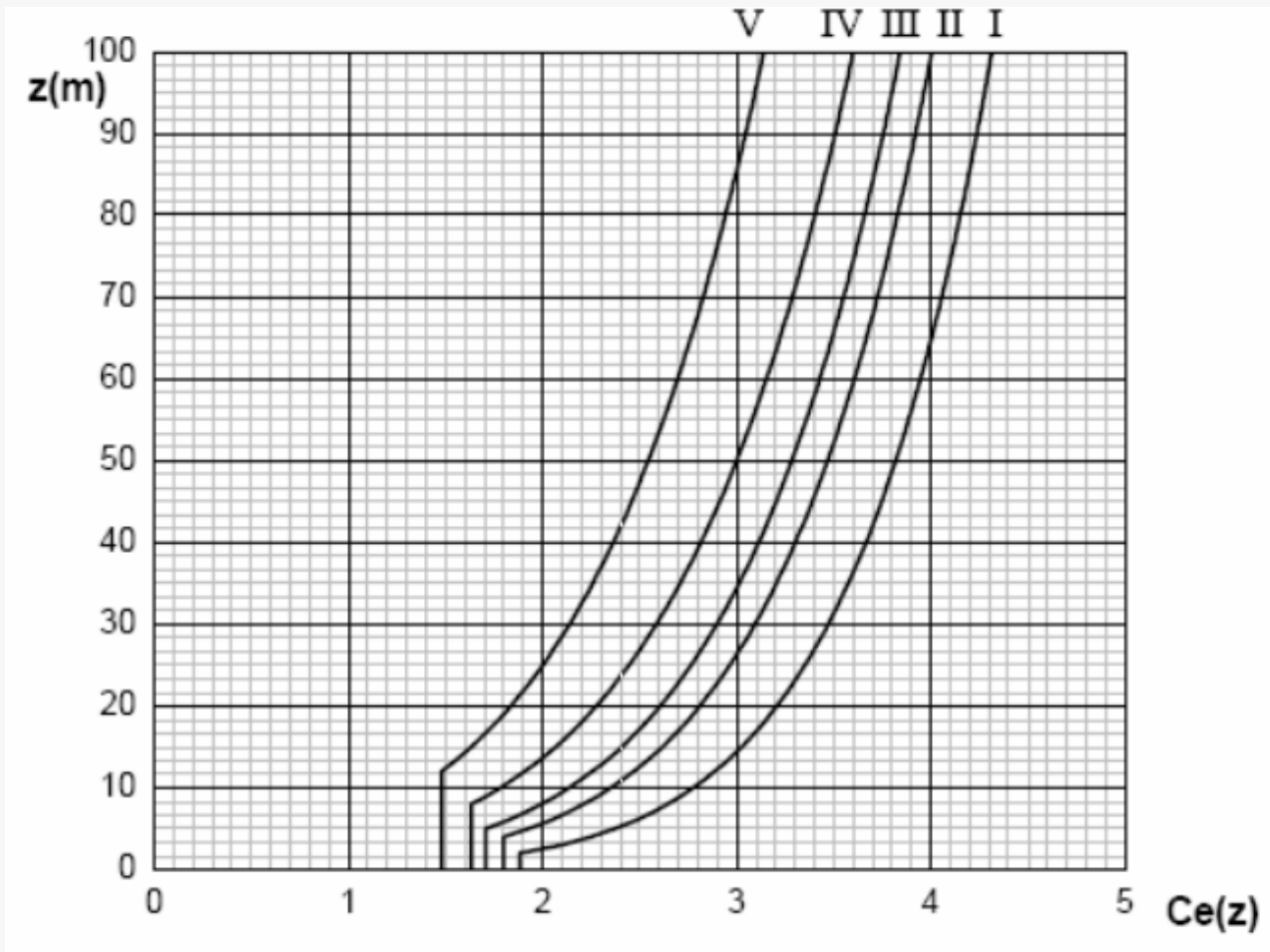
Tab. 3.3.II - Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

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

Coefficiente di topografia C_t

$$p = q_r c_e c_p c_d \longrightarrow c_t$$
$$p_f = q_r c_e c_f$$

Il coefficiente di topografia è posto pari a 1 sia per le zone pianeggianti che per quelle ondulate, collinose, montane. Di seguito è mostrato l'andamento di c_e per le diverse categorie di esposizione.

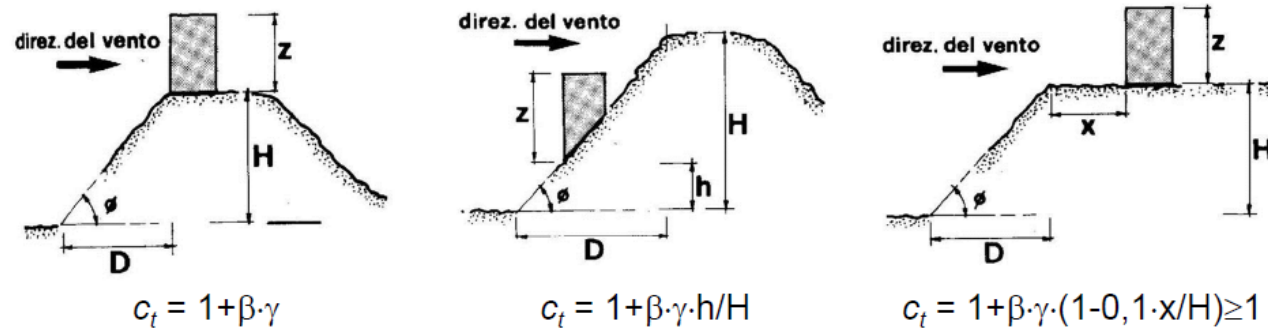


Coefficiente di topografia c_t

$$p = q_r c_e c_p c_d \longrightarrow c_t$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Nel caso di costruzioni ubicate presso la sommità di colline o pendii isolati il coefficiente di esposizione può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione



c_t varia lungo l'altezza z della costruzione
in funzione dell'altezza H e della pendenza media $H/D = \tan \phi$ del dislivello

Coefficiente β : variabile lungo l'altezza z con l'espressione

$$\beta(z) = \begin{cases} 0,5 & z/H \leq 0,75 \\ 0,8 - 0,4 \cdot z/H & 0,75 \leq z/H \leq 2 \\ 0 & z/H \geq 2 \end{cases}$$

Coefficiente γ : costante e dipende dalle dimensioni degli eventuali rilievi naturali presenti sul terreno ove è localizzato l'edificio

$$\gamma = \begin{cases} 0 & H/D \leq 0,10 \\ (H/D - 0,1)/0,20 & 0,10 \leq H/D \leq 0,30 \\ 1 & H/D \geq 0,30 \end{cases}$$

Coefficiente di esposizione C_e

$$p = q_r C_e C_p C_d$$

$$p_f = q_r C_e C_f$$

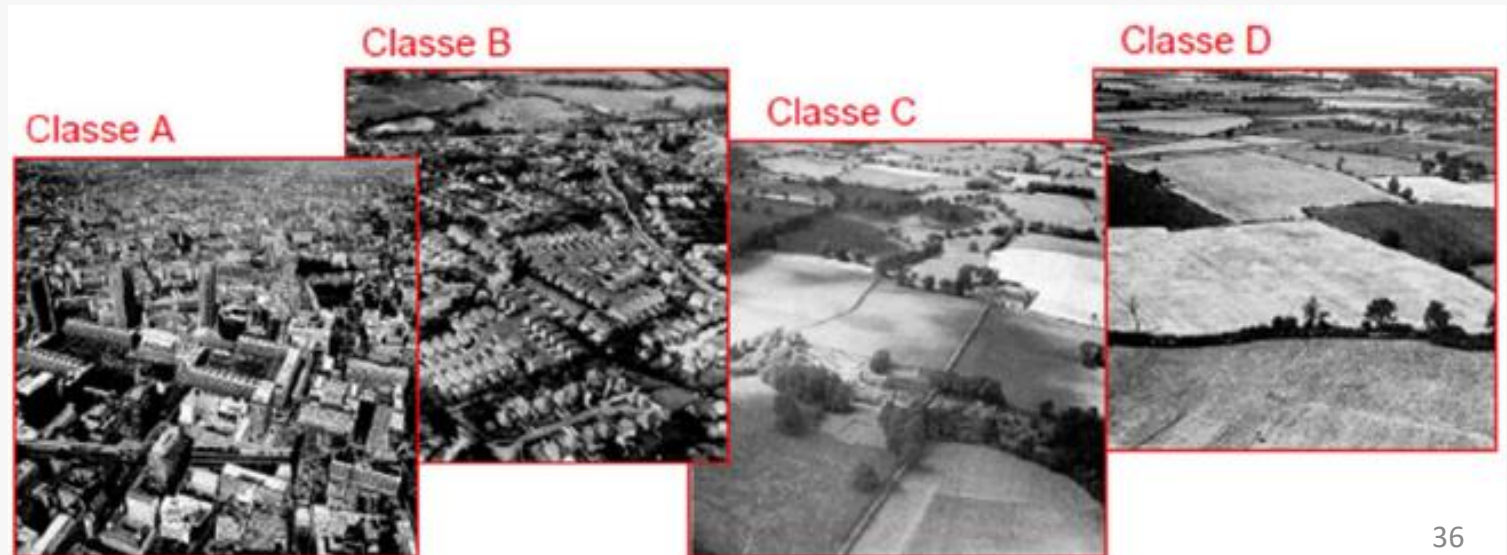
	ZONE 1,2,3,4,5					
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

	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

Classe di rugosità del terreno



Coefficiente di forma C_p

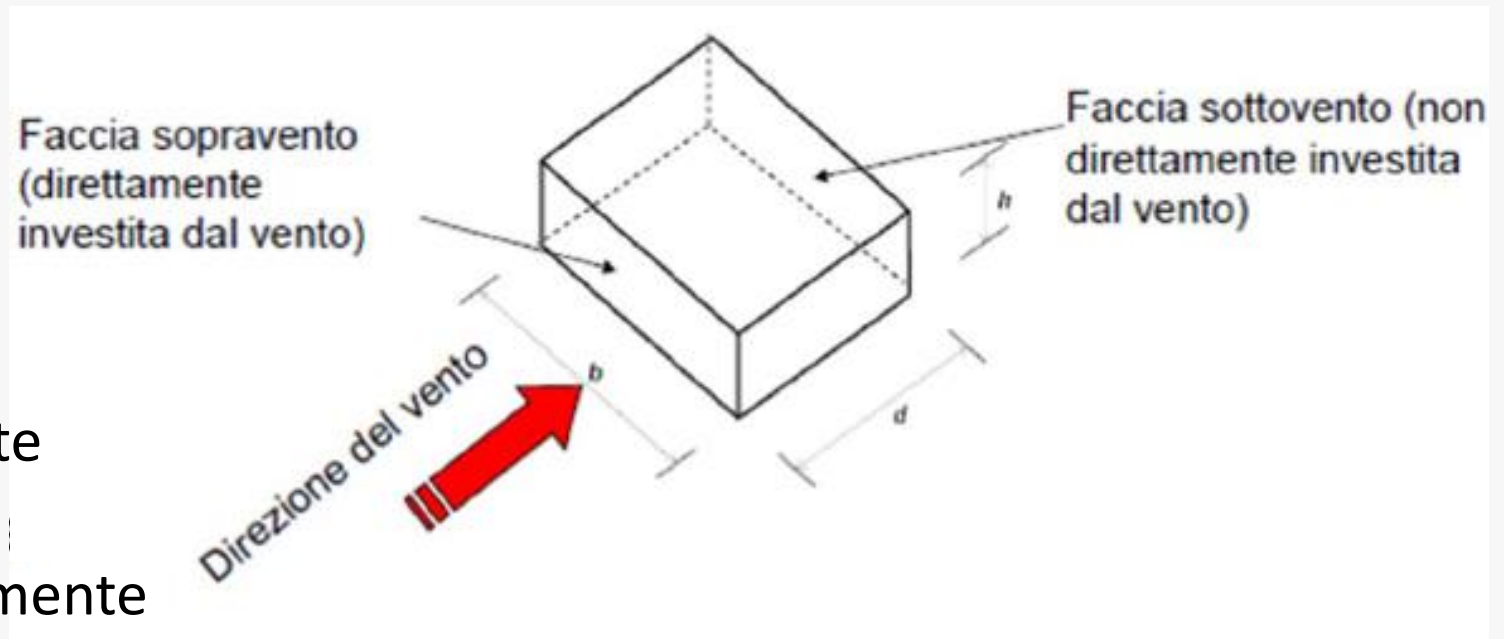
$$p = q_r c_e C_p C_d$$

$$p_f = q_r c_e C_f$$

Circolare del 21/01/2019

C_p dipende da:

- Tipologia dell'edificio
- Geometria dell'edificio
- **Elementi sopravento**: direttamente investiti dal vento
- **Elementi sottovento**: non direttamente investiti dal vento o investiti da vento radente
- $C_p = \begin{cases} C_{pe} & \text{per le superfici esterne} \\ C_{pi} & \text{per le superfici interne} \end{cases}$



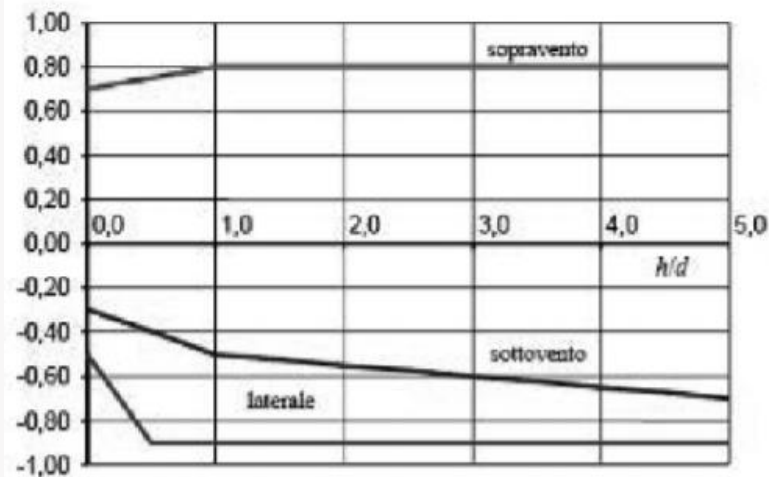
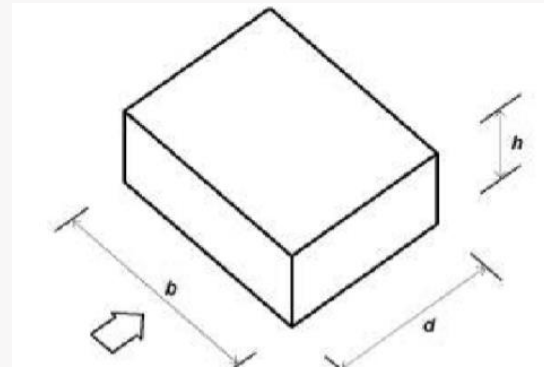
Coefficiente di forma c_p

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Circolare del 21/01/2019

Pareti verticali

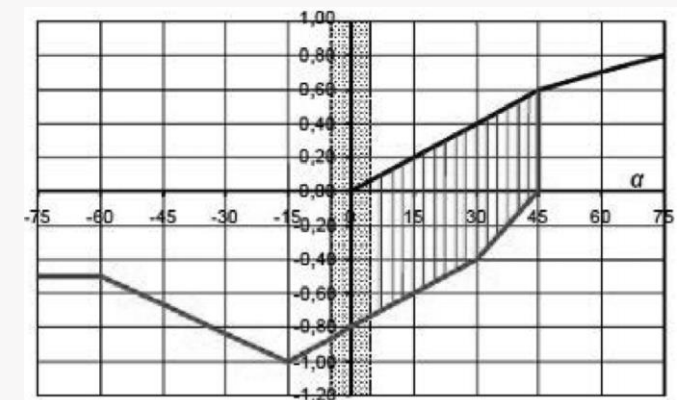
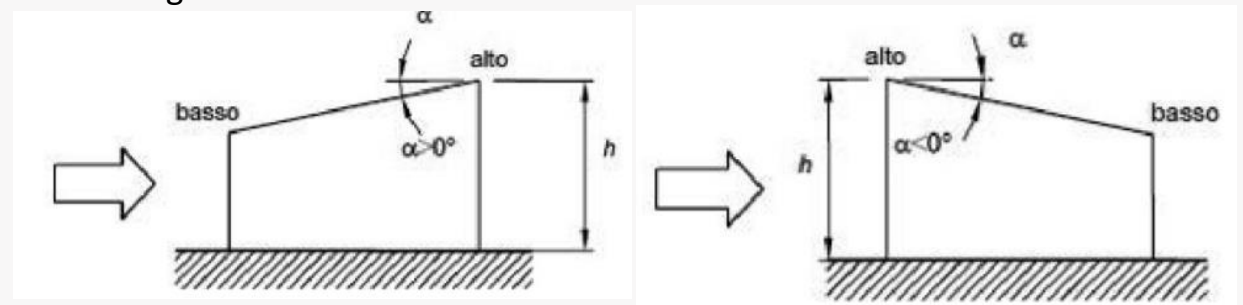


Faccia sopravento	$C_U = 2,0$	$C_U = 1,5$
$h/d \leq 1$: $c_{pe} = 0,7 + 0,1 \cdot h/d$	$h/d \leq 0,5$: $c_{pe} = -0,5 - 0,8 \cdot h/d$	$h/d \leq 1$: $c_{pe} = -0,3 - 0,2 \cdot h/d$
$h/d > 1$: $c_{pe} = 0,8$	$h/d > 0,5$: $c_{pe} = -0,9$	$1 < h/d \leq 5$: $c_{pe} = -0,5 - 0,05 \cdot (h/d - 1)$

Coperture a falda singola

Per le inclinazioni $-5^\circ \leq \alpha \leq +5^\circ \rightarrow$ copertura piana

Vento ortogonale alla direzione del colmo



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

Coefficiente di forma C_p

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

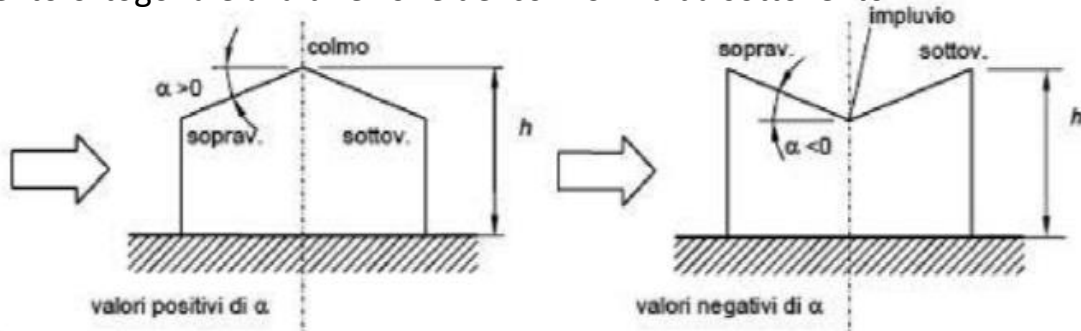
$$p_f = q_r c_e c_f$$

Coperture a doppia falda

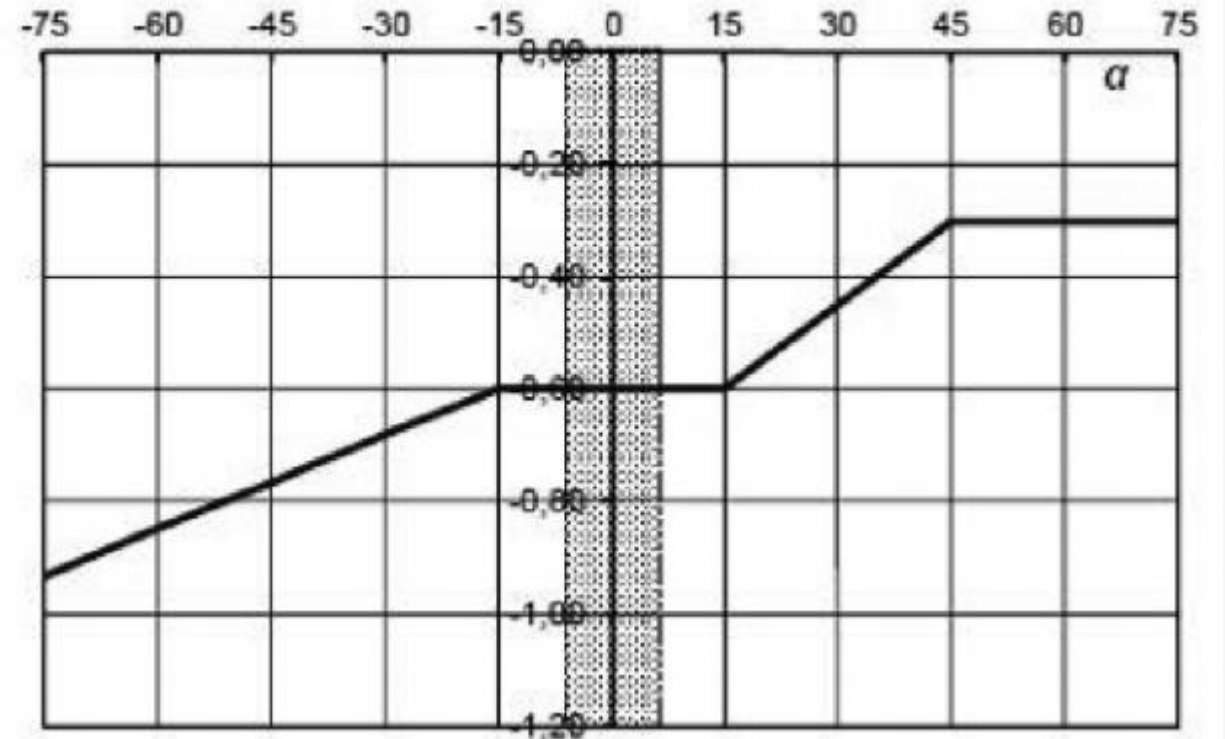
Per le inclinazioni $-5^\circ \leq \alpha \leq +5^\circ \rightarrow$ copertura piana

I coefficienti globali da assumere sulla falda sopravento di coperture a falda doppia di un edificio a pianta rettangolare nel caso di vento perpendicolare alla direzione del colmo, sono quelli per le coperture a falda singola

Vento ortogonale alla direzione del colmo – falda sottovento



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



Coefficiente dinamico C_d

$$p = q_r c_e c_p C_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

- In relazione alle dimensioni dell'opera investita dal vento, è ragionevole ipotizzare una non contemporaneità delle massime pressioni locali su tutta la superficie → **effetti riduttivi di non contemporaneità**
- Nel caso di costruzioni snelle e leggere può nascere un'interazione dinamica con conseguente amplificazione degli effetti statici → **effetti amplificativi per vibrazioni strutturali**
- **Per costruzioni di tipologia ricorrente** (i.e forma regolare di altezza $\leq 80\text{m}$ e capannoni industriali) $c_d=1$

Coefficiente aerodinamico C_f

$$p = q_r c_e c_p C_d$$

$$p_f = q_r c_e C_f$$

Il coefficiente d'attrito c_f dipende dalla scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

Entrambi questi coefficienti, definiti coefficienti aerodinamici, possono essere ricavati da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Azione termica

Temperatura aria esterna

La temperatura dell'aria esterna, T_{est} , può assumere il valore T_{max} o T_{min} , definite rispettivamente come temperatura massima estiva e minima invernale dell'aria nel sito della costruzione, con riferimento ad un periodo di ritorno di 50 anni.

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:

In mancanza di adeguate indagini statistiche basate su dati specifici relativi al sito in esame, T_{max} o T_{min} dovranno essere calcolati in base alle espressioni riportate nel seguito, per le varie zone indicate nella Fig. 3.5.1. Tale zonazione non tiene conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente.

Zona I

Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino-Alto Adige, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Emilia Romagna:

$$T_{min} = -15 - 4 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.1]$$

$$T_{max} = 42 - 6 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.2]$$

Zona II

Liguria, Toscana, Umbria, Lazio, Sardegna, Campania, Basilicata:

$$T_{min} = -8 - 6 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.3]$$

$$T_{max} = 42 - 2 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.4]$$

Zona III

Marche, Abruzzo, Molise, Puglia:

$$T_{min} = -8 - 7 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.5]$$

$$T_{max} = 42 - 0.3 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.6]$$

Zona IV

Calabria, Sicilia:

$$T_{min} = -2 - 9 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.7]$$

$$T_{max} = 42 - 2 \cdot a_s / 1000 \quad [3.5.8]$$



T_{max} T_{min} [C°]

L'altitudine di riferimento a_s [m] è la quota del suolo sul livello del mare nel sito dove è realizzata la costruzione

Temperatura aria interna

In mancanza di più precise valutazioni, legate alla tipologia della costruzione ed alla sua destinazione d'uso, la temperatura dell'aria interna, T_{int} , può essere assunta pari a 20 °C.

Esercizio 1

Calcolare l'azione del vento sulle due falde della copertura (p) e sulle pareti (p_f)

Fabbricato di civile abitazione sito in provincia di Trieste in una zona priva di ostacoli.

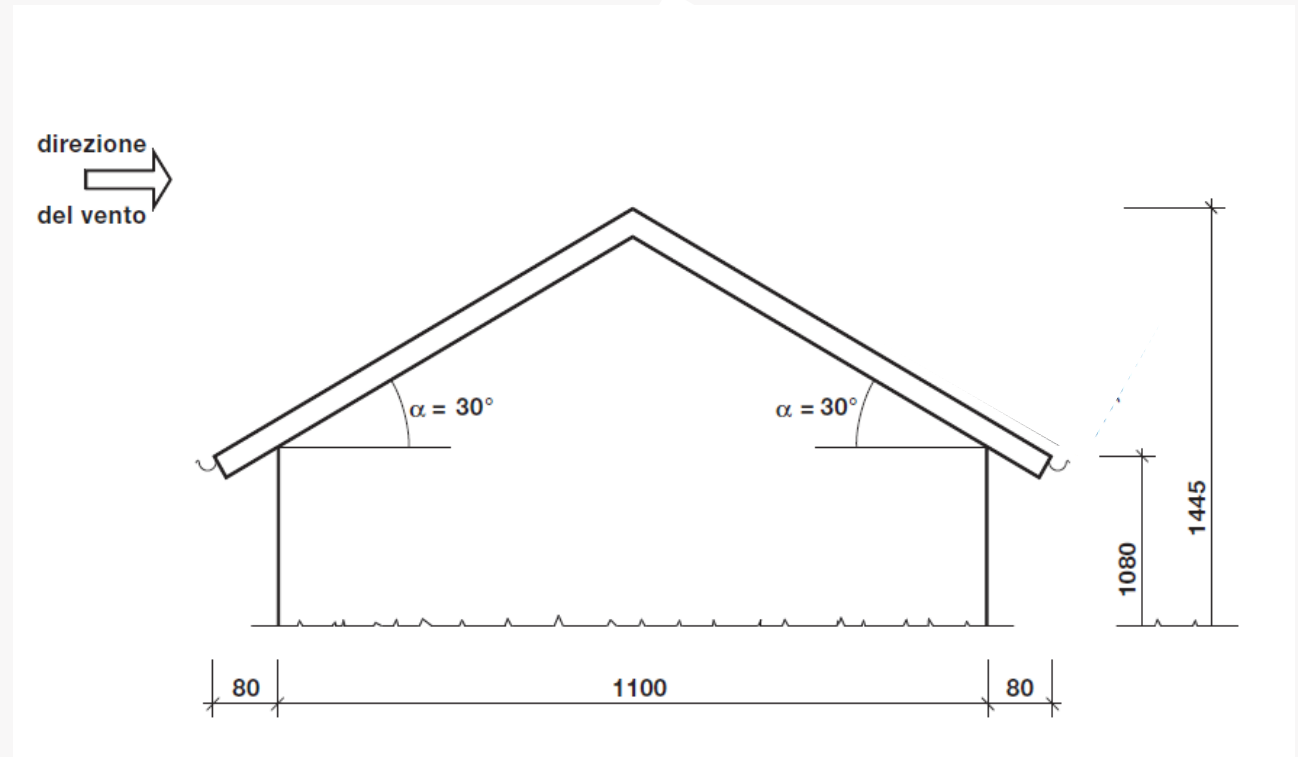
Altezza in gronda z = 10,80 m

Copertura a due falde simmetriche inclinate di $\alpha = 30^\circ$ sull'orizzontale

Altitudine a_s = 700 m.s.l.m. e distanza dalla costa d > 30 km

DOMANDE

- Calcolare la pressione del vento agente sulle due falde della copertura (p) e sulle pareti (p_f)
- Calcolare il carico neve agente sulla struttura



Esercizio 1

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

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;

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Esprimendo ρ in kg/m^3 e v_r in m/s , q_r risulta espresso in N/m^2 .

Velocità di riferimento V_r

$$v_r = v_b c_r$$

$$c_r = 1 \quad T_r = 50 \text{ anni}$$

Velocità di riferimento v_b

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

$v_{b,0}$ 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:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

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

$$q_r = 0,5 \times 1,25 \times 30^2 = 562,5 \text{ N/m}^2$$

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

Esercizio 1

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Valuto la classe di rugosità del terreno

Tabella 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 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, zone 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.

Valuto la categoria di esposizione: Categoria II

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

* Categoria II in zona 8
Categoria III in zona 7

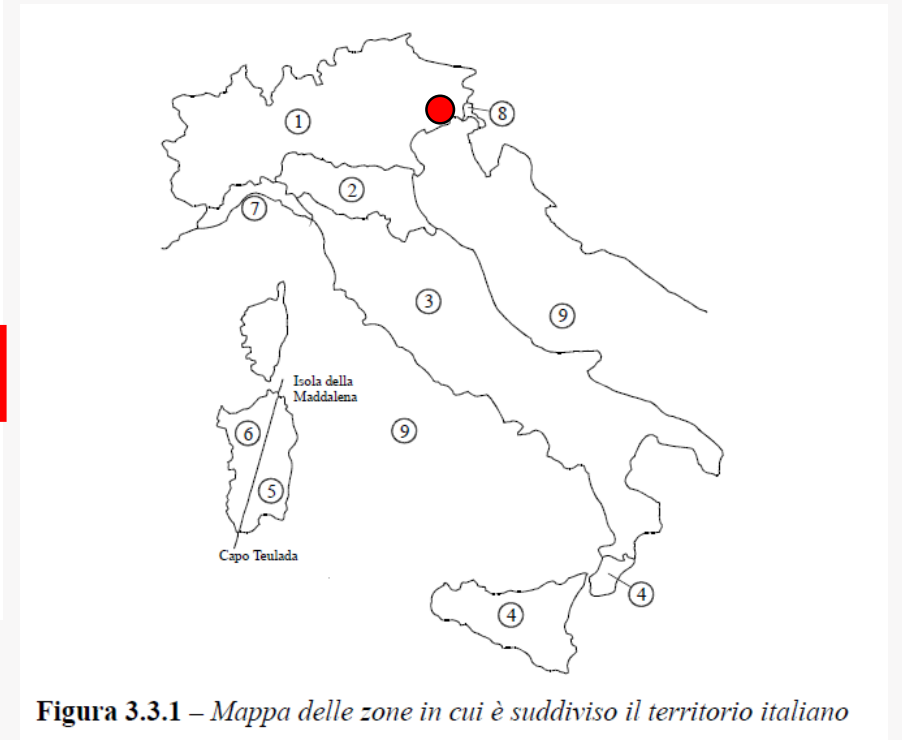


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

Esercizio 1

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Valuto la categoria di esposizione: Categoria II

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

Valuto il coefficiente di topografia: $C_t=1$

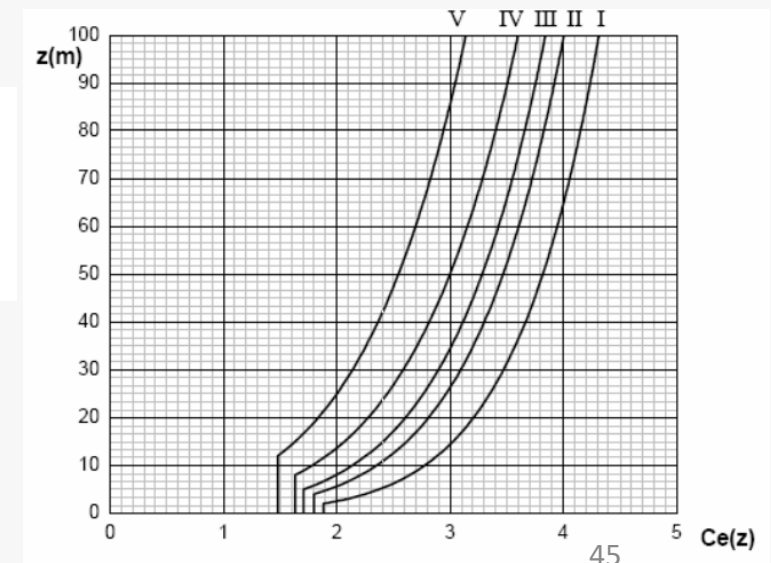
Calcolo il coefficiente di esposizione C_e

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

[3.3.7]

- $C_e(z_{\min} = 4\text{m}) = 0,19^2 \times 1 \times \ln(4/0,05) \times [7 + 1 \times \ln(4/0,05)] = 1,8$
- $C_e(10,80) = 0,19^2 \times 1 \times \ln(10,80/0,05) \times [7 + 1 \times \ln(10,80/0,05)] = 2,40$
- $C_e(14,45) = 0,19^2 \times 1 \times \ln(14,45/0,05) \times [7 + 1 \times \ln(14,45/0,05)] = 2,59$

$$c_t = 1$$



Esercizio 1

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Calcolo del coefficiente di forma c_p

Parete verticale –sopravento e sottovento

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

Falda singola- sopravento

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

$$\frac{h}{d} = \frac{1145}{1100} = 1,31$$

$$\alpha = \pm 30^\circ$$

$$c_{pe1} = +0,8 \text{ Parete sopravento}$$

$$c_{pe2} = -0,51 \text{ Parete sottovento}$$

$$c_{pe3} = +0,4 \text{ Falda sopravento}$$

$$c_{pe4} = -0,45 \text{ Falda sottovento}$$

Falda doppia-sottovento

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

Calcolo del coefficiente dinamico c_d

$$C_d = 1$$

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.

Esercizio 1

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Calcolo pressione del vento

Parete sopravento

$$Q.ta z(4 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 1,8 \times 0,8 \times 1 = 810 \text{ N/m}^2$$

$$Q.ta z(10,8 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 2,4 \times 0,8 \times 1 = 1080 \text{ N/m}^2$$

Parete sottovento

$$Q.ta z(4 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 1,8 \times (-0,51) \times 1 = -516,4 \text{ N/m}^2$$

$$Q.ta z(10,8 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 2,4 \times (-0,51) \times 1 = -688,5 \text{ N/m}^2$$

Falda sopravento

$$Q.ta z(10,80 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 2,4 \times 0,4 \times 1 = 540 \text{ N/m}^2$$

$$Q.ta z(14,45 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 2,59 \times 0,4 \times 1 = 582,7 \text{ N/m}^2$$

Falda sottovento

$$Q.ta z(10,80 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 2,4 \times (-0,45) \times 1 = -607,5 \text{ N/m}^2$$

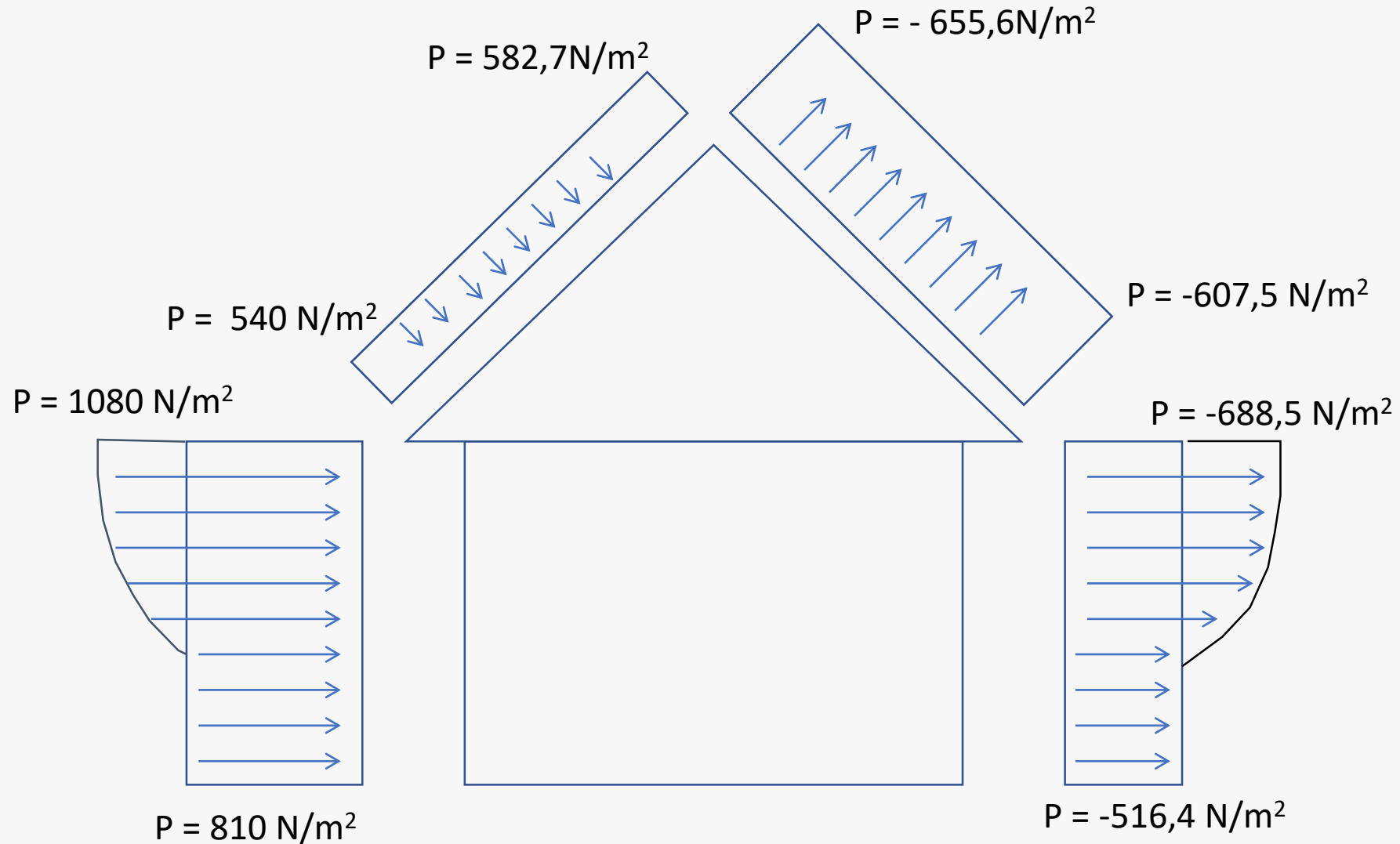
$$Q.ta z(14,45 m) \quad P = q_b \times c_e \times c_p \times c_d = 562,5 \times 2,59 \times (-0,45) \times 1 = -655,6 \text{ N/m}^2$$

Esercizio 1

$$p = q_r c_e c_p c_d$$

$$p_f = q_r c_e c_f$$

Calcolo pressione del vento



Esercizio 1

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

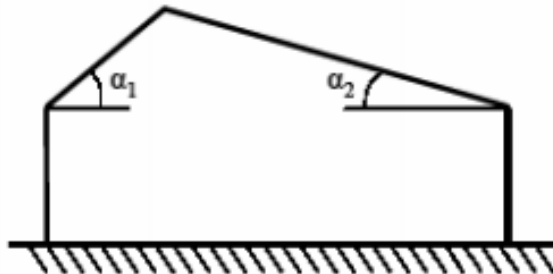
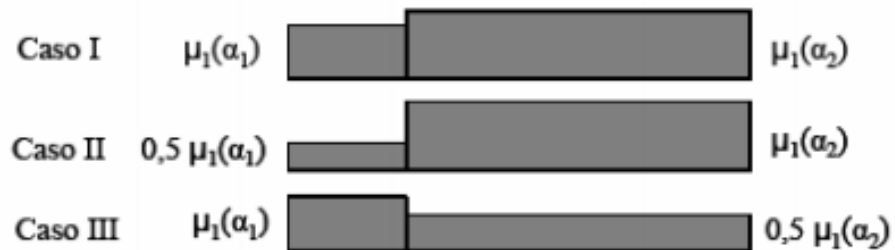
Carico neve

Coefficiente di forma μ_1

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

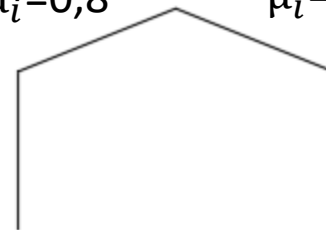
Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Copertura a due falde



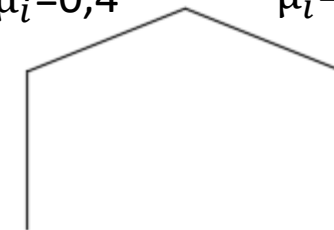
CASO 1

$$\mu_i = 0,8 \quad \mu_i = 0,8$$



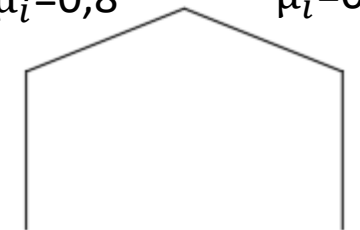
CASO 2

$$\mu_i = 0,4 \quad \mu_i = 0,8$$



CASO 3

$$\mu_i = 0,8 \quad \mu_i = 0,4$$



Esercizio 1

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

Carico neve

Valore massimo caratteristico del peso della neve al suolo massimo in 50 anni q_{sk}

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:

$$q_{sk} = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

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

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

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

[3.4.4]

$$q_{sk} = 0,85 \left(1 + \left(\frac{700}{481}\right)^2\right) = 2,65 \text{ kN/m}^2$$

Coefficiente di esposizione c_E

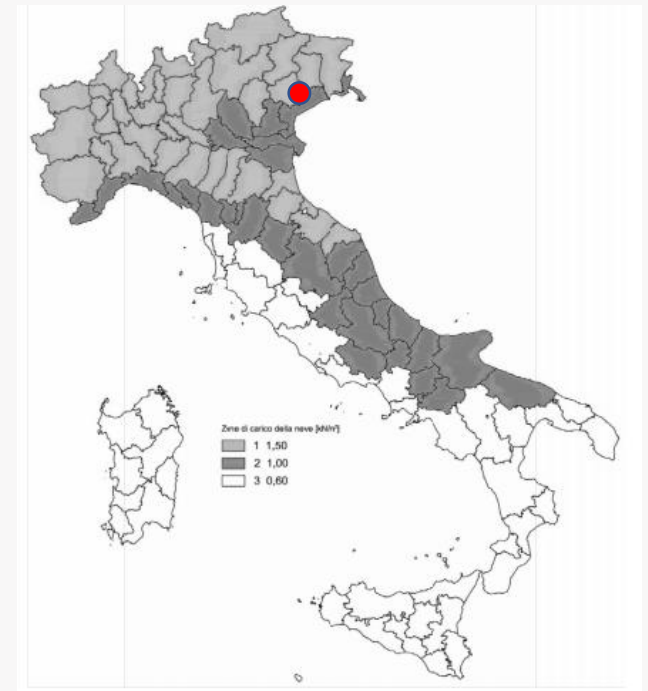
Topografia normale $c_E = 0,9$

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

$c_t = 1$



Carico dovuto alla neve:

$$q_{s1} = 0,8 \times 2,65 \times 0,9 \times 1 = 1,908 \text{ kN/m}^2$$

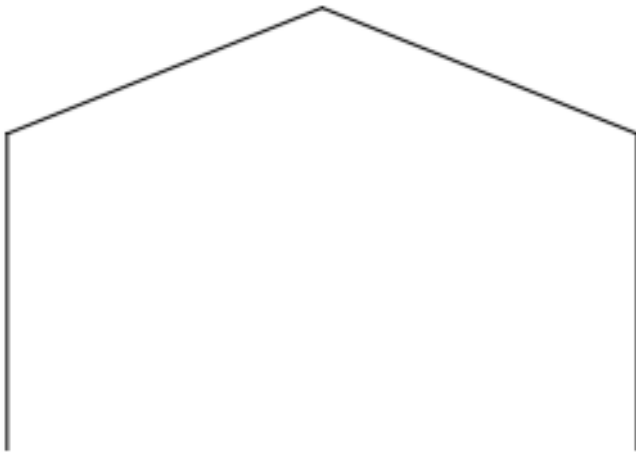
$$q_{s2} = 0,4 \times 2,65 \times 0,9 \times 1 = 0,954 \text{ kN/m}^2$$

Esercizio 1

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

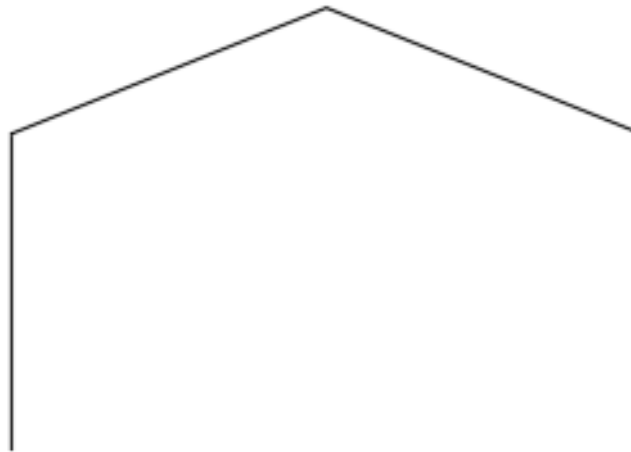
CASO 1

$$q_{s1} = 1,908 \text{ kN/m}$$



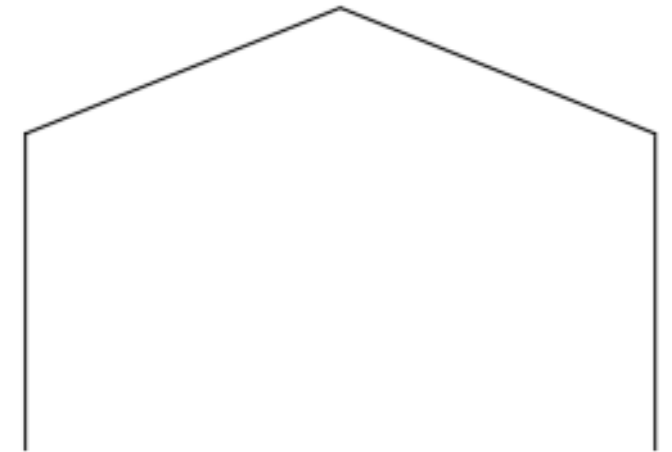
CASO 2

$$q_{s2} = 0,954 \text{ kN/m} \quad q_{s1} = 1,90 \text{ kN/m}$$

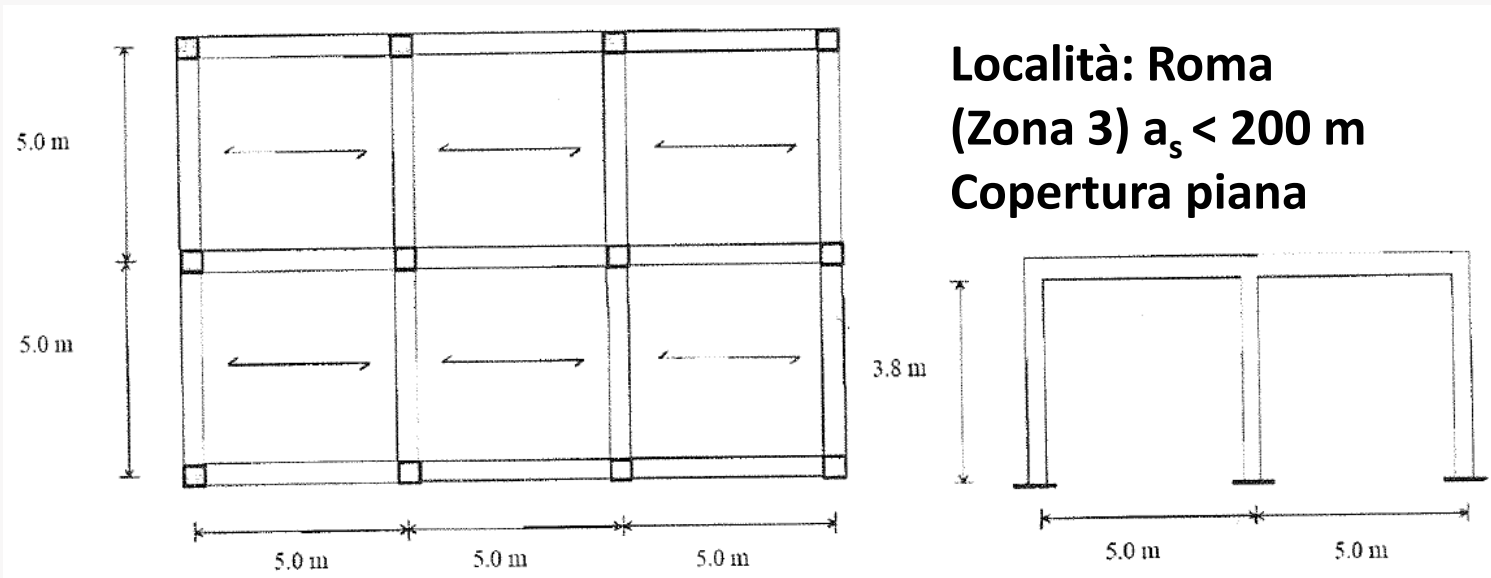


CASO 3

$$q_{s1} = 1,90 \text{ kN/m} \quad q_{s2} = 0,954 \text{ kN/m}$$

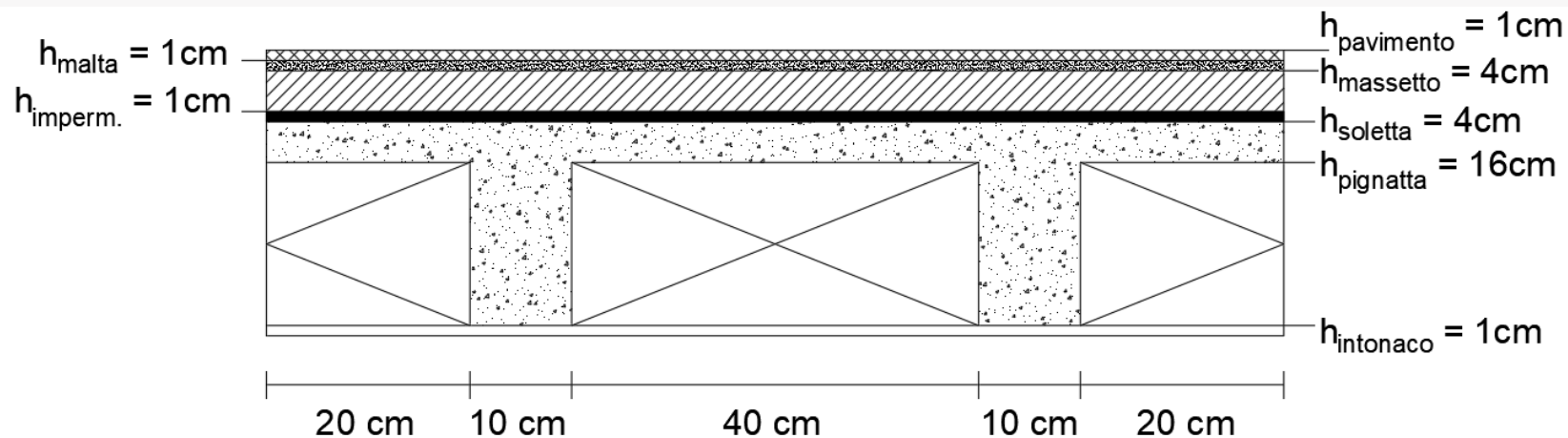


Esercizio 2



Località: Roma
(Zona 3) $a_s < 200$ m
Copertura piana

Materiali
Cls(C25/30)



- a) Pignatta **$h=16$ cm**
- b) Soletta **$s=4$ cm**
- c) Massetto **$h=4$ cm**
- d) Isolante **$i=4$ cm**
- e) Impermeabilizzazione **$h=1$ cm**
- f) Intonaco **$h=1$ cm**
- g) Pavimento **$h=1$ cm**
- h) Malta **$h=1$ cm**

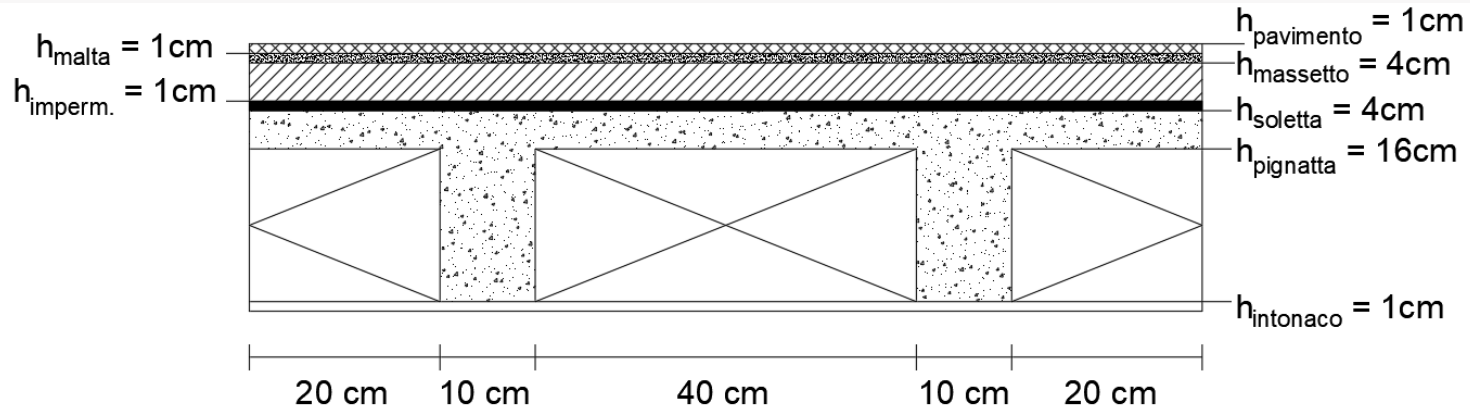
Esercizio 2

Domande

1. Analisi dei carichi del solaio utilizzando l'NTC2018 + Circolare;
 - Determinare i permanenti strutturali G1
 - Determinare i permanenti non strutturali G2
 - Determinare il carico neve Q1
 - Determinare il carico folla Q2
2. Individuare la trave più sollecitata e indicare il possibile schema statico di calcolo
3. Calcolare i carichi lineari da assegnare alla trave secondo il metodo delle aree d'influenza
4. Calcolare la combinazione fondamentale allo SLU

Esercizio 2

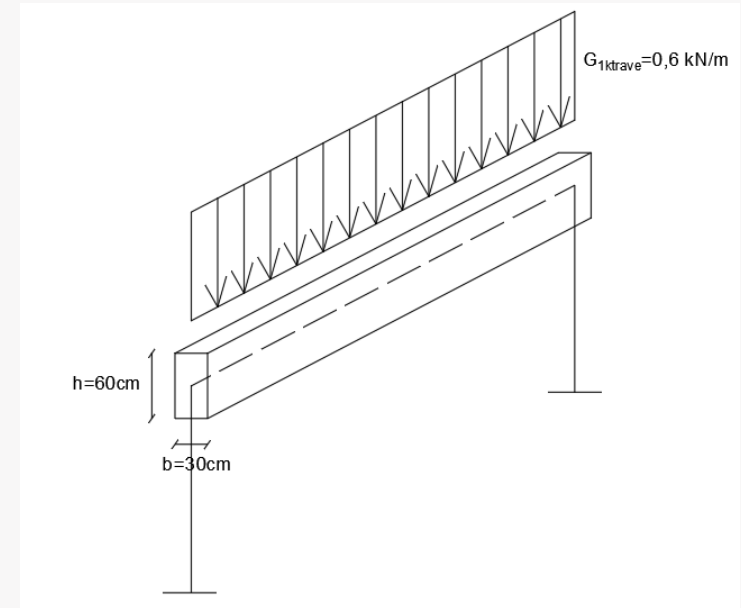
Peso proprio solaio



	Elemento	h [m]	L [m]	γ [kN/m ³]	P [kN/m ²]	Tot
Pesi strutturali	Soletta	0,04	1	25	1	3,024
	Pignatta	0,16	0,8/1	8	1,024	
	Travetto	0,2	0,2/1	25	1	
Pesi non strutturali	Massetto	0,04	1	19	0,76	1,63
	Impermeabilizzante	0,01	1	20	0,2	
	Intonaco	0,01	1	20	0,2	
	Pavimento	0,01	1	26	0,26	
	Malta	0,01	1	21	0,21	

Peso proprio trave

$$G_{1ktrave} = b h \gamma_{cls} = 0,3 \times 0,6 \times 25 = 4,5 \frac{kN}{m^2}$$



$$G_{1ksolaio} = 3,024 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2ksolaio} = 1,63 \text{ kN/m}^2$$

Esercizio 2

Carico folla

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
D	Ambienti ad uso commerciale			
	Cat. D1 Negozi	4,00	4,00	2,00
	Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini	5,00	5,00	2,00
	Scale comuni, balconi e ballatoi	Secondo categoria d'uso servita		
E	Aree per immagazzinamento e uso commerciale ed uso industriale			
	Cat. E1 Aree per accumulo di merci e relative aree d'accesso, quali biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri	≥ 6,00	7,00	1,00*
	Cat. E2 Ambienti ad uso industriale	da valutarsi caso per caso		
F-G	Rimesse e aree per traffico di veicoli (esclusi i ponti)			
	Cat. F Rimesse, aree per traffico, parcheggio e sosta di veicoli leggeri (peso a pieno carico fino a 30 kN)	2,50	2 x 10,00	1,00**
	Cat. G Aree per traffico e parcheggio di veicoli medi (peso a pieno carico compreso fra 30 kN e 160 kN), quali rampe d'accesso, zone di carico e scarico merci.	5,00	2 x 50,00	1,00**
H-I-K	Coperture			
	Cat. H Coperture accessibili per sola manutenzione e riparazione	0,50	1,20	1,00
	Cat. I Coperture praticabili di ambienti di categoria d'uso compresa fra A e D	secondo categorie di appartenenza		
	Cat. K Coperture per usi speciali, quali impianti, eliporti.	da valutarsi caso per caso		

$$q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

* non comprende le azioni orizzontali eventualmente esercitate dai materiali immagazzinati.

** per i soli parapetti o partizioni nelle zone pedonali. Le azioni sulle barriere esercitate dagli automezzi dovranno essere valutate caso per caso.

Esercizio 2

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

Carico neve

Coefficiente di forma μ_1

Tab. 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Valore massimo caratteristico del peso della neve al suolo massimo in 50 anni q_{sk}

Zona III

Agrigento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotona, 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:

$$q_{sk} = 0,60 \text{ kN/m}^2$$

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

[3.4.5]

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

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



Coefficiente di esposizione C_E

Topografia normale $C_E = 1$

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

$$C_t = 1$$

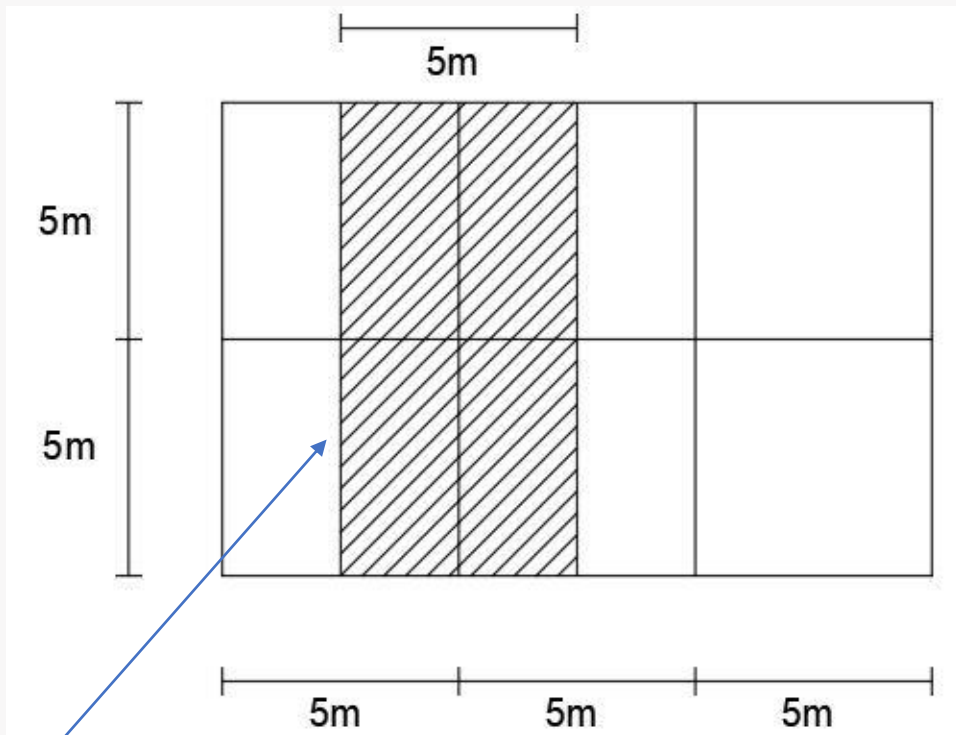
Carico dovuto alla neve:

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t = 0,80 \times 0,60 \times 1 \times 1 = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

Esercizio 2

$$G_{1ksolaio} = 3,024 \text{ kN/m}^2 \quad q_{kneve} = 0,48 \text{ kN/m}^2$$

$$G_{2ksolaio} = 1,63 \text{ kN/m}^2 \quad q_{kfolla} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$



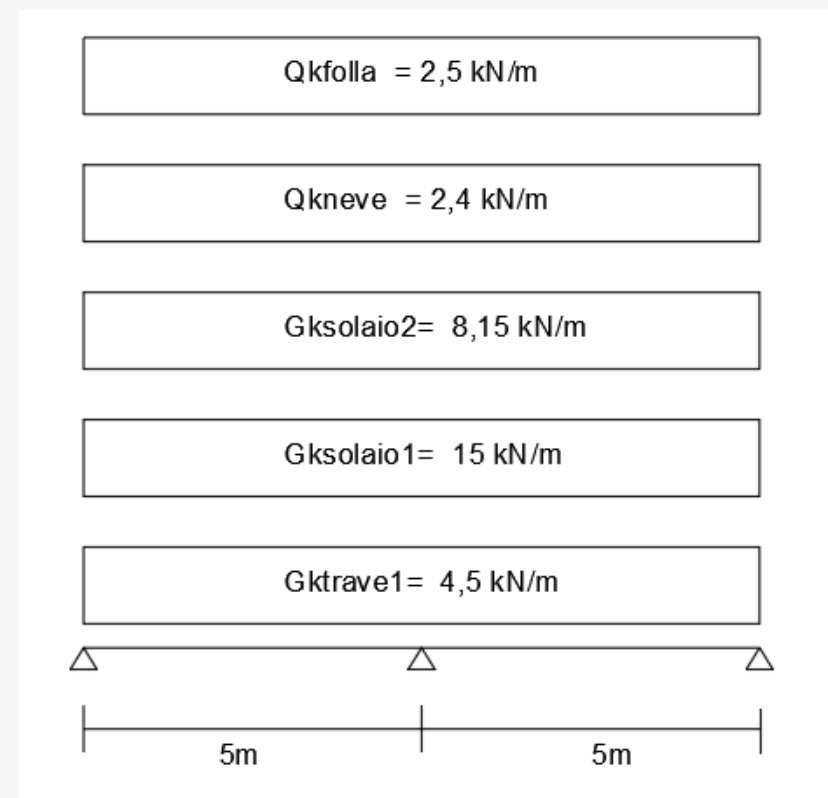
Metodo delle aree di influenza

$$G_{1ksolaio} = 15,12 \text{ kN/m} \quad q_{kneve} = 2,4 \text{ kN/m}$$

$$G_{2ksolaio} = 8,15 \text{ kN/m} \quad q_{kfolla} = 2,5 \text{ kN/m}$$

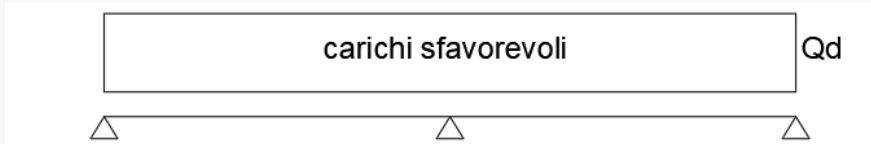
$$G_{1ktrave} = 4,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$x \ 5m$ →



Esercizio 2

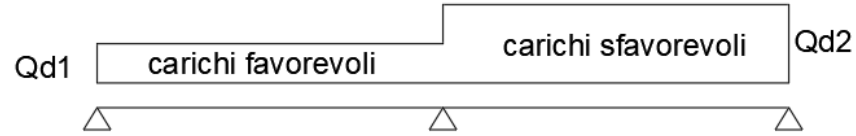
1)



$$G_{1ksolaio} = 15,12 \text{ kN/m} \quad q_{Kneve} = 2,4 \text{ kN/m}$$

$$G_{2ksolaio} = 8,15 \text{ kN/m} \quad q_{kfolla} = 2,5 \text{ kN/m}$$

2)

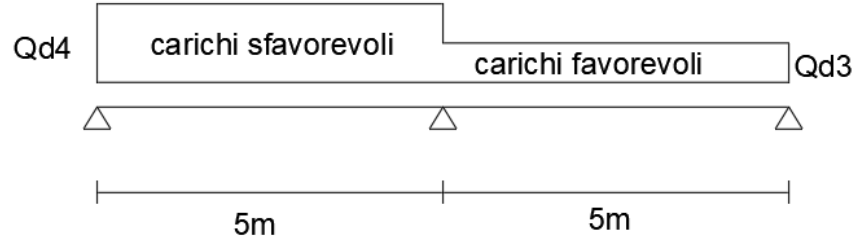


Calcolo del Ψ più sfavorevole

$$1,5q_{Kneve}0,5 + 1,5q_{kfolla} = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

$$1,5q_{Kneve} + 1,5q_{kfolla}0 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

3)



Comb sfavorevole

$$Qd2 = Qd4 = Qd = 1,3 \cdot G_{1ktrave} + 1,3 \cdot G_{1ksolaio} + 1,5G_{2ksolaio} + 1,5 \cdot q_{Kneve} \cdot 0,5 + 1,5 \cdot q_{kfolla} = 43,25 \text{ kN/m}$$

Comb favorevole

$$Qd1 = Qd3 = 1 \cdot G_{1ktrave} + 1 \cdot G_{1ksolaio} + 0,8 \cdot G_{2ksolaio} + 0 \cdot q_{Kneve} + 0 \cdot q_{kfolla} = 26,1 \text{ kN/m}$$

Grazie dell'attenzione

Ing. Claudio Sebastiani

Email: claudio.sebastiani@uniroma3.it