

AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Le costruzioni possono essere sottoposte a forze di varia natura, distribuzione e intensità. Alcune agiscono senza modificazione nel tempo (carichi permanenti) altre sono invece variabili nel tempo (carichi accidentali).

Per il calcolo delle costruzioni si fa solitamente riferimento, per quanto riguarda i carichi accidentali, a condizioni semplificate e convenzionali, non di rado poco rispondenti alla realtà, che sono definite per riprodurre stati di sollecitazione che siano non inferiori a quelli più gravosi conseguenti ai carichi effettivi.

Nella maggioranza dei casi le forze si considerano applicate staticamente, ossia con lentezza tale da non dar luogo a sensibili effetti dinamici sulle strutture, oppure, nel caso di azioni applicate dinamicamente, si ricorre, se possibile, ad azioni applicate staticamente, ma maggiorate in modo da tener conto del loro effetto dinamico.

Un esempio di condizione di carico convenzionale, resa necessaria dalla grande aleatorietà dei valori e delle distribuzioni delle forze effettive, è dato dal calcolo dei solai degli edifici: per i carichi accidentali si considera un carico statico uniformemente ripartito sull'intera superficie o, se vi sono più elementi di solaio fra loro contigui, distribuito in modo da provocare i valori massimi delle sollecitazioni nelle sezioni più significative. Nel caso di superfici molto estese o di strutture con un elevato numero di piani, può essere lecita qualche piccola riduzione del carico accidentale complessivo.

Al fine di tener conto del fatto che i carichi possono essere applicati in modo brusco sulla struttura per la definizione delle pressioni massime per affollamento da applicare sui solai (diverse a seconda della destinazione d'uso dell'edificio) si ricorre a valori delle pressioni superiori a quelli corrispondenti al massimo affollamento statico.

Gli effetti dinamici dipendono però anche dalle caratteristiche della struttura e vi sono casi in cui non è lecito prescindere da un'analisi dinamica. Inoltre, in certi casi, la natura dinamica delle forze è talmente essenziale da rendere inadeguato un calcolo di tipo statico: si pensi all'azione di macchine in movimento sulla struttura, alle azioni sismiche e, talvolta, all'azione del vento. In questi casi, oltre a problemi inerenti alla resistenza, diventa necessario valutare anche il grave pericolo di risonanze.

Stati di sollecitazione, spesso molto importanti, possono insorgere anche in assenza di forze esterne e vengono detti stati di *coazione*: la presenza di cedimenti vincolari, di variazioni termiche, del ritiro presente negli elementi in conglomerato cementizio durante la solidificazione sono alcune delle cause che possono dar luogo a questi stati di coazione.

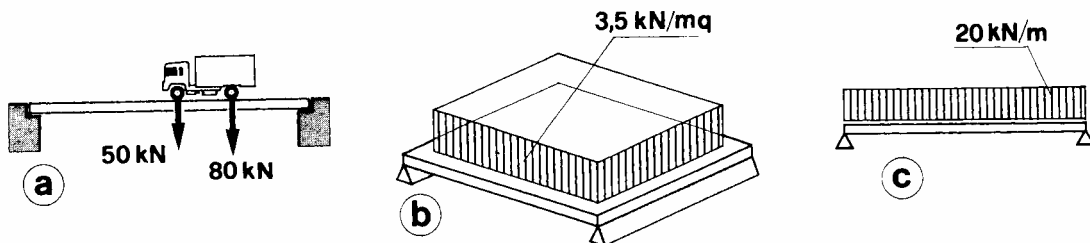
1. LE AZIONI SULLE STRUTTURE

Le azioni esterne che sollecitano una struttura possono essere di natura meccanica, di tipo diretto (carichi) e di tipo indiretto (spostamenti impressi) e di natura chimico-fisica (dovute agli eventi ambientali)

Le azioni meccaniche costituite dai carichi vengono rappresentate come

- **Carichi concentrati** (forze e coppie)
- **Carichi distribuiti**

Tipo di azione	estensione	dimensioni	unità di misura
Carico concentrato	puntuale	Forza	N, kN, kgf
Carico distribuito	superficiale	Forza/superficie	N/m^2 , kN/m^2 , kgf/m^2
Carico distribuito	lineare	Forza/lunghezza	N/m , kN/m , kgf/m



Le azioni prodotte da spostamenti impressi si dividono in

- **deformazioni imposte** di tipo naturale: le variazioni termiche, il ritiro, la viscosità
- **deformazioni imposte** di tipo artificiale: i cedimenti vincolari, i difetti di montaggio, l'effetto della precompressione , ecc.

Le azioni prodotte da forze possono essere applicate

- **in modo dinamico** quando il valore del carico cambia rapidamente nel tempo in intensità, direzione o verso (azioni trasmesse da macchinari, azione del sisma). Solitamente è possibile

studiare l'effetto prodotto da un carico dinamico conducendo un'analisi statica con carichi opportunamente aumentati da un **coefficiente dinamico** >1

- **in modo statico** quando il valore del carico viene raggiunto gradualmente e si mantiene costante nel tempo.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La valutazione delle azioni da assumere nel calcolo delle strutture è codificata nella normativa, che indica in modo specifico i vari *tipi di carichi* e di *condizioni di carico*.

Le azioni agenti sulle strutture vengono suddivise in due categorie: **principali** e **secondarie** (o **complementari**):

- **principali**
 - i carichi permanenti
 - i carichi di esercizio
 - la neve
 - la spinta delle terre
 - la spinta dei materiali
 - l'effetto dinamico
 - le coazioni impresse
- **complementari**
 - il vento
 - variazioni termiche
 - il ritiro
 - i fenomeni viscosi
 - le imperfezioni dei vincoli
 - i difetti di montaggio

Le **condizioni di carico** da assumere nel calcolo delle strutture sono quelle che cumulano nel modo più sfavorevole tali azioni.

Vengono definite condizioni di carico I quelle in cui si cumulano le sole azioni principali, condizioni di carico II quelle in cui si combinano, sempre nel modo più sfavorevole, le azioni principali e le complementari.: vengono assegnati coefficienti di sicurezza diversi.

2.1 Carichi e sovraccarichi

Tutti i carichi e i sovraccarichi di esercizio sono considerati agire staticamente, eccetto casi particolari. I carichi e i sovraccarichi si assumono generalmente come carichi uniformemente ripartiti per le verifiche di insieme.

2.1.1 Carichi permanenti

Sono considerati permanenti i carichi non rimuovibili durante il normale esercizio della costruzione, come tamponature esterne, divisori interni, massetti, isolamenti, pavimenti, controsoffitti, impianti e il peso proprio degli elementi strutturali.

Si valutano sulla base delle dimensioni effettive delle opere e dei pesi per unità di volume dei materiali costituenti.

Per procedere al computo dei carichi permanenti si fa riferimento ai pesi unitari previsti dalla normativa.

2.2.2 Carichi di esercizio

Sono i carichi rappresentati dai **carichi accidentali** o **sovraccarichi** (arredi, persone, ..).

I valori riportati dalla normativa sono da considerare come minimi, per condizioni di uso corrente nelle rispettive categorie, e comprendono gli effetti dinamici ordinari (movimento delle persone, cadute accidentali di oggetti, ..): sono rappresentati da **carichi verticali ripartiti su di una superficie**. I carichi accidentali non devono essere mai cumulati sulla stessa superficie con i sovraccarichi per neve.

I **carichi orizzontali ripartiti linearmente** vanno applicati a pareti (a 1,20 m dal piano di calpestio) e a parapetti e mancorrenti (alla quota del bordo superiore) per simulare la spinta della folla sull'elemento considerato.

I **carichi orizzontali concentrati** devono essere utilizzati per le verifiche locali di parapetti, ringhiere, ecc. e devono essere applicati all'altezza superiore del bordo del mancorrente o, nel caso di pareti, alla quota di 1,2 m dal piano di calpestio.

I **carichi verticali concentrati** devono essere impiegati per le verifiche locali delle membrature e si intendono concentrati su una superficie di impronta definita dalla normativa.

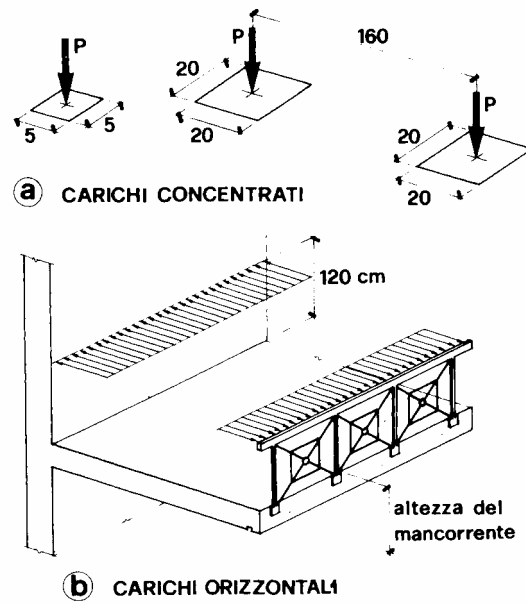


Fig.2.1

(Figura tratta da Di Pasquale, Messina, Paolini, Furiozzi, *Costruzioni*, Le Monnier, vol II)

2.3 Neve

Il carico sulla copertura di una costruzione dovuto alla neve è da determinare tenendo conto delle condizioni locali.

Il peso proprio della neve aumenta con l'età del manto nevoso e dipende dal sito, dal clima e dall'altitudine secondo le seguenti indicazioni schematiche

- neve fresca appena caduta 1,0 kN/m³
- dopo molte ore o giorni 2,0 kN/m³
- dopo settimane o mesi 2,5÷3,5 kN/m³
- neve umida 4,0 kN/m³

I valori citati si riferiscono alla neve al suolo.

Particolari concentrazioni di peso si possono avere in corrispondenza dei compluvi. Per coperture inclinate di più di 60° il carico per innevamento può essere trascurabile, se lo scivolamento della neve non è impedito da sporgenze e appositi ritegni.

La norma stabilisce che sulle coperture il valore del carico per neve agente verticalmente, riferito al mq di proiezione delle coperture stesse (carico neve), è dato da

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

q_s è il carico sulla copertura

μ_i è il coefficiente di forma sulla copertura

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

I valori di q_{sk} dipendono dalla zona in cui si colloca la Regione italiana considerata e dall'altitudine s.l.m., a_s , della costruzione. Il coefficiente di forma μ_i dipende invece dalla tipologia tecnologica della copertura e dalla pendenza delle falde.

Per il valore più ricorrente di μ_i di 0,8 i **valori minimi del carico neve** sulle coperture risultano

Zona	kg/m ²	kN/m ²
I	128	1,28
II	92	0,92
III	60	0,60

La suddivisione in zone per il carico neve al suolo è riportata nella figura sottostante.



Fig. 6.1 - Mappa per carico neve al suolo.

Fig 2.2

2.4 Vento

Il vento ha natura molto complessa e mutevole: in genere esercita un'azione di fondo abbastanza persistente, ma presenta anche fluttuazioni di frequenza e di intensità che possono provocare sollecitazioni dinamiche molto rilevanti per strutture particolarmente deformabili. Quando il vento spirava in modo regolare si possono manifestare anche altri fenomeni dinamici: la struttura può presentare vibrazioni trasversali, ossia in piani perpendicolari alla direzione del vento, causate da particolari fenomeni aerodinamici che verranno accennati nel seguito.

Il vento esercita quindi sulle costruzioni azioni che variano nel tempo provocando, in generale effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte ad azioni statiche equivalenti. Per strutture di particolare forma e importanza si deve ricorrere invece a specifici accertamenti sperimentali.

Si suppone che il vento spiri orizzontalmente e la sua azione viene quindi ricondotta ad una forza applicata staticamente con distribuzione spesso uniforme. Le azioni del vento si traducono quindi in **pressioni** e **depressioni** ortogonali alle superfici investite (Fig. 2.3) e non di rado gli effetti più temibili sono provocati proprio dall'azione di queste ultime.

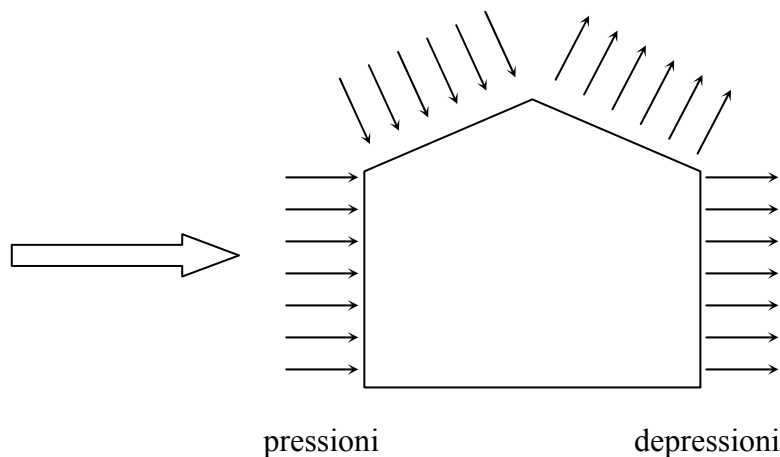


Fig.2.3

L'azione orizzontale del vento diretta tangenzialmente ad una costruzione viene valutata solo nel caso di elementi di grande estensione (Fig 2.4).

direzione del vento

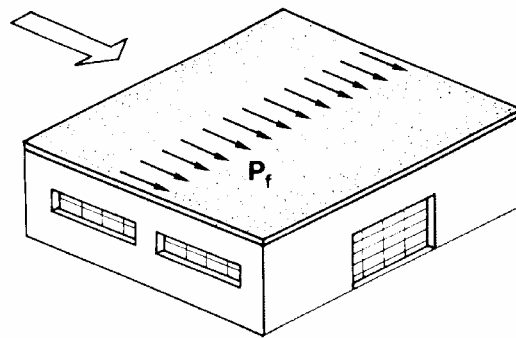


Fig.2.4

(Tratta da Di Pasquale, Messina, Paolini, Furiozzi, *Costruzioni*, Le Monnier, vol II)

L'azione di 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 reticolari a sezione quadrata, si deve considerare anche l'ipotesi che il vento soffi secondo la direzione di una delle diagonali.

2.4.1. Pressione del vento

I valori massimi della velocità del vento variano a seconda della località, risentono dell'azione frenante del terreno e dipendono dalla natura del terreno stesso e dall'altezza della costruzione. La velocità del vento è rilevata tramite gli anemometri e, per avere qualche dato in merito ai valori massimi che essa può raggiungere, si pensi che su vette e lungo alcune coste sono stati misurati valori massimi, in fase di raffica, sino a circa 70 m/sec ($\cong 250$ km/h), mentre nell'entroterra difficilmente si riscontrano valori superiori a 50 m/sec ($\cong 180$ km/h).

Nota la velocità v del vento è possibile calcolare la *pressione cinetica* esercitata, tramite la formula

$$q_c = \frac{\rho v^2}{2} ;$$

poiché la densità dell'aria $\rho = \frac{\gamma}{g}$ è circa $0,125 \text{ kg sec}^2 / \text{m}^4$ $\left[\begin{array}{c} \text{kg} \\ \text{m}^3 \\ \text{m} \\ \text{sec}^2 \end{array} \right]$, la *pressione cinetica* risulta

allora espressa da

$$q_c \cong \frac{v^2}{16} \text{ kg/m}^2 \text{ (con } v \text{ in m/sec).}$$

Al valore di velocità v di 70 m/sec , riportato sopra, corrisponde quindi una pressione cinetica $q_c \cong 310 \text{ kg/m}^2$, mentre a $v = 50 \text{ m/sec}$ corrisponde $q_c = 160 \text{ kg/m}^2$.

La normativa italiana definisce la *pressione convenzionale* p esercitata dal vento e considerata agire *staticamente* in funzione della pressione cinetica q e di alcuni coefficienti:

$$p = q_{ref} C_e C_p C_d$$

dove:

q_{ref} è la *pressione cinetica di riferimento* (in N/m^2) fornita da $q_{ref} = \frac{v_{ref}^2}{1,6}$, con v_{ref} velocità di riferimento (in m/s)

C_e è il *coefficiente di esposizione*, che dipende dall'altezza z della costruzione sul suolo, dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dall'esposizione del sito dove sorge la costruzione

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*

2.4.2 Considerazioni sulla tipologia e sulla geometria delle costruzioni

Edifici a pianta rettangolare con coperture piane o curve

I dati sperimentali relativi a edifici di tale forma sono, come è facilmente comprensibile, molto diffusi. Si riportano in figura i fenomeni legati all'apparizione di moti turbolenti nella scia dell'ostacolo al vento, che sono molto diversi a seconda della forma dell'edificio.

I vortici per una costruzione ampia e bassa ammettono assi pressoché orizzontali (fig.2.5), mentre quando l'edificio ha forma a torre i vortici ruotano in genere i loro assi, che possono diventare pressoché verticali. In questi casi, specialmente nelle parti sotto vento e in vicinanza degli spigoli, ossia nell'intorno delle discontinuità delle superfici delimitanti il corpo, le masse d'aria formano le

maggiori turbolenze e i valori delle pressioni sono rapidamente mutevoli e meno attendibili risultano le ipotesi di uniformità e staticità dell'azione del vento.

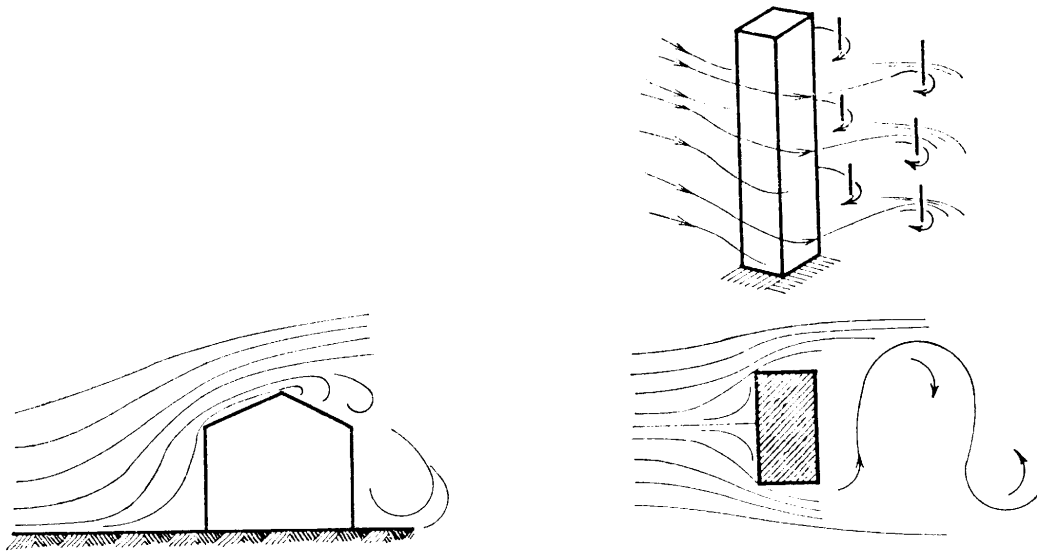


Fig 2.5

(Tratta da Pozzati, *Teoria e tecnica delle strutture*, UTET, vol.I)

Come è stato già accennato in precedenza l'azione del vento si traduce in **pressioni** ortogonali alle superfici direttamente esposte al vento (sopra vento) e in **depressioni** sulle superfici sottovento. Per avere una immediata comprensione delle parti della costruzione che risultano sopra vento e sottovento si immagini di illuminare la costruzione con una fonte luminosa con i raggi paralleli alla direzione del vento: le superfici sopra vento sono quelle in luce, le superfici sottovento sono quelle in ombra.

Nel caso di edifici stagni la pressione del vento agisce solo sulle superfici esterne con coefficienti distributivi c_{pe} illustrati in Fig. 2.6.

Costruzioni stagne

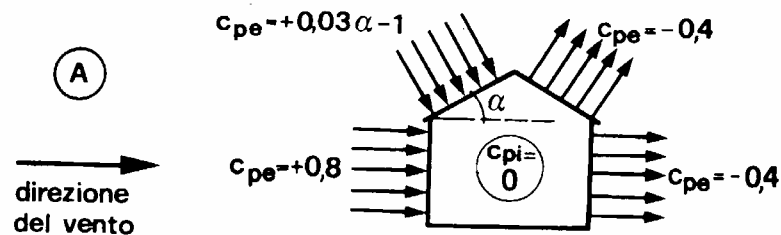


Fig 2.6. Coefficiente di forma c_{pe} per costruzioni stagne

In relazione all'angolo α d'inclinazione delle falde della copertura il diagramma di Fig 2.7 fornisce i valori del coefficiente di forma c_{pe} per superfici sopra e sotto vento. Esaminando il diagramma si nota che per angoli di falda α minori di 20° (e quindi nella maggior parte dei casi di edifici di civile abitazione in ambiti urbani in pianura) le falde di copertura sono sempre in depressione.

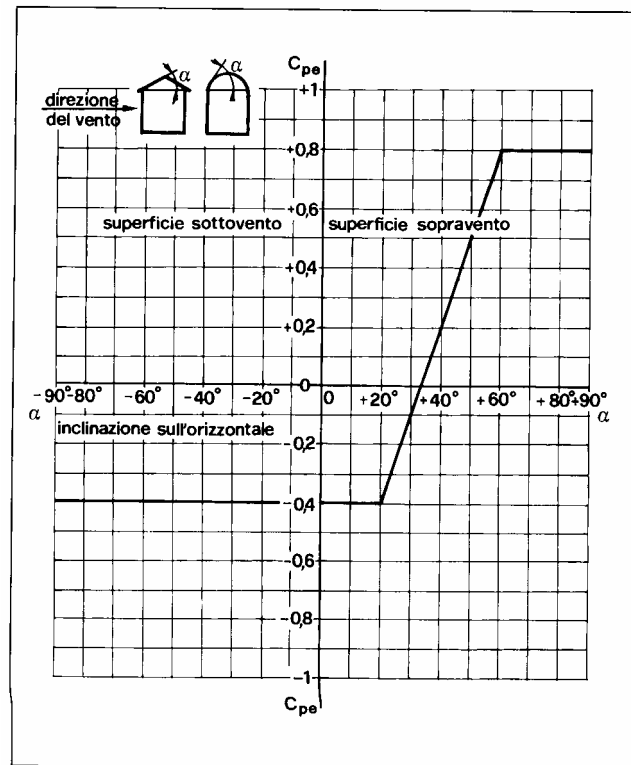


Fig 2.7.

Coefficiente di forma c_{pe} per falde con inclinazione α sull'orizzontale

Nel caso di costruzioni non stagne oltre alle pressioni sulle superfici esterne (correlate al coefficiente di forma esterno c_{pe}) bisogna applicare una pressione anche sulle superfici interne (dipendente da un coefficiente di forma interno $c_{pi} = \pm 0,2$). Pertanto su una stessa superficie bisogna sommare l'azione del vento agente sulla parete esterna con l'azione sulla parete interna considerando i segni (in pressione + e in depressione -) che forniscono la condizione di carico più gravosa. In Fig. 2.8 si riportano i coefficienti di forma c_{pe} e c_{pi} per costruzioni non stagne.

Costruzioni non stagne

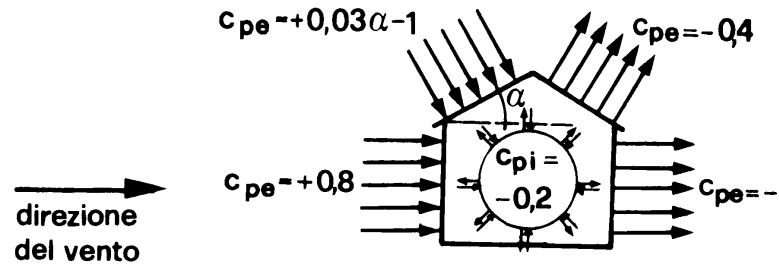


Fig. 2.8

Coefficienti di forma c_{pe} e c_{pi} per costruzioni non stagne

Travi reticolari e a parete piena

Per *travi isolate* si considera la pressione esercitata solo sulla superficie della parte piena della trave. Indicando con

S = la superficie totale delimitata dal contorno della trave

S_p = la superficie della sola parte piena della trave

la pressione viene calcolata utilizzando valori del coefficiente di forma c_p che variano con il valore del rapporto

$$\varphi = \frac{S_p}{S}$$

In particolare

$$c_p = 2 - \frac{4}{3} \cdot \varphi \quad \text{per } 0 \leq \varphi \leq 0,3$$

$$c_p = 1,6 \quad \text{per } 0,3 \leq \varphi \leq 0,8$$

$$c_p = 2,4 - \varphi \quad \text{per } 0,8 \leq \varphi \leq 1.$$

L'azione complessiva del vento normale alla trave risulta quindi la seguente

$$N = p \cdot S_p$$

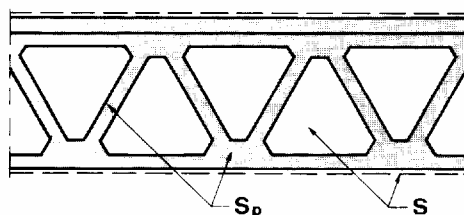


Fig 2.9

Se si hanno *più travi* disposte parallelamente a distanza d si hanno tre casi

1. se d è minore del doppio dell'altezza h delle travi ($d \leq 2h$) il valore della pressione su ciascun elemento è da assumere uguale a quello della pressione agente sulla trave precedente moltiplicato per un coefficiente di riduzione μ che dipende da φ .
2. se d è maggiore del quintuplo di h ($d > 5h$) l'effetto di schermo prodotto dalla trave precedente si trascura e non si usano coefficienti riduttivi.
3. se $2h < d \leq 5h$ si calcola μ facendo un'interpolazione fra 1 e i valori del caso 1.

Torri e pali a traliccio

Per torri e pali a traliccio a sezione rettangolare o quadrata si procede valutando l'azione del vento perpendicolare ad una delle pareti e l'azione del vento agente secondo una delle diagonali della sezione della torre.

1. L'azione complessiva del vento *normale* ad una delle pareti è data da

$$N = p \cdot S_p$$

dove S_p è la superficie della parte piena di una sola faccia, p è il valore della pressione del vento calcolata con un coefficiente di forma c_p definito come segue:

$$c_p = 2,4 \quad \text{per torri con elementi tubolari a sezione circolare}$$

$$c_p = 2,8 \quad \text{per torri con elementi aventi sezione diversa dalla circolare}$$

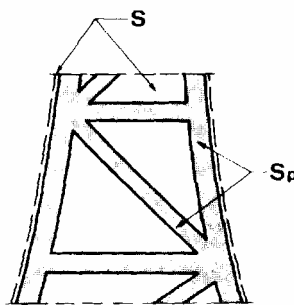


Fig 2.10

2. L'azione complessiva per vento spirante in direzione *di una diagonale* è data da 1,15 volte N definita secondo la *direzione normale*.

Eccettuati casi con documentazione specifica, gli stessi coefficienti si adottano anche per torri a sezione triangolare, per le quali non è necessario applicare il coefficiente 1,15.

Corpi cilindrici

Per corpi cilindrici a sezione circolare di diametro d e di lunghezza h (in metri) l'azione complessiva è calcolata come segue:

$$N = p \cdot d \cdot H$$

Nella formula la pressione p dipende da un coefficiente di forma c_p variabile (funzione del diametro d , della pressione cinetica di riferimento q_{ref} e del coefficiente di esposizione c_e).

Senza scendere nel dettaglio e rimandando alla normativa per approfondimenti si pone l'accento sul fatto che nella categoria dei corpi cilindrici rientrano sia quelli aventi diametri piccoli rispetto alla lunghezza (**funi**) sia quelli con diametri paragonabili all'altezza (**serbatoi**).

2.4.3 Effetti dinamici del vento

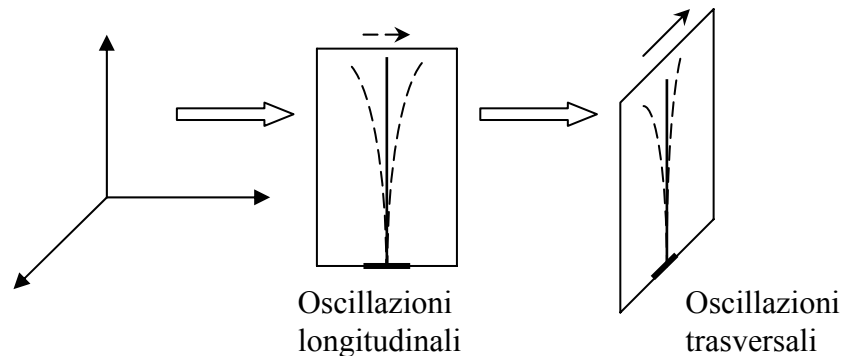
Come è già stato notato in precedenza, è difficile fare previsioni generali e sicure per l'azione del vento. Nei paragrafi 2.4.1. e 2.4.2. si è visto come, nella maggior parte dei casi, sia possibile riprodurre gli stati di tensione agenti in una struttura per l'azione dinamica del vento attraverso condizioni di carico fittizie rappresentate dalle pressioni statiche.

E' importante, però, fare cenno ad alcuni fenomeni dinamici importanti connessi con l'azione del vento.

L'azione del vento è costituita da molte e variabili componenti: di solito vi è una componente dominante, che possiede oscillazioni a lungo periodo, ed altre componenti variabili con periodo più breve. Si può considerare quindi la pressione del vento come somma di una parte persistente e di un'altra fluttuante, a simulazione delle raffiche.

Le strutture degli edifici hanno rigidità elevata e quindi anche elevati valori delle frequenze di oscillazione naturale: le frequenze delle raffiche (che non superano il numero di 40 al minuto e sono quindi inferiori ad 1 Hertz) risultano quindi sensibilmente inferiori alle frequenze di oscillazione naturale delle usuali strutture. La natura pulsante del vento può dar luogo a pericolosi effetti di **risonanza** *quando la frequenza delle raffiche e la frequenza propria della costruzione*

sono dello stesso ordine di grandezza. Solo strutture molto snelle e molto deformabili possono però essere a rischio di subire forti **oscillazioni longitudinali** nella direzione del vento, maggiori di quelle indotte dai valori medi delle pressioni. Alcuni regolamenti impongono per questo motivo limiti alle frequenze naturali delle strutture: per avere un ragionevole margine di sicurezza il periodo di oscillazione di una costruzione in cemento armato (a base rettangolare) deve essere minore di un secondo (frequenza ≥ 1 Hertz) e, per una costruzione in acciaio, minore di 0,75 secondi (frequenza $\geq 1,3$ Hertz).



Il vento, però, può indurre in una costruzione non solo oscillazioni aventi la stessa direzione del vento, ma può provocare anche **oscillazioni trasversali**, ossia in direzione normale a quella del vento. Nel caso di strutture molto alte e snelle le oscillazioni trasversali sono maggiori delle oscillazioni in direzione del vento: ad esempio in una torre cilindrica ($H = 100\text{m}$ e $D = 8\text{ m}$) a movimenti alla sommità della torre, in direzione del vento, dell'ordine di 1 cm possono corrispondere spostamenti in direzione trasversale circa quattro volte più grandi.

Queste oscillazioni possono verificarsi non solo sotto raffica, ma anche nel caso di venti spiranti con velocità pressoché costante.

Per capire questo fenomeno, causato dalla turbolenza provocata da un ostacolo al deflusso dell'aria, immaginiamo un corpo cilindrico allungato disposto verticalmente investito da un vento orizzontale di intensità costante lungo l'asse del cilindro (Fig. 2.11).

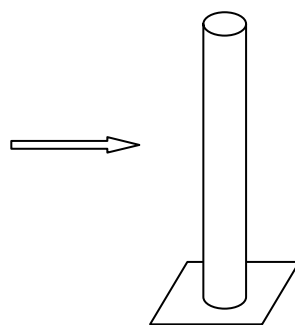


Fig 2.11

Come abbiamo già visto precedentemente i vortici che si creano a ridosso dell'ostacolo, se quest'ultimo è sufficientemente alto, hanno asse pressoché verticale (Fig. 2.7. b).

Per basse velocità la scia è simmetrica e il deflusso dell'aria è regolare, come illustrato nel caso a) di Fig.2.12 , dove il cilindro è visto dall'alto.

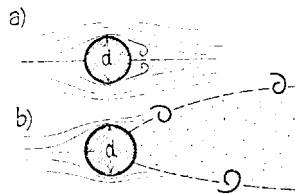


Fig.2.12

Se la velocità aumenta fino a raggiungere un particolare valore, si formano vortici alternati con regolare sequenza a ridosso del cilindro, come illustrato nel caso b) di Fig 2.12: questi movimenti oscillatori trasversali di masse d'aria sono quindi la causa delle vibrazioni trasversali del cilindro.

In modo analogo si creano dei vortici in corrispondenza degli impalcati dei ponti sospesi.

La sezione dell'impalcato ha la dimensione maggiore secondo la direzione del vento e presenta forma irregolare per la presenza delle travi di irrigidimento longitudinali: funziona un po' come una cattiva ala d'aereo e i vortici alternati (ad asse orizzontale) che si creano sopra e sotto il piano stradale possono dar luogo a vibrazioni verticali dell'impalcato (perpendicolari alla direzione del vento che spira orizzontalmente). Questo fenomeno fu studiato nei primi anni del 1900 da T. von Karman e questi vortici sono spesso chiamati *vortici di Karman*: fu così spiegata la frequente tendenza di alcuni corpi a vibrare in direzione trasversale alla direzione del vento.

Per concludere è necessario quindi tener conto di possibili fenomeni vibratorii anche in direzione ortogonale al vento: può infatti verificarsi il caso di una struttura con frequenza di oscillazione naturale molto diversa da quella delle raffiche, che però può coincidere con la frequenza dei vortici di Karman, che può essere più elevata e regolare.

Naturalmente i vortici di von Karman corrispondono ad un particolare aspetto dei complessi fenomeni dell'aerodinamica, e stati vorticosi, con effetti pulsanti delle strutture, possono derivare da innumerevoli e diverse circostanze: molto spesso si formano a causa delle inevitabili irregolarità delle superfici esterne delle costruzioni, dell'attrito con esse e della viscosità dell'aria.

Ovviamente tali questioni possono divenire preminenti soprattutto nei progetti di strutture snelle, fortemente deformabili, quali possono essere, ad esempio, le torri radio con o senza stralli (Fig.

2.13), i camini, gli edifici alti, specialmente se poco irrigiditi da muri, le coperture realizzate con tensostrutture, i ponti sospesi.¹

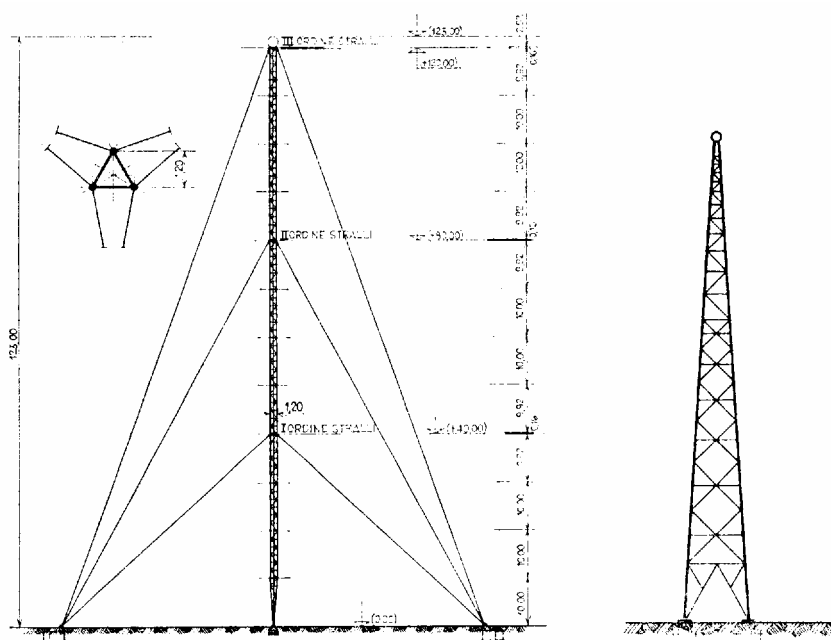


Fig. 2.13

(Figura tratta da P.Pozzati, *Teoria e tecnica delle strutture*, vol.I)

¹ Il contenuto di questo paragrafo è tratto da Pozzati, *Teoria e tecnica delle strutture*, UTET, vol I)