

Approfondimenti sulle Combinazioni di Carico sismiche

Quesito:

Le combinazioni sismiche dovrebbero essere 32. Dove si leggono in PCM i corrispondenti risultati?

Risposta:

Il numero di 32 combinazioni è una conseguenza dell'impostazione normativa vigente. Facciamo riferimento al seguente schema, pubblicato su Internet dal Prof. Ghersi:

Quante combinazioni di carico?

In presenza di sisma:

- 1 • carico verticale con valore ridotto ($g_k + \psi_2 q_k$) su tutte le campate di trave
- 2 • forze sismiche (statiche o modali) in direzione x / y
- 4 • verso delle forze sismiche: positivo / negativo
- 8 • eccentricità accidentale: positiva / negativa
- 16 • forze in una direzione più 0.3 forze nell'altra direzione, prese col segno: positivo / negativo
- 32 • eccentricità nell'altra direzione: positiva / negativa

Azione sismica principale	segno	eccentricità	Azione sismica secondaria	eccentricità	N° comb.
E_x	+	$+ e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	1
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	2
			$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	3
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	4
		$- e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	5
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	6
			$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	7
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	8
	-	$+ e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	9
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	10
			$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	11
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	12
		$- e_y$	$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	13
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	14
			$+ 0.3 E_y$	$+ e_x$	15
			$- 0.3 E_y$	$- e_x$	16
E_y	+	$+ e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	17
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	18
			$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	19
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	20
		$- e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	21
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	22
			$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	23
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	24
	-	$+ e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	25
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	26
			$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	27
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	28
		$- e_x$	$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	29
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	30
			$+ 0.3 E_x$	$+ e_y$	31
			$- 0.3 E_x$	$- e_y$	32

In PCM per 'Combinazione di Carico in Analisi Sismica' si intende l'espressione comprensiva di tutti i contributi e corrispondente alla formulazione contenuta in §2.5.3 nel D.M.14.1.2008, identicamente riportata come (3.2.16) in §3.2.4. La combinazione sismica è univoca, e gli effetti sismici si indicano con **E**. E' per calcolare tali effetti **E** che si generano tutte le 'combinazioni' sismiche riportate nella figura soprastante. La procedura di PCM è descritta in dettaglio nelle pagine seguenti; sinteticamente:

- 1) si risolvono le condizioni elementari sismiche in direzione X e Y e considerando +/- gli effetti torcenti (durante questa fase, in Analisi Dinamica Modale, avvengono le sovrapposizioni modali);
 - 2) per una data direzione, si determinano i massimi effetti e si combinano con il 30% dei massimi effetti ottenuti per l'altra direzione; ne derivano gli effetti sismici complessivi: Esism;
 - 3) si combinano con gli effetti statici Estat secondo la (3.2.16) in §3.2.4, e il risultato definitivo in PCM viene riportato come Estat +/- Esism (per i dettagli consultare le pagine seguenti, tratte da una Relazione ottenuta da PCM richiedendo i risultati dell'Analisi lineare sismica con le corrispondenti Descrizioni).
- In presenza di sisma verticale, c'è in aggiunta il fatto che gli effetti sismici risentono anche del sisma verticale.

(nel seguito: estratto dalla Relazione di PCM)

RISULTATI DELL'ELABORAZIONE

Per alcuni parametri utilizzati in analisi sismica, viene fatto diretto riferimento ai corrispondenti paragrafi del D.M. 14.1.2008 e della Circ. 617 del 2.2.2009 (NTC08; riferimenti evidenziati in colore blu).

ANALISI STATICA LINEARE (NON sismica)

In analisi statica non sismica, per gli edifici in muratura viene analizzato il solo **Stato Limite Ultimo (SLU) di salvaguardia della Vita (SLV)** in base a quanto espressamente indicato in §4.5.6.3: "Non è generalmente necessario eseguire verifiche nei confronti di stati limite di esercizio di strutture in muratura, quando siano soddisfatte le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi".

Le **Combinazioni di Carico per Analisi Statica non sismica** sono le combinazioni di tipo fondamentale, impiegate per gli stati limite ultimi (2.5.1) §2.5.3, espresse dalla formulazione:

$$\gamma_{G1} * G_1 + \gamma_{G2} * G_2 + \gamma_P * P + \gamma_{Q1} * Q_{k,1} + \gamma_{Q2} * \psi_{0,2} Q_{k,2} + \gamma_{Q3} * \psi_{0,3} Q_{k,3} + \dots$$

La definizione delle azioni rispetta quanto formulato in §2.5.1.3 e §2.5.2; in particolare $Q_{k,1}$ è l'azione variabile dominante, mentre $Q_{k,2}$, $Q_{k,3}$, ..., sono azioni variabili che possono agire contemporaneamente a quella dominante. Le azioni variabili $Q_{k,j}$ vengono combinate con i coefficienti di combinazione ψ_j i cui valori sono forniti in §2.5.3, Tab.2.5.I.

Per la struttura denominata Nome, vengono elaborati sottocartelle e files di risultati organizzati secondo lo schema seguente.

\STANome.A0i, i=1,...,n°CCE: Risultati della CCE i-esima

\STANome.B0i, i=1,...,n°CCC: Risultati della CCC (combinazione delle condizioni di carico elementari) i-esima. Questi risultati si riferiscono alle CCC direttamente specificate, senza relazione con l'analisi sismica.

Fra gli altri files prodotti dall'elaborazione di PCM:

\STANome.E0i, .F0i, i=1,...,n°CCE: Files di servizio per le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione delle CCE

\STANome.S0i, .T0i, i=1,...,n°CCC: Files di servizio per le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione delle CCC

ANALISI SISMICA LINEARE (STATICA e DINAMICA MODALE)

Dal punto di vista sismico, l'edificio può essere schematizzato con un modello tridimensionale (modellazione 3D) oppure scomposto in più modelli piani (modellazione 2D) ognuno analizzato singolarmente. La scomposizione in modelli piani è prevista nel caso di edifici esistenti in muratura con impalcati flessibili (§8.7.1).

Nella **modellazione 3D**, il sisma è rappresentato da forze sismiche di nodo in coordinate globali: FX, FY, FZ, MX, MY, MZ [normalmente sono diverse da zero solo le componenti: FX, FY (forze orizzontali), MZ (momento torcente intorno all'asse verticale)], che in caso di piano rigido in ipotesi master/slave, sono applicate nel solo nodo master. Gli effetti torcenti sull'edificio vengono interpretati dai momenti torcenti MZ, determinati dal prodotto forza orizzontale per l'eccentricità aggiuntiva. Essi sono presenti nel caso di piano rigido, dove assume significato il centro delle rigidezze e quindi può essere considerata una sua eccentricità rispetto al baricentro.

Nella **modellazione 2D**: la forza sismica viene in genere applicata al traverso orizzontale, spesso considerato rigido: in tal caso, l'unico grado di libertà dinamico per il traverso è la traslazione orizzontale ed i modi di vibrare sono pari al numero di piani (=numero dei traversi); l'unica forza sismica è FX, dal momento che il telaio piano risiede nel piano XZ. Gli effetti torcenti sull'edificio vengono rappresentati tramite il coefficiente di amplificazione δ da applicarsi direttamente alle forze sui traversi. Anche nella modellazione 2D si fa riferimento al nodo master di piano: generalmente, viene fatto coincidere con il nodo estremo sinistro del traverso posto alla quota del piano (nodo dove si considera concentrata l'azione sismica di origine modale).

Secondo Normativa, per gli edifici devono essere analizzati alcuni stati limite di riferimento. Per le costruzioni in muratura, questi sono:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE)**: Stato Limite di Operatività (SLO) e Stato Limite di Danno (SLD)

- **Stati Limite Ultimi (SLU)**: Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di Collasso (SLC).

Per tutti i **nuovi edifici**, si devono analizzare **SLV (con verifiche di resistenza) e SLD (con verifiche degli spostamenti)**. Per gli edifici nuovi di **Classe III e IV**, se si vogliono limitare i danneggiamenti strutturali, si devono eseguire verifiche di **resistenza a SLD** (ponendo $\eta=2/3$ nel corrispondente spettro di risposta, secondo §7.3.7.1) e verifiche degli **spostamenti a SLO** (§7.3.7.2).

Per gli **edifici esistenti** è possibile, se non diversamente richiesto, fare riferimento a §8.3: "la valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi sulle costruzioni esistenti potranno essere eseguiti con riferimento ai soli SLU". In tal caso, quindi, si analizzerà il solo **SLV (con verifiche di resistenza)**. Per interventi su edifici esistenti strategici o importanti (Classe III o IV) è possibile che venga comunque richiesto il rispetto di requisiti prestazionali relativi alle deformazioni, in modo analogo ai nuovi edifici: in tali casi si eseguiranno quindi anche verifiche a **SLD e SLO**.

Per ogni Stato Limite, la Normativa definisce lo Spettro di Risposta elastico. Per gli Stati Limite di esercizio lo spettro di progetto è lo spettro elastico corrispondente (§3.2.3.4), mentre per gli Stati Limite ultimi lo spettro di progetto si ottiene dallo spettro elastico dividendo le ordinate per il fattore di struttura q (§3.2.3.5).

L'analisi sismica è organizzata secondo la seguente procedura:

(A) generazione e risoluzione di apposite C.C. elementari sismiche;

(B) determinazione degli effetti sismici risultanti dalla simultaneità delle componenti orizzontali sismiche (per "effetti" si intendono le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione);

(C) combinazione degli effetti sismici con gli effetti dovuti ad altre azioni non sismiche.

(A) Le Condizioni di Carico elementari sismiche vengono determinate in base alle seguenti considerazioni (il riferimento corrente è alla **modellazione 3D**; in rosso le caratteristiche della **modellazione 2D**. **Nota bene:** la modellazione 2D è consentita per edifici regolari in pianta da alcuni testi normativi (cfr. OPCM 3274/2003-3431/2005, §4.4), ma non dal D.M.14.1.2008 (cfr. §7.2.6): quest'ultimo prevede invece la possibilità di modellazioni 2D per edifici esistenti in muratura (§8.7.1) con impalcati flessibili):

- il sisma orizzontale è considerato agente in due direzioni ortogonali (§3.2.3), indicate con α e $\alpha+90$;

(2D: una sola direzione, la X, nel piano del telaio, piano XZ);

- nel caso di piani rigidi, deve inoltre essere considerata un'eccentricità aggiuntiva (tratta dai Parametri generali dei Dati geometrici), il cui effetto è quello di generare un momento torcente aggiuntivo $M_{t,agg}$ di piano (2D: viene considerato il Coefficiente Amplificativo δ definito in §7.3.3.2, direttamente applicato alla forza orizzontale).

Pertanto, in direzione α si avranno 2 C.C. elementari:

(1) $\alpha + M_{t,\alpha,agg}$

(2) $\alpha - M_{t,\alpha,agg}$

dove $M_{t,\alpha,agg}$ è calcolato in base all'Eccentricità Aggiuntiva lungo $\alpha+90$ (definita in §7.2.6) (ad ogni piano, il valore di $M_{t,\alpha,agg}$ può essere diverso, anche se NTC08 prevede un'eccentricità costante su tutti gli orizzontamenti).

(2D: 1 C.C. elementare: α)

e altrettante in direzione $\alpha+90$:

(3) $(\alpha +90) + M_{t,\alpha+90,agg}$

(4) $(\alpha +90) - M_{t,\alpha+90,agg}$

dove $M_{t,\alpha+90,agg}$ è calcolato in base all'Eccentricità Aggiuntiva lungo α (definita in §7.2.6) (ad ogni piano, il valore di $M_{t,\alpha+90,agg}$ può essere diverso).

In caso di **Analisi Sismica Statica Lineare**, frequentemente i piani sono considerati rigidi (l'applicazione di questa analisi è in genere lecita solo quando sono soddisfatte le condizioni di regolarità) ed in tal caso le 4 (2D: 1; la modellazione 2D con piani rigidi è consentita da alcune Norme: cfr. OPCM 3274/2003-3431/2005) C.C. elementari sono tutte da risolvere.

Queste Condizioni di Carico elementari di tipo sismico vengono prodotte automaticamente dal software.

Nel caso di piani rigidi, ognuna di queste Condizioni di Carico elementari è costituita da carichi concentrati nei nodi master (baricentri di piano), e più precisamente: forze orizzontali nelle direzioni globali X e Y, e momenti torcenti MZ dati dal prodotto forza orizzontale per l'eccentricità aggiuntiva (2D: c'è solo una forza orizzontale in direzione X, amplificata col coefficiente di amplificazione δ).

Il sisma verticale non viene considerato in Analisi Sismica Statica Lineare (§7.3.3.2), definita solo dal sistema di forze orizzontali distribuite lungo l'altezza dell'edificio. In caso di effetti sismici verticali rilevanti, si eseguirà l'Analisi Sismica Dinamica Modale; in alternativa, poiché gli effetti del sisma verticali possono essere limitati a modelli parziali comprendenti i soli elementi interessati (§7.2.1; p.es. sbalzi, strutture spingenti), all'Analisi Sismica Statica Lineare del modello globale per la valutazione degli effetti del sisma orizzontale, potranno essere associate valutazioni a parte riguardanti il sisma verticale effettuate appunto solo sugli elementi interessati.

In caso di **Analisi Sismica Dinamica Modale**, si devono considerare gli effetti dei singoli modi, che vanno combinati tra loro. In analisi sismica dinamica modale, più frequentemente che in analisi sismica statica lineare, è possibile che un impalcato sia non rigido e che quindi non esista un nodo master, ma le masse siano considerate vibranti indipendentemente l'una dall'altra.

Pertanto:

- se vi è almeno un piano rigido, sono da risolvere 4 (2D: 1; la modellazione 2D con piani rigidi è consentita da alcune Norme: cfr. OPCM 3274/2003-3431/2005) C.C. elementari per ogni modo; $M_{t,agg}$ sarà applicato solo ai piani rigidi;

- se nessun piano è rigido, le C.C. elementari si riducono a 2 per ogni modo: α , $\alpha+90$ (2D: 1; la modellazione 2D con piani flessibili è consentita, per edifici esistenti in muratura (cfr. §8.7.1), dal D.M.14.1.2008).

Ognuna di queste Condizioni di Carico elementari è costituita da carichi concentrati corrispondenti ai gradi di libertà dinamici, applicati nei nodi sedi di masse indipendenti (anche nell'analisi dinamica, in caso di piano rigido le forze agiscono nel nodo master, o baricentro di piano), e più precisamente: forze orizzontali nelle direzioni globali X e Y; in corrispondenza di un piano rigido, sarà anche applicato - nel nodo master del piano - il momento torcente MZ dato dal prodotto forza orizzontale per l'eccentricità aggiuntiva (2D: c'è solo una forza orizzontale in direzione X, amplificata col coefficiente di amplificazione δ).

In caso di presenza di effetti di sisma verticale (ossia, qualora fra i gradi di libertà dinamici vi sia la traslazione di masse in direzione verticale Z), deve essere considerata una ulteriore Condizione di Carico elementare determinata da sisma Z. Pertanto: nel caso 3D: in presenza di almeno un piano rigido, le C.C. elementari da risolvere per ogni modo sono 5; in assenza di piani rigidi, sono 3. Nel 2D: sono 2 (sisma orizzontale e sisma verticale).

Considerando i risultati di tutti gli N modi di vibrare, gli effetti delle C.C. elementari - tra loro corrispondenti (cioè la (1) del 1° modo con la (1) del 2° modo, ecc.; la (2) del 1° modo con la (2) del 2° modo ecc. ecc. fino alla (4)) - vanno sovrapposti tra loro con la modalità di combinazione modi scelta (generalmente la CQC).

Ne derivano così gli effetti sismici complessivi competenti alle 4 (o alle 2) (2D: 1) C.C. elementari.

Questa procedura viene gestita automaticamente da PCM, che:

I) partendo dai risultati dell'analisi modale crea le Condizioni di Carico elementari con le forze spettrali di origine modale;

II) risolve le Condizioni di Carico elementari stesse,

III) combina con il metodo scelto (in genere: CQC) gli effetti dei singoli modi di vibrare.

(B) Ottenuti gli effetti sismici complessivi corrispondenti alle 4 (o 2) (2D: 1) Condizioni di Carico elementari sismiche, si devono ora determinare i massimi effetti:

(b1) per sisma in direzione α , i massimi effetti sono: per 4 Condizioni di Carico elementari sismiche, i valori massimi fra (1)(2); per 2 Condizioni di Carico direttamente i valori di (1) (2D: direttamente i valori di (1));

(b2) per sisma in direzione $(\alpha +90)$, analogamente: i massimi fra (3)(4), o direttamente i valori di (3).

Nei modelli tridimensionali, le varie componenti orizzontali dell'azione sismica (α , $\alpha+90$ ed eventualmente verticale) devono essere considerate agenti simultaneamente (§7.3.5). Per le due componenti orizzontali (α e $\alpha+90$), i valori massimi **(b1)** e **(b2)** vengono combinati (a seconda della scelta dell'Utente):

- o calcolando la radice quadrata della somma dei quadrati: $E = \sqrt{E_{\alpha}^2 + E_{(\alpha+90)}^2}$

- o sommando ai massimi ottenuti per l'azione applicata in una direzione, il 30% dei massimi ottenuti per l'azione applicata nell'altra direzione: $\text{Max} [(E_{\alpha} + " 0.30 E_{(\alpha+90)}); (0.30 E_{\alpha} + " E_{(\alpha+90)})]$ (§7.3.15), §7.3.5).

Per quanto riguarda gli effetti del sisma verticale, questo deve essere considerato ove necessario (§7.2.1). Complessivamente, viene scelto il massimo valore fra le seguenti combinazioni (regola fissa, quindi non c'è un corrispondente parametro di impostazione scelto dall'Utente):

$0.30 E_{\alpha} + " 0.30 E_{(\alpha+90)} + " E_{\text{vert}}$

$E_{\alpha} + " 0.30 E_{(\alpha+90)} + " 0.30 E_{\text{vert}}$

$0.30 E_{\alpha} + " E_{(\alpha+90)} + " 0.30 E_{\text{vert}}$

Una considerazione importante riguarda il segno "+" nelle combinazioni degli effetti nelle direzioni orizzontali e verticale. Il segno indica che deve essere assunto + o -, al fine di ottenere il risultato più sfavorevole.

In caso di analisi sismica dinamica modale 3D (e analogamente nel 2D), gli effetti sono però tutti privi di segno (derivano dalla sovrapposizione modale) e quindi il "+" è un + effettivo. L'effetto finale della combinazione è ovviamente ancora privo di segno.

In caso di analisi sismica statica lineare 3D, gli effetti hanno invece un segno e quindi il "+" può essere interpretato come + o -. Il risultato della combinazione è quindi con il segno, usando la formula del 30%; è invece senza segno, se si utilizza la formula della radice quadrata della somma dei quadrati.

Si osservi che **nel D.M. 16.1.1996 non si prescriveva la simultaneità del sisma nelle due direzioni orizzontali** (per esse si consentiva in generale l'analisi sismica separata): pertanto, la perdita del segno poteva dipendere solo dalla sovrapposizione modale e interessava quindi la sola analisi dinamica.

Nell'analisi sismica statica lineare 2D, gli effetti sono invece sempre con il segno (non si devono eseguire combinazioni fra direzioni, perché l'orizzontale è unica ed il verticale è assente in quanto per considerarlo occorre necessariamente eseguire l'analisi sismica dinamica modale).

Nei confronti dei vari stati limite analizzati, gli effetti sismici E_{sism} vengono valutati applicando, ove necessario, alcuni fattori correttivi, secondo il seguente schema:

- le **sollecitazioni in SLV** sono direttamente i valori risultanti dall'analisi svolta applicando forze sismiche determinate attraverso lo spettro di risposta di progetto allo stato limite SLV;
- gli **spostamenti in SLV** si ottengono amplificando i valori risultanti dall'analisi per il fattore μ_d (§7.3.3.3). Gli spostamenti in SLV vengono utilizzati per particolari valutazioni, quali ad esempio la distanza tra costruzioni contigue (§7.2.2), ma in SLV non sono previste verifiche specifiche agli spostamenti alle quali corrispondano coefficienti di sicurezza caratteristici dell'edificio;
- per gli **spostamenti in SLD e SLO**: si conduce l'analisi applicando forze sismiche determinate attraverso gli spettri di risposta corrispondenti ad ogni stato limite, caratterizzati quindi dal fattore di smorzamento η ; i valori degli spostamenti utilizzati per le verifiche di cui in §7.3.7.2 devono però essere calcolati assumendo $\eta=1$, cioè nell'ipotesi di struttura elastica (§7.3.7): ciò significa moltiplicare i valori degli spostamenti risultanti dall'analisi per il fattore $1/\eta$. Si osservi che spesso $\eta=1$ (essendo $\xi=5\%$) e quindi di fatto i valori degli spostamenti SLO e SLD utilizzati nelle verifiche coincidono con quelli derivanti dall'analisi;
- per le **sollecitazioni in SLD** utilizzate per le verifiche di cui in §7.3.7.1: si conduce l'analisi applicando forze sismiche determinate attraverso lo spettro di risposta SLD, caratterizzato dal fattore di smorzamento η ; i valori delle sollecitazioni utilizzate per le verifiche di resistenza devono però essere calcolati assumendo $\eta=(2/3)$ (§7.3.7.1): ciò significa moltiplicare i valori delle sollecitazioni risultanti dall'analisi per il fattore $(2/3)/\eta$ (se $\eta=1$ il fattore moltiplicativo è direttamente: $2/3$).

(C) A questo punto, gli effetti sismici E_{sism} si combinano con le altre azioni (§3.2.4) per ottenere gli effetti finali da utilizzare nella verifica degli elementi strutturali.

Gli effetti delle altre azioni sono riconducibili alla sommatoria delle Condizioni di Carico elementari (NON sismiche), ognuna delle quali contribuisce con i coefficienti ψ_2 .

La **Combinazione di Carico per Analisi Sismica** esaminata è quindi la seguente:

$$G,1 + G,2 + P + E + \Sigma(\psi_{2,j} * Q_{k,j})$$

I risultati complessivi sono sempre espressi nella forma $E_{stat} \pm E_{sism}$, per ottenere l'effetto massimo e l'effetto minimo.

Se il segno non è perduto (vedi casi precedenti), all'effetto statico viene prima sommato, quindi sottratto l'effetto sismico: in dipendenza dal segno di questo, si formeranno corrispondentemente l'effetto complessivo massimo (con la somma) e minimo (con la sottrazione), o minimo con la somma e massimo con la sottrazione (minimo e massimo si intendono in valore assoluto). La congruenza fra caratteristiche di sollecitazione diverse (ad esempio, M e N per la pressoflessione, o M e T per lo scorrimento che interessa la zona reagente) viene tuttavia mantenuta solo qualora non siano state effettuate le combinazioni con la formula del 30%, e più esattamente nei seguenti casi: analisi sismica statica lineare in assenza di sisma verticale, 2D o 3D in una sola direzione (X o Y). Negli altri casi, le caratteristiche di sollecitazione verranno accoppiate secondo le combinazioni possibili; ad esempio, nelle verifiche a pressoflessione, si possono considerare N_{max}, M_{max} e N_{min}, M_{min} oppure anche N_{max}, M_{min} e N_{min}, M_{max} .

Se il segno è perduto (analisi dinamiche modali), l'effetto complessivo massimo (sempre in valore assoluto) è dato dalla somma dell'effetto statico e dell'effetto sismico assunto con il segno dell'effetto statico; viceversa, per l'effetto complessivo minimo, si somma allo statico l'effetto sismico con il segno opposto dello statico; a causa della perdita di segno, la congruenza fra caratteristiche di sollecitazione diverse viene perduta.

Per la struttura denominata Nome, vengono elaborati sottocartelle e files di risultati organizzati secondo lo schema seguente.

La sottocartella **\Sxx** significa: **\Progetti\Nome\SSL** per Analisi Sismica Statica Lineare, e **\Progetti\Nome\SDM** per Analisi Sismica Dinamica Modale.

La sottocartella **\SLx** indica: **SLO, SLD, SLV**. Ognuna di esse contiene i risultati dell'analisi sismica, condotta distintamente per i diversi Stati Limite.

\SSL\SLx\Nome.SLi ($i=1, \dots, k$) = Condizioni di Carico elementari corrispondenti alle forze sismiche utilizzate per l'analisi sismica statica lineare. Le forze sismiche per l'analisi statica lineare sono definite in §7.3.3.2.

k può assumere i seguenti valori: $k=1$: analisi 2D; $k=4$: 3D con piani rigidi. Il sisma verticale è sempre assente; qualora debba essere considerato, occorre utilizzare l'analisi sismica dinamica modale.

\SSL\SLx\Nome.RSi ($i=1, \dots, k$) = Risultati corrispondenti alle Condizioni di Carico elementari .SLi.

\SSL\SLx\Nome.RSL = Risultati dell'analisi sismica statica lineare: contiene i massimi effetti sismici, calcolati a partire dai files .RSi.

\SDM\SLx\Nome.MOD = Risultati dell'analisi modale. Contiene autovalori, autovettori, e le informazioni sulle forze spettrali, che - in caso di analisi sismica dinamica modale - vengono anche archiviate, con l'opportuna formattazione, negli appositi files .DMi.

\SDM\SLx\Modo_J\Nome.DMi ($i=1, \dots, k$) = C.C. elementari corrispondenti alle forze sismiche spettrali derivanti dal modo j -esimo ($j=1, \dots, N^\circ$ modi da considerare). Nell'espressione delle forze non compare il fattore d'importanza, ma solo lo spettro di progetto. I files sono posti nella sottocartella creata appositamente per il modo j -esimo.

k può assumere i seguenti valori:
 $k=1$: analisi 2D, no sisma verticale; $k=2$: analisi 2D, sì sisma verticale, o 3D no piani rigidi e no sisma verticale; $k=3$: 3D no piani rigidi, sì sisma verticale; $k=4$: 3D con almeno un piano rigido e no sisma verticale; $k=5$ con almeno un piano rigido e sì sisma verticale.

\SDM\SLx\Modo_J\Nome.RMi ($i=1, \dots, k$) = Risultati corrispondenti alle Condizioni di Carico elementari .DMi.

\SDM\SLx\Nome.RDi ($i=1, \dots, k$) = Risultati corrispondenti alle Condizioni di Carico elementari .DMi combinate fra loro con il metodo di sovrapposizione modale scelto (in genere: CQC).

\SDM\SLx\Nome.RDM = Risultati dell'analisi sismica dinamica modale: contiene i massimi effetti sismici calcolati a partire dai files .RDi.

\Sxx\SLx\Nome.RNS = Risultati della combinazione di Condizioni di Carico elementari non sismiche; questa combinazione è destinata alla successiva combinazione con gli effetti sismici contenuti nel file .RSL o .RDM. Pertanto, questa combinazione di Condizioni di Carico elementari, basandosi sulla formulazione di §3.2.4, utilizzerà i coefficienti ψ_2 .

\SSL\SLx\Nome.RCS, \SDM\SLx\Nome.RCD = Risultati della combinazione di carico sismica, rispettivamente corrispondenti ad analisi sismica statica e ad analisi sismica dinamica, contenenti:

gli effetti della combinazione di Condizioni di Carico elementari non sismiche (file .RNS), indicati con E_{stat} ;

\pm gli effetti sismici, indicati con E_{sism} , ottenuti rispettivamente da file .RSL (per .RCS) o .RDM (per .RCD), e corretti secondo gli appositi fattori moltiplicativi (spostamenti SLV: μ_d [§7.3.3.3]; spostamenti SLO e SLD: $1/\eta$ [§7.3.7]; sollecitazioni SLO e SLD: $(2/3)/\eta$ [§7.3.7.1]).

I risultati sono espressi quindi nella forma: $Estat \pm Esism$

Fra gli altri files prodotti dall'elaborazione di PCM:

\Sxx\SLx\Nome.SNS, .TNS: files di servizio per le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione della combinazione di Condizioni di Carico elementari non sismiche;

\Sxx\SLx\Nome.SSS, .TSS: files di servizio per le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione di origine sismica.