

3. AZIONI SULLE COSTRUZIONI

3.1 OPERE CIVILI E INDUSTRIALI

3.1.1. GENERALITÀ

Nel presente paragrafo vengono definiti i carichi, nominali e/o caratteristici, relativi a costruzioni per uso civile o industriale. La descrizione e la definizione dei carichi devono essere espressamente indicate negli elaborati progettuali. Quando si abbia un cambiamento della destinazione d'uso e/o si alteri la configurazione degli spazi interni, ovvero venga modificata la distribuzione dei carichi permanenti portati, tali da alterare gli schemi di carico rispetto a quelli assunti in progetto, occorre verificare nuovamente la sicurezza dell'opera, anche in considerazione delle indicazioni del Capitolo 9.

Le azioni permanenti e quasi-permanenti legate all'azione gravitazionale sono determinate a partire dalle dimensioni geometriche e dalle caratteristiche di densità o di massa volumica dei materiali di cui è composta la costruzione sia nelle parti strutturali che in quelle non strutturali: i pesi specifici ed i carichi convenzionali pertinenti devono essere definiti a partire da fonti riconosciute o dalle indicazioni dei paragrafi 3.1.2 e 3.1.3.

Nei paragrafi seguenti, sono fornite indicazioni sui valori dei carichi variabili da utilizzare nelle costruzioni: tali valori sono da considerare come valori nominali minimi.

I carichi saranno considerati agire staticamente, salvo casi particolari in cui gli effetti dinamici dovranno essere debitamente valutati. Oltre che la situazione definitiva d'uso, si dovranno considerare le azioni agenti in tutte le fasi esecutive della costruzione. In fase di progetto, la robustezza dell'opera deve essere verificata imponendo azioni nominali convenzionali, in aggiunta alle altre azioni esplicite (non sismiche), applicate secondo una qualsiasi direzione orizzontale e consistenti in una frazione dei carichi pari all'1%, al fine di verificare il comportamento complessivo. Per assicurare una resistenza locale minima agli elementi di superficie comunque disposti (orizzontamenti quali solai, pareti verticali esterne o interne, coperture piane o inclinate, ...) della struttura, dovrà essere fatta una verifica separata con un carico localizzato pari a 2 kN su un'impronta quadrata di 0,05 m di lato.

Analisi specifiche devono essere dirette a valutare cambiamenti dimensionali dei componenti strutturali e della struttura nel suo complesso, in particolare per azioni legate alle variazioni di temperatura (3.4). Questo al fine di:

- a) dimensionare i giunti fra le differenti parti della costruzione;
- b) evitare alterazioni geometriche irreversibili;
- c) evitare danneggiamenti, quali eccessiva fessurazione;

- b) evitare alterazioni geometriche irreversibili;
- c) evitare danneggiamenti, quali eccessiva fessurazione;
- d) evitare l'insorgere di stati di coazione non preventivati;
- e) garantire la durabilità dell'opera.

3.1.2. PESI PROPRI DEI MATERIALI STRUTTURALI

I pesi per unità di volume dei più comuni materiali, per la determinazione dei pesi propri strutturali, possono essere assunti pari a quelli riportati nella tabella 3.1.I.

Tabella 3.1.I - *Pesi per unità di volume dei principali materiali strutturali*

MATERIALI	PESO UNITÀ DI VOLUME	
Calcestruzzi cementizi e malte		
Calcestruzzo ordinario	24,0	kN/m ³
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		
Acciaio	78,5	“
Ghisa	72,5	“
Alluminio	27,0	“
Rocce		
Argilla compatta	21,0	“
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 (senza pioppo)	6,0 ÷ 8,0	“
Sostanze varie		
Carta	10,0	“
Vetro	25,0	“

3.1.3. CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI

Sono considerati carichi permanenti i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, quali quelli relativi a tamponature esterne, divisorie interne, massetti, isolamenti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti,

impianti ed altro, ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti.

Essi vanno valutati sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi per unità di volume dei materiali costituenti.

In linea di massima, in presenza di orizzontamenti anche con orditura unidirezionale ma con capacità di ripartizione trasversale, i carichi ed i sovraccarichi potranno assumersi per la verifica d'insieme come uniformemente ripartiti. In caso contrario, occorrerà valutarne le effettive distribuzioni.

I tramezzi e gli impianti leggeri di edifici residenziali possono assumersi, in genere, come carichi equivalenti distribuiti, quando i solai hanno adeguata capacità di ripartizione trasversale.

3.1.3.1. Elementi divisori interni

Per gli orizzontamenti degli edifici per abitazioni e uffici, il peso proprio di elementi divisori interni potrà essere ragguagliato ad un carico uniformemente distribuito q_k , considerato alla stregua di un sovraccarico variabile che deve essere sommato a quelli della tabella 3.1.II, purché vengano adottate le misure costruttive atte ad assicurare una adeguata ripartizione del carico. Il carico uniformemente distribuito q_k ora definito dipende dal peso proprio per unità di lunghezza Q_k delle partizioni nel modo seguente:

- per elementi divisori con $Q_k \leq 1.00 \text{ kN/m}$: $q_k = 0.50 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $1.00 < Q_k \leq 2.00 \text{ kN/m}$: $q_k = 0.80 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $2.00 < Q_k \leq 3.00 \text{ kN/m}$: $q_k = 1.20 \text{ kN/m}^2$;
- per elementi divisori con $3.00 < Q_k \leq 4.50 \text{ kN/m}$: $q_k = 1.60 \text{ kN/m}^2$.

Elementi divisori interni con peso proprio maggiore devono essere considerati in fase di progettazione tenendo conto del loro esatto posizionamento sul solaio.

3.1.4. SOVRACCARICHI VARIABILI

I sovraccarichi variabili comprendono la classe dei carichi legati alla destinazione d'uso dell'opera; i modelli di tali azioni possono essere costituiti da:

- carichi uniformemente distribuiti (q_k) [kN/m^2],
- carichi lineari (H_k) [kN/m]
- carichi concentrati (Q_k) [kN].

I valori nominali e/o caratteristici delle intensità da assumere per i sovraccarichi variabili verticali ed orizzontali ripartiti e per le corrispondenti azioni locali concentrate - tutte comprensive degli effetti dinamici ordinari - sono riportati nella tabella 3.1.II.

I sovraccarichi verticali concentrati Q_k formano oggetto di verifiche locali distinte e non vanno sovrapposti ai corrispondenti ripartiti; essi vanno applicati su impronte di carico appropriate all'utilizzo ed alla forma dell'orizzontamento; in assenza di precise indicazioni può essere considerata una forma dell'impronta di carico quadrata pari a 50

x 50 mm, salvo che per le rimesse ed i parcheggi, per i quali si applicano su due impronte di 200 x 200 mm, distanti 1,60 m.

I sovraccarichi orizzontali lineari H_k devono essere applicati a pareti - alla quota di 1,20 m dal rispettivo piano di calpestio - ed a parapetti o mancorrenti - alla quota del bordo superiore. Essi vanno considerati sui singoli elementi ma non sull'edificio nel suo insieme.

I valori riportati nel prospetto sono da considerare come nominali, per condizioni di uso corrente delle rispettive categorie. Altri regolamenti potranno imporre valori superiori, in relazione ad esigenze specifiche.

Tabella 3.1.II – Valori dei sovraccarichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
1	Ambienti non suscettibili di affollamento (locali abitazione e relativi servizi, alberghi, uffici non aperti al pubblico) e relativi terrazzi e coperture a livello praticabili.	2,00	2,00	1,00
2	Ambienti suscettibili di affollamento (ristoranti, caffè, banche, ospedali, scuole, uffici aperti al pubblico) e relativi terrazzi e coperture a livello praticabili.	3,00	2,00	1,00
3	Ambienti suscettibili di grande affollamento (sale convegni, cinema, teatri, chiese, negozi, tribune con posti fissi) e relativi terrazzi e coperture a livello praticabili.	4,00	4,00	2,00
4	Sale da ballo, palestre, tribune libere, aree di vendita con esposizione diffusa (mercati, grandi magazzini, librerie, ecc.) e relativi terrazzi e coperture a livello praticabili.	5,00	5,00	2,00
5	Balconi, ballatoi e scale comuni (e' necessario valutare situazioni specifiche).	4,00	3,00	2,00
6	Sottotetti accessibili (per sola manutenzione).	1,00	2,00	1,00
7	Coperture non accessibili.	1,00	2,00	1,00
	Coperture speciali (impianti, eliporti, altri): da valutarsi caso per caso.	-	-	-
8	Rimesse e parcheggi per autovetture di peso a pieno carico fino a 30 kN.	2,50	2 x 10,00	1,00
	Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso superiore a 30 kN: da valutarsi caso per caso	-	-	-
9	Archivi, biblioteche, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri, officine e simili: da valutarsi caso per caso ma comunque:	≥ 6,00	6,00	1,00

In presenza di sovraccarichi atipici (quali macchinari, serbatoi, depositi interni, impianti, ecc.) le intensità andranno valutate caso per caso, in funzione dei massimi prevedibili: tali valori dovranno essere indicati esplicitamente nelle documentazioni di progetto e di collaudo statico.

3.1.4.1. Sovraccarichi variabili orizzontali

I sovraccarichi variabili orizzontali (lineari) indicati nella tabella 3.1.II, devono essere utilizzati per verifiche locali, e non si sommano alle verifiche dell'edificio nel suo insieme.

In proposito va precisato che tali verifiche locali riguardano, in relazione alle condizioni d'uso, gli elementi verticali bidimensionali quali tramezzi, pareti, tamponamenti esterni, comunque realizzati, con esclusione di divisori mobili (che comunque dovranno garantire sufficiente stabilità in esercizio).

Il soddisfacimento della prescrizione potrà essere documentato anche per via sperimentale, e comunque mettendo in conto i vincoli che il manufatto possiede e tutte le risorse che il tipo costruttivo consente.

3.1.4.2. Riduzione dei sovraccarichi

Quando si verifichino elementi strutturali quali travi, pilastri, pareti portanti, fondazioni, interessati da carichi variabili applicati su superfici ampie, da presumersi non caricate per intero contemporaneamente col massimo sovraccarico, il valore del sovraccarico, purché appartenente tutto alla stessa categoria, potrà essere mediamente ridotto su tali superfici, rispetto a quello indicato nella Tabella 3.1.II, in funzione della estensione della superficie caricata complessiva di spettanza dell'elemento verificato.

3.2. AZIONE SISMICA

<i>Da definire</i>

3.3. AZIONI DEL VENTO

3.3.1. GENERALITÀ

Il vento, la cui direzione si considera di regola 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 alle azioni statiche equivalenti definite al punto 3.3.3. Peraltro, per le costruzioni di forma o tipologia inusuale, oppure di grande altezza o lunghezza, o di rilevante snellezza e leggerezza, o di notevole flessibilità e ridotte capacità dissipative, il vento può dare luogo ad effetti la cui valutazione richiede l'uso di metodologie di calcolo e sperimentali adeguate allo stato dell'arte e che tengano conto della dinamica del sistema.

3.3.2. VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (vedi Tabella 3.3.III), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si potrà fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione, utilizzando comunque valori della velocità di riferimento non inferiori a quelli previsti alla quota di 1500 m.

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

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

dove:

$v_{b,0}$, a_0 , k_a sono parametri forniti nella Tabella 3.3.I e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in Figura 3.3.1;

a_s è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione.

Tabella 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_a

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

Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare, i valori della velocità di riferimento possono essere ricavati da dati supportati da opportuna documentazione o da indagini statistiche adeguatamente comprovate. Fatte salve tali valutazioni, comunque raccomandate in prossimità di vette e crinali, i valori utilizzati non dovranno essere minori di quelli previsti per 1500 m di altitudine.

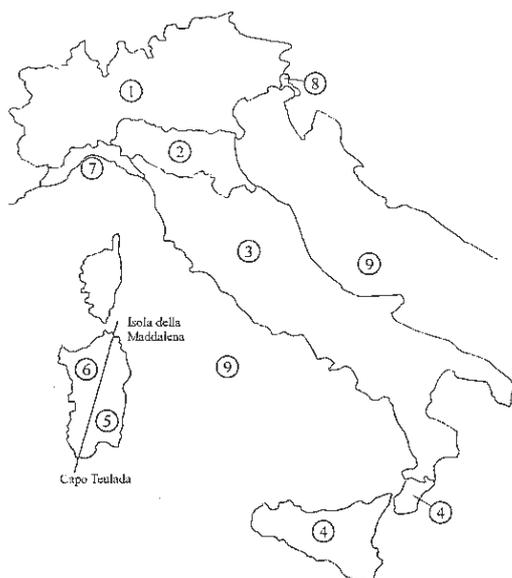


Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano.

3.3.3 AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

Nel caso di costruzioni o elementi di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenti esercitate dal vento.

L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando di regola, come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio per le torri a base quadrata o rettangolare, si deve considerare anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

3.3.4 PRESSIONE DEL VENTO

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_b c_e c_p c_d$$

dove

q_b è la pressione cinetica di riferimento di cui al punto 3.3.6;

c_e è il coefficiente di esposizione di cui al punto 3.3.7;

c_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento;

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali. Indicazioni per la sua valutazione sono riportate al punto 3.3.8.

3.3.5 AZIONE TANGENZIALE DEL VENTO

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

$$p_f = q_b c_e c_f$$

dove

q_b, c_e sono definiti ai punti 3.3.6 e 3.3.7;
 c_f è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

3.3.6 PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO.

La pressione cinetica di riferimento q_b (in N/m^2) è data dall'espressione:

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

dove

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

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a 1.25 kg/m^3 .

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 $z = 200 \text{ m}$, esso è dato dalla formula:

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

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

dove

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

c_t è il coefficiente di topografia.

Tabella 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

In mancanza di analisi specifiche, la categoria di esposizione è assegnata nella Figura 3.3.1 in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno definita in Tabella 3.3.III. *Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone 1, 2, 3, 4, 5 e 6, la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.*

Il coefficiente di topografia c_t è posto di regola pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. In questo caso, la Figura 3.3.3 riporta le leggi di variazione di c_{ev} per le diverse categorie di esposizione.

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

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.

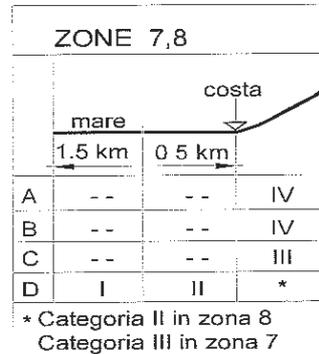
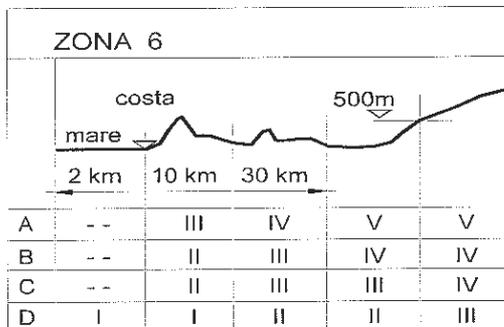
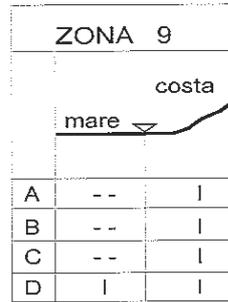
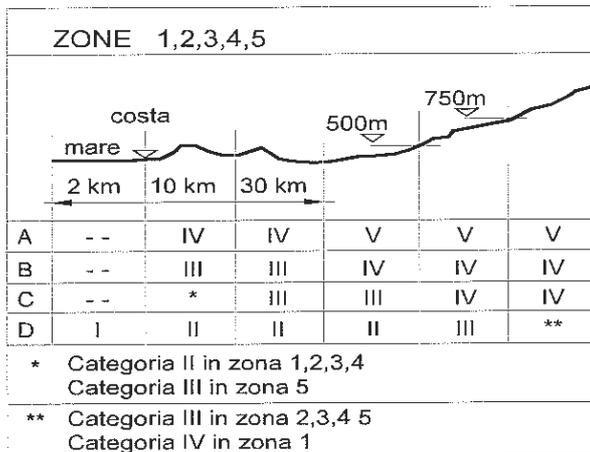


Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione.

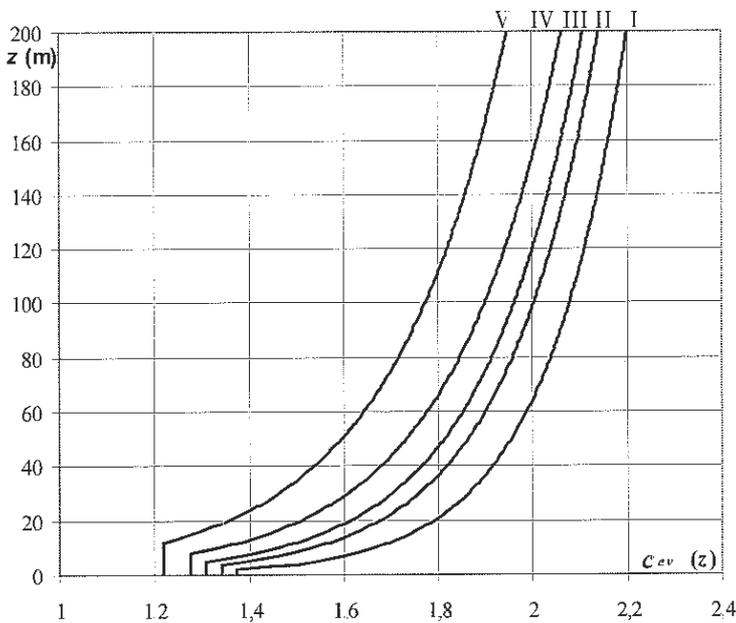


Figura 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per $c_t = 1$).

3.3.8. COEFFICIENTE DINAMICO

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

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

3.3.9. PARTICOLARI PRECAUZIONI NEL PROGETTO DI STRUTTURE SOGGETTE ALL'AZIONE DEL VENTO

Strutture particolarmente deformabili quali antenne, ciminiere, ponti o strutture sorrette da cavi devono essere verificate anche rispetto ai fenomeni di interazione vento-struttura, i quali possono indurre vibrazioni strutturali, degrado delle caratteristiche di rigidità della struttura, o fatica nei collegamenti. Le verifiche di non superamento di stati limite ultimi e di esercizio saranno condotte mediante procedimenti analitici, sperimentali o numerici che tengano conto delle conoscenze attuali in materia.

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

3.3.9.1 Effetti torsionali

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

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

3.3.9.2 Distacco di vortici

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

$$f_s = S_t \cdot v / b$$

dove:

b è la dimensione della sezione trasversale perpendicolare alla direzione del vento;

v è la velocità media del vento;

S_t è il numero di Strouhal, funzione della forma della sezione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento. A titolo indicativo, $S_t = 0,2$ nel caso di sezioni circolari.

Quando la frequenza del distacco dei vortici eguaglia una frequenza propria della struttura, si realizzano condizioni di risonanza con ampiezze tanto più grandi quanto più piccolo è lo smorzamento e la massa della costruzione.

Quando siano da temersi importanti effetti di fatica causati dalla continuità dell'azione del distacco dei vortici, occorrerà adottare particolari cautele ed effettuare opportune verifiche basate su prove sperimentali e metodi analitici comprovati.

3.3.9.3. Fenomeni di natura aeroelastica

L'azione del vento sulle costruzioni o loro elementi in generale consiste nella sovrapposizione di forze di natura aerodinamica (sostanzialmente indipendenti dal moto relativo fra la struttura e il fluido) e di natura aeroelastica (o autoeccitate, la cui presenza è dovuta al moto relativo fra la struttura e il fluido).

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

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

Questi fenomeni devono essere studiati con opportune prove aeroelastiche in galleria del vento e con procedimenti analitici adeguatamente comprovati.

3.4. AZIONI DELLA TEMPERATURA

3.4.1. GENERALITÀ

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

L'entità dell'azione termica è in generale influenzata da molti fattori: ad esempio, tra le condizioni al contorno, si citano le condizioni climatiche del sito e l'esposizione, tra le condizioni che definiscono l'opera, la massa complessiva della struttura e le disposizioni di elementi non strutturali (finiture, sistemi di isolamento, impianti, ecc...), oltre alle situazioni di esercizio della struttura (altoforno, civile abitazione, ecc...).

Variazioni di volume dovute a modifiche di temperatura, con i conseguenti stati tensionali indotti da deformazioni anche solo parzialmente impedito, devono tenere conto:

- a) delle ombre di edifici adiacenti;
- b) dell'utilizzo di differenti materiali con relativi diversi coefficienti di espansione termica e parametri di diffusione del calore;
- c) dell'utilizzo di differenti forme di sezioni trasversali, caratterizzate da conseguenti differenti distribuzioni di temperature uniformi.

3.4.2. DISTRIBUZIONE DI TEMPERATURA NELL'ELEMENTO STRUTTURALE

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

- a) componente uniforme ΔT_u (Fig. 3.4.1-a);
- b) componente linearmente variabile rispetto all'asse y della sezione, ΔT_{My} (Fig. 3.4.1-b);
- c) componente linearmente variabile rispetto all'asse z della sezione, ΔT_{Mz} (Fig. 3.4.1-c);
- d) componente non lineare, ΔT_E (Fig. 3.4.1-d).

Le deformazioni anelastiche e il regime di tensioni indotte dipendono dalla geometria dell'elemento strutturale considerato, dalle condizioni al contorno e dalle proprietà fisiche del materiale costituente.

La componente non lineare ΔT_E induce nella sezione un sistema di tensioni autoequilibrato, i cui effetti devono essere tenuti in conto nella verifica locale di strutture soggette ad elevati carichi termici, come nel caso di particolari sezioni di ponti.

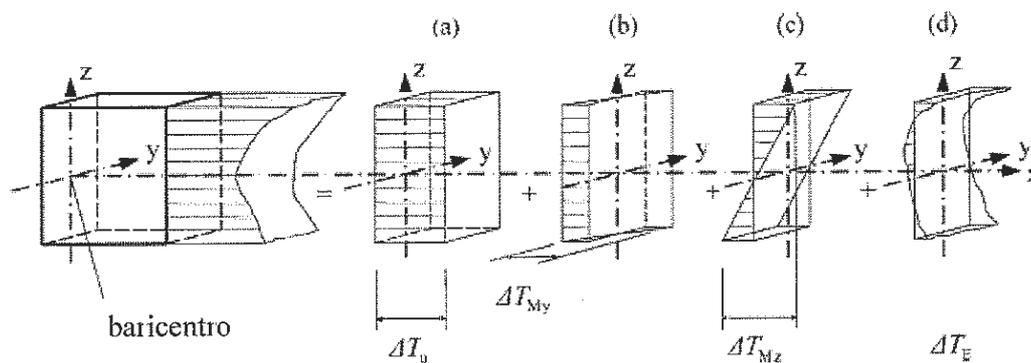


Figura 3.4.1 - Componenti della distribuzione di temperatura per un elemento monodimensionale

Per la valutazione degli effetti delle azioni termiche, si adotteranno i coefficienti di espansione termica α_T riportati in Tabella 3.4.I. Il Progettista può adottare valori differenti, purché suffragati da studi e indagini sperimentali. I valori per la muratura e il legno variano considerevolmente a seconda dei particolari materiali utilizzati. Per strutture miste acciaio-calcestruzzo è possibile assumere per l'acciaio un α_T omogeneo a quello del calcestruzzo.

Tabella 3.4.I – Coefficienti di espansione termica

MATERIALE	$\alpha_T (10^{-6}/^{\circ}\text{C})$
Alluminio	24
Acciaio	16
Acciaio strutturale	12
Calcestruzzo	10
Calcestruzzo alleggerito	7
Muratura	6-10
Legno (parallelo alle fibre)	5
Legno (ortogonale alle fibre)	30-70

3.4.3. AZIONI TERMICHE NEGLI EDIFICI

In accordo con il modello di distribuzione della temperatura nell'elemento strutturale, dato in Figura 3.4.1, le azioni termiche per edifici devono essere specificate assegnando in particolare le seguenti grandezze:

a) una componente di temperatura uniforme ΔT_u data dalla differenza tra temperatura media attuale T di un elemento e sua temperatura iniziale T_0 :

$$\Delta T_u = T - T_0;$$

b) una componente di temperatura linearmente variabile data dalla differenza ΔT_M tra le temperature sulle superfici di intradosso ed estradosso di un elemento strutturale.

La temperatura T_0 corrisponde alla temperatura di un elemento strutturale alla data della messa in esercizio (entrata in funzione dei vincoli) della struttura.

Per una serie di elementi strutturali omogenei e nel caso che la temperatura non costituisca azione fondamentale per la sicurezza della struttura o per il mantenimento delle sue prestazioni, è consentito assumere la sola componente ΔT_u quale variazione di temperatura sulla sezione dell'elemento. La temperatura media attuale T , presente nella relazione $\Delta T_u = T - T_0$, può essere in questo caso valutata come media tra la temperatura esterna (T_{est}) ed interna (T_{in}) presente nell'edificio. Indicativamente i valori di temperatura esterna ed interna possono essere ricavati secondo le Tabelle 3.4.II, 3.4.III e 3.4.IV.

Tabella 3.4.II – Temperatura interna degli edifici

STAGIONE	TEMPERATURA T_{in}
Estate	T_1
Inverno	T_2

NOTA: I valori T_1 e T_2 devono essere scelti dal Progettista in funzione della tipologia dell'edificio e della sua destinazione d'uso. In mancanza di ulteriori indicazioni si può assumere: $T_1 = 25^\circ\text{C}$, $T_2 = 20^\circ\text{C}$

Tabella 3.4.III – Temperatura esterna per edifici fuori terra (VALORI DA VERIFICARE)

STAGIONE	Fattore di assorbimento	TEMPERATURA T_{est}
Estate	0,5 Superficie riflettente	$T_{max} + T_3$
	0,7 Superficie chiara	$T_{max} + T_4$
	0,9 Superficie scura	$T_{max} + T_5$
Inverno		T_{min}

NOTA: T_{max} e T_{min} sono definiti rispettivamente come massima e minima temperatura dell'aria nel sito della costruzione, con periodo di ritorno di 50 anni. T_3, T_4, T_5 descrivono gli effetti dell'irraggiamento solare. In mancanza di dati relativi al sito in esame, si assumono i seguenti valori:

T_{max}	T_{min}	T_3	T_4	T_5	
45°C	-15°C	0°C	2°C	4°C	per superfici esposte a Nord-Est
		18°C	30°C	42°C	per superfici esposte a Sud-Ovest od orizzontali

Tabella 3.4.IV – Temperatura esterna per edifici interrati

STAGIONE	PROFONDITÀ SOTTO IL PIANO CAMPAGNA	TEMPERATURA T_{est}
Estate	Meno di 1 metro	T_6
	Oltre 1 metro	T_7
Inverno	Meno di 1 metro	T_8
	Oltre 1 metro	T_9

NOTA: in mancanza di dati relativi al sito in esame, si possono assumere i seguenti valori:

$$T_6 = 8^\circ\text{C} \quad T_8 = -5^\circ\text{C}$$

$$T_7 = 5^\circ\text{C} \quad T_9 = -3^\circ\text{C}$$

Per elementi strutturali tra loro non omogenei o nel caso che la temperatura costituisca azione fondamentale per la sicurezza della struttura o per il mantenimento delle sue prestazioni, l'andamento della temperatura T sulla sezione e sugli elementi deve essere valutato secondo la teoria della trasmissione del calore, a partire da idonei profili termici.

Va sempre tenuto presente che possono aversi differenze di temperatura tra struttura ed elementi non strutturali ad essa collegati.

3.4.4. PARTICOLARI PRECAUZIONI NEL PROGETTO DI STRUTTURE SOGGETTE AD AZIONI TERMICHE

Strutture ed elementi strutturali in contatto con liquidi, aeriformi o solidi a temperature diverse (ciminiere industriali, reti idrauliche, sili, serbatoi e torri di raffreddamento) devono essere progettate considerando, oltre le azioni termiche come definite ai paragrafi precedenti con riferimento agli edifici civili, anche possibili distribuzioni di temperatura dovute a funzionamento normale ed anomalo.

In assenza di studi o conoscenze specifiche sulle temperature che la struttura raggiunge nei possibili scenari di contingenza, verranno adottati, per la definizione dei valori della massima e minima componente uniforme di temperatura cui la struttura è soggetta, rispettivamente il massimo ed il minimo della temperatura esterna, per il sito in questione.

Per strutture in calcestruzzo armato e precompresso assume particolare rilievo l'azione indotta da variazioni lineari di temperatura sullo spessore dell'elemento strutturale. Gli effetti della variazione uniforme, della variazione lineare e di eventuali variazioni non lineari di temperatura devono essere considerati simultaneamente.

3.5. AZIONI DELLA NEVE

3.5.1. CARICO NEVE

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

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

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, fornito al successivo punto 3.5.8;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], fornito al successivo punto 3.5.3 per un periodo di ritorno di 50 anni, e da modificare in base a quanto indicato ai punti 3.5.4 e 3.5.5;

C_E è il coefficiente di esposizione di cui al punto 3.5.6;

C_t è il coefficiente termico di cui al punto 3.5.7.

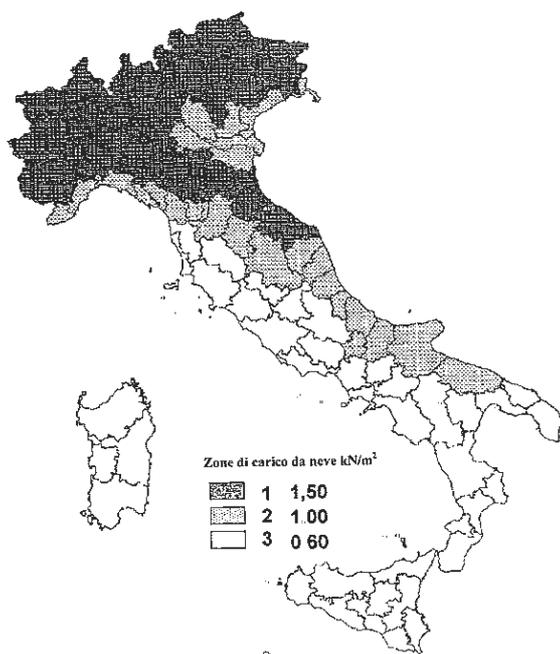
Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

3.5.2. VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO (MACRO ZONAZIONE)

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose da zona a zona. In mancanza di adeguate indagini statistiche e specifici studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento neve al suolo, per località poste a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nelle Tabelle 3.5.II, 3.5.III, e 3.5.IV, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni (vedi Figura 3.5.1). Va richiamato il fatto che tale zonazione non può tenere conto di aspetti specifici e locali che, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente.

L'altitudine di riferimento a_s è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio. Per altitudini superiori a 1500 m sul livello del mare si dovrà fare riferimento alle condizioni locali di clima e di esposizione utilizzando comunque valori di carico neve non inferiori a quelli previsti per 1500 m.

I valori caratteristici minimi del carico della neve al suolo sono quelli riportati nella mappa seguente.



Zona I - Alpina

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

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

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

Zona I – Mediterranea

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

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

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

Zona II

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

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

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

Zona III

Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanissetta, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Messina, Napoli, Nuoro, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valenzia, Viterbo:

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

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

3.5.3. COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione C_E può essere utilizzato per modificare il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera. Valori consigliati del coefficiente di esposizione per diverse classi di topografia sono forniti in Tabella 3.5.I. Se non diversamente indicato, si assumerà $C_E = 1$.

Tabella 3.5.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 accerchiata da costruzioni o alberi più alti	1,1

3.5.4. COEFFICIENTE TERMICO

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

3.5.5. CARICO NEVE SULLE COPERTURE

Devono essere considerate le due seguenti principali disposizioni di carico:

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

3.5.5.1. Coefficiente di forma per le coperture

In generale verranno usati i coefficienti di forma per il carico neve contenuti nel presente paragrafo, dove vengono indicati i relativi valori nominali per le coperture a una o più falde, essendo α , espresso in gradi sessagesimali, l'angolo formato dalla falda con l'orizzontale.

I valori dei coefficienti di forma μ_1 e μ_2 , riportati in Tabella 3.5.II ed illustrati in Figura 3.5.3, in funzione dell'angolo α , si riferiscono alle coperture ad una o più falde, come di seguito specificato.

Tabella 3.5.II – Valori dei coefficienti 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
μ_2	$0,8 + \frac{(0,8 - \alpha)}{30}$	1,6	-

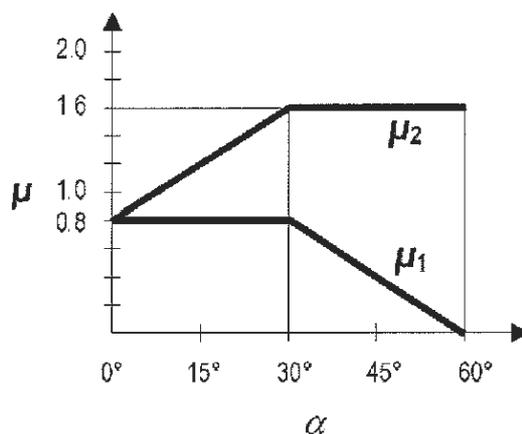


Figura 3.5.3 – Coefficienti di forma per coperture

Nei paragrafi 3.5.5.2, 3.5.5.3, 3.5.5.4 e 3.5.5.5 vengono forniti i coefficienti di forma per le tipologie di copertura più ricorrenti. 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 documentazione scientifica consolidata.

3.5.5.2. Copertura ad una falda

Si assume che la neve non sia impedita 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 .

Si deve considerare la condizione riportata in Figura 3.5.4, la quale deve essere utilizzate per entrambi i casi di carico con o senza vento.

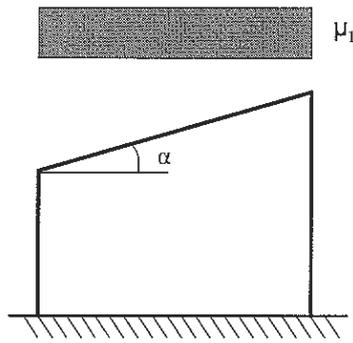


Figura 3.5.4 – Condizioni di carico per coperture ad una falda

3.5.5.3. Copertura a due falde

Si assume che la neve non sia impedita 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 il caso di carico da neve senza vento si deve considerare la condizione denominata *Caso I* riportata in Figura 3.5.5.

Per il caso di carico da neve con vento si deve considerare la peggiore tra le condizioni denominate *Caso II* e *Caso III* riportate in Figura 3.5.5.

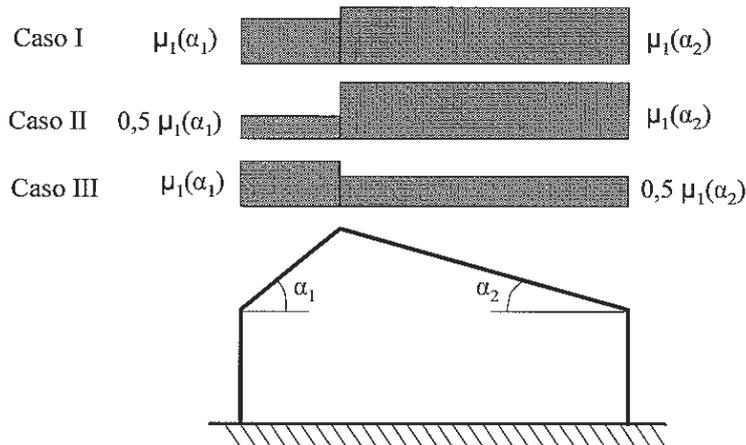


Figura 3.5.5 – Condizioni di carico per coperture a due falde

3.5.5.4. Copertura a più falde

Per il caso di carico da neve senza vento si deve considerare la condizione denominata *Caso I* riportata in Figura 3.5.6.

Per il caso di carico da neve con vento si deve considerare la condizione denominata *Caso II* riportata in Figura 3.5.6, assumendo $\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$.

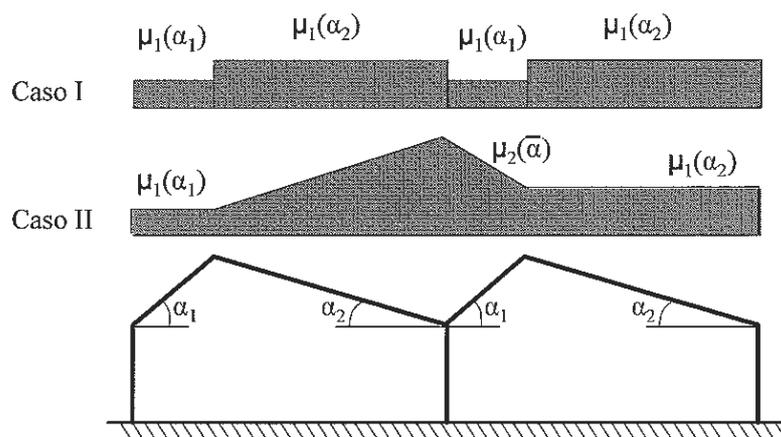


Figura 3.5.6 – Condizioni di carico per coperture a più falde

3.5.5.5. Coperture cilindriche

In assenza di ritegni che impediscano lo scivolamento della neve, per le coperture cilindriche di qualsiasi forma ed a singola curvatura del medesimo segno, per il caso di carico da neve senza vento si deve considerare la condizione denominata *Caso I* riportata in Figura 3.5.7.

Per il caso di carico da neve con vento si deve considerare la condizione denominata *Caso II* riportata in Figura 3.5.7.

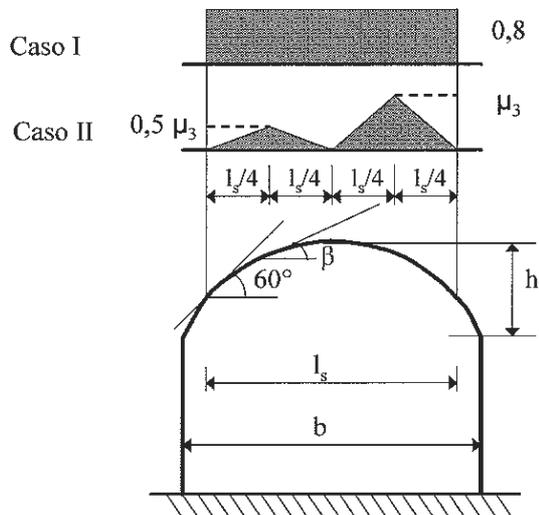


Figura 3.5.7 – Disposizioni di carico per coperture cilindriche

In Tabella 3.5.III sono riassunti i valori dei coefficienti di forma in funzione dell'angolo β che, ad ogni punto del profilo, rappresenta l'angolo tra l'orizzontale e la tangente alla curva in quel punto.

I valori dei coefficienti di forma sono anche indicati in Figura 3.5.8.

Tabella 3.5.III – Valori dei coefficienti di forma

Coefficiente di forma		
$\beta \leq 60^\circ$	$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot \frac{h}{b}$	$[\mu_3 \leq 2,0]$
$\beta > 60^\circ$	$\mu_3 = 0$	

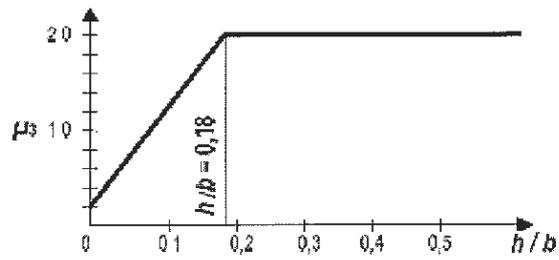


Figura 3.5.8 – Coefficienti di forma per coperture cilindriche