

RISCHIO SISMICO & VENTO. NUOVA NORMATIVA SISMICA.

Aggiornamento sulla normativa.

Il 20 marzo 2003 viene pubblicata l'ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274 con quattro allegati: zonizzazione, edifici, ponti, terreni. La suddivisione del territorio proposta è basata sui valori di accelerazioni massime al suolo registrate dalla rete sismografica nazionale, preposta al monitoraggio degli eventi sismici. Nell'aprile scorso l'istituto nazionale di geofisica e vulcanologia ha redatto una mappatura nazionale di pericolosità sismica, a curve di livello, basandosi sull'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10 per cento in 50 anni.

L'8 maggio 2003 Pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale dell'ordinanza con modifiche: all'art. 2 comma 2, il testo dell'ordinanza [...] la progettazione dovrà essere conforme a quanto prescritto dalla nuova classificazione sismica (confermato con nota del Servizio Sismico Nazionale del 6 giugno 2003).

10 ottobre 2003 Ordinanza n. 3316 "Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del p.c.m. n. 3274 del 20 marzo 2003"

23 gennaio 2004 Ordinanza n.3333 (art. 6, comma 7) "Edifici strategici" proroga di 18 mesi anche per gli edifici strategici.

Nell'Oggetto delle norme (capitolo 1, allegato2) è scritto che: "lo scopo delle norme è di assicurare che in caso di evento sismico sia protetta la vita umana, siano limitati i danni, rimangano funzionanti le strutture essenziali agli interventi di protezione civile".

Successivamente nei requisiti di sicurezza e criteri di verifica, vengono definiti due livelli prestazionali, espressi come stati limite – rispettivamente – ultimo e di danno, per i quali "sotto l'effetto di azione sismica di progetto ... le strutture degli edifici, [...] pur subendo danni di grave entità agli elementi strutturali e non strutturali devono mantenere una residua resistenza e rigidità nei confronti dell'azione orizzontale e l'intera capacità portante nei confronti dell'azione dei carichi verticali", come condizione relativa allo stato ultimo; mentre "le costruzioni nel loro complesso, includendo gli elementi strutturali e non strutturali, ivi comprese le apparecchiature rilevanti alle funzioni dell'edificio, non devono subire danni gravi e interruzioni d'uso in conseguenza di eventi sismici che abbiano una probabilità di occorrenza più elevata di quella della azione sismica di progetto" è la condizione relativa allo stato limite di danno.

Dal punto di vista metodologico, la nuova normativa introduca grosse novità rispetto al passato: anzitutto l'abbandono del metodo delle tensioni ammissibili. Il riferimento ad uno "stato limite ultimo" che la struttura raggiunge con elevate escursioni in campo plastico (e quindi danneggiandosi) rappresenta bene il suo reale comportamento.

L'allegato all'Ordinanza 274 definisce a grandi linee i metodi per la valutazione della sicurezza e per il relativo progetto d'intervento: queste attività richiedono sistemi di analisi e verifica appropriati e l'impiego di opportuni coefficienti di sicurezza che considerino il maggior grado di incertezza rispetto agli edifici di nuova progettazione. Le modalità con le quali intervenire sulle strutture in calcestruzzo armato si basano essenzialmente su tre tipologie di intervento: il rinforzo degli elementi strutturali con eventuale aumento della sezione resistente, l'isolamento sismico degli edifici, l'inserimento di dissipatori in grado di aumentare l'energia dissipata mediante cicli isteretici o viscosi. Indipendentemente dalle modalità con le quali l'evento sismico viene ottenuto, il progettista accerta che, per effetto di terremoti violenti, la struttura entri in campo plastico e si danneggi senza che ne

avvenga il collasso: deve essere in grado, quindi, di fornire elevata duttilità sia a livello locale che a livello globale. Nei sistemi a telaio, le zone dove si riscontrano le deformazioni più elevate sono i nodi di collegamento trave-pilastro, dove il progettista schematizza la formazione di cerniere plastiche che rappresentano l'anello debole nell'ideale catena della resistenza dei componenti strutturali. Nelle cerniere plastiche, che a livello di schema statico possono essere schematizzate come molle rotazionale con definita rigidità, la struttura dissipa parte dell'energia sismica in ingresso; attraverso l'inserimento controllato e con una forte componente di localizzazione di elementi dissipativi è quindi possibile migliorare il comportamento sismico della struttura nel suo complesso.

La modellazione della struttura è uno degli aspetti più importanti e più delicati dell'analisi delle strutture sotto azione sismica. Da questo punto di vista l'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 raccomanda una particolare attenzione nel rappresentare in modo adeguato la distribuzione di masse e rigidità, considerando anche il contributo di elementi non strutturali. In generale, il modello della struttura viene rappresentato come costituito da elementi resistenti piani a telaio o parete.

A questa modellazione danno un contributo i moduli software su TI-89.

Riferimenti bibliografici per teoria e dettagliata guida all'uso dei programmi sono :

Carotti A., "Meccanica delle Strutture e Controllo Strutturale Attivo", Springer Verlag, 2005

Altro riferimento:

Carotti A., Rimoldi P., "Prontuario di Ingegneria Edile e Strutturale", UTET, 2000

Carotti A., Rimoldi P., Marchionini L., "Modelli e Dati per Progettare in Ingegneria" Editore Abitare Segesta, 1999

Un primo gruppo di programmi di base, presentati qui, è fondamentale per la modellazione della costruzione in condizioni sismiche (seguiranno altri moduli software professionali) :

Il software **OscMonoM.89P** calcola la risposta a regime, rispettivamente in termini di spostamento, velocità e accelerazione, e sia relative che assolute, per il caso di un oscillatore a massa concentrata, nei due casi seguenti:

a) eccitazione cinematica armonica applicata alla base;

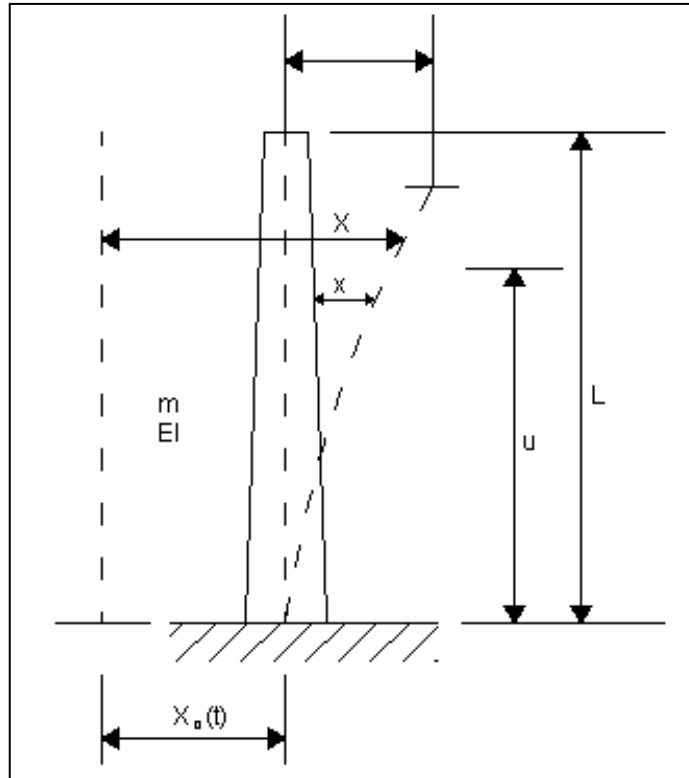
b) forzante armonica applicata alla massa.

Nel primo caso viene fornito il solo modulo della risposta, nel secondo viene indicata anche la fase, in gradi, rispetto alla forzante.

Le grandezze che caratterizzano l'oscillatore sono: la massa puntiforme M (in kg), la rigidità K , in N/m, e il coefficiente di smorzamento C , in N·s/m (ovvero il rapporto di smorzamento adimensionale ξ , rapporto tra il coefficiente di smorzamento C e il coefficiente di smorzamento critico C_{cr}).

Della forzante viene chiesto il valore di picco: a seconda del tipo considerato viene espresso in m, m/s, m/s² oppure in Newton, nonché la frequenza in Hz.

I valori di risposta vanno intesi come valori di picco dell'oscillazione armonica a transitorio esaurito



Il software **Frequenz.89P** calcola le frequenze proprie di oscillazione di alcune tra le più comuni tipologie di strutture usate in ambito civile. Di alcune di esse vengono anche fornite le forme modali. Riportiamo il formulario adottato, caso per caso:

Oscillatori traslatori multimassa (telai "a taglio" con masse uguali e uguali rigidezze di piano)

a) 2 gradi di libertà (2 piani)

- Frequenze naturali:

$$f_1 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{3 + \sqrt{5}}{8} \frac{K}{M}} ; f_2 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{3 - \sqrt{5}}{8} \frac{K}{M}}$$

con $k = \frac{12EI_s}{L^3}$, $I_s = \sum I_i$ (K, M: rigidezza e massa del generico piano)

- Forme modali

$$\begin{bmatrix} \tilde{x}_1 \\ \tilde{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 \\ \frac{1 - \sqrt{5}}{2} \end{bmatrix}$$

Coni tronchi con sezioni omotetiche

$$T = k \cdot h^2 \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot A}{g \cdot E \cdot I}}$$

dove k è calcolato, nel campo $0.4 \leq a/l \leq 1$, con la seguente espressione di terzo grado:

$$k = -2.20957 \cdot \left(\frac{a}{l}\right)^3 + 3.91032 \cdot \left(\frac{a}{l}\right)^2 - 1.20599 \cdot \frac{a}{l} + 1.29445$$

Coni (o piramidi) tronchi con sezione variabile linearmente

$$T = \frac{2\pi \cdot h^2}{k} \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot A}{g \cdot E \cdot I}}$$

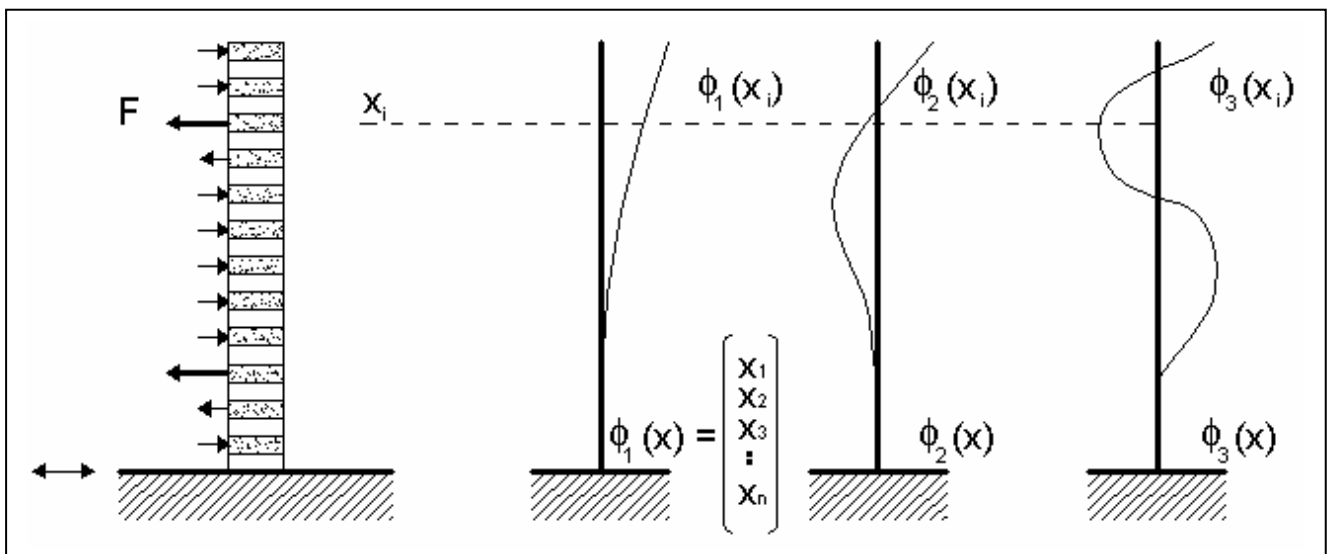
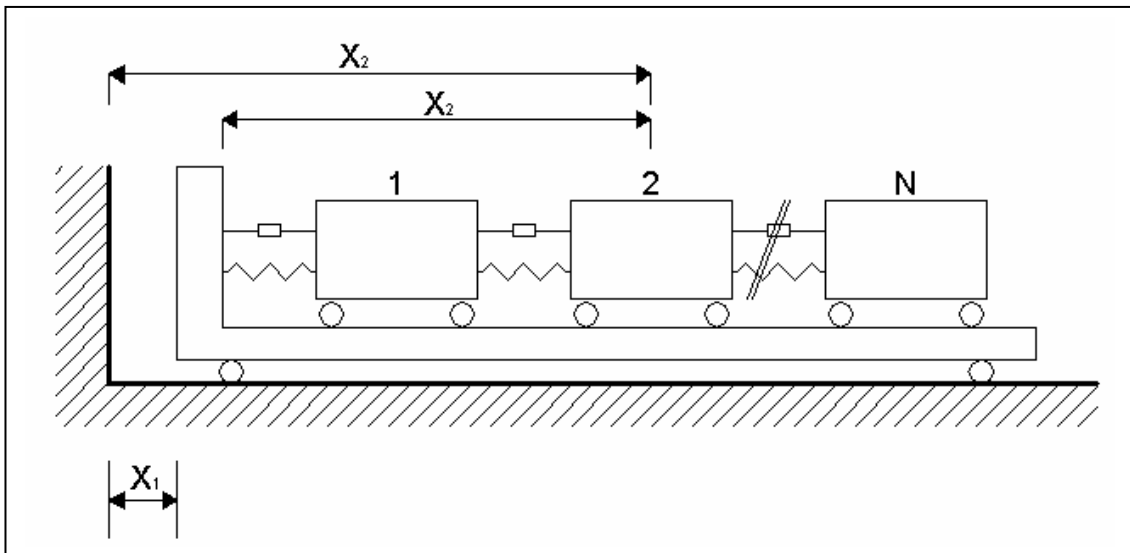
In questo caso il valore di k dipende dai due parametri λ e μ , definiti come:

$\lambda = t_s / t$ rapporto tra lo spessore della parete in sommità e quello alla base;

$\mu = d_s / d$ rapporto tra il diametro esterno alla sommità e quello alla base.

Il software **OscMulti.89P (a breve)** studia le oscillazioni dinamiche di un telaio "a taglio", modello di un edificio multipiano (Figure).

Nella versione attuale, il numero di piani è fissato a 3. Le inerzie e l'elasticità sono considerate concentrate, rispettivamente in corrispondenza dei piani e dei pilastri, e per questi ultimi si considera una deformabilità solo di tipo 'a taglio'.



assumere qualsiasi valore, così come le rigidezze dei pilastri, che vengono calcolate a partire dalla geometria e dal materiale dei pilastri stessi.

Numerati i piani da 1 a 3 a partire dal basso, e misurati gli spostamenti di piano dalla configurazione verticale indeformata, il procedimento di analisi fonda sulla ricerca degli autovalori ed autovettori del sistema, partendo dall'equazione algebrica caratteristica associata all'equazione differenziale di moto:

$$\det(-\omega^2 \cdot [M] + [K]) = 0 \Rightarrow \omega_i^2, \{Y\}_i \text{ con } i=1,2,3$$

Le matrici $[M]$ e $[K]$ sono così costituite:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}; [K] = \begin{bmatrix} 2(B_1 + B_2) & -2B_2 & 0 \\ -2B_2 & 2(B_2 + B_3) & -2B_3 \\ 0 & -2B_3 & 2B_3 \end{bmatrix}$$

$$\text{con } B_i = \frac{12 \cdot E \cdot J_i}{H_i^3},$$

J_i : momento d'inerzia del pilastro al piano i-esimo,
 H_i : altezza del piano i-esimo.

L'equazione matriciale caratteristica conduce ad una equazione di 3° grado in ω^2 , a radici tutte reali e positive se $[M]$ e $[K]$ sono definite positive. Gli autovalori ω^2 sono i quadrati delle frequenze proprie (circolari), mentre gli autovettori sono le forme modali del sistema. La frequenza modale viene calcolata dalla formula:

$$f_i = \frac{\omega_i}{2\pi} \text{ [Hz]}$$

e il corrispondente periodo è:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \text{ [s]}.$$

Nel seguito gli autovettori vengono normalizzati in modo che sia $\sqrt{\sum_{i=1}^3 Y_i^2} = 1$.

La risposta fisica del sistema si ottiene come combinazione lineare delle forme modali con il moto generalizzato dell'i-esimo modo $p_i(t)$:

$$\begin{Bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \end{Bmatrix} = [\{Y_1\} \ \{Y_2\} \ \{Y_3\}] \cdot \begin{Bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \end{Bmatrix} \rightarrow \{y(t)\} = [Y]\{p(t)\}.$$

I 3 moti generalizzati si determinano integrando le seguenti equazioni disaccoppiate:

$$\ddot{p}_i(t) + 2\xi_i \omega_i \cdot \dot{p}_i(t) + \omega_i^2 \cdot p_i(t) = \Gamma_i \cdot \ddot{y}_g(t), \quad i=1,2,3$$

nelle quali, $\ddot{y}_g(t)$ è l'accelerazione del terreno, e

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{k=1}^3 m_k Y_{ik}}{\sum_{k=1}^3 m_k Y_{ik}^2}, \text{ con } i=1,2,3 \text{ sono i coefficienti di partecipazione modale.}$$

Si esaminano i valori di picco modali, che sono:

$$\{\bar{y}\} = [Y] \cdot \{p_{\max}\}$$

$p_{i,\max} = \Gamma_i \cdot S_{d,i}$, $S_{d,i}$ essendo la risposta spettrale (spostamento). Dalle citate norme si ha:

$$S_{d,i} = \begin{cases} 0.0174 \cdot T_i^2 & \text{per } T_i < 0.8 \text{ s} \\ 0.015 \cdot T_i^{4/3} & \text{per } T_i > 0.8 \text{ s} \end{cases}; (c=0.07, \epsilon \square 1, \beta \square 1).$$

Per avere lo spostamento massimo complessivo di piano si opera con una sovrapposizione statistica dei massimi modali (RMS):

$$Y_{1,\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 Y_{i,1}^2}, \quad Y_{2,\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 Y_{i,2}^2}, \quad Y_{3,\max} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 Y_{i,3}^2}$$

valide, rispettivamente, per il primo, il secondo ed il terzo piano.

Per quanto riguarda i parametri meccanici, invece, vengono calcolate le forze taglianti e i momenti flettenti all'estremità dei pilastri, e le forze d'inerzia di ogni piano, sempre intese come grandezze massime modali.

Le forze di taglio ed i momenti flettenti si calcolano a partire dallo spostamento relativo di un piano rispetto all'altro:

Il taglio ed il momento massimo si calcolano ancora per sovrapposizione statistica:

$$T_{i,\max} = \sqrt{\sum_{r=1}^3 \bar{T}_{r,i}^2}, \quad M_{i,\max} = \sqrt{\sum_{r=1}^3 \bar{M}_{r,i}^2}$$

$$\bar{T}_{r,j} = B_j \cdot (\bar{y}_{r,j} - \bar{y}_{r,j-1}), \quad \bar{M}_{r,j} = \frac{H_j}{2} B_j \cdot (\bar{y}_{r,j} - \bar{y}_{r,j-1}) \quad \text{con } i, r \in \{1, 2, 3\}$$

Le forze d'inerzia di piano, infine, si calcolano come:

$$\{\bar{F}\}_i = [M] \cdot \{\bar{y}\}_i = [M] \cdot \{Y\}_i \cdot \Gamma_i \cdot S_{a,i}$$

nella quale $S_{a,i}$ è la risposta spettrale in termini di accelerazione. Secondo le norme italiane, è:

$$S_{a,i} = \begin{cases} 0.687 \text{ m/s}^2 & \text{per } T_i < 0.8 \text{ s} \\ 0.592 \cdot T_i^{-2/3} & \text{per } T_i > 0.8 \text{ s} \end{cases}$$

La forza d'inerzia massima di piano, in senso statistico, ha il valore:

$$F_{i,\max} = \sqrt{\sum_{r=1}^3 \bar{F}_{r,i}^2}$$

Come al solito, nella guida all'uso verrà anche fornito un esempio numerico sviluppato in maniera completa.

Un successivo gruppo di moduli software, come detto, riguarderà specificatamente la nuova normativa italiana e sviluppi avanzati di interesse professionale.