



DICEA

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE E AMBIENTALE**

**Corso di Costruzioni in zona sismica
Lezione del 8 maggio 2020**

La combinazione degli effetti delle azioni e delle azioni

Prof.ssa Ing. Gloria Terenzi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Firenze

7.3.5. RISPOSTA ALLE DIVERSE COMPONENTI DELL'AZIONE SISMICA ED ALLA VARIABILITÀ SPAZIALE DEL MOTO

ANALISI DINAMICA O STATICA, LINEARE O NON LINEARE

La risposta è calcolata unitariamente per le tre componenti, applicando l'espressione:

$$1,00 \cdot E_x + 0,30 \cdot E_y + 0,30 \cdot E_z \quad [7.3.10]$$

Gli effetti più gravosi si ricavano dal confronto tra le tre combinazioni ottenute permutando circolarmente i coefficienti moltiplicativi.

In ogni caso:

- la componente verticale deve essere tenuta in conto unicamente nei casi previsti al § 7.2.2.
- la risposta deve essere combinata con gli effetti pseudo-statici indotti dagli spostamenti relativi prodotti dalla variabilità spaziale del moto unicamente nei casi previsti al § 3.2.4.1, utilizzando, salvo per quanto indicato al § 7.2.2 in merito agli appoggi mobili, la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS).

ANALISI DINAMICA, LINEARE O NON LINEARE, CON INTEGRAZIONE AL PASSO

La risposta è valutata applicando simultaneamente le due componenti orizzontali della storia temporale del moto del terreno (e quella verticale, ove necessario). Si devono adottare almeno 3 storie temporali; si valutano gli effetti sulla struttura utilizzando i valori più sfavorevoli. Impiegando invece almeno 7 diverse storie temporali, gli effetti sulla struttura sono rappresentati dalla media dei valori più sfavorevoli.

Nel caso in cui sia necessario valutare gli effetti della variabilità spaziale del moto, l'analisi può essere eseguita imponendo alla base della costruzione storie temporali del moto del terreno differenziate, ma coerenti tra loro e generate in accordo con lo spettro di risposta appropriato per ciascun vincolo. In alternativa, si potranno eseguire analisi dinamiche con moto sincrono tenendo in dovuto conto gli effetti pseudo-statici di cui al § 3.2.4.

Come noto, al punto 7.3.5 delle NTC 2008 (così come nelle precedenti normative sismiche italiane) è indicato che, nel caso di analisi statica lineare o dinamica lineare (ossia, per sovrapposizione modale), la risposta può essere calcolata separatamente per ciascuna delle componenti in pianta x e y (prescindendo, per brevità, dalla componente verticale z), combinando successivamente gli effetti massimi "E" sulla struttura (sollecitazioni, spostamenti, deformazioni, ecc.) secondo le espressioni:

$$E = 1,00 \cdot |E_x| + 0,30 |E_y| \quad (1)$$

$$E = 1,00 \cdot |E_y| + 0,30 |E_x| \quad (2)$$

in cui E_x , E_y rappresentano i valori di E dovuti alle componenti x ed y, rispettivamente.

Tali combinazioni discendono dalle due seguenti ipotesi (Clough, R. W., Penzien, J. Dynamics of structures, CSI, Los Angeles, CA, 2003 – capitoli 25 e 26):

1. che, in base all'osservazione geo-sismologica, ove si considerino due componenti orizzontali del moto sismico in condizioni di campo libero simultaneamente agenti al piede di un sistema strutturale, la massima intensità probabile di una componente (che diremo "debole") non supera l'85% dell'intensità della componente "forte", e dunque tale scalatura deve essere tenuta in conto in sede di progetto;
2. che gli effetti di risposta nei confronti delle due componenti simultanee siano combinabili mediante la classica regola SRSS (radice quadrata della somma dei quadrati), esistendo un'assai debole cross-correlazione tra le stesse componenti.

In base alla seconda ipotesi, si può dunque scrivere:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (3)$$

Se l'analisi, lineare statica o dinamica, è condotta utilizzando, come nelle assunzioni di normativa, la stessa azione secondo x e secondo y (e quindi, per tali due tipi di analisi, usando lo stesso spettro di risposta), si ha che gli effetti E_x ed E_y saranno tra loro proporzionali.

Si assuma, in particolare, che, pensando la componente sismica x come "forte", sia più elevato il valore dell'effetto E_x (come generalmente accade; si pensi, ad esempio, al taglio T_x in un pilastro, il cui valore è decisamente più alto a causa del sisma agente secondo x – componente T_{xx} – rispetto al sisma agente secondo y – componente T_{xy}). Si ponga, dunque:

$$E_y = B \cdot E_x \quad (4)$$

con $B < 1$.

Inoltre, in base alla prima ipotesi summenzionata, può essere posto:

$$E_y = 0,85 \cdot B \cdot E_x \quad (5)$$

Sostituendo la (5) nella (3), si ottiene:

$$E = \sqrt{E_x^2 + (0,85)^2 \cdot B^2 \cdot E_x^2} = \sqrt{E_x^2 + 0,723 \cdot B^2 \cdot E_x^2} = E_x \cdot \sqrt{1 + 0,723 \cdot B^2} \quad (6)$$

La (6) motiva la (1) e, ad indici invertiti, la (2) (ne abbiamo appositamente richiamato la genesi teorica, per completezza di nota). Infatti, nel caso in cui, al limite, fosse: $E_y = E_x$ (ossia, $B=1$), la (6) diverrebbe:

$$E = E_x \cdot \sqrt{1 + 0,723} \cong 1,3 \cdot E_x \quad (7)$$

cioè lo stesso risultato fornito dalla (1) nella stessa ipotesi $E_y=E_x$.

In generale, essendo $E_y < E_x$ (spesso molto minore), la (1) rappresenta una stima per eccesso del valore di E (infatti, tranne che per $B=0$ e $B=1$, la (1) dà luogo a valori maggiori rispetto alla (6). In quanto tale, la (1) è stata ~~da~~ assunta dalle varie normative sismiche internazionali, non appena gli strumenti di calcolo abbiano consentito lo svolgimento di analisi strutturali tridimensionali (e dunque, in grado di considerare le due componenti x e y , ed eventualmente anche la componente verticale z , agenti simultaneamente).

Passiamo all'analisi dinamica con integrazione al passo. Le NTC 2008, sempre al punto 7.3.5, asseriscono che le due componenti accelerometriche orizzontali (eventualmente, ancora una volta, assieme a quella verticale, ove necessario) siano applicate simultaneamente. Questo, ovviamente, sempre nella logica di combinarne probabilisticamente gli effetti secondo la regola SRSS, e quindi utilizzando ancora la regola (1), ovvero la (2), che, come visto, massimizzano gli effetti di risposta.

In questo progetto, tuttavia, nuovamente nella logica di assumere maggiori margini di sicurezza rispetto alle richieste normative, si è ritenuto di considerare la seconda componente di ampiezza pari al 100%, anziché a non oltre l'85%, della prima simultaneamente agente (ossia di considerare le due componenti di uguale

intensità, introducendo un'ipotesi di fatto irrealistica rispetto alle conoscenze nel campo delle registrazioni sismiche).

Ripetendo gli stessi passaggi di cui alle formule (5), (6), (7), in questa nuova ipotesi, ossia sostituendo 1 al valore 0,85 in esse presenti, si ottiene, in luogo della (7), la seguente nuova relazione:

$$E = E_x \cdot \sqrt{1+1} = E_x \cdot \sqrt{2} \cong 1,4 \cdot E_x \quad (8)$$

Al fine di massimizzare la (8), la (1) deve allora essere variata nella seguente relazione:

$$E = 1,00 \cdot |E_x| + 0,40 |E_y| \quad (9)$$

Analogamente, ruotando gli indici x e y, la (2) diventa:

$$E = 1,00 \cdot |E_y| + 0,40 |E_x| \quad (10)$$

Le espressioni (9) e (10) sono proprio quelle deliberatamente utilizzate, a favore di sicurezza, in questo progetto, al fine di combinare gli effetti delle due componenti accelerometriche orizzontali.