



ORDINE DEGLI INGEGNERI

DELLA PROVINCIA DI MACERATA

Introduzione a CNR-DT 207 R1/2018

LEZIONE 3

Risposta dinamica

Luca Roncallo

Stefano Brusco

DICCA – University of Genoa

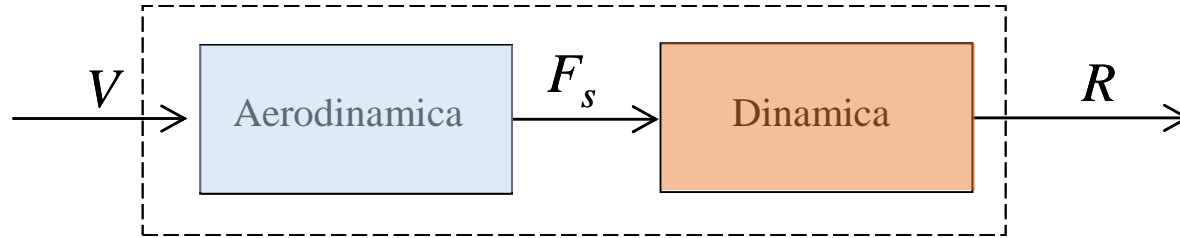
luca.roncallo@edu.unige.it

stefano.brusco@edu.unige.it



**Università
di Genova**





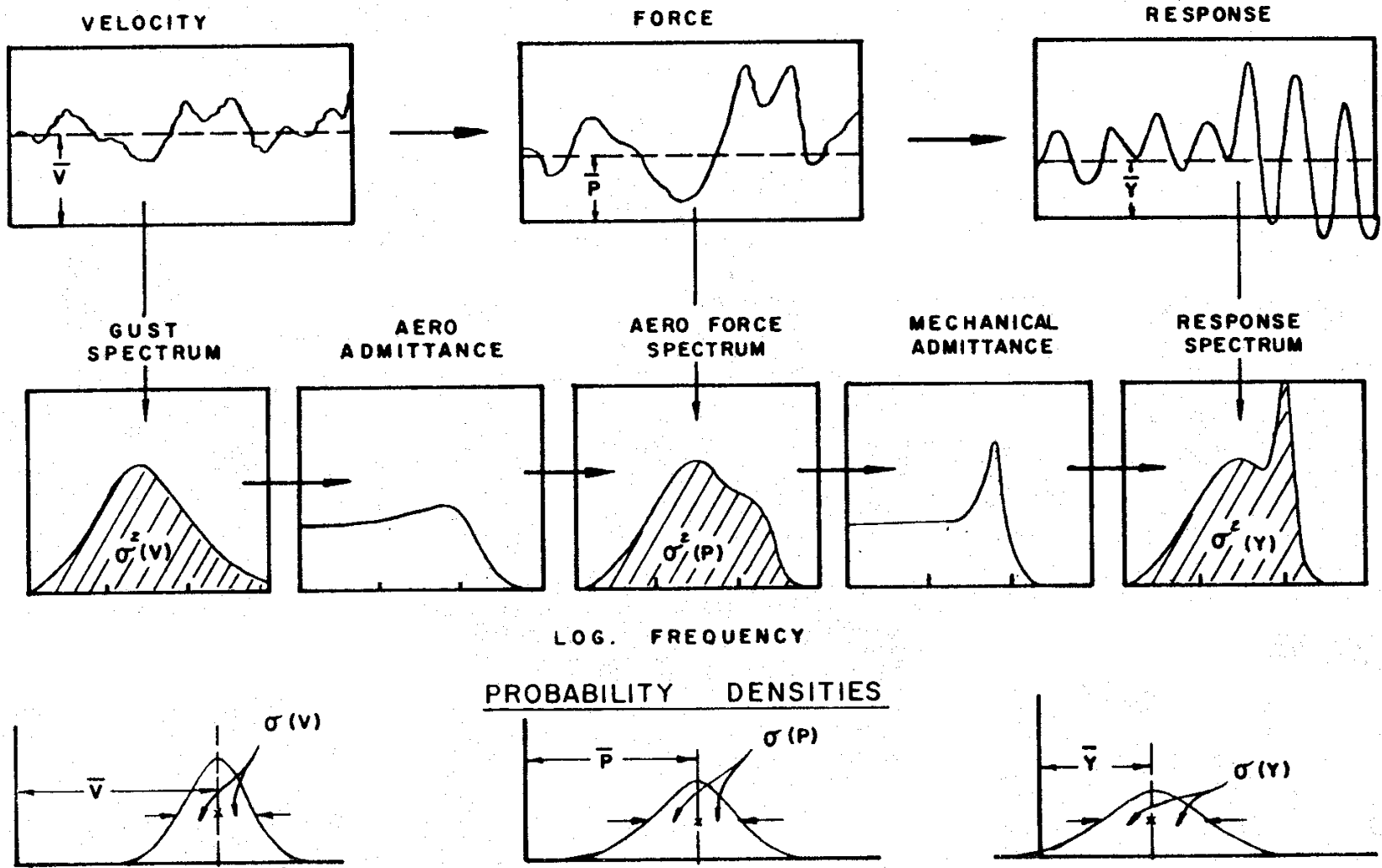
Le azioni aerodinamiche rappresentano i valori di picco esercitati dal vento sulla costruzione nel suo insieme o sui suoi singoli elementi.

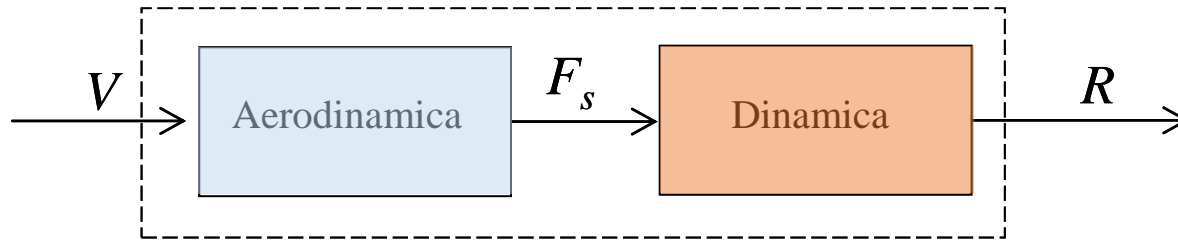
La non contemporaneità delle azioni di picco riduce le azioni aerodinamiche globali, in misura tanto maggiore quanto più esteso è il corpo considerato.

L'amplificazione della risposta dinamica dà luogo a spostamenti e sollecitazioni tanto maggiori quanto più la struttura o l'elemento è flessibile e dotato di piccolo smorzamento.



Davenport chain (1962)





La maggior parte delle costruzioni e dei loro elementi è dotata di rigidezza e smorzamento abbastanza elevati da limitare gli effetti dinamici ed escludere pericolosi fenomeni aeroelastici.

In questi casi, le azioni del vento possono essere rappresentate mediante **distribuzioni equivalenti di carico** che, applicate staticamente alla costruzione o ai suoi elementi, diano luogo ai valori massimi degli spostamenti e delle sollecitazioni indotte dall'azione dinamica del vento effettivo.

$$\text{Azioni statiche equivalenti longitudinali} = \text{Azioni aerodinamiche longitudinali di picco} \times c_{dD}$$

c_{dD} è il coefficiente dinamico longitudinale



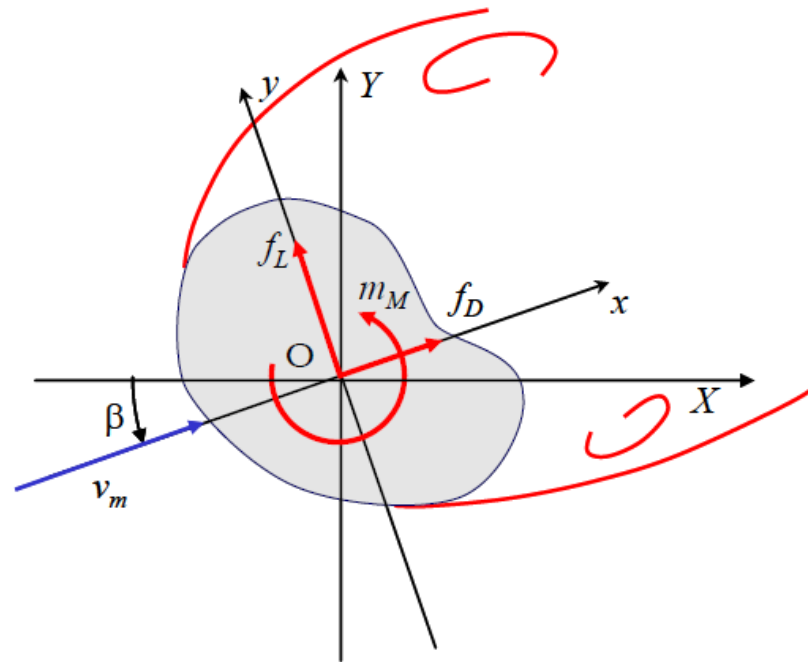
Risposta dinamica:

- Risposta dinamica delle strutture;
- Coefficiente dinamico;
- Forze statiche equivalenti;
- Accelerazioni e verifiche di abitabilità;
- Applicazione



Ammettendo che gli spostamenti causati dal vento siano piccoli, essi possono essere stimati applicando sul corpo le azioni aerodinamiche valutate trattando il corpo come fisso e indeformabile (Par. 2.4).

Tali azioni sono schematizzate (per unità di lunghezza) mediante una forza longitudinale f_D (D = drag, resistenza, in direzione x), una forza trasversale f_L (L = lift, portanza, in direzione y) e un momento torcente m_M (intorno all'asse z).



Risposta dinamica

Per effetto di tali azioni il corpo manifesta tre forme di risposta, definite longitudinale (D), trasversale (L) e torsionale (M). La risposta longitudinale e la risposta trasversale si esplicano, rispettivamente, nei piani x, z e y, z; la rotazione torsionale avviene intorno all'asse z.

Si ammette, per semplicità, che le tre risposte siano non accoppiate.

Assumendo che la struttura possieda un comportamento elastico lineare, l'equazione del moto del grado di libertà longitudinale $x(t)$ assume la forma:

$$\ddot{x}(t) + 2 \cdot \xi_D \cdot (2\pi \cdot n_D) \cdot \dot{x}(t) + (2\pi \cdot n_D)^2 \cdot x(t) = \frac{1}{m} \cdot f_D(t)$$

m massa

n_D frequenza fondamentale

ξ_D smorzamento in direzione longitudinale

$$f_D(t) = f_{Dm} + f'_D(t)$$

Parte media Parte fluttuante

$$x(t) = x_m + x'(t)$$

Parte media Parte fluttuante



L'ipotesi di piccola turbolenza sulla velocità fa sì che sia la forzante che la risposta rimangano Gaussiane

$$x_m = \frac{f_{Dm}}{m(2\pi n_D)^2}$$



L'Appendice I fornisce criteri per la stima delle proprietà dinamiche di diverse tipologie di strutture, assumendo un comportamento elastico lineare e modi di vibrazione classici. Vengono quindi forniti criteri per determinare:

- le frequenze fondamentali;
- le forme modali;
- le masse generalizzate ed equivalenti;
- i momenti di inerzia generalizzati;
- i rapporti di smorzamento relativo al critico

Tali proprietà sono riportate per strutture riconducibili a:

- Mensole con massa concentrata all'estremo libero;
- Strutture snelle (oscillazione flessionale e torsionale);
- Edifici multipiano;
- Ciminiere (oscillazione flessionale e ovalizzazione);
- Impalcati da ponte (oscillazione flessionale e torsionale);
- Cavi tesi (oscillazione trasversale)



EDIFICI MULTIPIANO: FREQUENZE DI OSCILLAZIONE (I.2.4)

Relativamente al primo modo flessionale, la frequenza fondamentale n_1 può essere approssimata come:

$$n_1 = \frac{1}{0,015 \cdot h} \div \frac{1}{0,018 \cdot h} \quad \text{per edifici in cemento armato ed edifici misti}$$

$$n_1 = \frac{1}{0,020 \cdot h} \div \frac{1}{0,024 \cdot h} \quad \text{per edifici in acciaio}$$

dove h è espressa in m e n_1 è espressa in Hz.


h altezza dalla struttura

Le prime stime (frequenze più elevate) sono valide per piccole ampiezze di oscillazione e pertanto sono utilizzabili per le verifiche di abitabilità;

Le seconde stime (frequenze più basse) sono valide per le verifiche agli stati limite ultimi, comunque condotte in ambito elastico.

Per gli **edifici in acciaio** le frequenze dei modi superiori e del primo modo torsionale sono stimate come:

$$n_2 = 3,05 \cdot n_1, \quad n_3 = 5,46 \cdot n_1, \quad n_4 = 7,69 \cdot n_1, \quad n_M = 1,35 \cdot n_1$$

 Le espressioni riportate valgono limitatamente alle strutture nelle quali le vibrazioni trasversali secondo due piani ortogonali, e le vibrazioni torsionali, possano essere considerate non accoppiate. Questa situazione si realizza ad esempio nelle strutture per le quali sia possibile ammettere che i due piani di vibrazione trasversale costituiscono piani di simmetria.



EDIFICI MULTIPIANO: FREQUENZE DI OSCILLAZIONE (I.2.4)

Caso in esame:

Struttura mista con altezza $h = 67,44$ m

$$(I.4) \quad n_1 = \frac{1}{0,015 \cdot h} \div \frac{1}{0,018 \cdot h} = 0,989 \div 0,824 \text{ Hz}$$

➔ La frequenza è posta uguale a $n_1 = 0,9$ Hz sia nei riguardi delle verifiche di sicurezza sia nei riguardi di quelle relative all'abitabilità

La frequenze relative al secondo modo ed a quello torsionale risultano rispettivamente:

$$(I.6) \quad n_2 = 3,05n_1 = 2,75 \text{ Hz}$$

$$(I.7) \quad n_M = 1,35n_1 = 1,20 \text{ Hz}$$



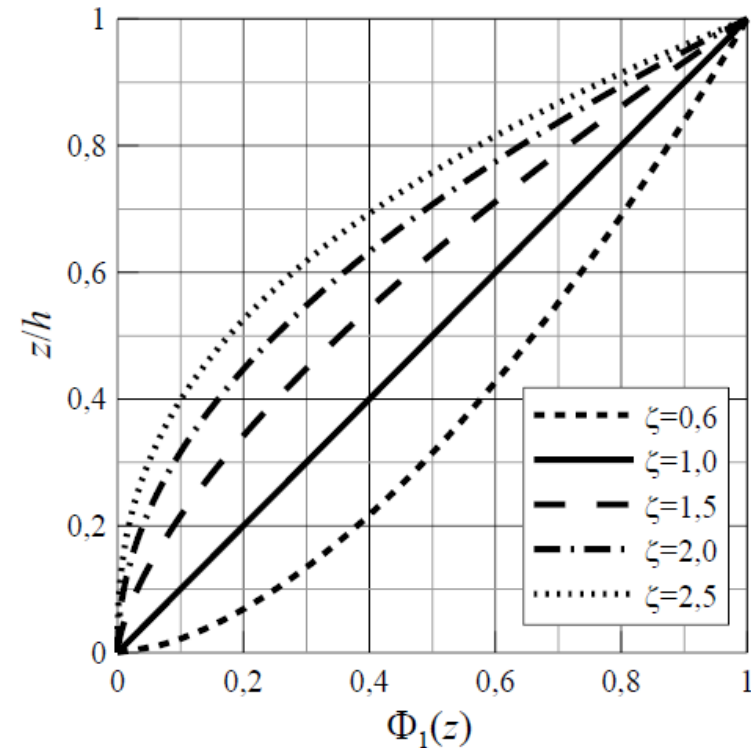
EDIFICI MULTIPIANO: PRIMO MODO DI OSCILLAZIONE (I.3)

La forma del primo modo di oscillazione flessionale per edifici, torri e ciminiere con schema strutturale a mensola, può essere approssimato dalla seguente espressione:

$$\Phi_1(z) = \left(\frac{z}{h}\right)^\zeta$$

ζ È un parametro che definisce la forma del modo di oscillazione per cui sono forniti i seguenti valori:

- $\zeta=0,6$ per strutture intelaiate prive di pareti a taglio;
- $\zeta=1,0$ per edifici con struttura a telaio e nucleo centrale o controventi;
- $\zeta=1,5$ per edifici con comportamento a mensola ed edifici con nucleo centrale
in c.a.;
- $\zeta=2,0$ per torri e ciminiere;
- $\zeta=2,5$ per torri a traliccio in acciaio.



EDIFICI MULTIPIANO: PRIMO MODO DI OSCILLAZIONE (I.3)

Caso in esame:

Struttura a telaio e nucleo centrale

$\zeta=0,6$ per strutture intelaiate prive di pareti a taglio;

$\zeta=1,0$ per edifici con struttura a telaio e nucleo centrale o controventi;

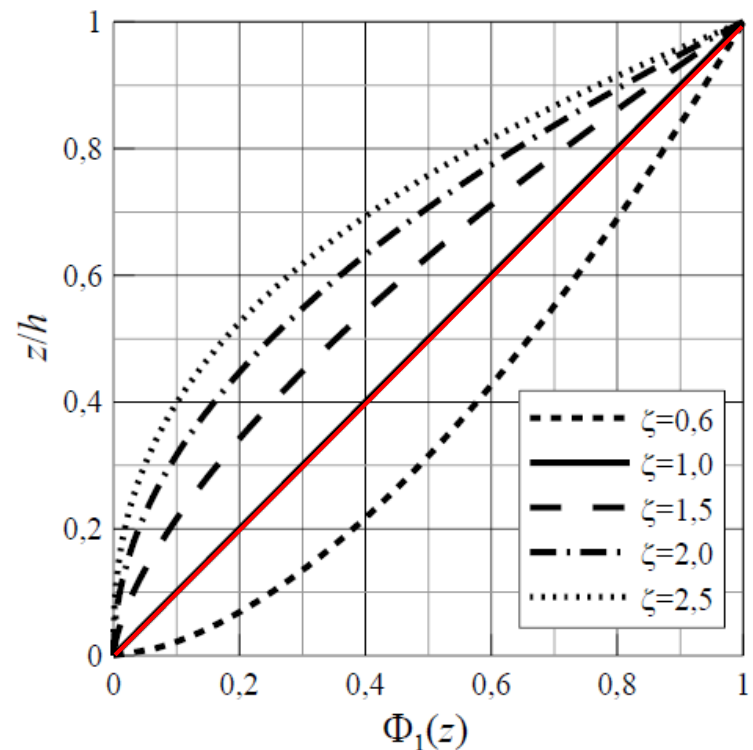
$\zeta=1,5$ per edifici con comportamento a mensola ed edifici con nucleo centrale
in c.a.;

$\zeta=2,0$ per torri e ciminiere;

$\zeta=2,5$ per torri a traliccio in acciaio.

$$(I.23) \quad \zeta = 1 \quad \Rightarrow \quad \Phi_1(z) = \frac{z}{h}$$

Lineare



EDIFICI MULTIPIANO: MASSA GENERALIZZATA E MASSA EQUIVALENTE (I.4)

La massa generalizzata della struttura, m_i , relativa all' i -esimo modo di vibrazione $\Phi_i(s)$, è fornita dall'espressione:

$$m_i = \int_0^h m(s) \Phi_i^2(s) ds$$

$m(s)$ massa per unità di lunghezza

Caso in esame:

Si ammette che l'edificio abbia una densità media di massa uniforme (vuoto per pieno)

$$\rho_m = 250 \text{ kg/m}^3$$

$$m(s) = \rho_m b d = 117 \cdot 10^3 \text{ kg/m}; \quad \Phi_1(z) = \frac{z}{h} \quad h = 67,44 \text{ m}$$

$$(I.25) \quad m_1 = \int_0^h m(s) \left(\frac{s}{h}\right)^2 ds = \rho_m b d \frac{h}{3} = 2,62 \cdot 10^6 \text{ kg}$$



EDIFICI MULTIPIANO: MASSA GENERALIZZATA E MASSA EQUIVALENTE (I.4)

La massa equivalente per unità di lunghezza, $m_{e,i}$, relativa all' i -esimo modo di vibrazione $\Phi_i^2(s)$, è fornita dall'espressione:

$$m_{e,i} = \frac{m_i}{\int_0^h \Phi_i^2(s) ds}$$

➔ Per strutture a mensola con massa variabile, il valore della massa equivalente relativa al primo modo di vibrazione, $m_{e,1}$, può essere approssimato dal valore medio di $m(s)$ sulla terza parte della struttura presso l'estremo libero (h_3 nella Figura I.2 per le strutture verticali), purché il primo modo di vibrazione non cambi di segno lungo la linea d'asse della struttura.

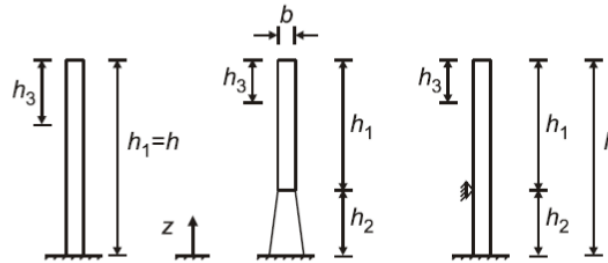


Figura I.2 – Parametri geometrici per ciminiere ($h_3=h_1/3$).

➔ Per strutture sostenute ad entrambi gli estremi e massa variabile, il valore della massa equivalente relativa al primo modo di vibrazione, $m_{e,1}$, può essere approssimato dal valore medio di $m(s)$ sulla lunghezza $l/3$ centrata nella sezione dove $\Phi_1(s)$ assume il valore massimo, purché il primo modo di vibrazione non cambi di segno lungo la linea d'asse della struttura.



EDIFICI MULTIPIANO: MOMENTO DI INERZIA DI MASSA GENERALIZZATO (I.5)

Il momento di inerzia di massa (flessionale o polare) generalizzato della struttura, I_i , relativo all' i -esimo modo di vibrazione $\Phi_i(s)$ è fornito dall'espressione:

$$I_i = \int_0^h I(s) \Phi_i^2(s) ds$$

$I(s)$ momento di inerzia di massa (flessionale o polare) per unità di lunghezza

Caso in esame:

Il momento di inerzia polare di massa per unità di lunghezza risulta:

$$I = \frac{1}{12} m(b^2 + d^2) = 9,07 \cdot 10^6 \text{ kg m}$$

$$(I.27) \quad I_1 = I \int_0^h \left(\frac{s}{h}\right)^2 ds = I \frac{h}{3} = 204 \cdot 10^6 \text{ kgm}^2$$

$$h = 67,44 \text{ m}$$



EDIFICI MULTIPIANO: RAPPORTO DI SMORZAMENTO RELATIVO AL CRITICO (I.6)

Lo smorzamento relativo al critico ξ per il primo modo di oscillazione flessionale può essere stimato attraverso l'espressione:

$$\xi = \xi_s + \xi_a + \xi_d$$

dove:

ξ_s è il rapporto di smorzamento strutturale;


ξ_a è il rapporto di smorzamento aerodinamico;

ξ_d è il rapporto di smorzamento legato alla presenza di eventuali elementi dissipativi.

I paragrafi I.6.1-I.6.4 forniscono valori approssimati del rapporto di smorzamento strutturale ξ_s , relativamente ad alcuni tipi strutturali di particolare interesse per la risposta all'azione del vento.

 Il paragrafo I.6.5 fornisce alcune indicazioni sul calcolo del rapporto di smorzamento aerodinamico.

Per quanto concerne la valutazione del rapporto di smorzamento legato alla presenza di elementi dissipativi, esso deve essere determinato attraverso specifiche analisi teoriche, numeriche e/o sperimentali.

 I paragrafi I.6.1-I.6.4 forniscono il valore del fattore di smorzamento strutturale per il primo modo di vibrazione o, al più, per i primi modi di vibrazione. In mancanza di valutazioni maggiormente accurate, in prima approssimazione, è possibile attribuire ai modi di vibrazione superiori valori del rapporto di smorzamento strutturale pari a quello del massimo modo considerato. Tale criterio semplificato non può essere applicato alla valutazione dello smorzamento aerodinamico e dello smorzamento legato alla presenza di eventuali elementi dissipativi.



EDIFICI MULTIPIANO: RAPPORTO DI SMORZAMENTO STRUTTURALE (I.6.1)

Con l'obiettivo di prendere in esame valori a favore di sicurezza, validi anche per le verifiche agli stati limite di esercizio e di abitabilità (in cui non è significativo il ruolo dell'ampiezza dell'oscillazione sullo smorzamento), si possono adottare le seguenti espressioni dello smorzamento strutturale, comprensivo degli effetti di interazione suolo-struttura:

$$\xi_{s,1} = \frac{1}{100} \cdot \frac{68}{h} \geq 0,01 \quad \text{per edifici in cemento armato, } h \geq 30 \text{ m}$$

$$\xi_{s,1} = \frac{1}{100} \cdot \frac{56}{h} \geq 0,008 \quad \text{per edifici in acciaio, } h \geq 30 \text{ m}$$

Per edifici di altezza h minore di 30 m devono essere utilizzati i valori forniti con $h=30$ m. Tali valori possono essere aumentati per le verifiche agli stati limite ultimi (da effettuarsi sempre in campo elastico) facendo ricorso a trattazioni specialistiche.

Per quanto concerne i modi superiori di edifici alti, i rapporti di smorzamento possono essere considerevolmente maggiori dei valori sopra definiti; essi possono essere approssimati dalle espressioni:

$$\xi_{s,i} = 1,4 \cdot \xi_{s,i-1} \quad (i = 2,3) \quad \text{per edifici in cemento armato, } h \geq 50 \text{ m}$$

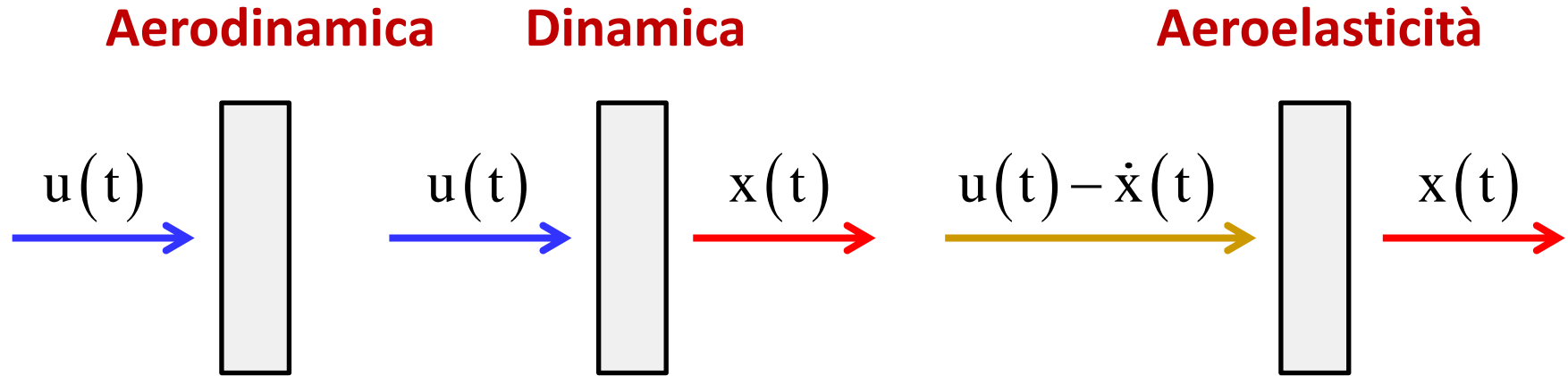
$$\xi_{s,i} = 1,3 \cdot \xi_{s,i-1} \quad (i = 2,3) \quad \text{per edifici in acciaio, } h \geq 50 \text{ m}$$



Non corrispondono ad uno smorzamento di tipo proporzionale, assunzione tipica nelle analisi strutturali.



SMORZAMENTO AERODINAMICO LONGITUDINALE (Alongwind aerodynamic damping)



$u(t)$ = velocità del vento

$x(t)$, $\dot{x}(t)$ = spostamento e velocità della struttura

$u(t) - \dot{x}(t)$ = velocità relativa del vento



$$\ddot{x}(t) + \left(\frac{c}{m} + \frac{\rho \bar{u} c_{fX} A}{m} \right) \dot{x}(t) + \frac{k}{m} x(t) = \frac{1}{m} \left[\bar{f}_x + f'_x(t) \right] \Rightarrow$$

$$\ddot{x}(t) + 2(\xi_s + \xi_a) \omega_0 \dot{x}(t) + \omega_0^2 x(t) = \frac{1}{m} \left[\bar{f}_x + f'_x(t) \right]$$

$$\xi_s = \frac{c}{2m\omega_0} = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \text{structural damping}$$

$$\xi_a = \left(\frac{\rho c_{fX} A}{2m\omega_0} \right) \cdot \bar{u} = \text{aerodynamic damping}$$

$$\xi_t = \xi_s + \xi_a = \text{total damping}$$

$$\xi_a \geq 0 \Rightarrow \xi_t \geq 0$$

I.6.5 (CNR) Rapporto di smorzamento aerodinamico



EDIFICI MULTIPIANO: RAPPORTO DI SMORZAMENTO AERODINAMICO (I.6.6)

Relativamente a strutture mono-dimensionali (aventi una lunghezza prevalente rispetto alle dimensioni della sezione trasversale), il rapporto di smorzamento aerodinamico relativo al primo modo di vibrazione flessionale nella direzione del vento può essere stimato mediante

l'espressione:

$$\xi_a = \frac{c_{fX} \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_e)}{4 \cdot \pi \cdot n_1 \cdot m_{e,1}}$$

dove:

- c_{fX} è il coefficiente di forza nella direzione del vento (Appendice G);
 ρ è la densità media dell'aria, il cui valore raccomandato è $1,25 \text{ kg/m}^3$;
 b è la larghezza della struttura (dimensione ortogonale al vento medio incidente);
 v_m è la velocità media del vento (paragrafo 3.2.5) calcolata all'altezza equivalente z_e definita nel paragrafo L.1 (Figura L.2);
 n_1 è la frequenza del primo modo flessionale;
 $m_{e,1}$ è la massa equivalente per unità di lunghezza relativa al primo modo di vibrazione nella direzione del vento, Eq. (I.26).



può essere utilizzata anche per gli edifici; in questo caso $c_{fX} = (c_{pe,p} - c_{pe,n})$, dove $c_{pe,p}$ e $c_{pe,n}$ sono rispettivamente i coefficienti di pressione sulla faccia sopravvento e sottovento (Appendice G).




In nessun caso è lecito generalizzare l'espressione alla valutazione dello smorzamento aerodinamico relativo alle vibrazioni trasversali e torsionali (Appendici M e O). In tali situazioni, se necessario, la valutazione dello smorzamento aerodinamico richiede il ricorso a valutazioni specialistiche e possibilmente sperimentali.



EDIFICI MULTIPIANO: RAPPORTO DI SMORZAMENTO STRUTTURALE (I.6.1)

Caso in esame: $h = 67,44$ m

$$(I.29) \quad \xi_{s,1} = \frac{1}{100} \cdot \frac{68}{h} \geq 0,01 \quad \text{per edifici in cemento armato, } h \geq 30 \text{ m}$$


 $\xi_{s,1} = 0,01$

Si assume inoltre che anche il rapporto di smorzamento strutturale relativo al primo modo torsionale sia $\xi_{s,1} = 0,01$.

 A favore di sicurezza si trascura lo smorzamento aerodinamico.

 Si ammette infine che non siano presenti apparecchi dissipatori.

Pertanto il rapporto di smorzamento relativo al critico coincide con quello strutturale.

 **(I.28)** $\xi = \xi_{s,1}$



Coefficiente dinamico longitudinale

Azioni statiche equivalenti longitudinali = Azioni aerodinamiche longitudinali di picco $\times c_{dD}$

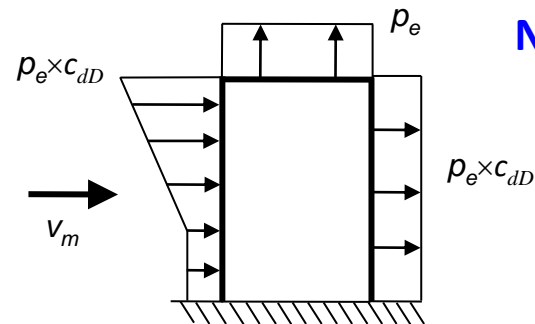
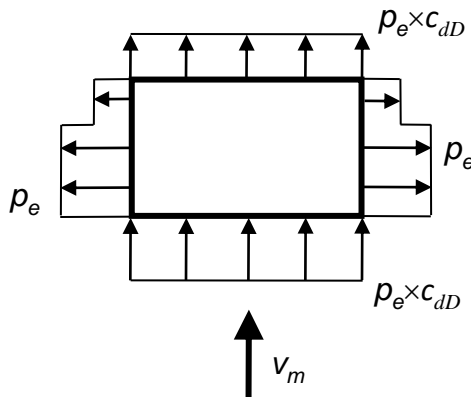
Per **azioni aerodinamiche di picco**, si intende la pressione agente sulle facce esterne della costruzione ($p_e(z)$, Par. 3.3.1), la pressione complessiva su una superficie ($p_n(z)$, Par. 3.3.2), la forza longitudinale risultante su costruzioni ed elementi compatti (Par. 3.3.3), la forza longitudinale per unità di lunghezza su costruzioni ed elementi snelli (Par. 3.3.4).

Il **coefficiente dinamico longitudinale** c_{dD} è una grandezza adimensionale che modifica le azioni aerodinamiche di picco, tenendo conto della correlazione parziale delle azioni del vento e dell'amplificazione in risonanza della struttura



L'utilizzo del coefficiente dinamico longitudinale riguarda le azioni di picco relativamente alle sole componenti nella direzione del vento; non si applica inoltre alla pressione interna e alle azioni tangenti.

NO pareti laterali



NO copertura

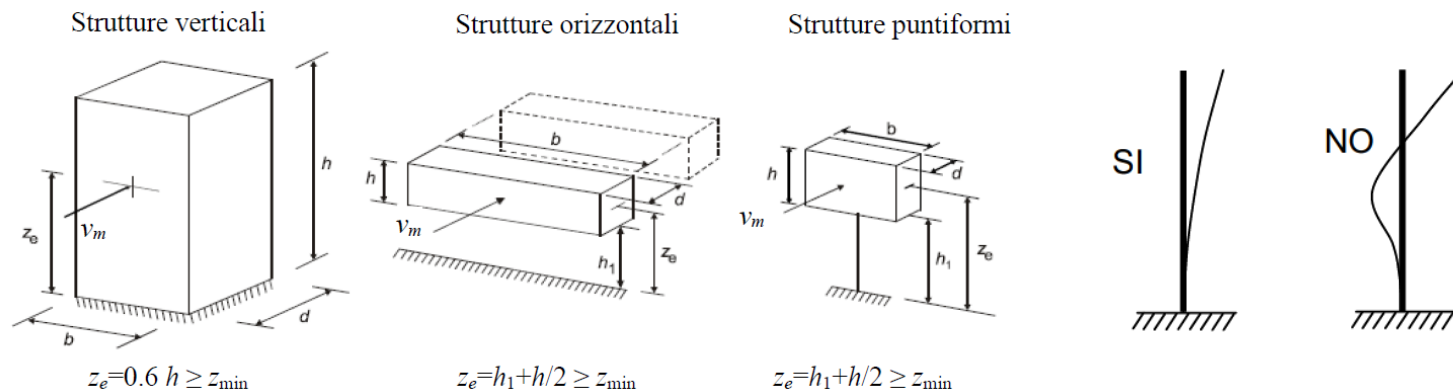
NO pressione interna e azioni tangenti



Coefficiente dinamico longitudinale

Le istruzioni forniscono alla Appendice L due differenti metodi di calcolo per il coefficiente dinamico longitudinale (Appendice L):

METODO DETTAGLIATO (L.2): utilizzabile per i tipi strutturali indicati in figura e valido solo se il contributo alla risposta nella direzione del vento è prevalentemente riconducibile ad un unico modo strutturale di segno costante (**assenza di nodi nella forma modale**); ciò accade di norma per il primo modo di vibrazione flessionale, verificando che **i modi superiori non abbiano influenza sulla risposta** (la seconda frequenza della struttura in direzione longitudinale deve essere pari ad almeno il doppio della prima frequenza nella stessa direzione).



METODO SEMPIFICATO (L.3): valida solo per edifici sostanzialmente riconducibili a un parallelepipedo retto con una distribuzione regolare di rigidità e di massa.



Per tutti i tipi strutturali non contemplati precedentemente, è necessario ricorrere a metodi analitici, numerici e/o sperimentali di accertata validità.



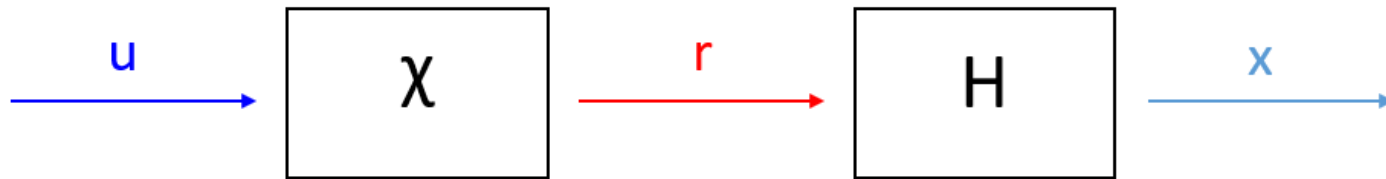
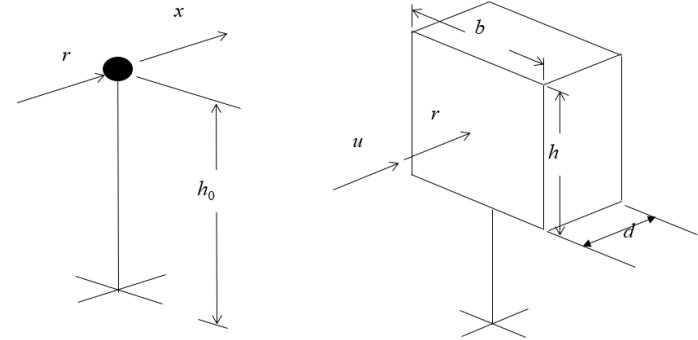
Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO

Resultant force

$$\boxed{\mathbf{r}(t) = \bar{\mathbf{r}} + \mathbf{r}'(t)} \quad \bar{\mathbf{r}} = \frac{1}{2} \rho \bar{u}^2 \bar{c}_P A;$$

$$S_r(n) = (\rho \bar{u} \bar{c}_P A)^2 S_u(n) \chi(n)$$



Dynamic response

$$\boxed{\mathbf{x}(t) = \bar{\mathbf{x}} + \mathbf{x}'(t)}$$

$$\bar{\mathbf{x}} = \frac{\bar{\mathbf{r}}}{k} = \frac{\bar{\mathbf{r}}}{m(2\pi n_0)^2};$$

$$S_x(n) = |H(n)|^2 S_r(n)$$

$$H(n) = \frac{1}{m(2\pi n_0)^2} \frac{1}{1 - \frac{n^2}{n_0^2} + 2i\xi \frac{n}{n_0}}$$

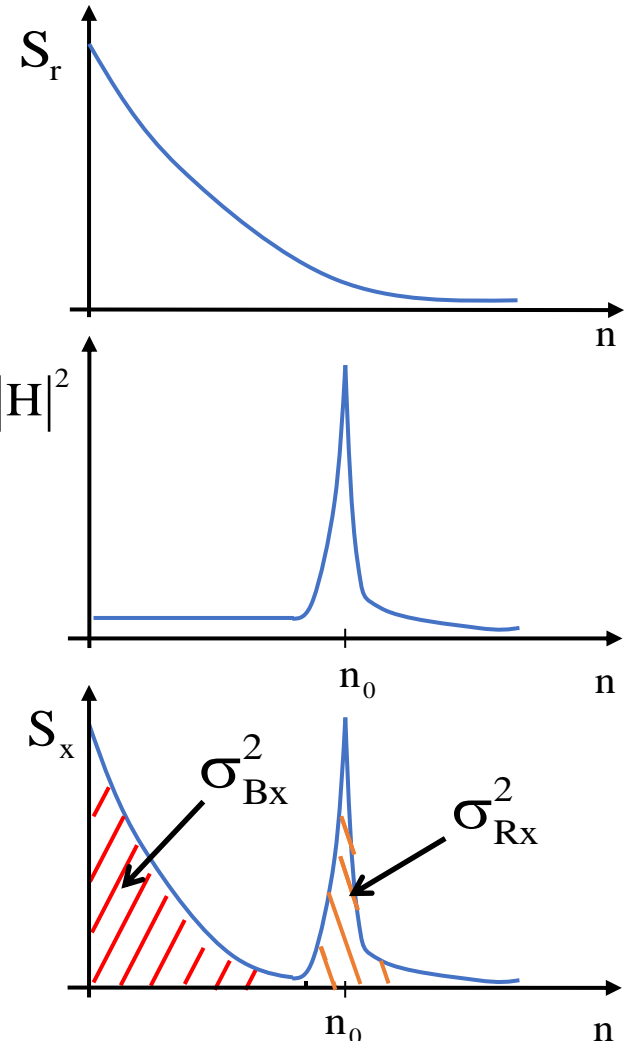
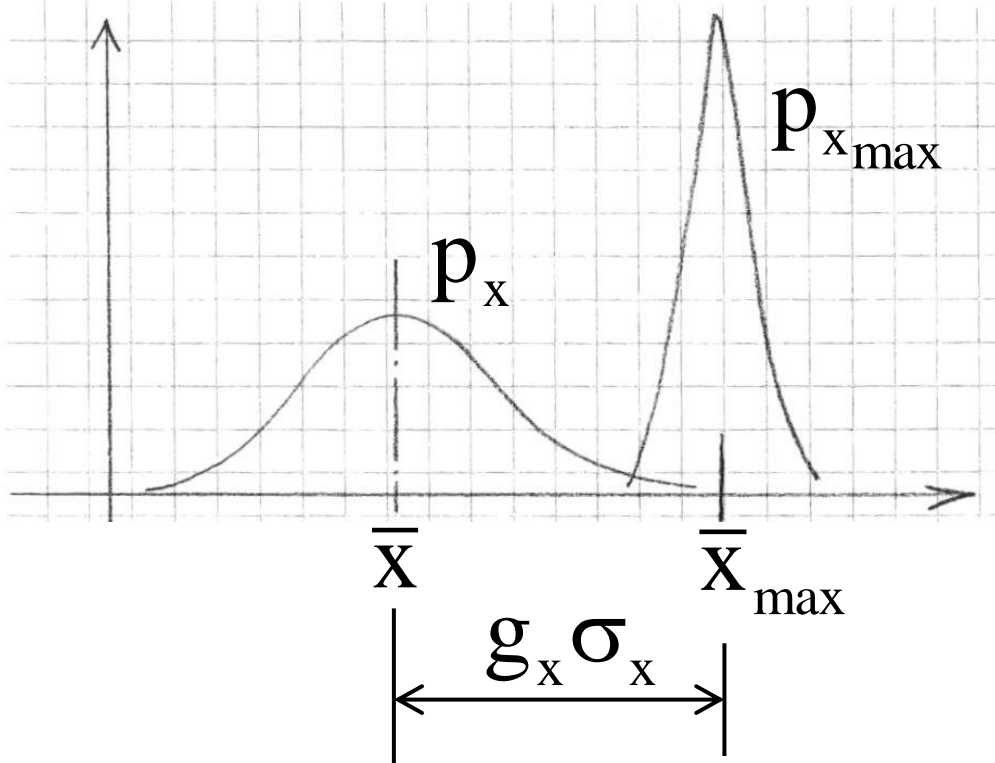


Coefficiente dinamico longitudinale

$$x(t) = \bar{x} + x'(t)$$

Risposta dinamica massima

$$\bar{x}_{\max} = \bar{x} + g_x \sigma_x$$



$$\sigma_x^2 = \sigma_{Bx}^2 + \sigma_{Rx}^2$$



Coefficiente dinamico longitudinale

$$x(t) = \bar{x} + x'(t)$$

Risposta dinamica massima

$$\bar{x}_{\max} = \bar{x} + g_x \sigma_x = \bar{x} \left(1 + g_x \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \right)$$

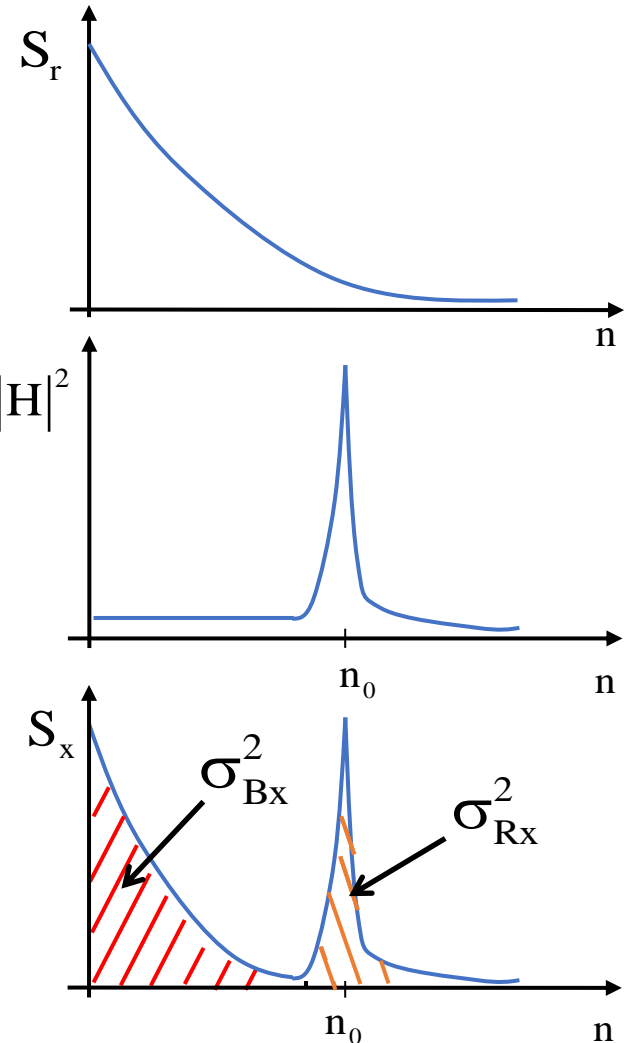
Fattore di raffica della risposta

$$G_x = 1 + g_x \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \Rightarrow \bar{x}_{\max} = \bar{x} G_x$$

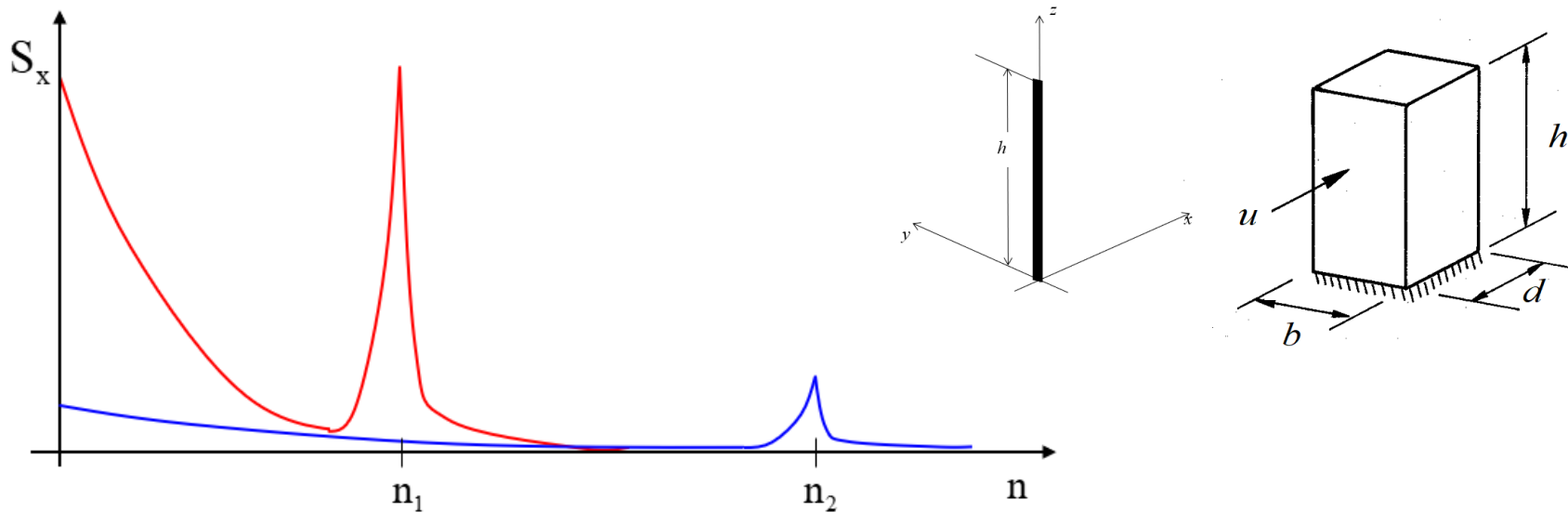
$$G_x = 1 + 2g_x I_u \sqrt{B^2 + R^2}$$

$$B = \frac{1}{2I_u} \frac{\sigma_{Bx}}{\bar{x}} = \frac{1}{\sigma_u} \sqrt{\int_0^{\infty} S_u(n) \chi(n) dn}$$

$$R = \frac{1}{2I_u} \frac{\sigma_{Rx}}{\bar{x}} = \frac{1}{\sigma_u} \sqrt{\frac{\pi n_0}{4\xi} S_u(n_0) \chi(n_0)}$$



Coefficiente dinamico longitudinale



Il secondo modo di vibrazione è ben separato dal primo



Solo il primo modo di vibrazione contribuisce alla risposta dinamica



Il "Gust Response Factor" torna a essere una quantità costante, indipendente da z



Risposta dinamica massima

$$\bar{X}_{\max} = \bar{X} G_x \quad G_x = 1 + 2g_x I_u \sqrt{B^2 + R^2}$$

CNR (L.2)

Closed Form Solution (Solari 1993)

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.56\tilde{\tau}^{0.74} + 0.29\tilde{L}_0^{0.63}}$$

$$R^2 = \frac{\pi}{4\xi} \frac{6.868\tilde{n}_0}{[1 + 10.302\tilde{n}_0]^{5/3}} C\{0.4\tilde{n}_0\tilde{b}\} C\{0.4\tilde{n}_0\tilde{h}\}$$

$$\tilde{\tau} = \frac{\tau\bar{u}}{L_u}; \quad \tilde{L}_0 = 0.5(\tilde{b} + \tilde{h}); \quad \tilde{b} = \frac{c_{uy}b}{L_u}; \quad \tilde{h} = \frac{c_{uz}h}{L_u}; \quad \tilde{n}_0 = \frac{n_0 L_u}{\bar{u}}$$

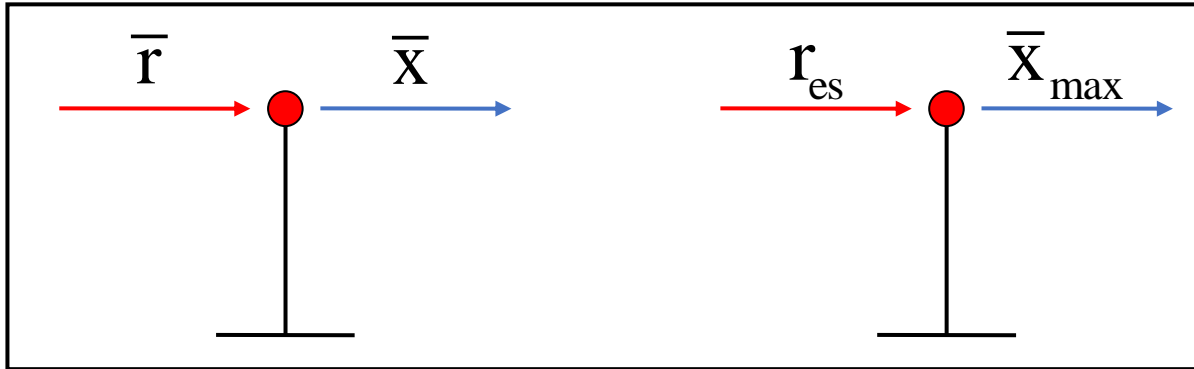
$$\begin{matrix} S_D \\ R_b \\ R_h \\ B^2 \end{matrix}$$

Valutati ad una
quota di
riferimento
 z_e

$$g_x = \sqrt{2\ln(v_x T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2\ln(v_x T)}}, \quad v_x = \sqrt{\frac{v_r^2 B_1^2 + n_0^2 R^2}{B^2 + R^2}} \approx n_0 \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$$



Coefficiente dinamico longitudinale



FORZA STATICA EQUIVALENTE

$$\bar{X}_{max} = \bar{X} G_x \quad \Rightarrow \quad r_{es} = k \bar{X}_{max} = \bar{r} G_x$$

Pressione statica equivalente

$$p_{es} = \frac{r_{es}}{A} \quad \Rightarrow \quad p_{es} = \bar{p} G_x$$

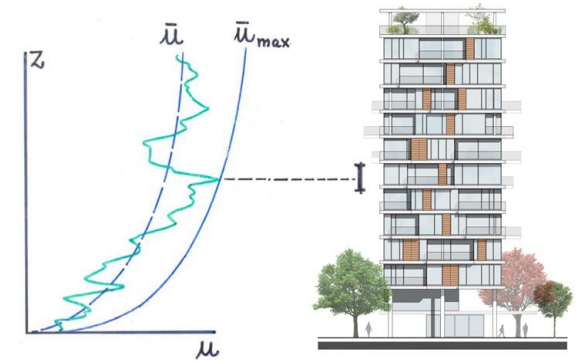


Coefficiente dinamico longitudinale

Pressione massima locale

$$\bar{p}_{\max} = \bar{p} G_p$$

$$G_p = 1 + 2g_u I_u$$



Pressione equivalente

$$p_{\text{eq}} = \bar{p} G_r$$

$$G_r = 1 + 2g_r I_u B$$

$$B \leq 1$$

$$A \rightarrow 0 \Rightarrow B \rightarrow 1 \Rightarrow G_r = 1 + 2g_r I_u \Rightarrow p_{\text{eq}} \rightarrow \bar{p}_{\max}$$

$$A \rightarrow \infty \Rightarrow B \rightarrow 0 \Rightarrow G_r = 1 \Rightarrow p_{\text{eq}} \rightarrow \bar{p}$$

Pressione statica equivalente

$$p_{\text{es}} = \bar{p} G_x$$

$$G_x = 1 + 2g_x I_u \sqrt{B^2 + R^2}$$

$$R \geq 0$$

$$n_0, \xi \rightarrow \infty \Rightarrow R \rightarrow 0 \Rightarrow G_x = 1 + 2g_x I_u B \Rightarrow p_{\text{es}} \rightarrow p_{\text{eq}}$$



Coefficiente dinamico longitudinale

P_{es}		Size	
		Small	Large
Damping & Frequency	Large		Small G_x
	Small	Large G_x	



Coefficiente dinamico longitudinale

Metodo del fattore di raffica

$$p_{es} = \bar{p} G_x \quad G_x = 1 + 2g_x I_u \sqrt{B^2 + R^2}$$

Metodo del coefficiente dinamico

$$p_{es} = \bar{p} G_x = \bar{p} G_x \frac{G_p}{G_p} = \bar{p} G_p \frac{G_x}{G_p} = \bar{p}_{max} C_d$$

$$C_d = \frac{G_x}{G_p} = \frac{1 + 2g_x I_u \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 2g_u I_u}$$

$$p_{es} = \bar{p}_{max} C_d$$

coefficiente dinamico

$$\Rightarrow p_{es} = \underbrace{\frac{1}{2} \rho \bar{u}_r^2}_{\bar{q}_r} \underbrace{c_r^2 c_t^2}_{c_e} (1 + \underbrace{2g_u I_u}_{7 \text{ (} g_u = 3,5)}) c_p c_d \Rightarrow p_{es} = \bar{q}_r \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

pressione cinetica media
Pressione cinetica di picco



Coefficiente dinamico longitudinale

P_{es}		Size	
		Small	Large
Damping & Frequency	Large		Small $C_d < 1$
	Small	Large $C_d > 1$	

A blue dot is located at the intersection of the 'Large' row and 'Small' column. A blue arrow points from this dot to a box containing the equation $C_d = 1$.



Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO (L.2): CASO IN ESAME

$$\begin{array}{ll} h = 67,44 \text{ m} & \rightarrow z_e = 0,6h = 40,46 \text{ m} \\ b = 21,6 \text{ m} & n_D = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_D = 0,01 \end{array}$$

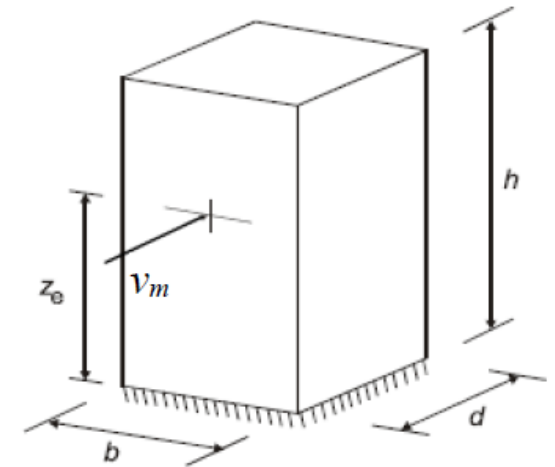
$$v_r = 27 \text{ m/s} \quad k_r = 0,20; z_0 = 0,10 \text{ m}; z_{\min} = 5 \text{ m}$$

$$\rightarrow (3.5) \quad v_m(z_e) = v_r c_m(z_e) = v_r k_r \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right) = 32,42 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow (3.7) \quad I_v(z_e) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right)} = 0,17$$

$$\rightarrow (3.8) \quad L_v(z_e) = 300 \left(\frac{z_e}{200}\right)^{0,55} = 124,58 \text{ m}$$

Strutture verticali



$$z_e = 0,6 h \geq z_{\min}$$

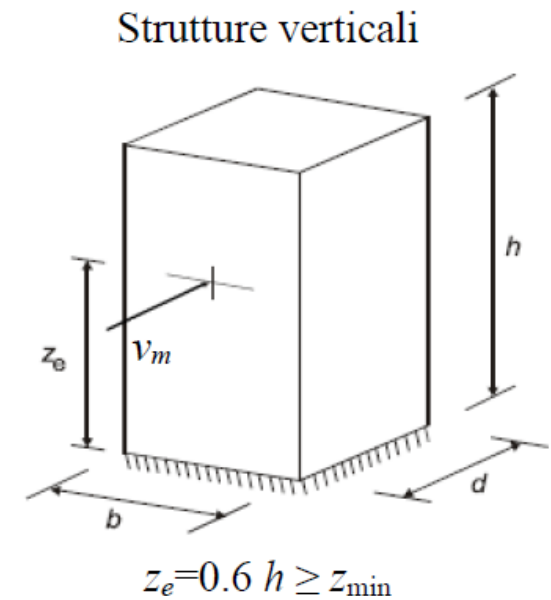


Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO (L.2): CASO IN ESAME

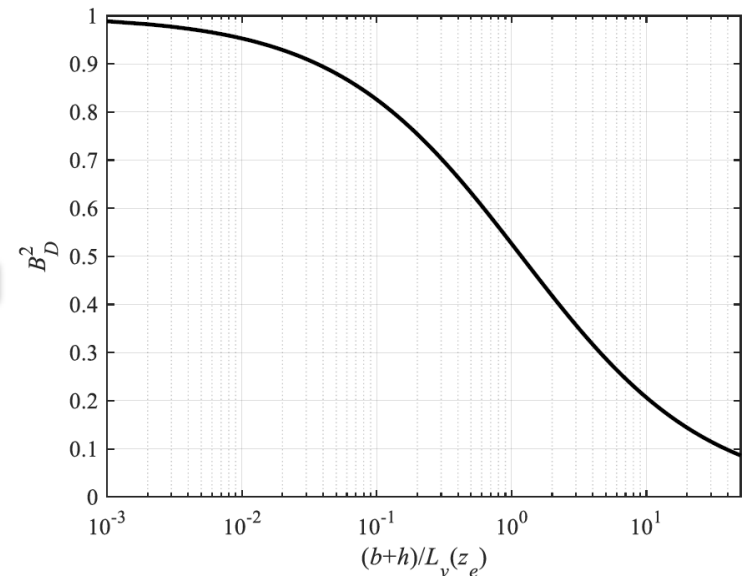
$$\begin{aligned} h &= 67,44 \text{ m} & \rightarrow & z_e = 0,6h = 40,46 \text{ m} \\ b &= 21,6 \text{ m} & n_D &= 0,9 \text{ Hz} & \xi_D &= 0,01 \end{aligned}$$

$$v_m(z_e) = 32,42 \text{ m/s} \quad I_v(z_e) = 0,17 \quad L_v(z_e) = 124,58 \text{ m}$$



Fattore di risposta quasi-statica

$$(L.4) \quad B_D^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \cdot \left(\frac{b+h}{L_v(z_e)} \right)^{0,63}} = 0,58$$



Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO (L.2): CASO IN ESAME

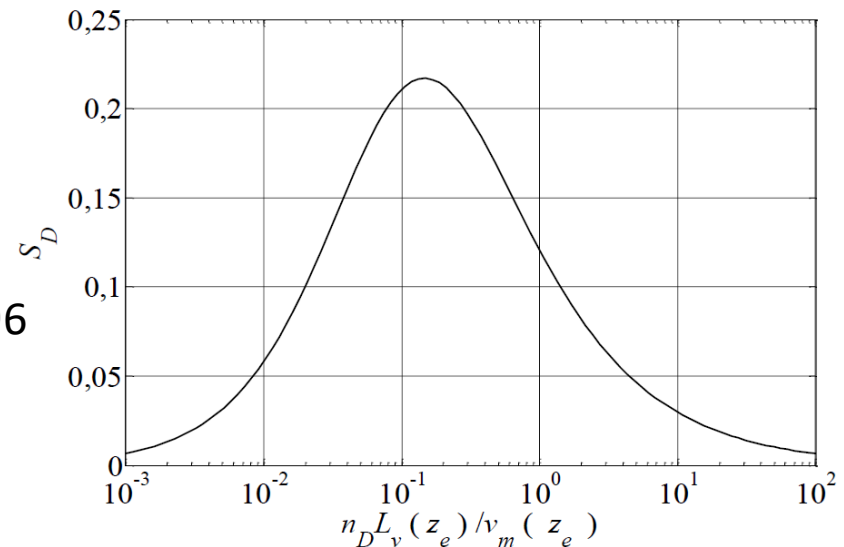
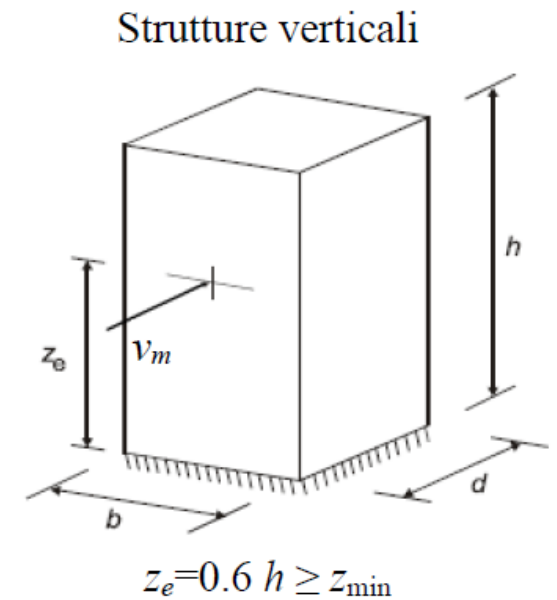
$$\begin{array}{ll}
 h = 67,44 \text{ m} & \rightarrow z_e = 0,6h = 40,46 \text{ m} \\
 b = 21,6 \text{ m} & n_D = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_D = 0,01
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 v_m(z_e) = 32,42 \text{ m/s} & I_v(z_e) = 0,17 & L_v(z_e) = 124,58 \text{ m} \\
 B_D^2 = 0,58 & &
 \end{array}$$

Fattore di risposta risonante

$$(L.5) \quad R_D^2 = \frac{\pi}{4 \cdot \xi_D} S_D \cdot R_h \cdot R_b \quad \leftarrow$$

$$(L.6) \quad S_D = \frac{6,868 \cdot n_D \cdot L_v(z_e) / v_m(z_e)}{[1 + 10,302 \cdot n_D \cdot L_v(z_e) / v_m(z_e)]^{5/3}} = 0,06$$



Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO (L.2): CASO IN ESAME

$$\begin{array}{ll}
 h = 67,44 \text{ m} & \rightarrow z_e = 0,6h = 40,46 \text{ m} \\
 b = 21,6 \text{ m} & n_D = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_D = 0,01
 \end{array}$$

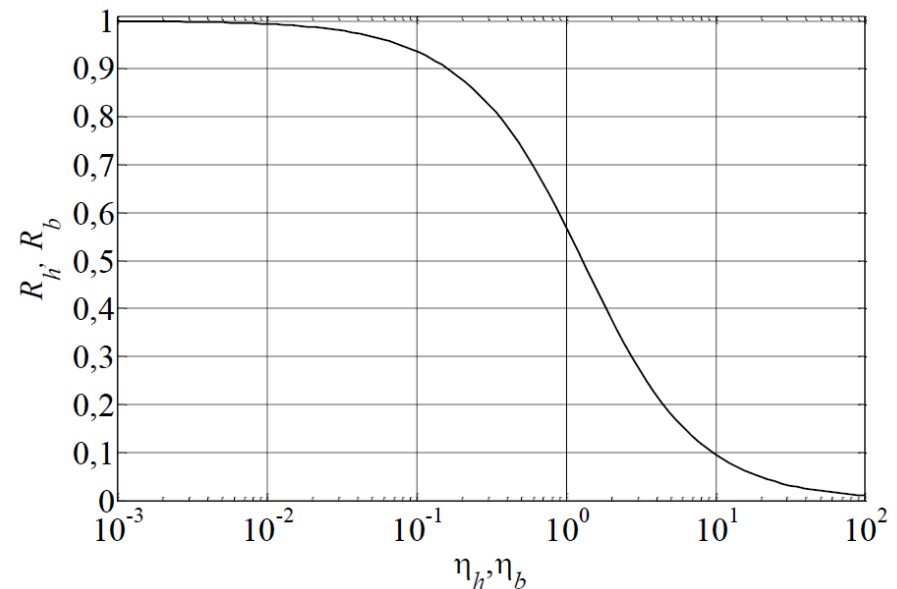
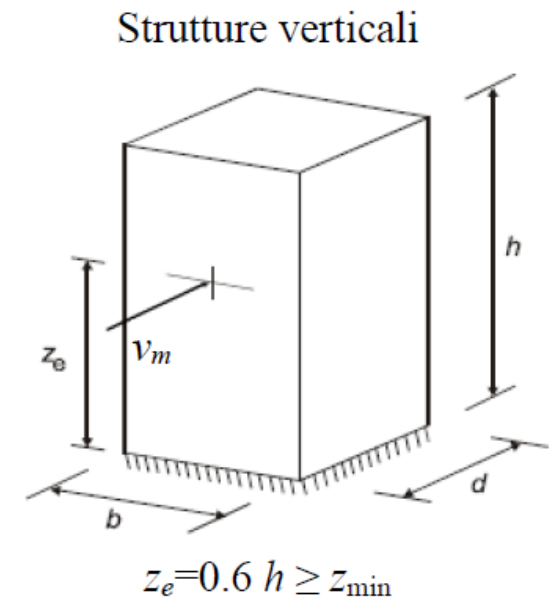
$$\begin{array}{lll}
 v_m(z_e) = 32,42 \text{ m/s} & I_v(z_e) = 0,17 & L_v(z_e) = 124,58 \text{ m} \\
 B_D^2 = 0,58 & S_D = 0,06 &
 \end{array}$$

Fattore di risposta risonante

$$(L.7) \quad R_h = \begin{cases} 1 & \text{per } \eta_h = 0 \\ \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) & \text{per } \eta_h > 0 \end{cases}$$

$$(L.8) \quad R_b = \begin{cases} 1 & \text{per } \eta_b = 0 \\ \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) & \text{per } \eta_b > 0 \end{cases}$$

$$(L.9) \quad \eta_h = 4 \cdot \frac{n_D \cdot h}{v_m(z_e)}, \quad \eta_b = 4 \cdot \frac{n_D \cdot b}{v_m(z_e)}$$



Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO (L.2): CASO IN ESAME

$$h = 67,44 \text{ m} \quad \rightarrow \quad z_e = 0,6h = 40,46 \text{ m}$$

$$b = 21,6 \text{ m} \quad n_D = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_D = 0,01$$

$$v_m(z_e) = 32,42 \text{ m/s} \quad I_v(z_e) = 0,17 \quad L_v(z_e) = 124,58 \text{ m}$$

$$B_D^2 = 0,58 \quad S_D = 0,06$$

Fattore di risposta risonante

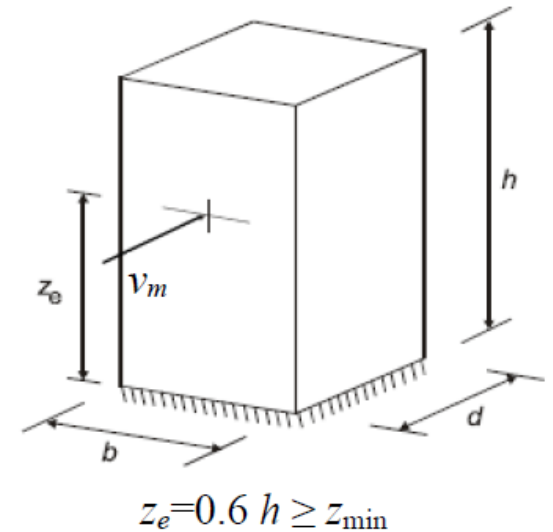
$$\eta_h = 7,49 \quad \eta_b = 2,40$$



$$R_h = 0,13 \quad R_b = 0,33$$

$$(L.5) \quad R_D^2 = \frac{\pi}{4 \cdot \xi_D} S_D \cdot R_h \cdot R_b = 0,19 \quad \leftarrow$$

Strutture verticali



Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO (L.2): CASO IN ESAME

$$\begin{array}{ll} h = 67,44 \text{ m} & \rightarrow z_e = 0,6h = 40,46 \text{ m} \\ b = 21,6 \text{ m} & n_D = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_D = 0,01 \end{array}$$

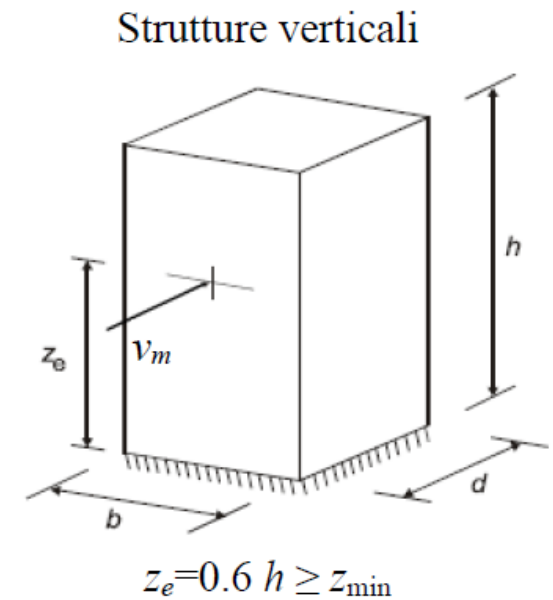
$$\begin{array}{lll} v_m(z_e) = 32,42 \text{ m/s} & I_v(z_e) = 0,17 & L_v(z_e) = 124,58 \text{ m} \\ B_D^2 = 0,58 & R_D^2 = 0,19 & \end{array}$$

Frequenza attesa

$$(L.10) \quad v_D = n_D \cdot \sqrt{\frac{R_D^2}{B_D^2 + R_D^2}} = 0,45 \text{ Hz} \geq 0,08 \text{ Hz}$$

Fattore di picco $T = 600 \text{ s}$

$$(L.11) \quad g_D = \sqrt{2 \cdot \ln(v_D \cdot T)} + \frac{0,5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(v_D \cdot T)}} = 3,52 \geq 3$$



Coefficiente dinamico longitudinale

METODO DETTAGLIATO (L.2): CASO IN ESAME

$$\begin{array}{ll} h = 67,44 \text{ m} & \rightarrow z_e = 0,6h = 40,46 \text{ m} \\ b = 21,6 \text{ m} & n_D = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_D = 0,01 \end{array}$$

$$\begin{array}{llll} v_m(z_e) = 32,42 \text{ m/s} & I_v(z_e) = 0,17 & L_v(z_e) = 124,58 \text{ m} \\ B_D^2 = 0,58 & R_D^2 = 0,19 & v_D = 0,45 \text{ Hz} & g_D = 3,52 \end{array}$$

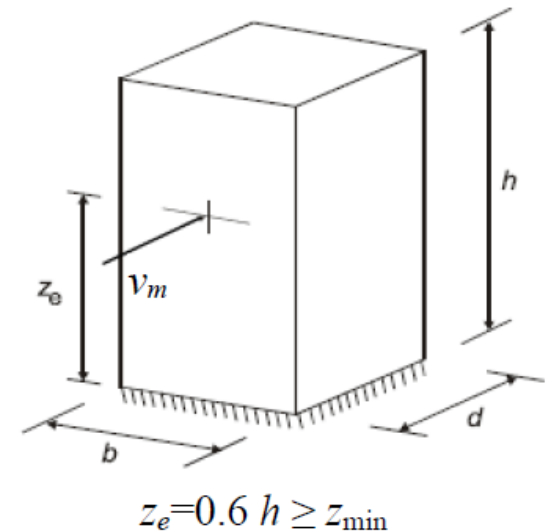
Gust response factor

$$(L.3) \quad G_D = 1 + 2 \cdot g_D \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B_D^2 + R_D^2} = 2,03$$

Coefficiente dinamico longitudinale

$$(L.2) \quad c_{dD} = \frac{G_D}{1 + 7 \cdot I_v(z_e)} = 0,94 \quad \leftarrow$$

Strutture verticali



Coefficiente dinamico longitudinale

METODO SEMPLIFICATO (L.3)

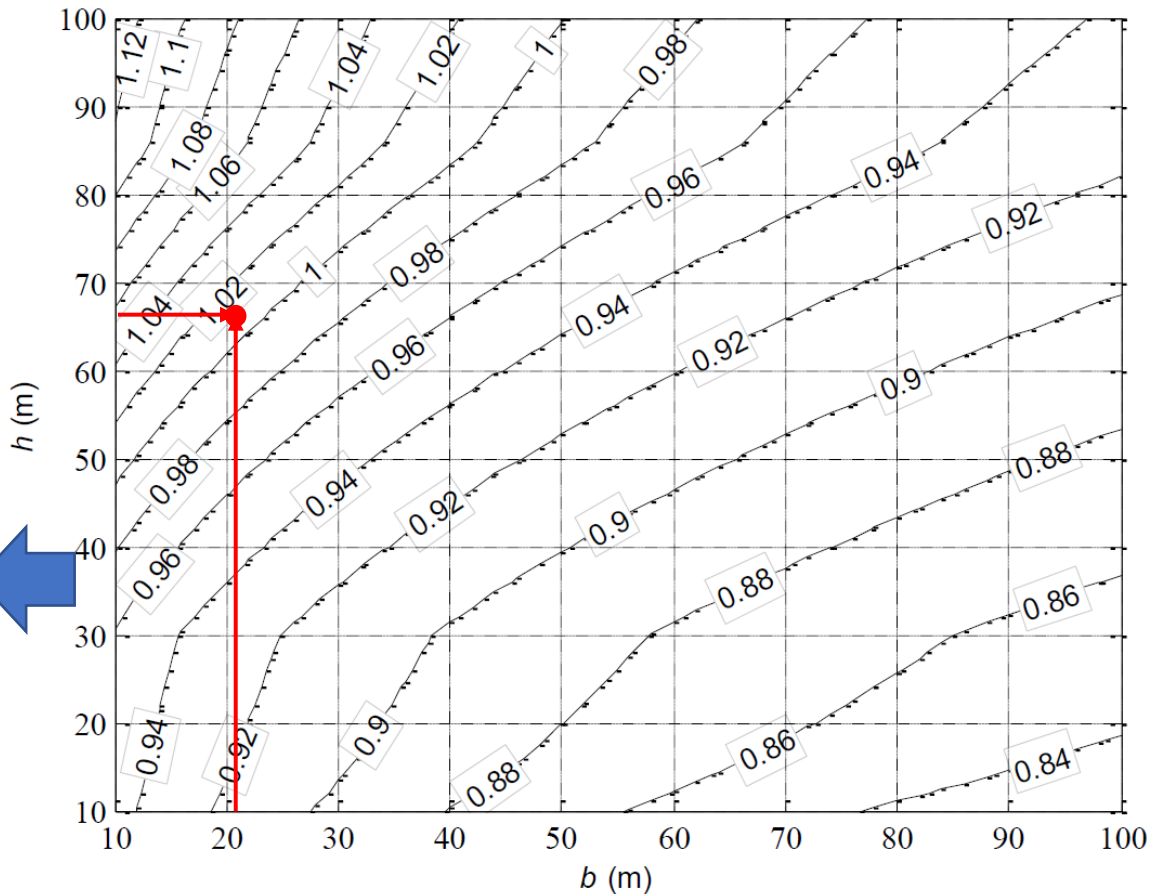
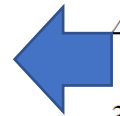
Consente di dedurre un valore cautelativo del coefficiente dinamico longitudinale, valido per edifici riconducibili a un parallelepipedo retto, con una distribuzione regolare di rigidezza e di massa, anche senza conoscere le esatte caratteristiche dinamiche della struttura.

$$c_{dD} = 1,01$$



A favore di sicurezza

Valori del coefficiente dinamico longitudinale c_{dD} per edifici schematizzabili come parallelepipedi retti, aventi struttura portante in cemento armato o misti (Figura L.9).





Coefficiente dinamico longitudinale

Forze statiche equivalenti

Forze aerodinamiche di picco di piano

Piano	z_e (m)	Δ (m)	q'_p (N/m ²)	q''_p (N/m ²)	F_D (kN)
Terra	2,34	2,72	1.212	1.604	114
1	5,44	3,10	1.212	1.604	130
2	8,54	3,10	1.212	1.604	130
3	11,64	3,10	1.212	1.604	130
4	14,74	3,10	1.212	1.604	130
5	17,84	3,10	1.212	1.604	130
6	20,94	3,10	1.212	1.604	130
7	24,04	3,10	1.247	1.604	132
8	27,14	3,10	1.287	1.604	134
9	30,24	3,10	1.323	1.604	136
10	33,34	3,10	1.356	1.604	138
11	36,44	3,10	1.386	1.604	139
12	39,54	3,10	1.414	1.604	141
13	42,64	3,10	1.440	1.604	142
14	45,74	3,10	1.462	1.604	144
15	48,84	3,10	1.488	1.604	145
16	51,94	3,10	1.510	1.604	146
17	55,04	3,10	1.530	1.604	147
18	58,14	3,10	1.550	1.604	148
19	61,24	3,10	1.569	1.604	149
20	64,34	3,10	1.587	1.604	150
tetto	67,44	2,55	1.604	1.604	124

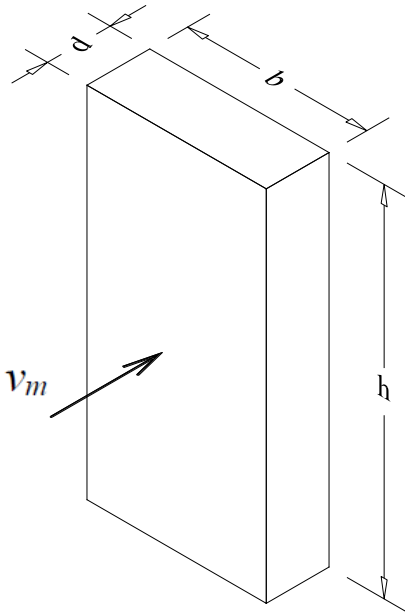


Azioni statiche equivalenti trasversali

In generale, il vento esercita sugli edifici azioni longitudinali, trasversali e torsionali. Le azioni trasversali (L , *lift*) e torsionali (M , *moment*) tendono ad assumere un ruolo di crescente importanza quanto più **l'edificio è alto, snello e flessibile, principalmente a causa della scia indotta dal distacco dei vortici**.

L' Appendice M fornisce procedimenti applicabili ad edifici riconducibili a parallelepipedi retti. Si raccomanda di valutare gli effetti delle azioni trasversali e torsionali se:

$$\frac{h}{\sqrt{b \cdot d}} \geq 3$$



Le procedure per calcolare le azioni statiche equivalenti e le accelerazioni trasversali e torsionali sono applicabili a edifici:

- sollecitati dal vento ortogonalmente ad una faccia (situazione che rappresenta generalmente la condizione di carico più sfavorevole);
- dotati di una distribuzione verticale di massa (per unità di lunghezza) costante;
- rispondenti alle seguenti condizioni:

$$\frac{h}{\sqrt{b \cdot d}} \leq 6$$

$$0,2 \leq \frac{d}{b} \leq 5$$

$$\frac{v_m(h)}{n_{LM} \cdot \sqrt{b \cdot d}} \leq 10$$



Per edifici con caratteristiche tali da non soddisfare le condizioni precedenti si possono instaurare fenomeni aeroelastici.



Azioni statiche equivalenti trasversali

METODO DETTAGLIATO (M.2)

La forza statica equivalente trasversale per unità di lunghezza è fornita dalla relazione:

$$\Rightarrow f_L(z) = 3 \cdot q_p(h) \cdot C_L \cdot b \cdot \left(\frac{z}{h}\right) \cdot c_{dL}$$

Coefficiente di forza trasversale Coefficiente dinamico trasversale

$$C_L = 0,0082 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^3 - 0,071 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 0,22 \cdot \frac{d}{b}$$

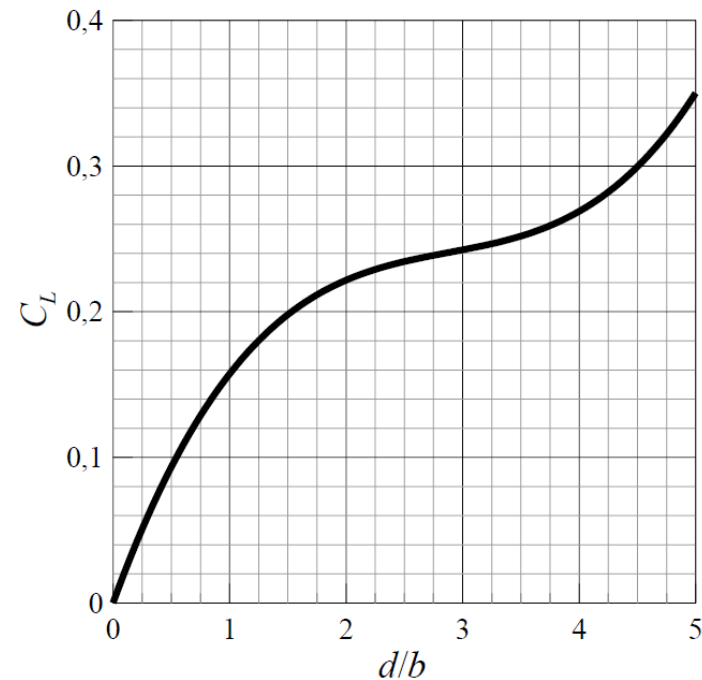
$$c_{dL} = \frac{G_L}{1 + 7 \cdot I_v(h)}$$

Fattore di raffica trasversale

$$G_L = g_L \cdot \sqrt{1 + R_L^2}$$

Fattore di picco trasversale

$$g_L = \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)} + \frac{0,5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)}} \geq 3$$



Azioni statiche equivalenti trasversali

METODO DETTAGLIATO (M.2)

Il fattore di risposta risonante in direzione trasversale è fornito dalle relazioni: $R_L^2 = \frac{\pi \cdot S_L}{4 \cdot \xi_L}$

$$S_L = \sum_{j=1}^m \frac{4k_j \cdot (1 + 0,6 \cdot \beta_j) \cdot \beta_j}{\pi} \frac{\left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2\right]^2 + 4 \cdot \beta_j^2 \cdot \left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2}$$

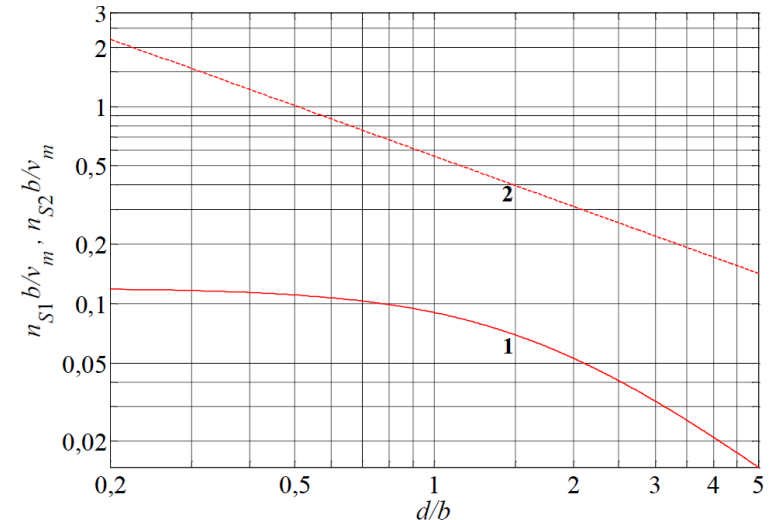
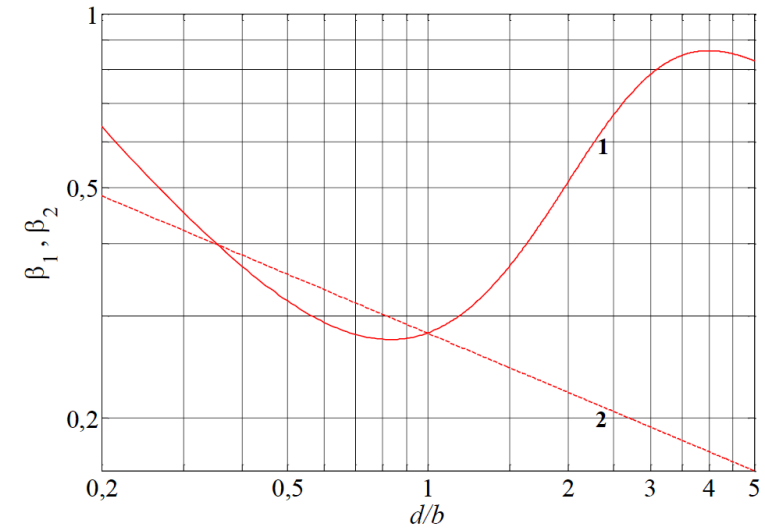
$$m = \begin{cases} 1 & d/b < 3 \\ 2 & d/b \geq 3 \end{cases}$$

$$k_1 = 0,85, \quad k_2 = 0,02$$

$$\beta_1 = \frac{\left(\frac{d}{b}\right)^4 + 2,3 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2}{\left[2,4 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^4 - 9,2 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^3 + 18 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 9,5 \cdot \left(\frac{d}{b}\right) - 0,15\right]} + \frac{0,12}{\left(\frac{d}{b}\right)}$$

$$\beta_2 = 0,28 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^{-0,34}$$

$$n_{s1} = \frac{0,12}{\left\{1 + 0,38 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2\right\}^{0,89}} \frac{v_m(h)}{b}, \quad n_{s2} = \frac{0,56}{\left(\frac{d}{b}\right)^{0,85}} \frac{v_m(h)}{b}$$



Azioni statiche equivalenti trasversali

METODO DETTAGLIATO (M.2): CASO IN ESAME

$$h = 67,44 \text{ m} \quad q_p(h) = 1604 \text{ N/m}^2$$
$$b = d = 21,6 \text{ m} \quad n_L = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_L = 0,01$$

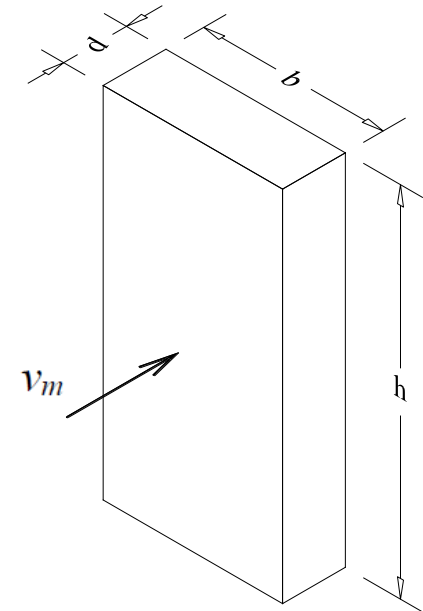
$$v_r = 27 \text{ m/s} \quad k_r = 0,20; z_0 = 0,10 \text{ m}; z_{min} = 5 \text{ m}$$

$$\rightarrow \text{(3.5)} \quad v_m(h) = v_r c_m(h) = v_r k_r \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) = 35,17 \text{ m/s}$$

$$\rightarrow \text{(3.7)} \quad I_v(h) = \frac{1}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} = 0,15$$

Coefficiente di forza trasversale

$$\text{(M.6)} \quad C_L = 0,0082 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^3 - 0,071 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 0,22 \cdot \frac{d}{b} = 0,157$$



Azioni statiche equivalenti trasversali

METODO DETTAGLIATO (M.2): CASO IN ESAME

$$h = 67,44 \text{ m} \quad q_p(h) = 1604 \text{ N/m}^2$$
$$b = d = 21,6 \text{ m} \quad n_L = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_L = 0,01$$

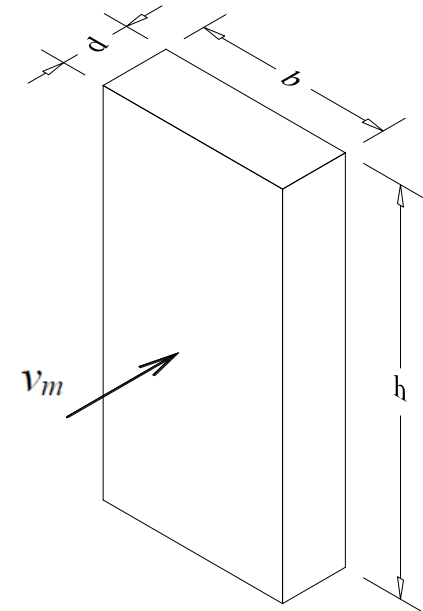
$$v_m(h) = 35,17 \text{ m/s} \quad I_v(h) = 0,15 \quad C_L = 0,157$$

$$(M.11) \quad \frac{d}{b} = 1 \Rightarrow m = 1 \quad S_L = S_L(k_1, \beta_1, n_{s,1})$$

$$(M.12) \quad k_1 = 0,85$$

$$(M.13) \quad \beta_1 = \frac{\left(\frac{d}{b}\right)^4 + 2,3 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2}{\left[2,4 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^4 - 9,2 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^3 + 18 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 9,5 \cdot \left(\frac{d}{b}\right) - 0,15\right]} + \frac{0,12}{\left(\frac{d}{b}\right)} = 0,28$$

$$(M.14) \quad n_{s1} = \frac{0,12}{\left\{1 + 0,38 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2\right\}^{0,89}} \frac{v_m(h)}{b}, = 0,14$$



Azioni statiche equivalenti trasversali

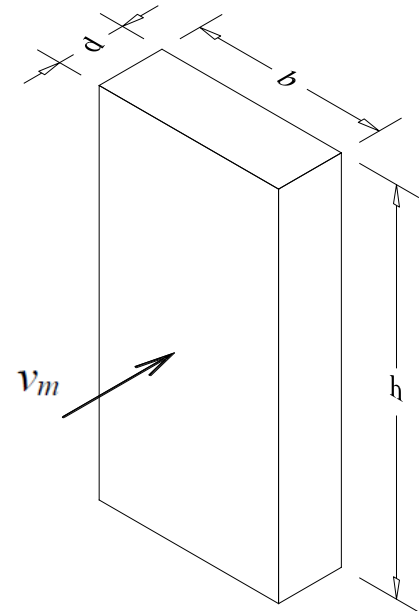
METODO DETTAGLIATO (M.2): CASO IN ESAME

$$h = 67,44 \text{ m} \quad q_p(h) = 1604 \text{ N/m}^2$$
$$b = d = 21,6 \text{ m} \quad n_L = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_L = 0,01$$

$$v_m(h) = 35,17 \text{ m/s} \quad I_v(h) = 0,15 \quad C_L = 0,157$$

$$k_1 = 0,85 \quad \beta_1 = 0,28 \quad n_{s1} = 0,14$$

$$(M.10) \quad S_L = \sum_{j=1}^m \frac{4k_j \cdot (1 + 0,6 \cdot \beta_j) \cdot \beta_j}{\pi} \frac{\left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2\right]^2 + 4 \cdot \beta_j^2 \cdot \left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2} = 0,01$$



Fattore di risposta risonante

$$(M.9) \quad R_L^2 = \frac{\pi \cdot S_L}{4 \cdot \xi_L} = 0,78$$



Azioni statiche equivalenti trasversali

METODO DETTAGLIATO (M.2): CASO IN ESAME

$$h = 67,44 \text{ m} \quad q_p(h) = 1604 \text{ N/m}^2$$
$$b = d = 21,6 \text{ m} \quad n_L = 0,9 \text{ Hz} \quad \xi_L = 0,01$$

$$I_v(h) = 0,15 \quad C_L = 0,157 \quad R_L^2 = 0,78$$

Fattore di picco trasversale $T = 600 \text{ s}$

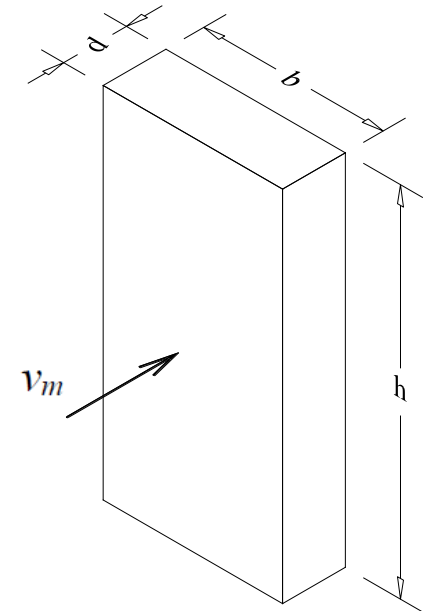
$$(M.15) \quad g_L = \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)} + \frac{0,5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)}} = 3,71$$

Fattore di raffica trasversale

$$(M.8) \quad G_L = g_L \cdot \sqrt{1 + R_L^2} = 4,94$$

Coefficiente dinamico trasversale

$$(M.7) \quad c_{dL} = \frac{G_L}{1 + 7 \cdot I_v(h)} = 2,38 \quad \leftarrow$$



Azioni statiche equivalenti trasversali

METODO SEMPLIFICATO (M.3)

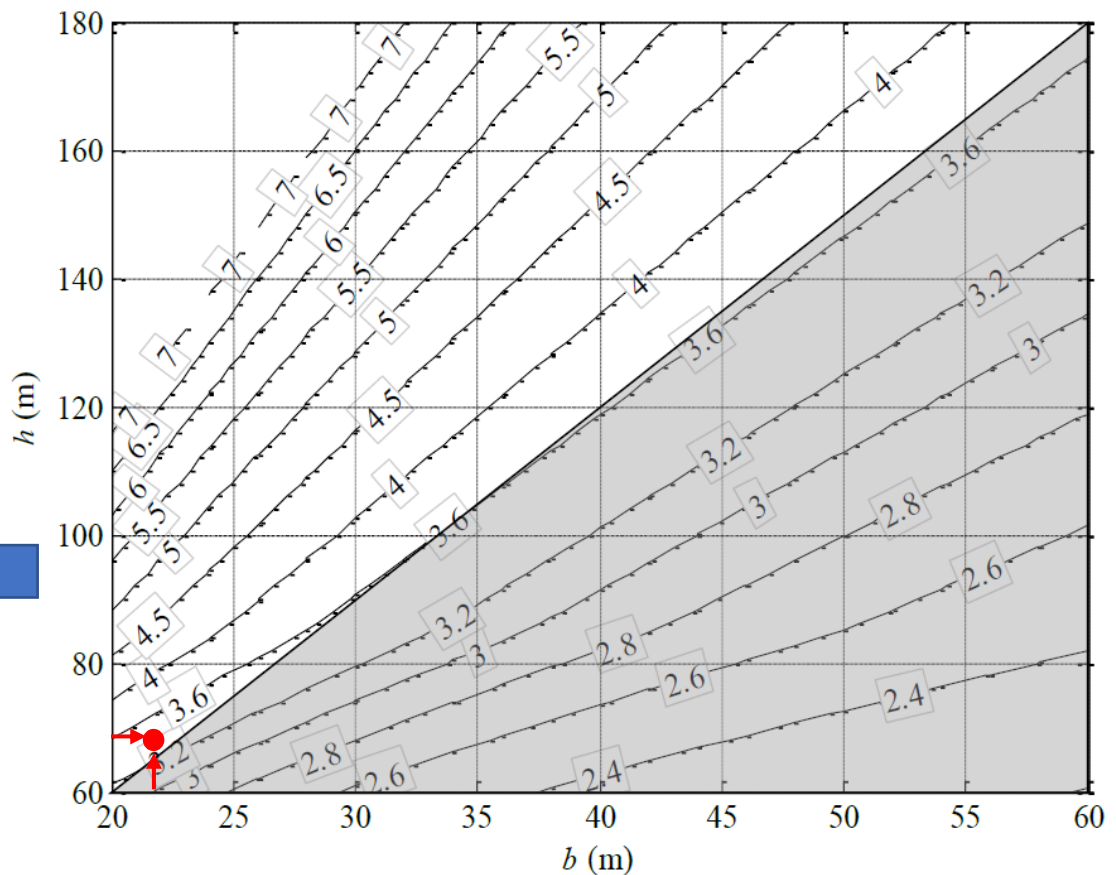
È possibile dedurre valori cautelativi del coefficiente dinamico trasversale per edifici riconducibili a un parallelepipedo a sezione quadrata ($b=d$), anche senza conoscere le esatte caratteristiche dinamiche della struttura.

$$c_{dL} \cong 3,5$$



A favore di sicurezza

Valori del coefficiente dinamico trasversale c_{dL} per edifici schematizzabili come parallelepipedi retti a base quadrata, aventi struttura portante in cemento armato o misti (Figura M.9).



Azioni statiche equivalenti trasversali

Forze statiche equivalenti

$$(M.5) \quad f_L(z) = 3 \cdot q_p(h) \cdot C_L \cdot b \cdot \left(\frac{z}{h}\right) \cdot c_{dL}$$

$$b = 21,6 \text{ m}$$

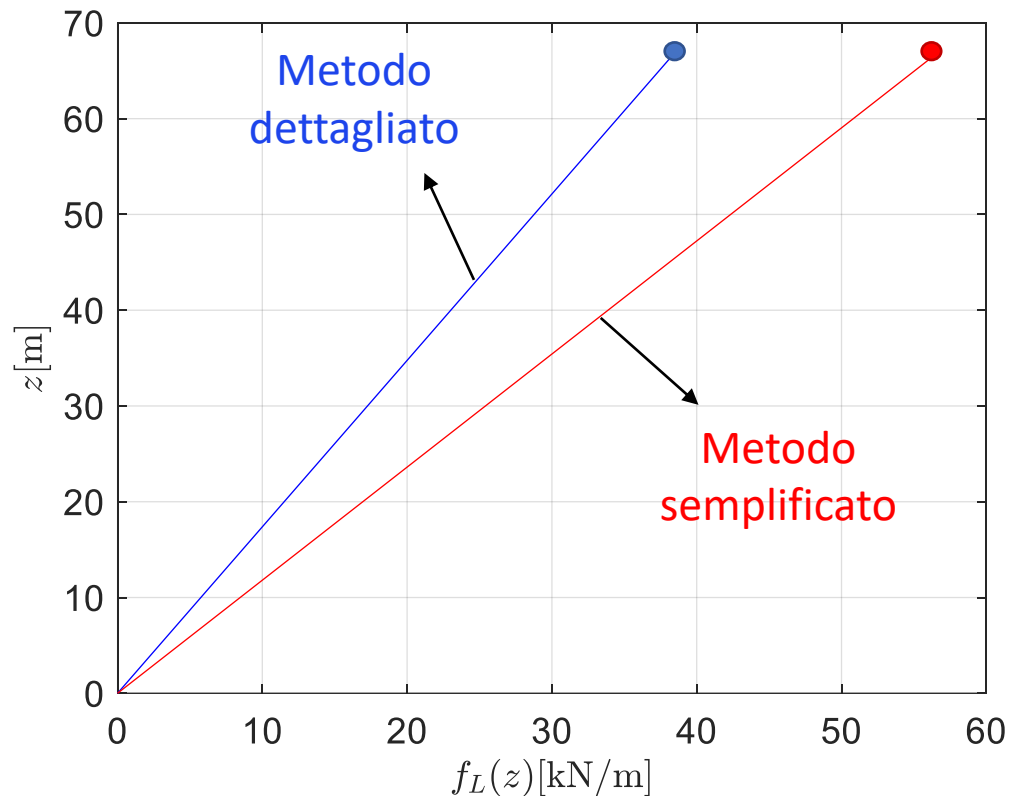
$$q_p(h) = 1604 \text{ N/m}^2$$

$$C_L = 0,157$$

$$c_{dL} = 2,38 \quad c_{dL} = 3,5$$



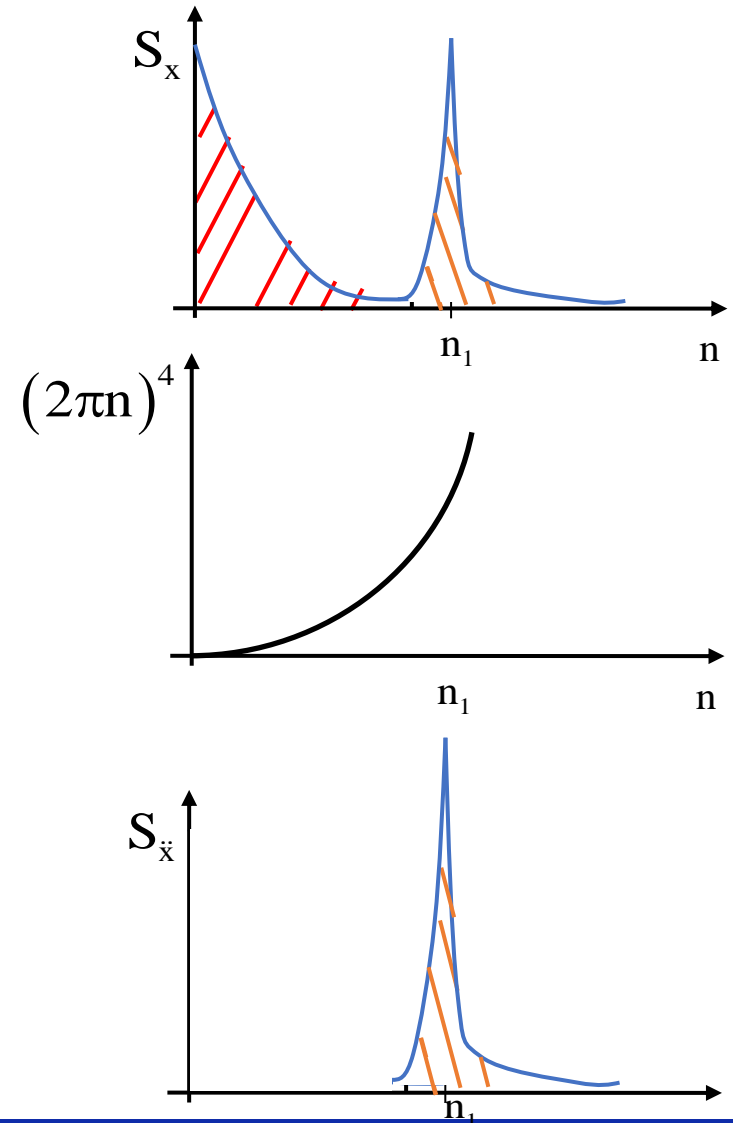
$$f_L(h) = 38,8 \text{ kN/m} \quad f_L(h) = 57,11 \text{ kN/m}$$



Accelerazione

$$S_{\ddot{x}}(n) = (2\pi n)^4 S_x(n)$$

$$\sigma_{\ddot{x}}^2 = \int_0^{\infty} S_{\ddot{x}}(n) dn = \int_0^{\infty} (2\pi n)^4 S_x(n) dn$$



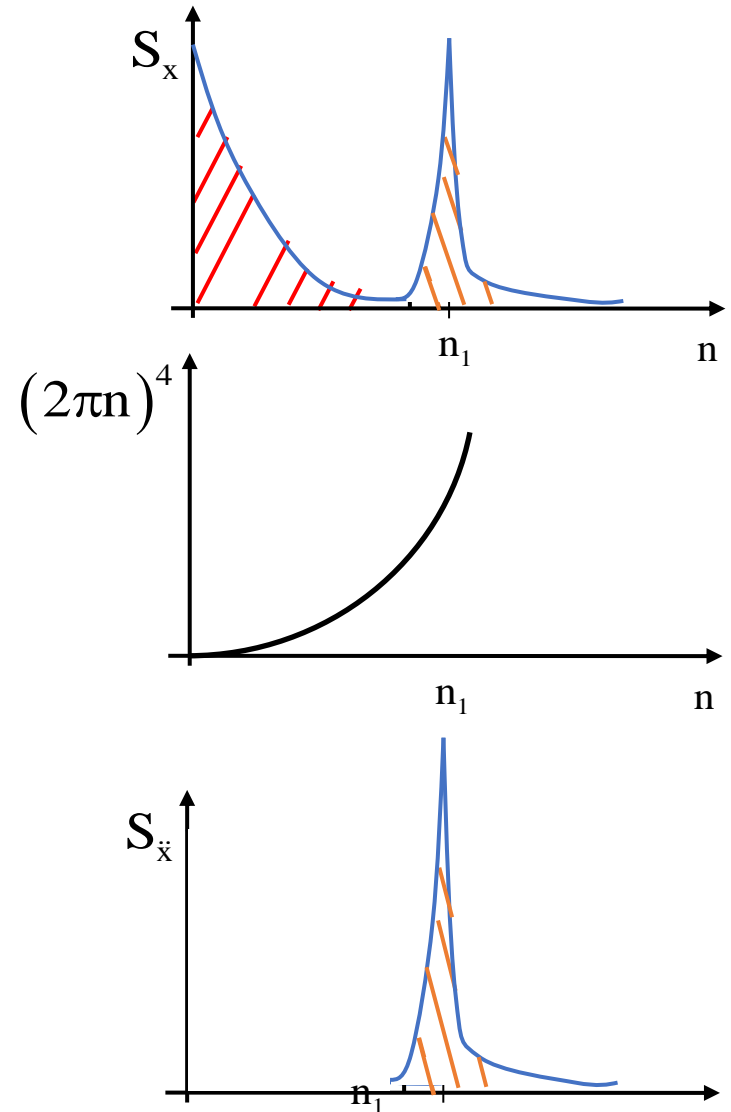
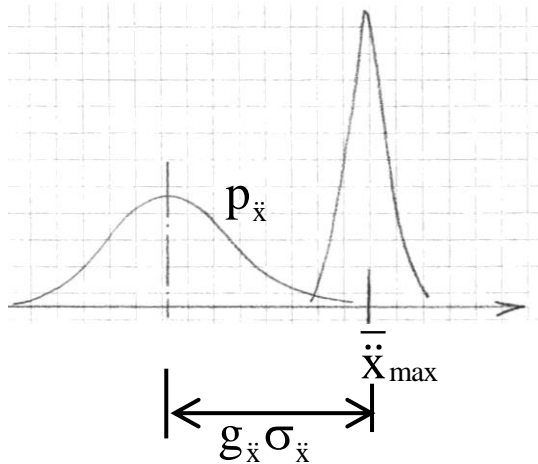
Accelerazione

$$S_{\ddot{x}}(n) = (2\pi n)^4 S_x(n)$$

$$\sigma_{\ddot{x}}^2 = \int_0^{\infty} S_{\ddot{x}}(n) dn = \int_0^{\infty} (2\pi n)^4 S_x(n) dn$$

Accelerazione massima

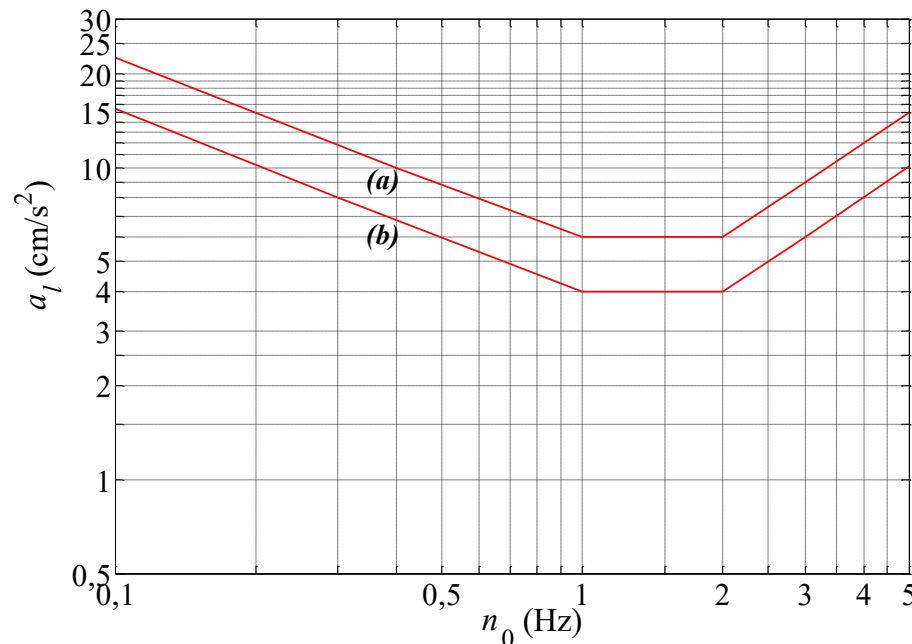
$$\ddot{X}_{\max} = g_{\ddot{x}} \sigma_{\ddot{x}}$$



L.4 (CNR) Accelerazione di strutture verticali

ACCELERAZIONE LONGITUDINALE

L'applicazione delle azioni statiche equivalenti alla struttura permette di valutare lo spostamento massimo nella direzione del vento e il relativo stato di sollecitazione. Peraltro, soprattutto nel caso degli edifici alti, e più in generale delle costruzioni verticali adibite a ospitare persone, **può essere importante determinare anche l'accelerazione di piano per verificare l'abitabilità della costruzione nei riguardi delle vibrazioni indotte dal vento (Appendice N).**



← uffici
← residenze
(più basso)

**Analiticamente,
vedere (N.1)**

Figura N.2 - Valore limite dell'accelerazione di picco con $T_R = 1$ anno.

Accelerazione e verifiche di abitabilità

ACCELERAZIONE LONGITUDINALE

Il corpo umano è fortemente sensibile alle accelerazione, e questa percezione dipende anche dalla frequenza con cui la struttura che contiene il corpo si muove.

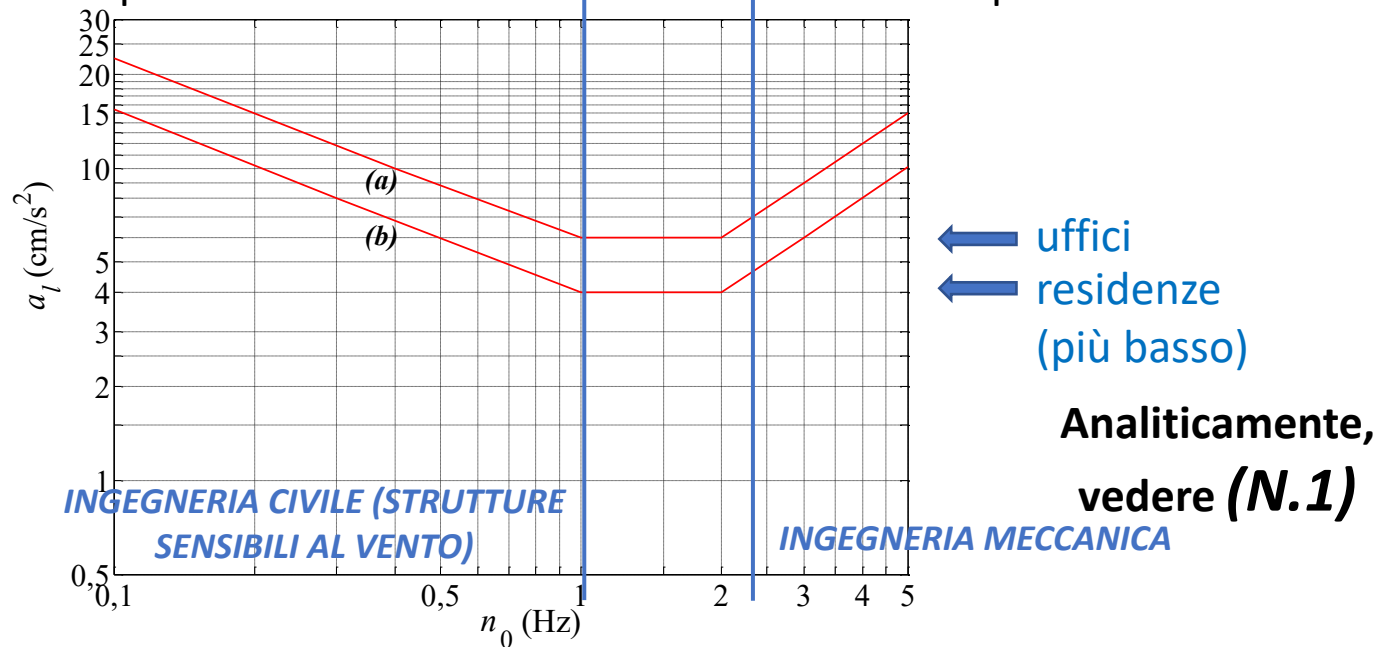


Figura N.2 - Valore limite dell'accelerazione di picco con $T_R = 1$ anno.

Accelerazione e verifiche di abitabilità

ACCELERAZIONE LONGITUDINALE

Il corpo umano è fortemente sensibile alle accelerazione, e questa percezione dipende anche dalla frequenza con cui la struttura che contiene il corpo si muove.

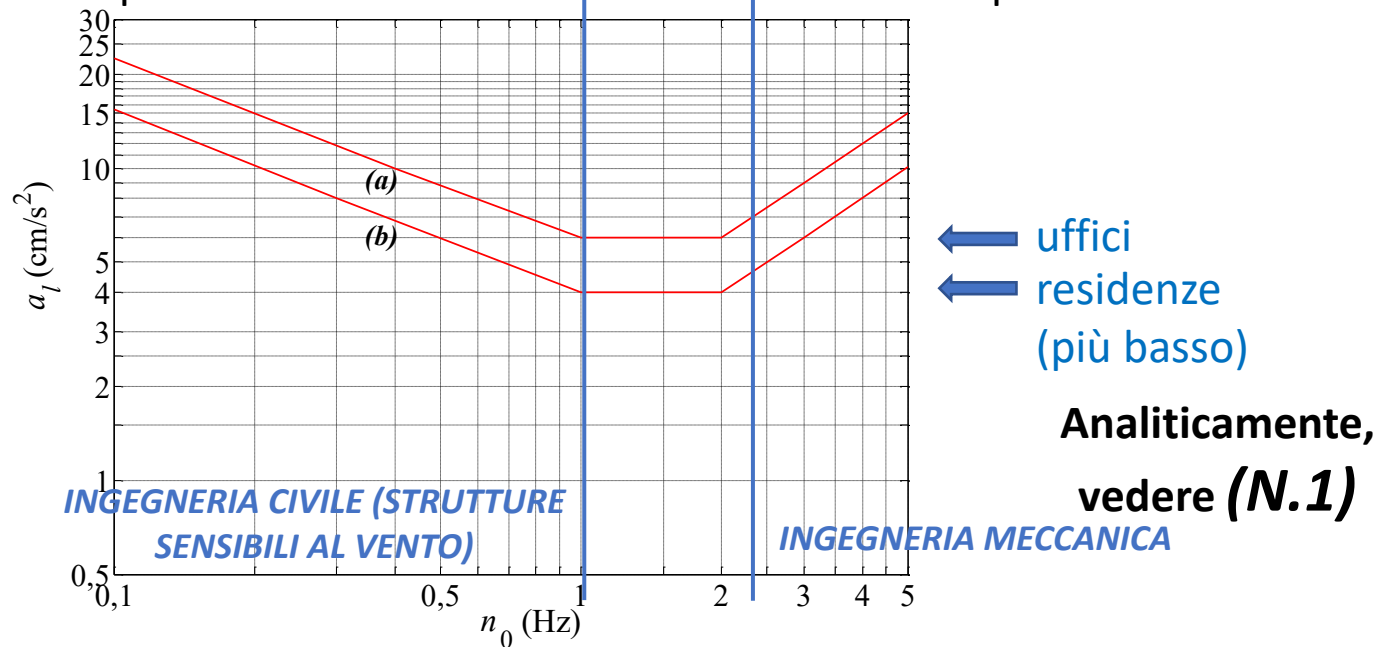


Figura N.2 - Valore limite dell'accelerazione di picco con $T_R = 1$ anno.

Nell'intervallo **1 – 3 Hz**, la **soglia limite** dell'accelerazione è piuttosto **bassa**. Si nota che questo intervallo copre un **ampio spettro di strutture civili**, per cui soddisfare la verifica può essere non banale.

Accelerazione e verifiche di abitabilità

ACCELERAZIONE LONGITUDINALE

Il corpo umano è fortemente sensibile alle accelerazione, e questa percezione dipende anche dalla frequenza con cui la struttura che contiene il corpo si muove.

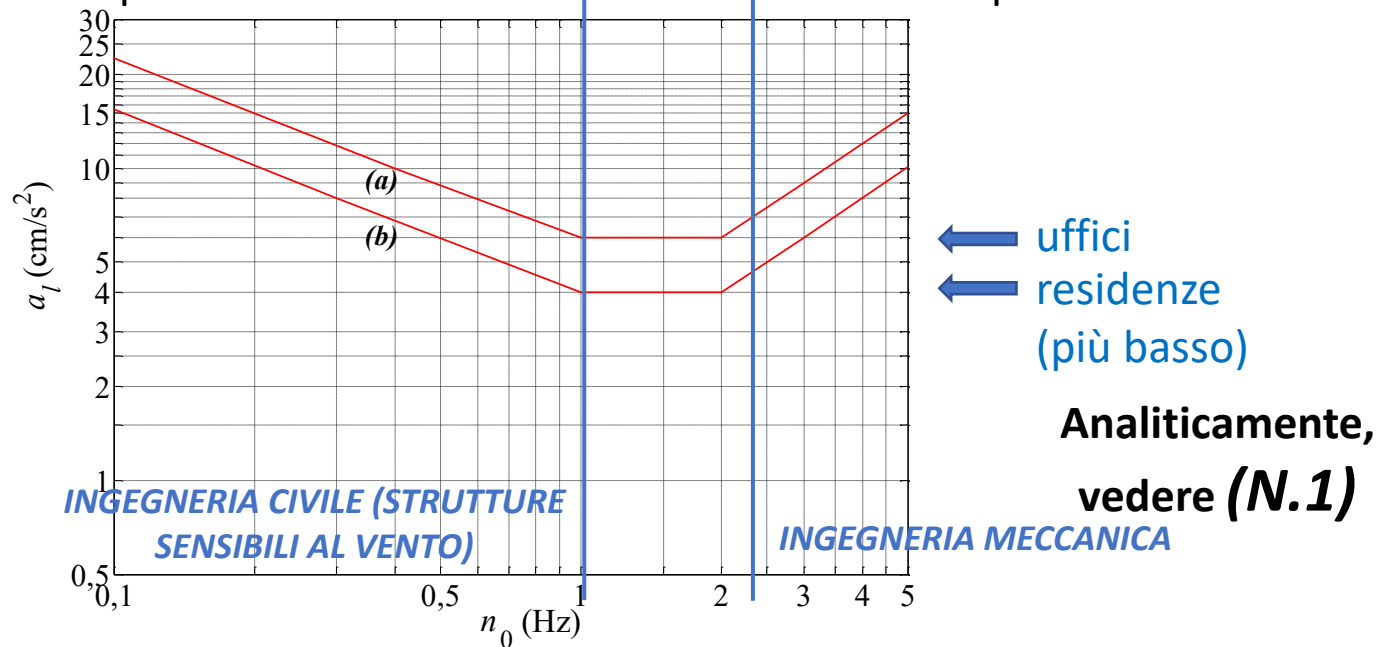


Figura N.2 - Valore limite dell'accelerazione di picco con $T_R = 1$ anno.

Nell'intervallo **1 – 3 Hz**, la **soglia limite** dell'accelerazione è piuttosto **bassa**. Si nota che questo intervallo copre un **ampio spettro di strutture civili**, per cui soddisfare la verifica può essere non banale.

Tendenzialmente, le accelerazioni in direzione trasversale sono più alte di quelle in direzione longitudinale.

Accelerazione e verifiche di abitabilità

ACCELERAZIONE LONGITUDINALE

Il corpo umano è fortemente sensibile alle accelerazione, e questa percezione dipende anche dalla frequenza con cui la struttura che contiene il corpo si muove.

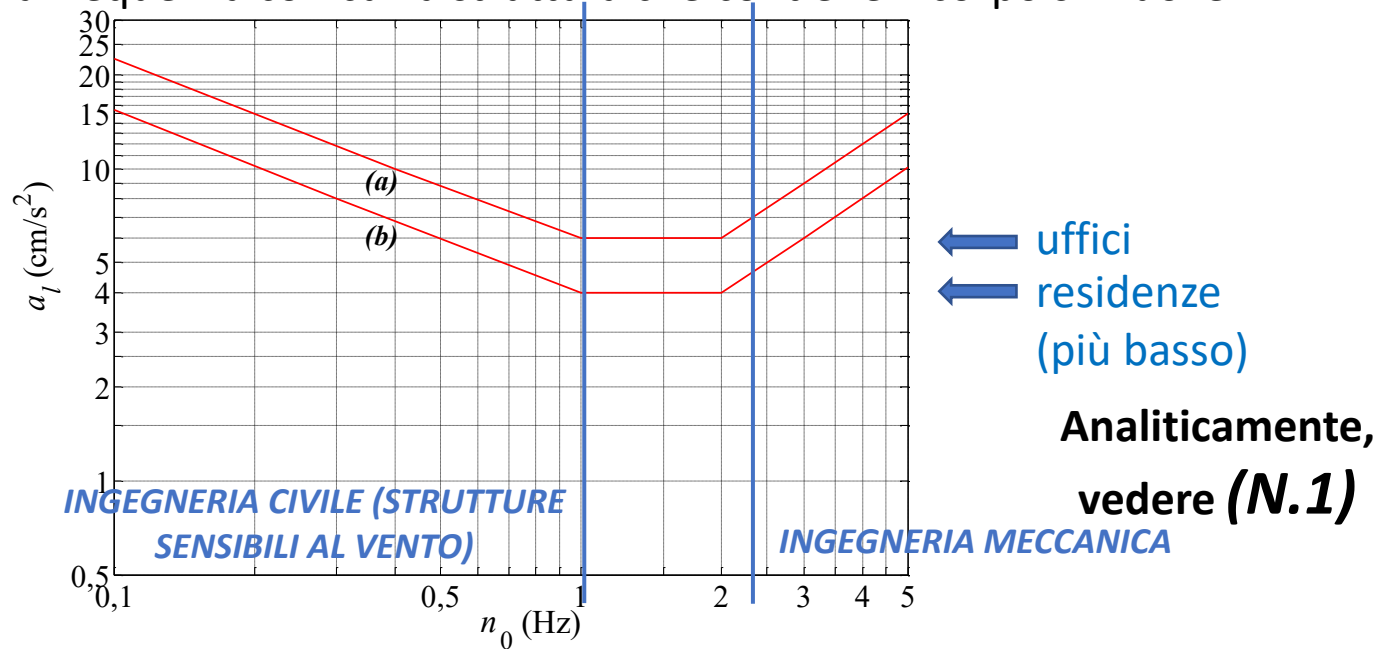


Figura N.2 - Valore limite dell'accelerazione di picco con $T_R = 1$ anno.

«E' necessario che le costruzioni adibite ad ospitare persone, quindi soprattutto gli edifici, ispirino fiducia e garantiscano benessere agli occupanti nei riguardi delle azioni e degli effetti del vento. Il fisico umano non manifesta generalmente difficoltà a sopportare elevati spostamenti e velocità; è invece molto sensibile all'accelerazione alla quale è sottoposto, dando luogo a una gamma di reazioni che spaziano dalla non percezione sino al fastidio e, in alcuni casi, all'intollerabilità.»

**Introduzione, Appendice N
(Accelerazione e abitabilità)**

Accelerazione e verifiche di abitabilità

ACCELERAZIONE LONGITUDINALE

Il corpo umano è fortemente sensibile alle accelerazione, e questa percezione dipende anche dalla frequenza con cui la struttura che contiene il corpo si muove.

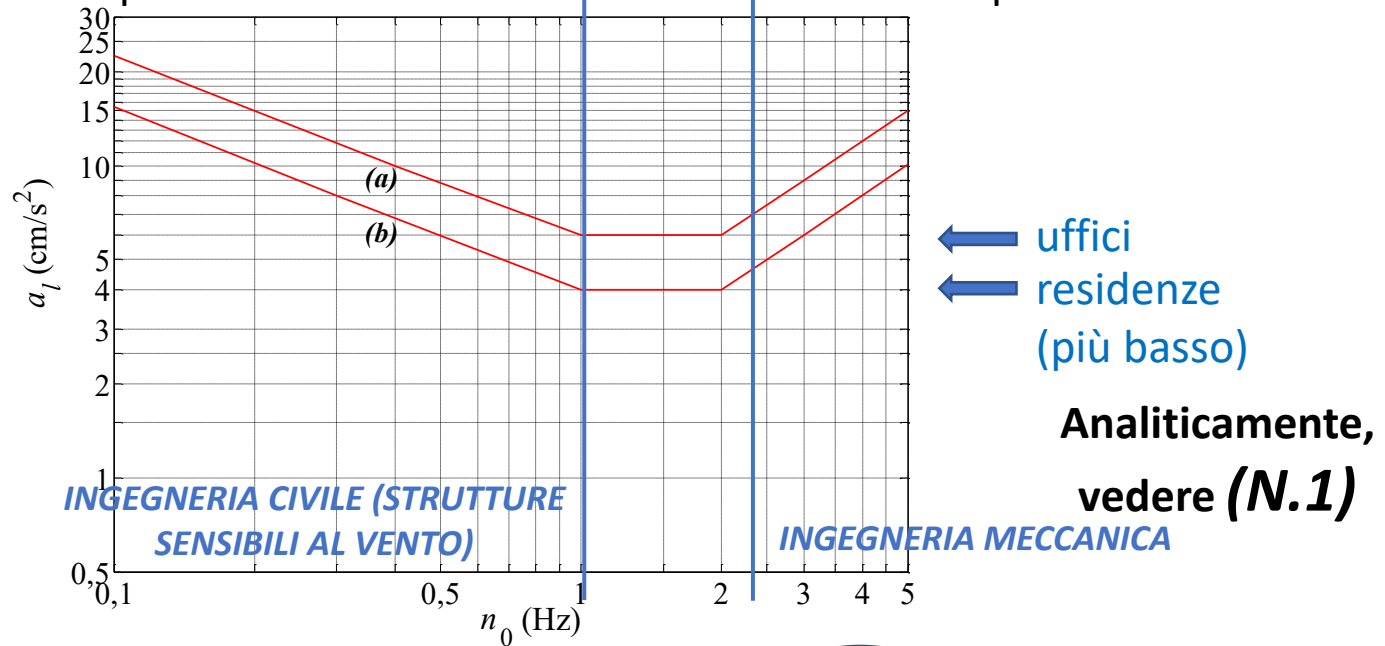


Figura N.2 - Valore limite dell'accelerazione di picco con $T_k = 1$ anno.

Il raggiungimento di **accelerazioni tali per cui l'abitabilità di una struttura non è più assicurata** costituisce uno **stato limite ben diverso** da quello a riguardo della **sicurezza della costruzione stessa**. Di conseguenza, gli eventi per cui le due verifiche devono essere soddisfatte sono definiti per **tempi di ritorno** evidentemente **diversi**.

Il valore di picco dell'accelerazione longitudinale alla quota z è fornito dall'espressione:

$$a_{pD}(z) = g_{aD} \cdot \sigma_{aD}(z) \quad (\text{L.12})$$

Dove:

g_{aD} è il fattore di picco dell'accelerazione:

$$g_{aD} = \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_D \cdot T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_D \cdot T)}} \geq 3 \quad (\text{L.13})$$

Il valore di picco dell'accelerazione longitudinale alla quota z è fornito dall'espressione:

$$a_{pD}(z) = g_{aD} \cdot \sigma_{aD}(z) \quad (\text{L.12})$$

Dove:

g_{aD} è il fattore di picco dell'accelerazione:

$$g_{aD} = \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_D \cdot T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_D \cdot T)}} \geq 3 \quad (\text{L.13})$$

σ_{aD} è la deviazione standard dell'accelerazione longitudinale alla quota z :

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

$$\alpha_{pD}(z) = g_{aD} \cdot \sigma_{aD}(z) \quad (\text{L.12})$$

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

dove:

- n_D è la frequenza del primo modo della struttura nella direzione del vento (Appendice I);
- T è il tempo su cui è valutata la velocità media del vento, $T=600$ s;
- ρ è la densità media dell'aria, $\rho=1.25$ kg/m³ (paragrafo 3.2.7);
- $v_m(z_e)$ è la velocità media del vento (paragrafo 3.2.5), valutata per $z=z_e$ in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);
- b è la larghezza della struttura (Figura L.2);
- h è l'altezza della struttura (Figura L.2);
- m_D è la massa generalizzata relativa al primo modo nella direzione del vento (Appendice I);
- c_{fD} è il coefficiente di forza per unità di lunghezza della struttura o dell'elemento strutturale nella direzione del vento (Appendice G); relativamente agli edifici, $c_{fD} = (c_{pe,p} - c_{pe,n})$, dove $c_{pe,p}$ e $c_{pe,n}$ sono rispettivamente i coefficienti di pressione sulla faccia sopravvento e sottovento (Appendice G);
- $I_v(z_e)$ è l'intensità di turbolenza (paragrafo 3.2.6), valutata all'altezza $z=z_e$;
- R_D è il fattore di risposta risonante, il cui quadrato è fornito dall'Eq. (L.5) in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);
- $\Phi_D(z)$ è la forma modale del primo modo di vibrazione della struttura nella direzione del vento (Appendice I);
- K_D è un coefficiente adimensionale definito dall'espressione:

$$\alpha_{pD}(z) = g_{aD} \cdot \sigma_{aD}(z) \quad (\text{L.12})$$

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

dove:

n_D è la frequenza del primo modo della struttura nella direzione del vento (Appendice I);

T è il tempo su cui è valutata la velocità media del vento, $T=600$ s;

ρ è la densità media dell'aria, $\rho=1.25$ kg/m³ (paragrafo 3.2.7);

$v_m(z_e)$ è la velocità media del vento (paragrafo 3.2.5), valutata per $z=z_e$ in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);

b è la larghezza della struttura (Figura L.2);

h è l'altezza della struttura (Figura L.2);

→ m_D è la massa generalizzata relativa al primo modo nella direzione del vento (Appendice I);

→ c_{fD} è il coefficiente di forza per unità di lunghezza della struttura o dell'elemento strutturale nella direzione del vento (Appendice G); relativamente agli edifici, $c_{fD} = (c_{pe,p} - c_{pe,n})$, dove $c_{pe,p}$ e $c_{pe,n}$ sono rispettivamente i coefficienti di pressione sulla faccia sopravvento e sottovento (Appendice G);

$I_v(z_e)$ è l'intensità di turbolenza (paragrafo 3.2.6), valutata all'altezza $z=z_e$;

→ R_D è il fattore di risposta risonante, il cui quadrato è fornito dall'Eq. (L.5) in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);

$\Phi_D(z)$ è la forma modale del primo modo di vibrazione della struttura nella direzione del vento (Appendice I);

→ K_D è un coefficiente adimensionale definito dall'espressione:

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

dove:

n_D è la frequenza del primo modo della struttura nella direzione del vento (Appendice I);

T è il tempo su cui è valutata la velocità media del vento, $T=600$ s;

ρ è la densità media dell'aria, $\rho=1.25$ kg/m³ (paragrafo 3.2.7);

$v_m(z_e)$ è la velocità media del vento (paragrafo 3.2.5), valutata per $z=z_e$ in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);

b è la larghezza della struttura (Figura L.2);

h è l'altezza della struttura (Figura L.2);

→ m_D è la massa generalizzata relativa al primo modo nella direzione del vento (Appendice I);

→ c_{fD} è il coefficiente di forza per unità di lunghezza della struttura o dell'elemento strutturale nella direzione del vento (Appendice G); relativamente agli edifici, $c_{fD} = (c_{pe,p} - c_{pe,n})$, dove $c_{pe,p}$ e $c_{pe,n}$ sono rispettivamente i coefficienti di pressione sulla faccia sopravvento e sottovento (Appendice G);

$I_v(z_e)$ è l'intensità di turbolenza (paragrafo 3.2.6), valutata all'altezza $z=z_e$;

→ R_D è il fattore di risposta risonante, il cui quadrato è fornito dall'Eq. (L.5) in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);

$\Phi_D(z)$ è la forma modale del primo modo di vibrazione della struttura nella direzione del vento (Appendice I);

→ K_D è un coefficiente adimensionale definito dall'espressione:

Verifica al piano più alto dell'edificio, $z_e = 64.34$ m

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

Massa generalizzata relativa al primo modo flessionale m_D

$$m_i = \int_0^{\ell} m(s) \cdot \Phi_i^2(s) ds$$

(I.25)

$$\rho_m = 250 \frac{Kg}{m^3}$$
$$m = \rho_m b d = 117 \frac{Kg}{m}$$

$$m_1 = \frac{mh}{2\zeta + 1} = 2.62 \cdot 10^6 Kg$$

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

Fattore di risposta risonante R_D

$$R_D^2 = \frac{\pi}{4 \cdot \xi_D} S_D \cdot R_h \cdot R_b$$

(L.5)

Quantità riferite a un tempo di ritorno ridotto

$$S_D = \frac{6,868 \cdot n_D \cdot \frac{L_v(z_e) / v_m(z_e)}{L_v(z_e) / v_m(z_e)}}{[1 + 10,302 \cdot n_D \cdot \frac{L_v(z_e) / v_m(z_e)}{L_v(z_e) / v_m(z_e)}]^{5/3}} \quad (\text{L.6})$$

$$R_h = \begin{cases} 1 & \text{per } \eta_h = 0 \\ \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) & \text{per } \eta_h > 0 \end{cases} \quad (\text{L.7})$$

$$R_b = \begin{cases} 1 & \text{per } \eta_b = 0 \\ \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) & \text{per } \eta_b > 0 \end{cases} \quad (\text{L.8})$$

$$\eta_h = 4 \cdot \frac{n_D \cdot h}{v_m(z_e)}, \quad \eta_b = 4 \cdot \frac{n_D \cdot b}{v_m(z_e)} \quad (\text{L.9})$$

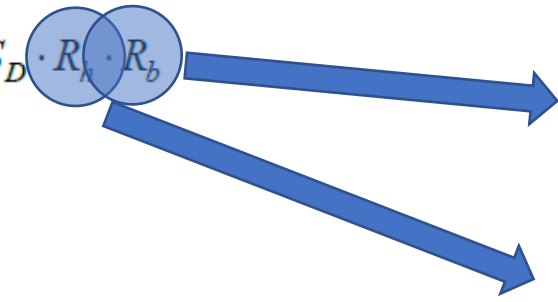
ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

Fattore di risposta risonante R_D

Quantità riferite a un tempo di ritorno ridotto

$$S_D = \frac{6,868 \cdot n_D \cdot \frac{L_v(z_e)}{v_m(z_e)}}{[1 + 10,302 \cdot n_D \cdot \frac{L_v(z_e)}{v_m(z_e)}]^{5/3}} \quad (\text{L.6})$$

$$R_D^2 = \frac{\pi}{4 \cdot \xi_D} S_D \cdot R_h \cdot R_b \quad (\text{L.5})$$


$$R_h = \begin{cases} 1 & \text{per } \eta_h = 0 \\ \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_h}) & \text{per } \eta_h > 0 \end{cases} \quad (\text{L.7})$$

$$R_b = \begin{cases} 1 & \text{per } \eta_b = 0 \\ \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} (1 - e^{-2 \cdot \eta_b}) & \text{per } \eta_b > 0 \end{cases} \quad (\text{L.8})$$

$$\eta_h = 4 \cdot \frac{n_D \cdot h}{v_m(z_e)}, \quad \eta_b = 4 \cdot \frac{n_D \cdot b}{v_m(z_e)} \quad (\text{L.9})$$

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z) \quad (\text{L.14})$$

Coefficiente adimensionale K_D

dove z_0 è la lunghezza di rugosità definita al paragrafo (3.2.4) in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione.

$$K_D = f\left(\frac{z_e}{z_0} = \frac{64.34}{0.1}, \zeta = 1\right) = 0.5$$

Lunghezza di rugosità

Forma modale

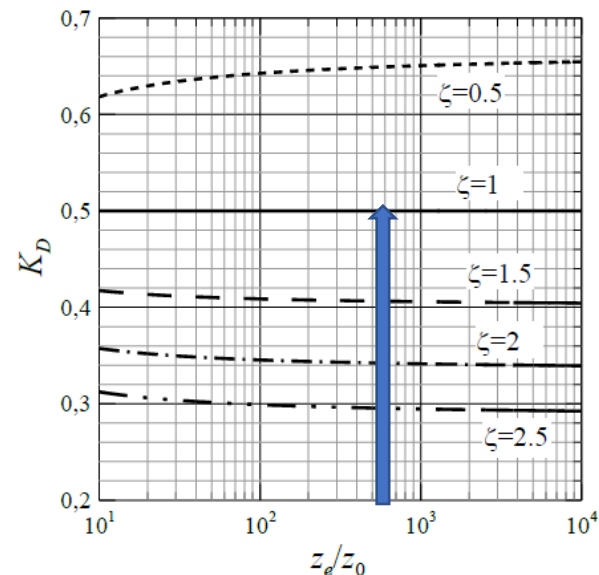


Figura L.10 – Coefficiente adimensionale K_D .

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$(L.14) \quad \sigma_{aD}(z) = \frac{\rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_D} c_{fD} \cdot I_v(z_e) \cdot R_D \cdot K_D \cdot \Phi_D(z)$$

$$(L.13) \quad g_{aD} = \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_D \cdot T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_D \cdot T)}} \geq 3$$

$$\sigma_{aD}(z = 64.34 \text{ m}) = 0.0143 \text{ m/s}^2$$

$$g_{aD} = 3.89$$

$$a_{pD}(z = 64.34 \text{ m}) = 0.056 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5.6 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

Equazione	Parametro
Figura L.2	$h = 67,44 \text{ m}$
	$b = 21,60 \text{ m}$
	$d = 21,6 \text{ m}$
	$z_e = 40,464 \text{ m}$
(3.5)	$v_m(z_e) = 24,312 \text{ m/s}$
(3.7)	$I_v(z_e) = 0,167$
(3.8)	$L_v(z_e) = 123,613 \text{ m}$
(I.4)	$n_D = 0,9 \text{ Hz}$
(I.25)	$m_D = 2,62 \cdot 10^6 \text{ kg}$
(I.28)	$\xi_D = 0,01$
(L.6)	$S_D = 0,049$
(L.9)	$\eta_h = 9,986$
(L.9)	$\eta_b = 3,198$
(L.7)	$R_h = 0,095$
(L.8)	$R_b = 0,264$
(L.5)	$R_D^2 = 0,097$
(L.5)	$R_D = 0,312$
-	$c_{pD} = 1,606$
(L.16)	$K_D = 0,5$
(I.23)	$\Phi_D(z_e) = 0,954$
(L.14)	$\sigma_{aD} = 0,0143 \text{ m/s}^2$
(L.13)	$g_{aD} = 3,890$
(L.12)	$a_{pD} = 0,056 \text{ m/s}^2$

M.5 Accelerazione trasversali e torsionali

Il valore di picco dell'accelerazione longitudinale alla quota z è fornito dall'espressione:

$$a_{pL}(z) = g_L \cdot \sigma_{aL}(z) \quad (\text{M.27})$$

Dove:

g_L è il fattore di picco dell'accelerazione in direzione trasversale:

$$g_L = \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)}} \geq 3 \quad (\text{M.15})$$

σ_{aL} è la deviazione standard dell'accelerazione longitudinale alla quota z :

$$\sigma_{aL}(z) = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_L} C_L \cdot R_L \cdot \Phi_L(h) \cdot \Phi_L(z) \quad (\text{M.28})$$

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$a_{pL}(z) = g_L \cdot \sigma_{aL}(z) \quad (M.27)$$

$$\sigma_{aL}(z) = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_L} C_L \cdot R_L \cdot \Phi_L(h) \cdot \Phi_L(z) \quad (M.28)$$

ρ è la densità dell'aria, $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$ (paragrafo 3.2.7);

$v_m(h)$ è la velocità media del vento (paragrafo 3.2.5), valutata per $z=h$ in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);

b è la larghezza dell'edificio (Figura M.1);

h è l'altezza dell'edificio (Figura M.1);

➡ $m_L = m_D$ è la massa generalizzata dell'edificio, relativa al primo modo di vibrazione trasversale (Appendice I);

➡ C_L è il coefficiente aerodinamico di forza, Eq. (M.6);

➡ R_L è il fattore di risposta risonante in direzione trasversale, il cui quadrato è fornito dall'Eq. (M.9) in corrispondenza di un periodo di ritorno di progetto T_R idoneo alla verifica di abitabilità (Appendice N);

$\Phi_L(z)$ è la forma modale del primo modo di vibrazione in direzione trasversale (Appendice I).

Verifica al piano più alto dell'edificio, $z_e = 64.34 \text{ m}$

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\sigma_{aL}(z) = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_L} C_L \cdot R_L \cdot \Phi_L(h) \cdot \Phi_L(z) \quad (M.28)$$

Coefficiente aerodinamico di forza in direzione trasversale C_L

$$C_L = 0,0082 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^3 - 0,071 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 0,22 \cdot \frac{d}{b} \quad (M.6)$$

$$C_L \left(\frac{d}{b} = 1\right) = 0.157$$

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\sigma_{aL}(z) = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_L} C_L \cdot R_L \cdot \Phi_L(h) \cdot \Phi_L(z) \quad (M.28)$$

Fattore di risposta risonante in direzione trasversale R_L

$$R_L^2 = \frac{\pi \cdot S_L}{4 \cdot \xi_L} \quad (M.9)$$

$$S_L = \sum_{j=1}^m \frac{4k_j \cdot (1 + 0,6 \cdot \beta_j) \cdot \beta_j}{\pi} \frac{\left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2\right]^2 + 4 \cdot \beta_j^2 \cdot \left(\frac{n_L}{n_{sj}}\right)^2} \quad (M.10)$$

$$m = \begin{cases} 1 & d/b < 3 \\ 2 & d/b \geq 3 \end{cases} \quad (M.11)$$

$$k_1 = 0,85, \quad k_2 = 0,02 \quad (M.12)$$

Rapporto di smorzamento per il primo modo trasversale

$$\beta_1 = \frac{\left(\frac{d}{b}\right)^4 + 2,3 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2}{\left[2,4 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^4 - 9,2 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^3 + 18 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2 + 9,5 \cdot \left(\frac{d}{b}\right) - 0,15\right] + \left(\frac{d}{b}\right)}, \quad \beta_2 = 0,28 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^{-0,34} \quad (M.13)$$

$$n_{s1} = \frac{0,12}{\left\{1 + 0,38 \cdot \left(\frac{d}{b}\right)^2\right\}^{0,89}} \frac{v_m(h)}{b}, \quad n_{s2} = \frac{0,56}{\left(\frac{d}{b}\right)^{0,85}} \frac{v_m(h)}{b} \quad (M.14)$$

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI

$$\text{M.28)} \quad \sigma_{aL}(z) = \frac{0.5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z_e) \cdot b \cdot h}{m_L} C_L \cdot R_L \cdot \Phi_L(h) \cdot \Phi_L(z)$$

$$\text{M.15)} \quad g_L = \sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)} + \frac{0.5772}{\sqrt{2 \cdot \ln(2 \cdot n_L \cdot T)}} \geq 3$$

$$\sigma_{aL}(z = 64.34 \text{ m}) = 0.0239 \text{ m/s}^2$$

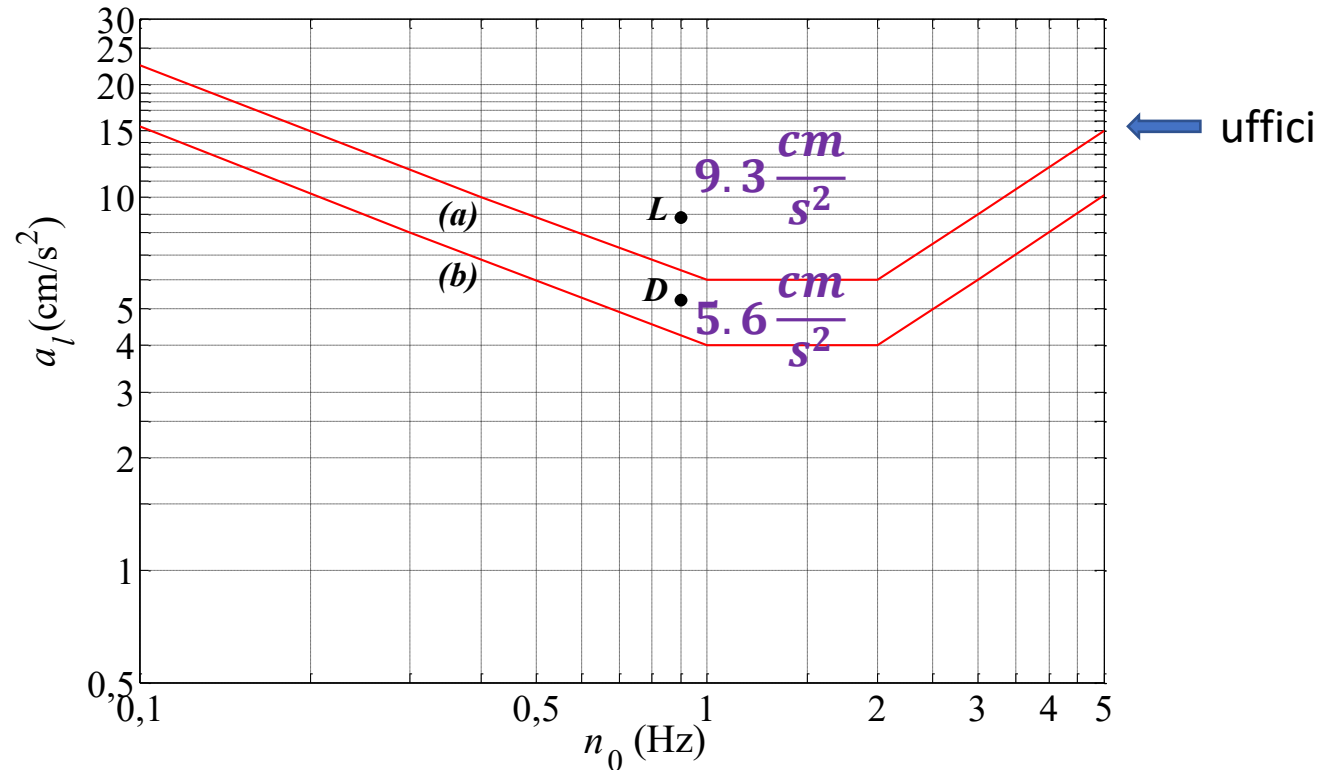
$$g_L = 3.89$$

$$a_{pL}(z = 64.34 \text{ m}) = 0.093 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9.3 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

Tabella 4.6.X - Fasi di calcolo per la determinazione dell'accelerazione di picco trasversale.

Equazione	Parametro
Figura M.1	$h = 67.44 \text{ m}$
	$b = 21.60 \text{ m}$
	$d = 21.6 \text{ m}$
(2.5)	$v_m(h) = 26,381 \text{ m/s}$
(2.7)	$I_v(h) = 0,154$
(I.4)	$n_T = 0,9 \text{ Hz}$
(I.25)	$m_L = 2,62 \cdot 10^6 \text{ kg}$
(I.28)	$\xi_L = 0,010$
(M.11)	$m = 1$
(M.12)	$k_1 = 0,85$
(M.13)	$\beta_1 = 0,281$
(M.14)	$n_{s1} = 0,110$
(M.10)	$S_L = 0,005$
(M.9)	$R_L^2 = 0,427$
(M.9)	$R_L = 0,654$
(3.9)	$q_p(h) = 1604 \text{ N/m}^2$
(M.6)	$C_L = 0,157$
(I.23)	$\Phi_L(h) = 1$
(I.23)	$\Phi_L(z_e) = 0,954$
(M.28)	$\sigma_{aL} = 0,0239 \text{ m/s}^2$
(M.15)	$g_L = 3,890$
(M.27)	$a_{pL} = 0,093 \text{ m/s}^2$

ESEMPIO 4.6 EDIFICIO MULTIPIANO PER UFFICI



Si noti che l'accelerazione di picco longitudinale è minore del limite consigliato; l'accelerazione di picco trasversale è invece moderatamente maggiore del limite. Una scelta adeguata al caso in esame potrebbe essere quella di ripetere le analisi utilizzando valutazioni più accurate dei parametri dinamici.



ORDINE DEGLI INGEGNERI

DELLA PROVINCIA DI MACERATA

Grazie per l'attenzione !

**Ringraziamenti per le idee e il materiale mostrato
durante la lezione vanno a:**

Prof. Giovanni Solari

Prof. ssa Luisa Carlotta Pagnini

Prof. Giuseppe Piccardo



**Università
di Genova**

