

Modulo 1 Sicurezza Strutturale ed Azioni

Ordine degli Ingegneri, Catania
17 ottobre 2008
Melina Bosco

1

Carico da vento

DM 14/01/08 - Par. 3.3
Eurocodice 1 - parte 1.4

2

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

L'avvento di tecnologie e materiali innovativi ha permesso una nuova generazione di opere di crescente arditezza e complessità caratterizzate da notevole snellezza e leggerezza

Tali opere si espongono all'azione aerodinamica del vento che assume il ruolo di azione primaria



Highcliff, Hong Kong, China, 2003



3

Carico da vento

Fondamenti

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

Se gli spostamenti della struttura causati dal vento sono tali che lo stato del sistema si può identificare con la configurazione iniziale, la risposta R può essere determinata con i metodi classici dell'analisi strutturale.

Tale risposta è di tipo :

- statico, per le strutture di grandi dimensioni, rigide e smorzate
- dinamico per le strutture piccole o snelle, flessibili e/o poco smorzate.



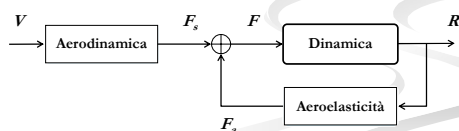
CNR-DT 207/2008

4

Azioni sulle costruzioni

Fondamenti

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



CNR-DT 207/2008

5

Azioni sulle costruzioni

Classificazione dei venti

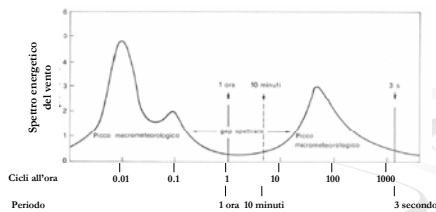
CORRENTI PRIMARIE	Alisei	
	Venti occidentali	
CORRENTI SECONDARIE	Venti orientali	
	Cicloni	Extra-tropicali Tropicali
CORRENTI LOCALI	Legate a particolari condizioni geografiche	Brezze Föhn Venti catabatici
	Legate a particolari condizioni atmosferiche	Venti frontali Downburst Tromba d'aria

6

Azioni sulle costruzioni

Classificazione dei venti

SPETTRO ENERGETICO DEL VENTO



Picco macro-meteorologico (corrisponde alla ricorrenza degli eventi eolici)

Picco micro-meteorologico (corrisponde alle fluttuazioni turbolente)

7

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento



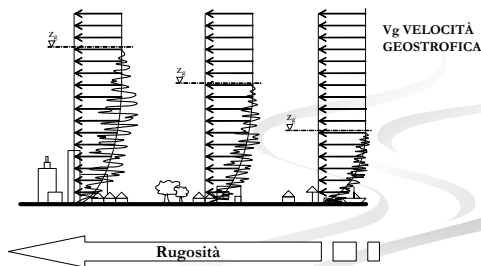
L'altezza del gradiente dipende dalla scabrezza del suolo espressa dal parametro z_0 detto LUNGHEZZA DI RUGOSITÀ

8

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

PROFILO VERTICALE DELLA VELOCITA' DEL VENTO



9

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

GENERALITA'

Il vento, la cui direzione si considera generalmente orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo e nello spazio provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni 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.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche equivalenti.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.1

10

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

AZIONI STATICHE EQUIVALENTI

- Le azioni statiche del vento sono costituite da pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne
- L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna ed interna
- Nel caso di costruzioni o elementi di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenti esercitate dal vento.
- L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando, come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione; in casi particolari, come ad esempio per le torri a base quadrata o rettangolare, si deve considerare anche l'ipotesi di vento spirante secondo la direzione di una delle diagonali.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.3

11

Azioni sulle costruzioni

Velocità e pressione cinetica del vento

La valutazione della velocità di progetto e della pressione cinetica di picco del vento procede secondo i passi seguenti:

- definita la posizione geografica e l'altitudine sul livello del mare della costruzione, si valuta la velocità base di riferimento v_b
- definito il periodo di ritorno di progetto T_R , si valuta la velocità di riferimento di progetto v_p
- definita la rugosità locale del terreno nel sito ove sorge la costruzione, si determina la categoria di esposizione;
- definita la topografia locale del sito ove sorge la costruzione, si valuta il coefficiente di topografia c_t
- si valuta la pressione cinetica di picco del vento q_p .

CNR-DT 207/2008

12

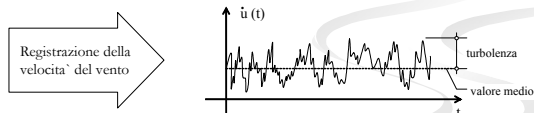
Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

ANDAMENTO TEMPORALE DELLA VELOCITA' DEL VENTO

La velocità del vento si può calcolare con:

- anemometro a coppe
- anemometro a filo caldo



13

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

VELOCITA' DI RIFERIMENTO

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

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_s (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

dove:

$v_{b,0}$, a_0 , k_s sono parametri forniti in tabella e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone;
 a_s è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.2

14

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento



Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.2

15

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

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

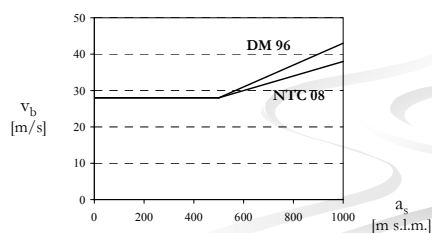
Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - Tab. 3.3.I

16

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Variazioni in normativa nella velocità di riferimento del vento per la Sicilia



17

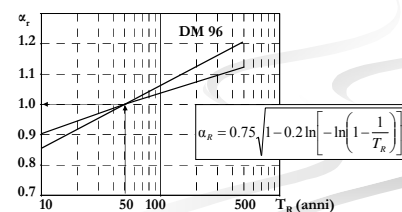
Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

VELOCITA' DI RIFERIMENTO

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

$$v_b(T_r) = \alpha_r v_b$$



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

18

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

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;

c_e è il coefficiente di esposizione;

c_p è il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento;

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.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.4

19

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

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 la pressione cinetica di riferimento e il coefficiente di esposizione;

c_f è il coefficiente d'attrito, funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.5

20

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

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

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



EQUAZIONE DI
BERNOULLI

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 .

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot v_b^2 = 0.625 \cdot v_b^2 = \frac{1}{1.6} v_b^2$$

Espressione fornita
nel DM 96

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.6

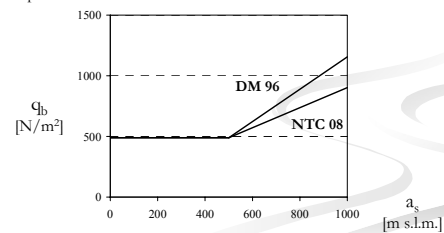
21

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO

Si riscontrano riduzioni della pressione di riferimento analoghe a quelle ottenute per la velocità di riferimento



22

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

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. Per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200 \text{ m}$:

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

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

dove

k_z, z_0, z_{\min} sono assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

(segue)

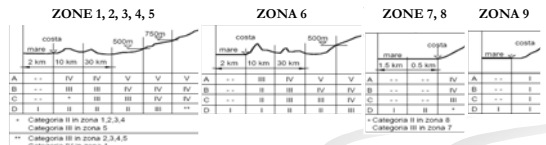
Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.7

23

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

CATEGORIA DI ESPOSIZIONE



Categoria di esposizione	k_z	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

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.7

24

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

CLASSE DI RUGOSITA'

A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.7

25

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

CLASSE DI RUGOSITA'

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



CNR-DT 207/2008



26

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

CLASSE DI RUGOSITA'

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



CNR-DT 207/2008



27

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

CLASSE DI RUGOSITA'

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



CNR-DT 207/2008



28

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

CLASSE DI RUGOSITA'

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



CNR-DT 207/2008



29

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

CLASSE DI RUGOSITA'

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



CNR-DT 207/2008



30

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI TOPOGRAFIA

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

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

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.7

31

Azioni sulle costruzioni

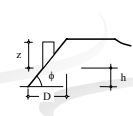
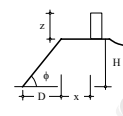
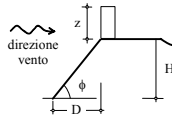
Carichi da vento

COEFFICIENTE DI TOPOGRAFIA

Costruzioni ubicate sulla cresta di una collina

Costruzioni sul livello superiore di un dislivello

Costruzioni su un pendio



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

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

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

$$\beta = 0.5$$

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

$$\beta = 0.0$$

$$z/H \leq 0.75$$

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

$$z/H > 2$$

$$\gamma = 0.0$$

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

$$\gamma = 1.0$$

$$H/D \leq 0.10$$

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

$$H/D > 0.30$$

Circolare ministeriale 14/07/96 - punto 7.5

32

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

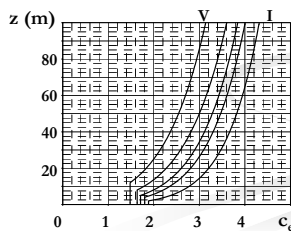
COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

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

per $z \geq z_{min}$

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

per $z < z_{min}$



Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.7

33

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI ATTRITO

Superficie	Coeff. di Attrito C_r
Liscia (acciaio, cemento a faccia liscia...)	0.01
Scabra (cemento a faccia scabra, catrame...)	0.02
Molto scabra (ondulata, costolata, piegata...)	0.04

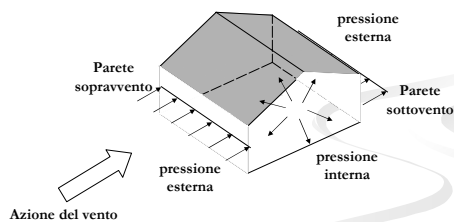
Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

34

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA



35

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

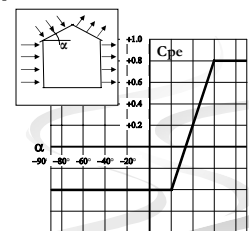
COEFFICIENTE DI FORMA (esterno)

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

- per elementi sopravvento con inclinazione sull'orizzontale $\alpha \geq 60^\circ$:
 $c_{pe} = +0.8$

- per elementi sopravvento con inclinazione sull'orizzontale $20^\circ < \alpha < 60^\circ$:
 $c_{pe} = +0.03 \alpha - 1$ (α in gradi)

- per elementi sopravvento con inclinazione sull'orizzontale $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente):
 $c_{pe} = -0.4$



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

36

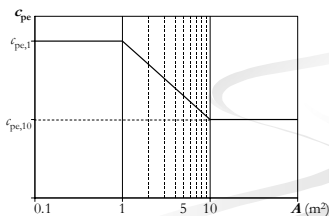
Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA (esterno)

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

I coefficienti di pressione esterna dipendono dalla dimensione dell'area caricata A



Eurocodice 1 - Parte 1-4 - punto 7.2

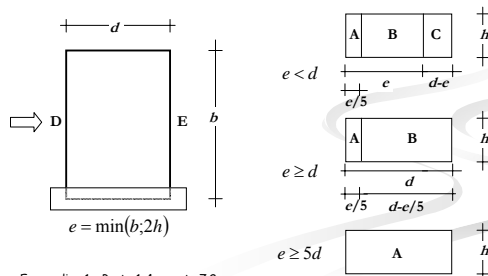
37

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

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



Eurocodice 1 - Parte 1-4 - punto 7.2

38

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

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

Zona	A	B	C	D	E
h/d	5	1	≤0.25		
c _{pe,10}	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5
c _{pe,1}	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5
c _{pe,10}	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5
c _{pe,1}	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5
c _{pe,10}	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5
c _{pe,1}	-1.2	-1.4	-0.8	-1.1	-0.5

Eurocodice 1 - Parte 1-4 - punto 7.2

39

Azioni sulle costruzioni

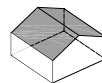
Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA (interno)

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

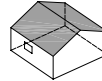
- costruzioni completamente stagne:

$c_{pi} = 0$



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

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



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

40

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA (interno)

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

- costruzioni che hanno una parete

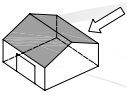
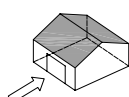
con aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale:

$c_{pi} = +0,8$

$c_{pi} = -0,5$

parete aperta sopravvento;

parete aperta sottovento o parallela al vento;



- costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale:

$c_{pi} + c_{pi} = \pm 1,2$

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

elementi normali al vento;

per rimanenti elementi

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

41

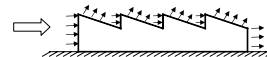
Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

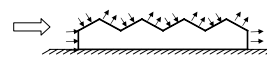
COEFFICIENTE DI FORMA

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

Azioni sui singoli elementi:

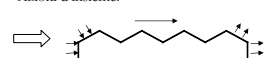


Riduzione del 25% del c_{pe} del secondo spiovente sopravvento



Riduzione del 25% del c_{pe} di entrambi gli spioventi delle coperture successive

Azioni d'insieme:



Si applicano al primo e all'ultimo spiovente le pressioni valutate per edifici singoli

Azione tangenziale sulla superficie proiettata in piano $0.10 q_{ref} c_e$

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

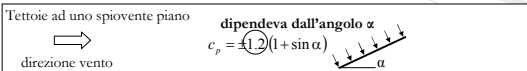
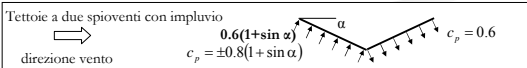
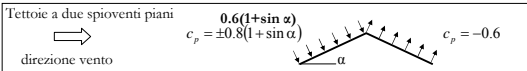
42

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

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



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

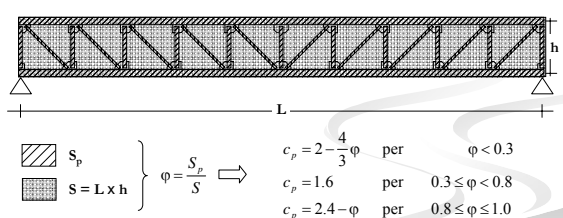
43

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

Travi isolate ad anima piena e reticolari



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

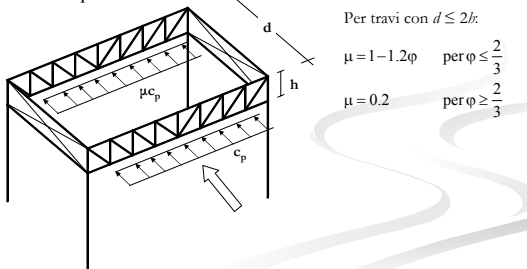
44

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

Travi multiple



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

45

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

Torri e pali a traliccio a sezione rettangolare o quadrata

Per vento diretto normalmente ad una delle pareti:

$$c_p = \begin{cases} 2.4 & \text{per torri con elementi tubolari a sezione circolare} \\ 2.8 & \text{per torri con elementi aventi sezione diversa dalla circolare} \end{cases}$$

L'azione di insieme esercitata dal vento spirante normalmente ad una delle pareti va valutata con riferimento alla superficie della parte piena di una sola faccia

Per vento diretto secondo la bisettrice dell'angolo formato tra le due pareti:

$$c_p = \begin{cases} 1.15 \times 2.4 & \text{per torri con elementi tubolari a sezione circolare} \\ 1.15 \times 2.8 & \text{per torri con elementi aventi sezione diversa dalla circolare} \end{cases}$$

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

46

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

Corpi cilindrici

Per corpi cilindrici a sezione circolare di diametro d e altezza h (in metri):

$$c_p = \begin{cases} 1.2 & \text{per } d\sqrt{q} \leq 2.2 \\ 1.783 - 0.263d\sqrt{q} & \text{per } 2.2 < d\sqrt{q} \leq 4.2 \\ 0.7 & \text{per } 4.2 \leq d\sqrt{q} \end{cases}$$

essendo $q = q_b c_e$ [N/m^2]

L'azione d'insieme esercitata dal vento va valutata con riferimento alla superficie proiettata sul piano ortogonale alla direzione del vento.

Espressioni valide anche per corpi prismatici aventi per sezione un poligono regolare con numero di lati non inferiore ad 8 (d = diametro del cerchio circoscritto)

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

47

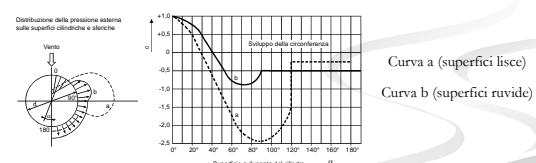
Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DI FORMA

Pressioni massime locali

Non devono essere tenute in conto per la determinazione delle azioni d'insieme



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

48

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

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.

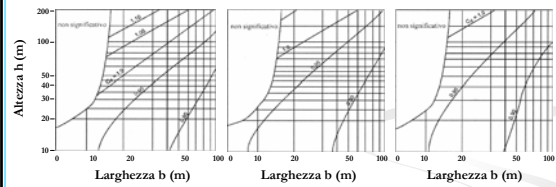
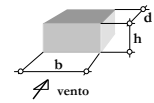
Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.8

49

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

COEFFICIENTE DINAMICO



Strutture in acciaio Strutture composte acciaio-calcestruzzo Strutture in c.a. oppure muratura

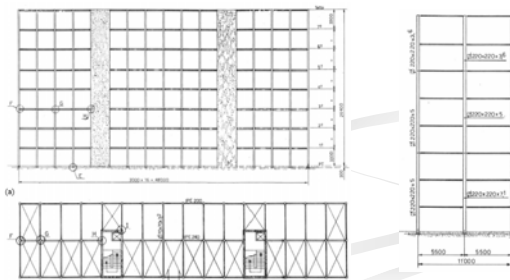
Circolare ministeriale 14/07/96 - punto 7.8

50

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione (sito a 600 m s.l.m.)



51

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione



Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.020

Velocità di riferimento

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

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

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

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

Pressione cinetica di riferimento

$$q_0 = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = 0.5 \cdot 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 30^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 562.5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

52

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

Categoria di Esposizione

Classe di Rugosità A (Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m)

ZONE 1,2,3,4,5					
costa mare 2 km 10 km 30 km 500m 750m					
A	IV	IV	IV	IV	IV
B	III	III	III	III	III
C	II	II	II	II	II
D	I	I	I	I	I

* Categoria II in zona 1,2,3,4

Categoria III in zona 5

** Categoria III in zona 2,3,4,5

Categoria IV in zona 1

$$c_s(z) = k_z c_e \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \cdot \left[7 + c_e \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \right] \quad z \geq z_{\min}$$

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

Categoria di esposizione	k_z	z_0 [m]	z_{\min} [m]
IV	0.22	0.30	8

53

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

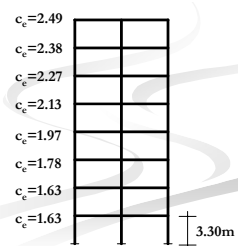
Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

Coefficiente di Esposizione

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

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

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



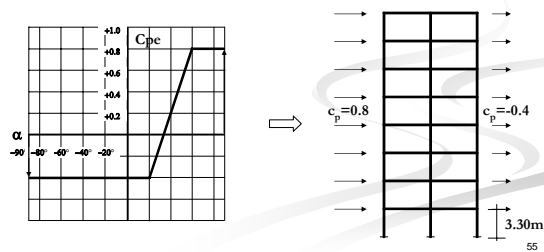
54

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

Coefficiente di Forma



Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 1 – Edificio per Civile Abitazione

Pressioni del vento $p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

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

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

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

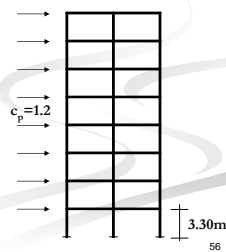
$$p = 562.5 \cdot 2.13 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.44 \text{ kN/m}^2$$

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

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

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

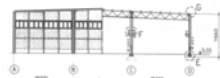
$$p = 562.5 \cdot 1.63 \cdot (0.8 + 0.4) \cdot 1 = 1.10 \text{ kN/m}^2$$



Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

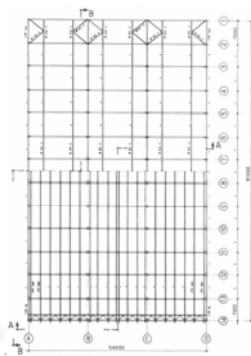
Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale



Copertura a doppia falda con inclinazione di 4°

Copertura a doppia falda con Linea di colmo posta a 13.54m

Costruzione con $V_N=50$ anni
Sita nella zona industriale di Catania



Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.020

Velocità di riferimento

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

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) = 28 + 0.02 (a_s - 500) \quad \text{per } 500 \text{ m} < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = 0.5 \cdot 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 28^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 490 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Categoria di Esposizione

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

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

* Categoria II in zona 1,2,3,4
Categoria III in zona 5
** Categoria III in zona 2,3,4,5
Categoria IV in zona 1

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

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

Categoria di esposizione	k_z	z_0 [m]	z_{\min} [m]
III	0.20	0.10	5

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Coefficiente di Esposizione

k_z	z_0 [m]	z_{\min} [m]
0.20	0.10	5

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

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

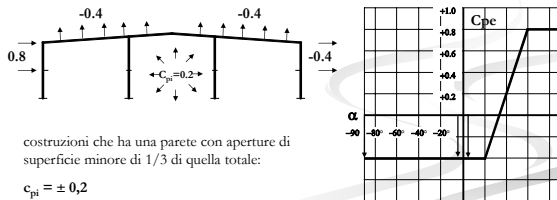
z [m]	C_e
<5.00	1.71
7.00	1.91
11.66	2.24
13.54	2.34

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Coefficienti di forma



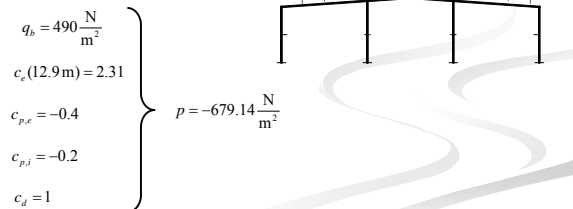
61

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Pressione del vento $p = q_b c_e c_p c_d$



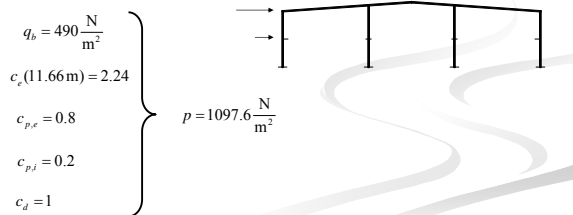
62

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Pressione del vento $p = q_b c_e c_p c_d$



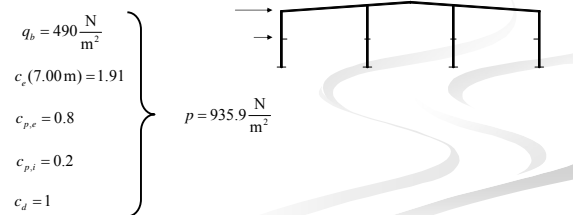
63

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Esempio n. 2 – Fabbricato Industriale

Pressione del vento $p = q_b c_e c_p c_d$



64

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

PARTICOLARI PRECAUZIONI PROGETTUALI

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.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.9

65

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Effetti torsionali

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

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

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.9.1

66

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

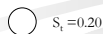
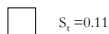
Distacco di vortici

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

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

dove:

- b è la dimensione della sezione trasversale perpendicolare alla direzione del vento;
- v è la velocità media del vento;
- S_v è il numero di Strouhal, funzione della forma della sezione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento.



Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.9.2

67

Azioni sulle costruzioni

Carichi da vento

Fenomeni di natura aeroelastica

Le forze di natura aeroelastica o autoeccitate sono presenti a causa del 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 c 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 stralati 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.

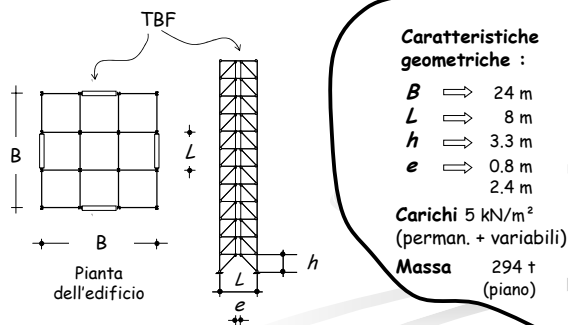
Flutter torsionale escluso se: $\frac{1.2 v_{ml}}{d \cdot n_{1,m}} \leq 3$

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.3.9.3

68

Azioni sulle costruzioni

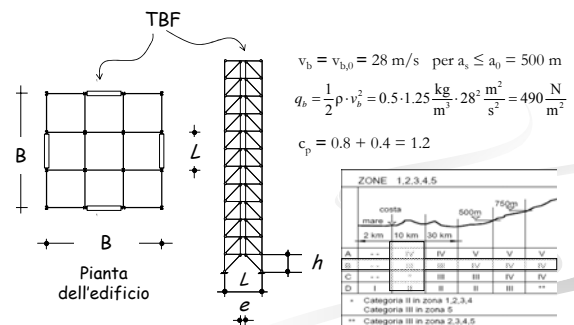
Vento vs Sisma



69

Azioni sulle costruzioni

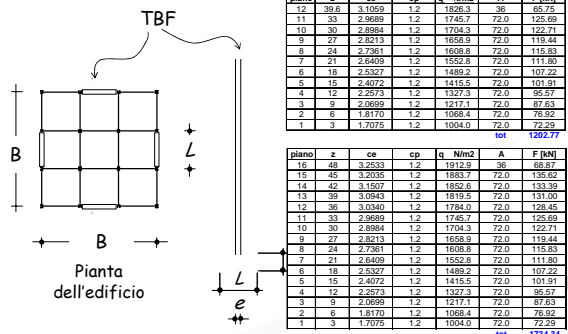
Vento vs Sisma



70

Azioni sulle costruzioni

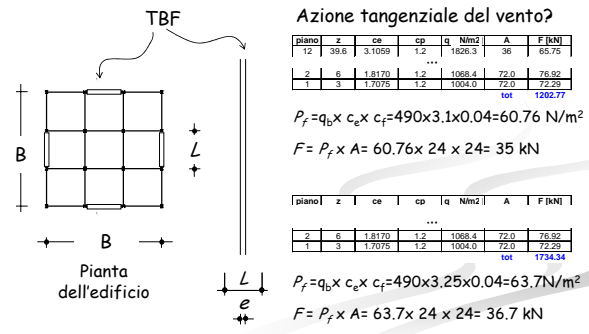
Vento vs Sisma



71

Azioni sulle costruzioni

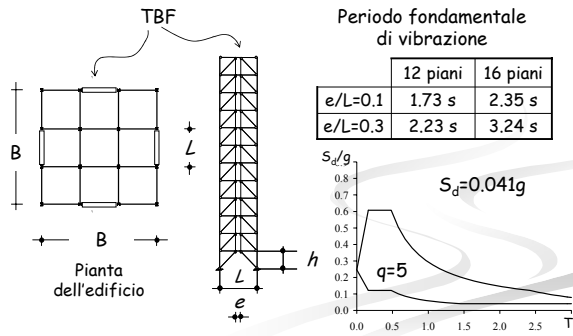
Vento vs Sisma



72

Azioni sulle costruzioni

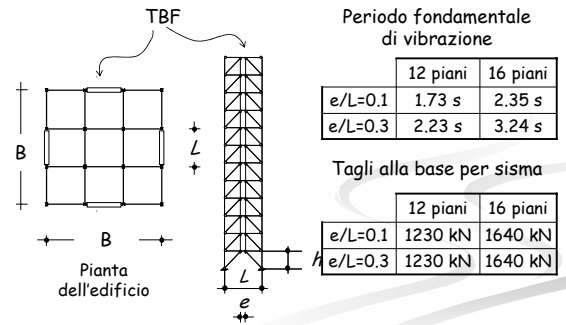
Vento vs Sisma



73

Azioni sulle costruzioni

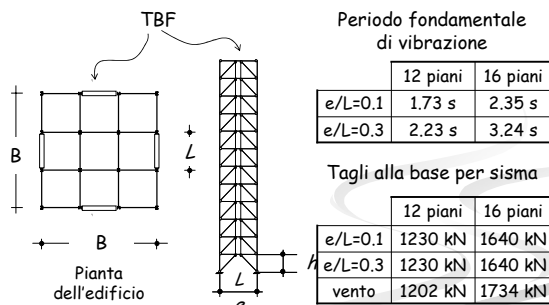
Vento vs Sisma



74

Azioni sulle costruzioni

Vento vs Sisma

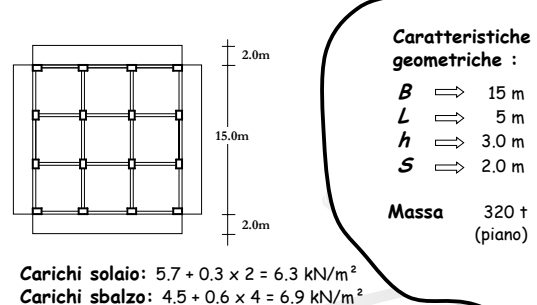


Azioni da vento da moltiplicare x 1.5 allo SLU

75

Azioni sulle costruzioni

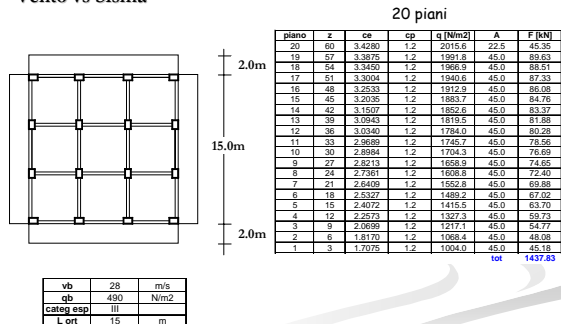
Vento vs Sisma



76

Azioni sulle costruzioni

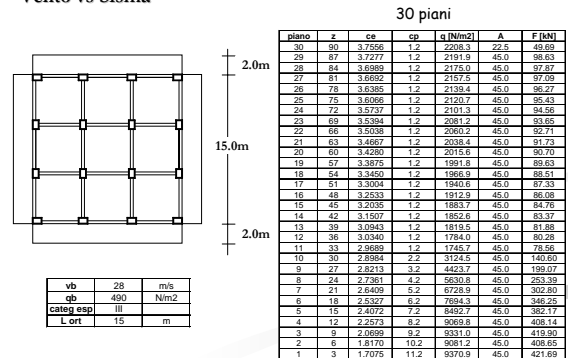
Vento vs Sisma



77

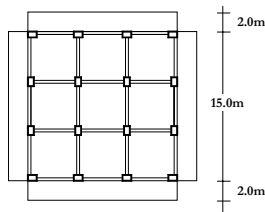
Azioni sulle costruzioni

Vento vs Sisma



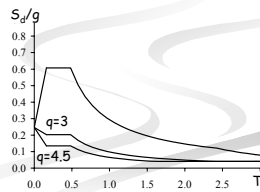
Azioni sulle costruzioni

Vento vs Sisma



Periodo fondamentale di vibrazione

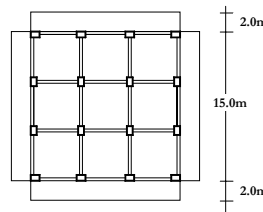
20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s



79

Azioni sulle costruzioni

Vento vs Sisma



Periodo fondamentale di vibrazione

20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s

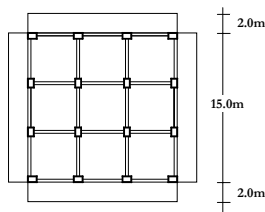
S_d / g

	20 piani	30 piani
$q = 3.0$	0.051	0.041
$q = 4.5$	0.041	0.041

80

Azioni sulle costruzioni

Vento vs Sisma



Periodo fondamentale di vibrazione

20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s

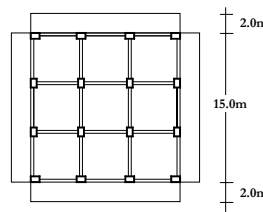
Tagli alla base

	20 piani	30 piani
$q = 3.0$	2774 kN	3346 kN
$q = 4.5$	2230 kN	3346 kN

81

Azioni sulle costruzioni

Vento vs Sisma



Periodo fondamentale di vibrazione

20 piani	30 piani
1.93 s	2.37 s

Tagli alla base

	20 piani	30 piani
$q = 3.0$	2774 kN	3346 kN
$q = 4.5$	2230 kN	3346 kN
Vento	1438 kN	5041 kN

Azioni da vento da moltiplicare $\times 1.5$ allo SLU

82

Carico da neve

DM 14/01/08 – Par. 3.4
Eurocodice 1 – parte 1.3

83

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

CARICO NEVE

Il carico provocato dalla neve sulle coperture sarà valutato mediante 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 caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], fornito per un periodo di ritorno di 50 anni;
- C_E è il coefficiente di esposizione;
- C_t è il coefficiente termico.

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

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 – punto 3.4

84

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

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 indagini statistiche e studi locali, che tengano conto sia dell'altezza del manto nevoso che della sua densità, il carico di riferimento della neve al suolo, per località con $a_s < 1500$ m s. l. m., non deve essere minore di quello calcolato in base alle espressioni riportate nel seguito, cui corrispondono valori associati ad un periodo di ritorno pari a 50 anni.

Aspetti specifici e locali, se necessario, dovranno essere definiti singolarmente.

Per $a_s > 1500$ m s. l. m. 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.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.2

85

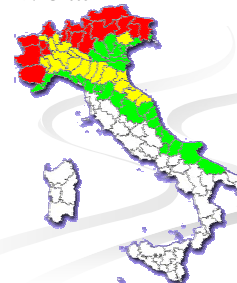
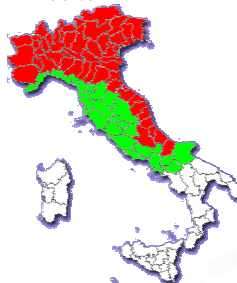
Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

DM 16-01-96

NTC 2008



86

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Zona I - Alpina

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

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.

Zona II

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

Zona III

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

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.2

87

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Zona I



$$q_{sk} = 1.50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$
$$q_{sk} = 1.39 \left[1 + \left(a_s / 728 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

Zona I



$$q_{sk} = 1.50 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$
$$q_{sk} = 1.35 \left[1 + \left(a_s / 602 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

Zona II



$$q_{sk} = 1.00 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$
$$q_{sk} = 0.85 \left[1 + \left(a_s / 481 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

Zona III



$$q_{sk} = 0.60 \text{ kN/m}^2 \quad a_s \leq 200 \text{ m}$$
$$q_{sk} = 0.51 \left[1 + \left(a_s / 481 \right)^2 \right] \text{ kN/m}^2 \quad a_s > 200 \text{ m}$$

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.2

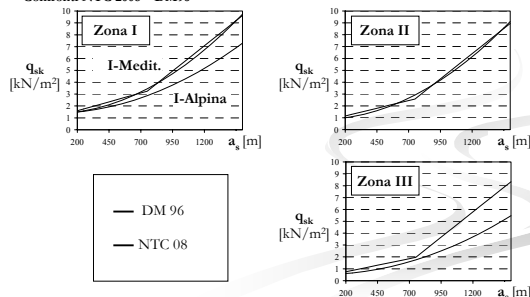
88

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

VALORE CARATTERISTICO DEL CARICO NEVE AL SUOLO

Confronti NTC 2008 - DM96



89

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione C_E modifica il valore del carico neve in copertura in funzione delle caratteristiche specifiche dell'area in cui sorge l'opera.

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 significativamente 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

Nell'Eurocodice 1 C_E varia tra 0.8 e 1.2.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.3

90

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

COEFFICIENTE TERMICO

Tiene conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione.

Tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura.

In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato $C_t = 1$.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.4

91

Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

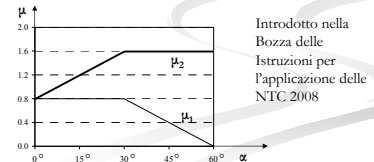
CARICO NEVE SULLE COPERTURE

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.

Coefficiente di forma per le coperture

I valori del coefficiente di forma μ_1 , riportati in grafico si riferiscono alle coperture ad una o due falde.



Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.5.1

92

Azioni sulle costruzioni

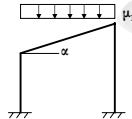
Carichi da neve

Coperture ad una falda

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

In presenza di parapetti o barriere nell'estremità più bassa della falda:
 $\mu_1 = 0,8$

La condizione in figura deve essere utilizzata per entrambi i casi di carico con o senza vento.



Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.5.2

93

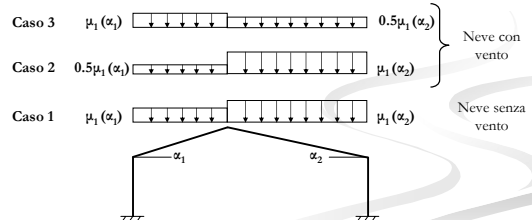
Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

Coperture a due falde

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

In presenza di parapetti o barriere nell'estremità più bassa della falda $\mu_1 = 0,8$



Scompare la condizione con il carico applicato su una sola falda

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.4.5.3

94

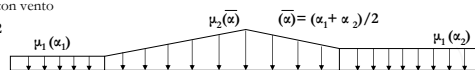
Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

Coperture a più falde ($\alpha < 60^\circ$)

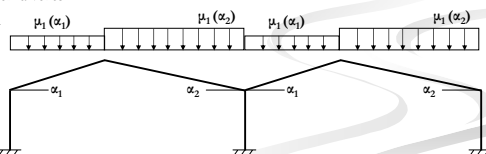
Neve con vento

Caso 2



Neve senza vento

Caso 1



Accumuli per irregolarità nel piano di copertura sono da considerare solo per $L > 3.5\text{m}$ e $\alpha \geq 30^\circ$

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

95

Azioni sulle costruzioni

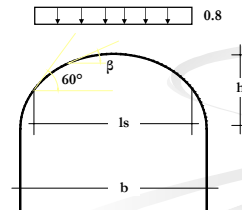
Carichi da neve

Coperture cilindriche

Si assume che la neve non sia impedita di scivolare.

Neve con Vento $0.5\mu_3$

Neve senza Vento 0.8



Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

96

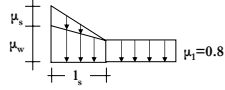
Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

Coperture adiacenti o vicine a costruzioni più alte

Caso 2

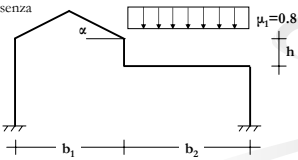
Neve con vento



Si tiene conto dello scivolamento della neve della copertura a quota superiore e del deposito di neve dovuto alla "ombra aerodinamica"

Caso 1

Neve senza vento



$\mu_s = 50\%$ massimo carico sulla falda superiore ($\alpha > 15^\circ$)

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \leq \frac{\gamma h}{q_{sk}}$$

$0.8 \leq \mu_w \leq 4.0$ Aumentato rispetto al DM96

$$5 \leq l_s = 2h \leq 15 \text{ m}$$

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

97

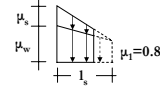
Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

Coperture adiacenti o vicine a costruzioni più alte

Caso 2

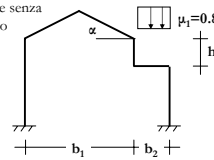
Neve con vento



Si tiene conto dello scivolamento della neve della copertura a quota superiore e del deposito di neve dovuto alla "ombra aerodinamica"

Caso 1

Neve senza vento



$\mu_s = 50\%$ massimo carico sulla falda superiore ($\alpha > 15^\circ$)

$$\mu_w = \frac{(b_1 + b_2)}{2h} \leq \frac{\gamma h}{q_{sk}}$$

$0.8 \leq \mu_w \leq 4.0$

$$5 \leq l_s = 2h \leq 15 \text{ m}$$

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

98

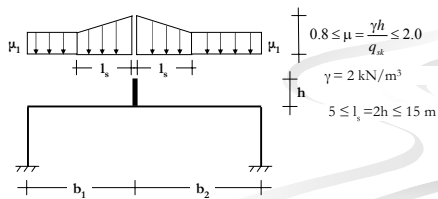
Azioni sulle costruzioni

Carichi da neve

Effetti locali

Interessano solamente le membrature su cui agisce la neve (non considerare nelle verifiche globali della struttura)

Accumuli in presenza di sporgenze



$$0.8 \leq \mu = \frac{\gamma h}{q_{sk}} \leq 2.0$$

$$\gamma = 2 \text{ kN/m}^3$$

$$5 \leq l_s = 2h \leq 15 \text{ m}$$

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

99

Azioni sulle costruzioni

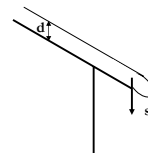
Carichi da neve

Effetti locali

Interessano solamente le membrature su cui agisce la neve (non considerare nelle verifiche globali della struttura)

Neve aggettante dal bordo di una copertura

Nella verifica delle parti di copertura a sbalzo sulle murature di facciata per $a_s > 800 \text{ m}$



Carico da neve per unità di lunghezza:

$$s_e = k \cdot q_s^2 / \gamma$$

$$\gamma = 3.0 \text{ kN/m}^3$$

$k = 3/d$ (irregolarità della forma della neve) assunto ≈ 1 nel DM96

q_s carico corrispondente alla distribuzione più sfavorevole

Bozza Istruzioni per applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni (7-3-08)

100

Carico termico

DM 14/01/08 – Par. 3.5
Eurocodice 1 – parte 1.5

101

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

Gli elementi di strutture portanti devono essere controllati per assicurare che lo spostamento termico non causi una sovra-sollecitazione della struttura

1. Disposizione di giunti di espansione
2. Inclusione degli effetti termici nella fase di progettazione

Eurocodice 1

102

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

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

La severità delle azioni termiche è in generale influenzata da più fattori:

1. Le condizioni climatiche del sito
2. l'esposizione
3. la massa complessiva della struttura
4. L'eventuale presenza di elementi non strutturali isolanti.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.5.1

103

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

Temperatura dell'aria esterna

La temperatura dell'aria esterna, T_{est} , può assumere il valore:

$$\begin{matrix} T_{\text{max}} & \text{(temperatura massima estiva)} \\ T_{\text{min}} & \text{(temperatura minima invernale)} \end{matrix}$$

Con riferimento ad un periodo di ritorno di 50 anni:

$$T_{\text{max}} = 45^\circ\text{C}; \quad T_{\text{min}} = -15^\circ\text{C}.$$

Temperatura dell'aria interna

Dipende dalla tipologia della costruzione e dalla destinazione d'uso

$$T_{\text{int}} = 20^\circ\text{C}.$$

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.5.2

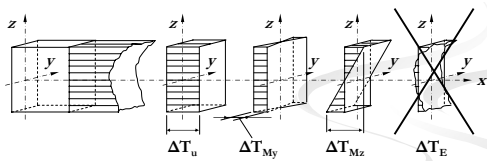
104

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

Rappresentazione delle azioni

La distribuzione di temperatura all'interno di un singolo elemento strutturale può essere scomposta in 4 componenti:



Non produce alcun effetto di forza netta sull'elemento

Eurocode 1

105

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

Distribuzione della temperatura negli elementi strutturali

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

- a) una componente uniforme $\Delta T_u = T - T_0$ pari alla differenza tra la temperatura media attuale T e quella iniziale alla data della costruzione T_0 ;

$$T_0 = 15^\circ\text{C} \quad T = \frac{T_{\text{sup,est}} + T_{\text{sup,int}}}{2}$$

- b) due componenti variabili con legge lineare secondo gli assi principali y e z della sezione, ΔT_{My} e ΔT_{Mz} .

In presenza di elevati gradienti termici si deve tener conto degli effetti indotti dall'andamento non lineare della temperatura all'interno delle sezioni.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.5.4

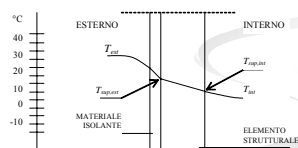
106

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

Distribuzione della temperatura negli elementi strutturali

$T_{\text{sup,est}}$ e $T_{\text{sup,int}}$ sono valutate a partire dalla temperatura dell'aria esterna, T_{ext} , e di quella interna, T_{int} , tenendo conto del trasferimento di calore per irraggiamento e per convezione all'interfaccia aria-costruzione e della eventuale presenza di materiale isolante.



Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.5.4

107

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

Contributo dell'irraggiamento

Stagione	Natura della superficie	Incremento di temperatura	
		Superfici esposte a Nord-est	Superfici esposte a Sud-ovest o orizzontali
Estate	Superficie riflettente	0° C	18° C
	Superficie chiara	2° C	30° C
	Superficie scura	4° C	42° C
Inverno		0° C	0° C

Estate

$$T_{\text{sup,est}} = 45^\circ + \begin{cases} 18^\circ \\ 30^\circ \\ 42^\circ \end{cases}$$

Inverno

$$T_{\text{sup,est}} = T_{\text{min}} = -15^\circ$$

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.5.4

108

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

AZIONI TERMICHE SUGLI EDIFICI

Se l'azione termica non è fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura si può tener conto della sola componente ΔT_u

Tipo di struttura	ΔT_u
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	$\pm 15^\circ\text{C}$
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	$\pm 10^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio esposte	$\pm 25^\circ\text{C}$
Strutture in acciaio protette	$\pm 15^\circ\text{C}$

In caso contrario deve essere valutato più approfonditamente il problema della trasmissione del calore.

Valori uguali a quelli forniti nel DM 96

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.5.5

109

Azioni sulle costruzioni

Temperatura

PARTICOLARI PRECAUZIONI NEL PROGETTO DI STRUTTURE SOGGETTE AD AZIONI TERMICHE SPECIALI

Strutture ed elementi strutturali in contatto con liquidi, aeriformi o solidi a temperature diverse, quali ciminiere, tubazioni, silos, serbatoi, torri di raffreddamento, ecc., devono essere progettati tenendo conto delle distribuzioni di temperatura corrispondenti alle specifiche condizioni di servizio.

EFFETTI DELLE AZIONI TERMICHE

Coefficienti di dilatazione termica α_T per diversi materiali.

Materiale	$\alpha_T [10^{-6}/^\circ\text{C}]$	Materiale	$\alpha_T [10^{-6}/^\circ\text{C}]$
Alluminio	24	Cls alleggerito	7
Acciaio da carpenteria	12	Muratura	6 ÷ 10
Cls strutturale	10	Legno (parallelo fibre)	5
Strutture acciaio-cla	12	Legno (ortog. fibre)	30 ÷ 70

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punti 3.5.6 e 3.5.7

110

Azioni Eccezionali

DM 14/01/08 – Par. 3.6
Eurocode 1 – parti 1.2 e 1.7

111

Azioni Eccezionali

Generalità

Si presentano in occasione di eventi quali:

- incendi
- esplosioni
- urti

Quando non si effettuano verifiche specifiche nei confronti delle azioni eccezionali, la concezione strutturale, i dettagli costruttivi ed i materiali utilizzati dovranno essere tali da evitare che la struttura possa essere danneggiata in misura sproporzionata rispetto alla causa.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6

112

Azioni Eccezionali

Incendio: Richieste di Prestazioni

Le costruzioni devono essere progettate e costruite in modo da garantire la resistenza e la stabilità degli elementi portanti e limitare la propagazione del fuoco e dei fumi in accordo alle norme antincendio. Tali obiettivi sono raggiunti attraverso misure e sistemi di protezione attiva e passiva.

Livello I	Nessun requisito specifico di resistenza al fuoco dove le conseguenze del collasso delle strutture siano accettabili o dove il rischio sia trascurabile
Livello II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo sufficiente a garantire l'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione
Livello III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per un periodo congruo con la gestione dell'emergenza
Livello IV	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento delle strutture stesse
Livello V	Requisiti di resistenza al fuoco delle strutture per garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento totale delle strutture stesse

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.1.2

113

Azioni Eccezionali

Procedura di analisi della resistenza al fuoco

L'analisi della resistenza al fuoco può essere così articolata:

1. Individuazione dell'incendio di progetto appropriato alla costruzione
2. Analisi dell'evoluzione della temperatura all'interno degli elementi strutturali
3. Analisi del comportamento meccanico delle strutture esposte al fuoco
4. Verifiche di sicurezza

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.1.5

114

Azioni Eccezionali

1. Incendio di progetto

L'incendio convenzionale di progetto è definito attraverso una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo (espresso in minuti primi), della temperatura dei gas di combustione θ_g nell'intorno della superficie degli elementi strutturali

Materiali combustibili di natura prevalentemente cellulosa:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Incendi di quantità rilevanti di idrocarburi:

$$\theta_g = 1080 \cdot (1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Gli incendi vengono generalmente applicati ad un compartimento dell'edificio alla volta

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.1.5.1

115

Azioni Eccezionali

2. Analisi dell'evoluzione della temperatura

Il campo termico all'interno dei componenti della struttura viene valutato risolvendo il corrispondente problema di propagazione del calore tenendo conto del trasferimento del calore per

- irraggiamento
- convezione dai gas alla superficie esterna degli elementi

Occorre tenere conto di eventuale presenza di materiali protettivi

Indicazioni più dettagliate sono fornite nell'Eurocodice 1 - parte 1.2

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.1.5.2

116

Azioni Eccezionali

3. Analisi del comportamento meccanico

Il comportamento meccanico della struttura è analizzato tenendo conto della riduzione della resistenza meccanica dei componenti dovuta al danneggiamento dei materiali per effetto della temperatura.

Si deve tener conto di eventuali effetti delle sollecitazioni iperstatiche dovute alle dilatazioni termiche contrastate (azioni indirette) ad eccezione dei seguenti casi:

- È riconoscibile a priori che sono trascurabili o favorevoli
- Sono implicitamente tenute in conto nei modelli semplificati e conservativi di comportamento strutturale in condizioni di incendio

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.1.5.3

117

Azioni Eccezionali

4. Verifiche di sicurezza

La verifica viene eseguita controllando che la resistenza meccanica venga mantenuta per il tempo corrispondente alla classe di resistenza al fuoco della struttura con riferimento alla curva nominale d'incendio

Le classi di resistenza al fuoco sono 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 e 360 ed esprimono il tempo, in minuti, durante il quale la resistenza al fuoco deve essere garantita

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.1.5.4

118

Azioni Eccezionali

Esplosioni: classificazione delle azioni

Gli effetti delle esplosioni possono essere tenuti in conto nella progettazione delle costruzioni in cui possono presentarsi miscele esplosive di polveri o gas in aria (sono escluse esplosioni che si verificano all'esterno dell'edificio)

Le azioni di progetto dovute alle esplosioni sono classificate sulla base degli effetti che possono produrre sulle costruzioni:

Categoria di azione	Possibili effetti
1	effetti trascurabili sulle strutture
2	effetti localizzati su parte delle strutture
3	effetti generalizzati sulle strutture

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.2.2

119

Azioni Eccezionali

Esplosioni: Modellazione delle azioni dovute

Le azioni dovute alle esplosioni sono rappresentate mediante distribuzioni di pressione agenti simultaneamente su tutte le pareti dell'ambiente

Per esplosioni di categoria 2, in presenza di idonei pannelli di sfogo negli ambienti a rischio:

$$p_d = \max \begin{cases} 3 + p_v \\ 3 + p_v / 2 + 0.04 / (A_v / V)^2 \end{cases} \quad \text{con} \quad 0.05 \text{m}^{-1} \leq A_v / V \leq 0.15 \text{m}^{-1}$$

p_v pressione statica uniformemente distribuita in corrispondenza della quale le aperture di sfogo cedono [kN/m^2];
 A_v area delle aperture di sfogo [m^2];
 V volume dell'ambiente [m^3]

Tutti gli elementi chiave e le connessioni devono comunque sopportare una pressione di progetto $p_d = 20 \text{kN/m}^2$ (applicata da ogni direzione)

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.2.3

120

Azioni Eccezionali

Esplosioni: criteri di progettazione

Sono considerati accettabili danneggiamenti localizzati, anche gravi, dovuti ad esplosioni a condizioni che ciò non esponga al pericolo l'intera struttura o che la capacità portante sia mantenuta per un tempo sufficiente affinché siano prese le necessarie misure di emergenza.

Possono essere adottate misure di protezione:

- Introduzione di superfici che collassano sotto sovrappressioni prestabilite
- Giunti strutturali per separare porzioni di edificio a rischio
- Prevenzione di crolli significativi in conseguenza di cedimenti strutturali localizzati

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.2.4

121

Azioni Eccezionali

Urti (Generalità)

Si distinguono le azioni dovute a:

- Collisioni da veicoli;
- Collisioni da treni;
- Collisioni da imbarcazioni;
- Collisioni da aeromobili.

Non vengono prese in esame le azioni eccezionali dovute a fenomeni naturali (caduta di rocce, frane o valanghe).

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.1

122

Azioni Eccezionali

Classificazione delle azioni dovute agli urti

Le azioni di progetto dovute agli urti sono classificate sulla base degli effetti che possono produrre sulle costruzioni:

Categoria di azione	Possibili effetti
1	effetti trascurabili sulle strutture
2	effetti localizzati su parte delle strutture
3	effetti generalizzati sulle strutture

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.2

123

Azioni Eccezionali

Urti da traffico veicolare

Le azioni da urto hanno direzione parallela a quella del moto del veicolo al momento dell'impatto. Si possono considerare simultaneamente due azioni nella direzione parallela (F_{dx}) e ortogonale (F_{dy}) alla direzione normale di marcia.

$$F_{dy} = 0.50 F_{dx}$$

Tipo di strada	Tipo di veicolo	Forza F_{dx} [kN]
Autostrade, strade extraurbane	-	1000
Strade locali	-	750
Strade urbane	-	500
Aree di parcheggio e autorimesse	Automobili	50
	Veicoli destinati al trasporto di merci, aventi masse $> 3.5t$	150

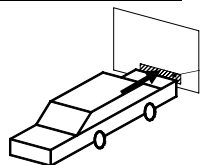
Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.3.1

124

Azioni Eccezionali

Urti da traffico veicolare

Urti su membrature verticali



Area di impronta $h=0.25m$
 $b=\min(1.5, L)$

Posizione forza (al di sopra della superficie di marcia) $h=0.50m$

Urti su membrature orizzontali al di sopra della strada

$r = 1.0$ (per altezze del sottovia fino a 5 m)
 $r = 0.0$ (per altezze del sottovia superiori a 6 m)
 r per interpolazione per altezze intermedie

Le stesse azioni devono essere considerate sull'intradosso dell'elemento strutturale con una inclinazione pari a 10°

$$F = r F_{dx}$$

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.3.1

125

Azioni Eccezionali

Urti da traffico veicolare

Traffico veicolare sopra i ponti

In assenza di specifiche prescrizioni, nel progetto strutturale dei ponti si può tener conto delle forze causate da collisioni accidentali sugli elementi di sicurezza attraverso una forza orizzontale equivalente di 100kN

Essa deve essere considerata agente trasversalmente ed orizzontalmente 100mm sotto la sommità dell'elemento o 1.0m sopra il livello del piano di marcia.

La forza deve essere applicata su una linea lunga 0.5m

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.3.2

126

Azioni Eccezionali

Urti da traffico ferroviario

In caso di deragliamento può verificarsi la collisione tra veicoli deragliati e le strutture adiacenti la ferrovia.
In assenza di specifiche analisi di rischio si possono assumere le seguenti azioni statiche equivalenti:

- Per d (distanza degli elementi esposti dall'asse del binario) ≤ 5.0 m:
- **4000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia**
 - **1500 kN in direzione perpendicolare**

- Per $5.0\text{m} < d \leq 15.0$ m:
- **2000 kN in direzione parallela alla direzione di marcia**
 - **750 kN in direzione perpendicolare**

- Per $d > 15.0$ m:
- **Nessuna azione**

Le forze non devono essere agenti simultaneamente e devono essere applicate a 1.80m dal piano del ferro

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.4

127

Azioni Eccezionali

Urti da imbarcazioni

Si possono considerare agenti, non simultaneamente, due azioni nelle direzioni parallela ($F_{d,y}$) e ortogonale ($F_{d,x}$) alla direzione del moto dell'imbarcazione, con:

$$F_{d,y} = 0.50F_{d,x}$$

Simultaneamente all'azione $F_{d,y}$ deve essere considerata l'azione tangenziale F_R dovuta all'attrito

$$F_R = 0.40F_{d,y}$$

Classe imbarcazione	Lunghezza [m]	Massa a pieno carico [t]	Forza $F_{d,x}$ [kN]
Piccola	50	3000	30000
Media	100	10000	80000
Grande	200	40000	240000
Molto grande	300	100000	460000

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.5

128

Azioni Eccezionali

Urti da elicotteri

Se in progetto è previsto il possibile atterraggio di elicotteri sulla copertura della costruzione, si deve considerare un'azione eccezionale per gli atterraggi di emergenza

Forza statica verticale equivalente di progetto:

$$F_d = 100\sqrt{m}$$

Con m massa in tonnellate dell'aeromobile

Si deve considerare che le azioni dell'urto possano agire su ogni parte dell'area di atterraggio e del tetto ad almeno una distanza di 7m dai limiti dell'atterraggio.
L'area di impatto può essere assunta pari a 2m x 2m.

Norme tecniche per le costruzioni 14 gennaio 2008 - punto 3.6.3.6

129

FINE

130