

Un confronto tra analisi statica e modale quali strumenti di progetto di edifici multipiano planimetricamente irregolari soggetti ad azioni sismiche

A. Ghersi, E. Marino, P.P. Rossi

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Catania, Italy

SOMMARIO: Benché l'analisi modale possa essere attualmente eseguita senza rilevanti difficoltà anche per strutture spaziali, quasi tutte le normative antisismiche consentono ancora l'uso dell'analisi statica nella progettazione di edifici planimetricamente irregolari, in virtù della sua semplicità applicativa e dell'esperienza maturata dagli ingegneri nel suo impiego. Molti ricercatori hanno proposto di utilizzare eccentricità aggiuntive allo scopo di valutare correttamente la massima risposta elastica del sistema ed al contempo di limitare le deformazioni in campo inelastico. Basandosi sullo studio di un ampio insieme di schemi asimmetrici mono e multi-piano progettati con analisi statica e modale, il presente lavoro mostra che l'uso dell'analisi modale, oltre a consentire una stima accurata della risposta elastica del sistema, fornisce in molti casi distribuzioni di resistenza idonee ad evitare sensibili incrementi di richiesta di duttilità rispetto a quella caratteristica dei sistemi simmetrici. Si evidenzia così l'insieme di valori dei parametri di progetto per i quali è veramente necessaria l'adozione di specifiche eccentricità di progetto.

ABSTRACT: Although nowadays it is possible to perform modal analysis without any significant difficulty, even for three-dimensional schemes, most seismic codes still allow to use static analysis in designing in-plan asymmetrical buildings, because of its simplicity and the experience gained by engineers in its application. A large number of researchers have proposed the use of additional eccentricities in order to correctly predict the dynamic elastic response and to limit the plastic excursions in the inelastic range. By the study of the seismic response of a large number of single and multi-storey asymmetrical schemes designed both by static and modal analysis, this paper shows that the use of modal analysis, apart from giving an accurate estimate of the elastic response, often gives strength distributions able to avoid large increase of ductility demands respect to those experienced by the corresponding balanced systems. It is thus pointed out the set of values of the design parameters for which the adoption of specific additional design eccentricities is really necessary.

1 INTRODUZIONE

Durante eventi sismici di notevole intensità le strutture asimmetriche hanno spesso evidenziato richieste di duttilità maggiori di quelle manifestate da sistemi regolari. Molti ricercatori, che in passato hanno sottolineato l'inefficacia delle prescrizioni delle normative antisismiche relative ad edifici planimetricamente irregolari, hanno basato le loro considerazioni sull'analisi della risposta inelastica di schemi progettati mediante l'analisi statica, che rappresenta senz'altro l'approccio più comunemente utilizzato dagli ingegneri nella pratica professionale. Precedenti studi svolti dagli autori hanno però evidenziato forti differenze tra il comportamento di strutture progettate mediante analisi statica e modale. Si è quindi ritenuto interessante ed opportuno approfondire questo aspetto, approntando uno studio sistematico sull'influenza del metodo di analisi

utilizzato in progetto sulla risposta sismica inelastica di sistemi monopiano e di edifici multipiano asimmetrici.

2 RICHIESTE DI DUTTILITÀ IN SISTEMI MONOPIANO

Gli schemi monopiano sono stati diffusamente utilizzati in passato in quanto consentono, in virtù della loro semplicità, di investigare in maniera sistematica il comportamento dei sistemi asimmetrici e l'influenza prodotta su di essi da molti parametri geometrici ed elastici e dai criteri di progetto. La prima parte di questo studio analizza un modello monopiano avente un asse di simmetria, già esaminato in precedenti lavori (Rossi 1998; Ghersi e Rossi 1999). Il suo impalcato rigido, di dimensioni $B \times L$, è sostenuto da tre elementi resistenti paralleli all'asse di simmetria e da otto elementi nella direzione ortogonale, lungo la quale agiscono le forze sismiche. Si è assunto che il legame forza-spostamento degli elementi resistenti sia elastico-perfettamente plastico.

2.1 *Schemi analizzati*

Attraverso una procedura automatica (Ghersi e Rossi 1999) sono stati definiti sistemi strutturali nei quali il parametro Ω_0 (rapporto tra le frequenze rotazionale e traslazionale disaccoppiate, che coincide col rapporto tra il raggio d'inerzia delle rigidezze r_k e quello delle masse r_m) varia da 0.6 a 1.6, così da analizzare sistemi sia torsio-flessibili che torsio-rigidi; sono stati inoltre considerati due valori del periodo traslazionale disaccoppiato T_y (0.4 s e 1.0 s) per evidenziare l'eventuale influenza della rigidezza traslazionale dello schema. La distribuzione della massa, definita dalla posizione del suo baricentro C_M e dal suo raggio d'inerzia r_m , è stata assegnata indipendentemente dalle dimensioni e dalla forma dell'impalcato, supponendo che possa essere distribuita in maniera non uniforme in pianta; sono stati considerati sistemi con eccentricità delle masse (MES) aventi eccentricità strutturale e_s , compresa tra 0 e $0.20 L$, allo scopo di esaminare schemi con piccola e grande eccentricità.

Ciascuno schema è stato progettato due volte, assegnando la resistenza degli elementi mediante l'analisi statica o mediante quella modale, senza applicare alcuna eccentricità correttiva. Le azioni sismiche sono state valutate mediante lo spettro di risposta proposto dell'Eurocodice 8 per suoli di classe A, ridotto mediante un valore costante del fattore di struttura $q=5$ e scalato attraverso un'accelerazione al suolo pari ad $a_g=0.35 g$; nell'applicazione dell'analisi statica le forze sismiche sono state valutate considerando come periodo fondamentale della struttura quello relativo al corrispondente sistema torsionalmente bilanciato (in cui centri di masse e di rigidezza coincidono).

Al fine di esaminare il comportamento sismico di questi sistemi è stata valutata la loro risposta inelastica ad un insieme di trenta accelerogrammi artificiali (Ghersi e Rossi 1999) compatibili con lo spettro di risposta dell'Eurocodice 8. Per ciascun accelerogramma l'attenzione è stata focalizzata sulla risposta massima di ogni elemento resistente, espressa in termini di richiesta di duttilità cinematica normalizzata rispetto al valore presentato nel corrispondente sistema torsionalmente bilanciato. Il maggiore dei valori normalizzati tra tutti gli elementi è stato assunto quale (massima) richiesta di duttilità normalizzata d del sistema. I risultati in tal modo ottenuti dalle risposte ai singoli accelerogrammi dell'insieme selezionato sono stati analizzati statisticamente; la media \bar{d} dei trenta valori della massima richiesta di duttilità normalizzata d è stata utilizzata per rappresentare il comportamento sismico dei sistemi asimmetrici descritti.

2.2 *Comportamento dei sistemi analizzati mediante analisi statica*

La media della massima richiesta di duttilità normalizzata assume valori maggiori dell'unità per tutte le strutture progettate mediante analisi statica, ad eccezione dei sistemi torsio-rigidi caratterizzati da un basso periodo di vibrazione traslazionale disaccoppiato e da valori non elevati dell'eccentricità strutturale normalizzata e_s/L (Fig. 1). Negli schemi torsio-rigidi, l'uso dell'analisi statica come metodologia progettuale non comporta valori inaccettabili della richiesta di duttilità normalizzata, almeno fin quando l'eccentricità strutturale non diventa particolarmente elevata. La richiesta di duttilità normalizzata cresce invece quando si riduce il rapporto tra le

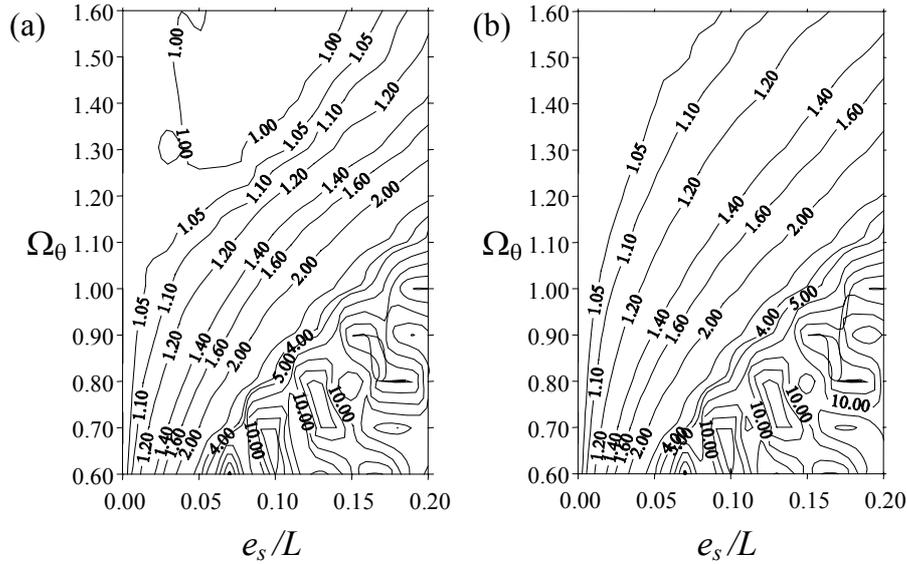


Figura 1: Richiesta di duttilità normalizzata \bar{d} di sistemi monopiano asimmetrici progettati mediante analisi statica; $r_m = 0.312 L$, $T_y = 0.4$ s (a), $T_y = 1.0$ s (b)

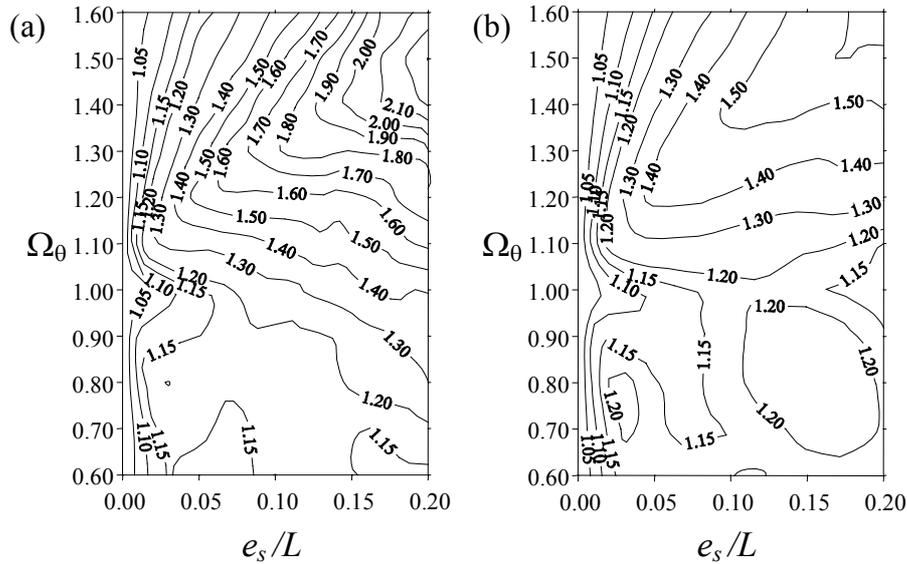


Figura 2: Richiesta di duttilità normalizzata \bar{d} di sistemi monopiano asimmetrici progettati mediante analisi modale; $r_m = 0.312 L$, $T_y = 0.4$ s (a), $T_y = 1.0$ s (b)

frequenze latero-torsionali disaccoppiate Ω_θ , raggiungendo valori molto grandi in presenza di eccentricità medio-alte. Questo andamento è sostanzialmente lo stesso nelle strutture caratterizzate da valori bassi o medi del periodo di vibrazione traslazionale disaccoppiato. Occorre osservare che richieste di duttilità estremamente elevate si presentano in particolare nei casi in cui il diagramma degli spostamenti di progetto fornito dall'analisi statica risulta intrecciato, cioè (in sistemi con centro di rigidità coincidente con il baricentro geometrico) per

$$\frac{e_s}{L} \geq 0.25 \left[1 - \sqrt{1 - 16 \frac{r_k^2}{L^2}} \right], \text{ con } r_k \leq 0.25 L \quad (1)$$

perché in tali casi alcuni degli elementi resistenti situati nel lato rigido della struttura vengono dotati di resistenze molto basse. Questa situazione non è del tutto realistica, perché l'adozione di

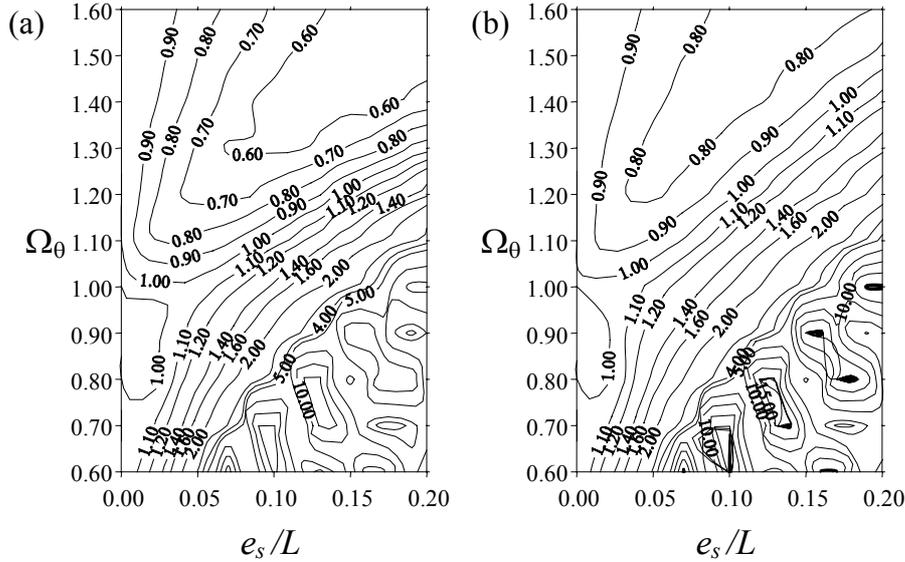


Figura 3: Rapporto R_d tra le richieste di duttilità di sistemi monopiano asimmetrici progettati mediante analisi statica e modale; $r_m = 0.312 L$, $T_y = 0.4$ s (a), $T_y = 1.0$ s (b)

più schemi di carico legata all'uso di eccentricità correttive e_d o delle cosiddette eccentricità accidentali e_a che tengono conto della possibile variazione nella posizione dei carichi variabili porta a valori minimi della resistenza ben più alti. Ad esempio, il punto di nullo del diagramma intrecciato corrispondente all'applicazione di una forza nel centro di massa subisce per effetto della coppia corrispondente all'adozione di un'eccentricità e_a uno spostamento

$$v = \frac{e_a}{e_s} v_M \quad (2)$$

essendo v_M lo spostamento del centro di massa.

2.3 Comportamento dei sistemi analizzati mediante analisi modale

In virtù della capacità dell'analisi modale di predire correttamente gli effetti della rotazione dell'impalcato su entrambi i lati rigido e flessibile delle strutture asimmetriche, nei sistemi torsioflessibili non vengono mai assegnati valori molto piccoli di resistenza agli elementi del lato rigido. Ciò conduce a valori moderati della richiesta di duttilità normalizzata nelle strutture torsioflessibili ($\bar{d} = 1.15 \div 1.20$), senza che vi siano rilevanti differenze tra le risposte di sistemi aventi bassa o alta eccentricità strutturale e differenti valori del periodo laterale disaccoppiato (Fig. 2). Nelle strutture torsio-rigide l'uso dell'analisi modale produce invece valori più alti della richiesta di duttilità normalizzata, crescenti con l'eccentricità strutturale e con il rapporto tra le frequenze latero-torsionali disaccoppiate, principalmente in schemi aventi un basso periodo di vibrazione laterale disaccoppiato.

2.4 Confronto tra gli effetti dei due metodi di analisi

L'intervallo di valori dei parametri strutturali Ω_0 ed e_s in cui l'utilizzo dell'analisi statica in fase progettuale conduce ad un comportamento sismico migliore o peggiore di quello ottenuto mediante l'uso dell'analisi modale può essere chiaramente individuato esaminando il rapporto R_d tra la richiesta di duttilità normalizzata degli schemi progettati mediante analisi statica e modale (Fig. 3). Si può constatare che l'insieme di valori di Ω_0 ed e_s per i quali l'uso dell'analisi statica è più cautelativo può essere approssimativamente diviso da quelli per i quali è consigliabile l'uso dell'analisi modale da una linea retta, la cui posizione e pendenza dipendono però (anche se in maniera non troppo rilevante) dal valore del periodo traslazionale disaccoppiato.

In definitiva, nessuno dei metodi di analisi esaminati è in grado di predire sempre, con sufficiente precisione, il reale aspetto, maggiormente traslazionale, della risposta inelastica. Tuttavia, nei sistemi torsio-flessibili l'uso dell'analisi modale porta a valori sensibilmente minori della richiesta di duttilità perché, in accordo con la risposta elastica, essa conduce a maggiori valori di resistenza al lato rigido, dove invece gli schemi progettati con l'analisi statica subiscono le maggiori richieste di duttilità. Al contrario, nelle strutture torsio-rigide l'analisi modale incrementa la resistenza sul lato flessibile, in accordo col comportamento elastico, ma (particolarmente nel caso di basse e moderate eccentricità strutturali) la riduce al lato rigido, dove la richiesta di duttilità attinge il valore massimo. Nell'esprimere un giudizio complessivo su questi ultimi schemi, occorrerebbe considerare anche il fatto che l'uso dell'analisi modale riduce la resistenza totale di una quantità variabile fino ad un massimo del 10%, che dipende dal valore dell'eccentricità strutturale ed in misura minore dal rapporto tra le frequenze latero-torsionali disaccoppiate. Ciò malgrado, ulteriori analisi hanno mostrato che la richiesta di duttilità normalizzata non cambia in modo rilevante se la resistenza totale del sistema viene incrementata fino al valore imposto dall'analisi statica.

3 RICHIESTA DI DUTTILITÀ NEGLI EDIFICI MULTIPIANO

Il comportamento sismico dei reali edifici multipiano è molto più complesso di quello dei modelli monopiano. L'aspetto che produce le differenze più rilevanti è la possibilità che la distribuzione di massa e di rigidezza vari lungo l'altezza della struttura. È quindi conveniente distinguere due classi distinte di edifici: edifici regolarmente asimmetrici ed edifici irregolarmente asimmetrici. La prima classe è costituita dalle strutture che presentano a ciascun piano gli stessi valori dei parametri fondamentali (posizione del centro di massa e di rigidezza, raggi d'inerzia delle masse e delle rigidezze); gran parte degli edifici asimmetrici reali ricadono in questa classe, perché i condizionamenti architettonici che impongono l'irregolarità tendono di solito a ripetersi in maniera identica a tutti i piani. La seconda classe comprende invece le strutture nelle quali i suddetti parametri variano in maniera sensibile da un piano all'altro. Il presente lavoro esamina la risposta sismica di alcuni schemi regolarmente asimmetrici, progettati mediante analisi statica e modale, in modo da sottolineare l'influenza dei criteri di progetto e da confrontare i risultati con quelli ottenuti per i corrispondenti schemi monopiano.

3.1 *Schemi analizzati*

Tutti gli edifici esaminati sono rappresentati da schemi a sei piani dotati di impalcato rigido di forma rettangolare (29.5×12.5 m) aventi massa pari a 187.3 t ad ogni livello (Fig. 4). La struttura è costituita da 12 telai in acciaio (4 telai con sette campate lungo la direzione longitudinale ed 8 telai con tre campate lungo quella trasversale), simmetricamente disposti rispetto al baricentro geometrico dell'impalcato, che quindi coincide col centro di rigidezza. Per ciascun telaio sono state utilizzate solo due sezioni trasversali, una per le travi ed una per le colonne; il loro momento d'inerzia varia proporzionalmente da un telaio all'altro, così da ottenere il valore prefissato del raggio d'inerzia delle rigidezze, costante ad ogni piano. La procedura numerica presentata in una precedente memoria (Gherzi e Rossi 1999) è stata utilizzata per ottenere tre differenti schemi, aventi rapporto tra le frequenze latero-torsionali disaccoppiate $\Omega_0 = 0.6, 1.0$ e 1.4 , così da rappresentare sistemi torsio-flessibili e torsio-rigidi. In periodi traslazionali $T_x = T_y$ sono stati assunti sempre pari ad 1 s. Per ciascuno schema geometrico sono state considerate tre distribuzioni di massa, così da mantenere la simmetria rispetto all'asse x ed ottenere nella direzione ortogonale eccentricità strutturali $e_s = 0$ (sistemi torsionalmente bilanciati), $0.05 L$ (sistemi con piccola eccentricità) e $0.15 L$ (sistemi con grande eccentricità).

3.2 *Criteri di progetto*

Ciascuno dei nove schemi, ottenuti variando Ω_0 e la posizione del centro di massa C_M , è stato progettato due volte, utilizzando rispettivamente l'analisi statica e quella modale. In ciascun caso la resistenza necessaria alle sezioni di estremità delle travi ed a quelle al piede delle colonne

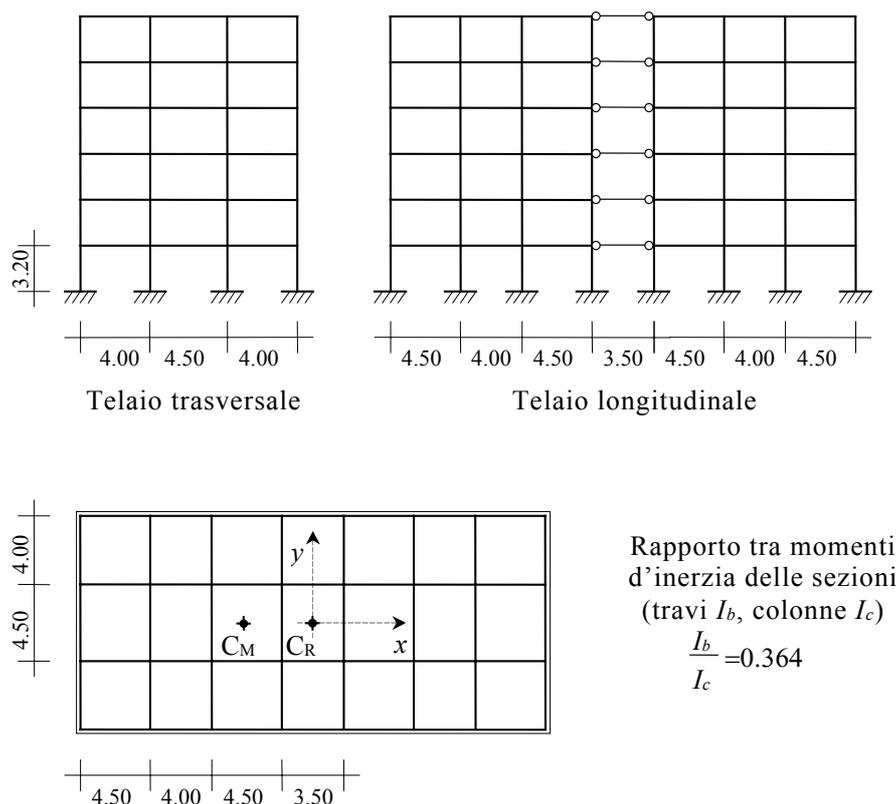


Figura 4: Pianta del sistema multipiano e schema dei telai

del primo piano è stata valutata scegliendo di volta in volta la più gravosa tra le due seguenti condizioni di carico:

- soli carichi verticali, incrementati mediante i coefficienti γ_g e γ_q proposti dall'Eurocodice;
- carichi verticali, ridotti tramite il coefficiente ψ , ed azioni sismiche valutate mediante lo spettro di progetto dell'Eurocodice 8 per suolo A, con $\alpha=0.35$ e $q=5$.

Si è inoltre assunto che tutte le altre sezioni delle colonne abbiano resistenza illimitata, così da soddisfare il criterio del *capacity design*. L'uso di più condizioni di carico conferisce ad ogni telaio una sovrarresistenza che dipende dall'entità delle sollecitazioni dovute ai carichi verticali rispetto a quelle prodotte dalle azioni sismiche. Per ciascun telaio la sovrarresistenza può essere valutata come il rapporto tra il taglio resistente (valutabile mediante un'analisi push-over, con una distribuzione di forze orizzontali triangolare che approssima quello delle azioni sismiche) ed il taglio di progetto dovuto alle forze sismiche. I valori ottenuti (Fig. 5) sono sensibilmente variabili da telaio a telaio, raggiungendo valori molto elevati nei telai di estremità degli schemi torsio-flessibili, soprattutto quando la progettazione viene eseguita con l'analisi statica; in questo caso, infatti, le forze di progetto sono molto piccole, sia perché i telai di estremità devono essere molto flessibili per ottenere il rapporto $\Omega_\theta = 0.6$ sia perché lo spostamento di progetto di alcuni telai è estremamente modesto, a causa dell'aspetto intrecciato del diagramma degli spostamenti di progetto prodotto dall'applicazione di forze orizzontali con elevata eccentricità. Si deve inoltre rimarcare che, come è ben noto, il taglio di progetto è maggiore (circa il 20%) quando si utilizza l'analisi statica in luogo dell'analisi modale.

3.3 Risposta inelastica e richiesta di duttilità

La risposta inelastica delle strutture multipiano allo stesso insieme di accelerogrammi usato per gli schemi monopiano, supposti agenti in direzione y , è stata valutata mediante il programma DRAIN-BUILDING, espressamente modificato per includere elementi a comportamento elasto-plastico. La media dei valori massimi dello spostamento all'ultimo piano del telaio e delle rota-

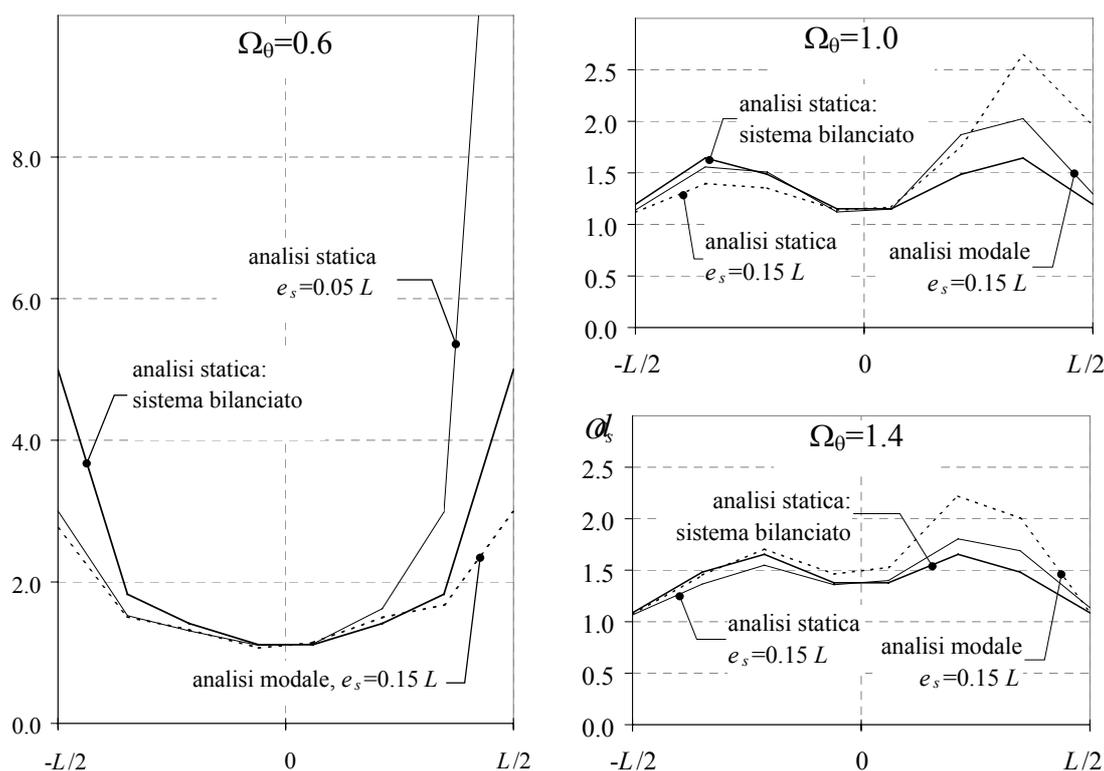


Figura 5: Sovreresistenza dei telai del sistema multipiano

zioni plastiche ottenute dalle trenta analisi inelastiche sono state utilizzate per calcolare, per ciascun telaio, i seguenti parametri:

- richiesta di duttilità globale \bar{d} di ciascun telaio piano, definita come la media dei rapporti tra i massimi spostamenti inelastici dell'ultimo piano ed il corrispondente spostamento al limite elastico (calcolato come lo spostamento di sommità del telaio, considerato a comportamento elastico e sottoposto ad un insieme di forze variabili linearmente lungo l'altezza aventi risultante pari al taglio resistente);
- richiesta di duttilità \bar{d}_c delle sezioni al piede delle colonne del primo ordine di ciascun telaio piano, definita come la media del rapporto tra la rotazione totale di ciascuna sezione (somma della rotazione plastica e di quella al limite elastico) e la rotazione al limite elastico (intesa come il prodotto tra la curvatura prodotta dal momento di plasticizzazione e l'estensione della cerniera plastica, assunta convenzionalmente pari a 0.30 m);
- richiesta di duttilità \bar{d}_b delle sezioni di estremità delle travi, valutata allo stesso modo, separatamente per ciascun piano.

Tutti i parametri sono stati normalizzati dividendo i valori valutati per gli schemi asimmetrici per quelli ottenuti per i corrispondenti sistemi torsionalmente bilanciati.

I risultati (Fig. 6) mostrano che la richiesta di duttilità globale negli schemi asimmetrici torsio-flessibili ($\Omega_0 = 0.6$) progettati mediante analisi modale è sempre prossima a quella dei corrispondenti sistemi bilanciati. Il piccolo incremento della richiesta di duttilità globale che può osservarsi nei telai del lato rigido è probabilmente connessa alla bassa entità delle forze di progetto e non trova riscontro in termini di richiesta di duttilità locale delle colonne. Al contrario le strutture progettate per mezzo dell'analisi statica denunciano grandi richieste di duttilità al lato rigido; diversamente da quanto osservato negli schemi monopiano, il massimo valore non viene raggiunto esattamente al lato rigido, a causa della forte sovreresistenza dei telai posti in questa posizione. La richiesta di duttilità delle travi, che non è stata riportata, è maggiormente variabile ma conduce a considerazioni simili a quelle sin qui fatte.

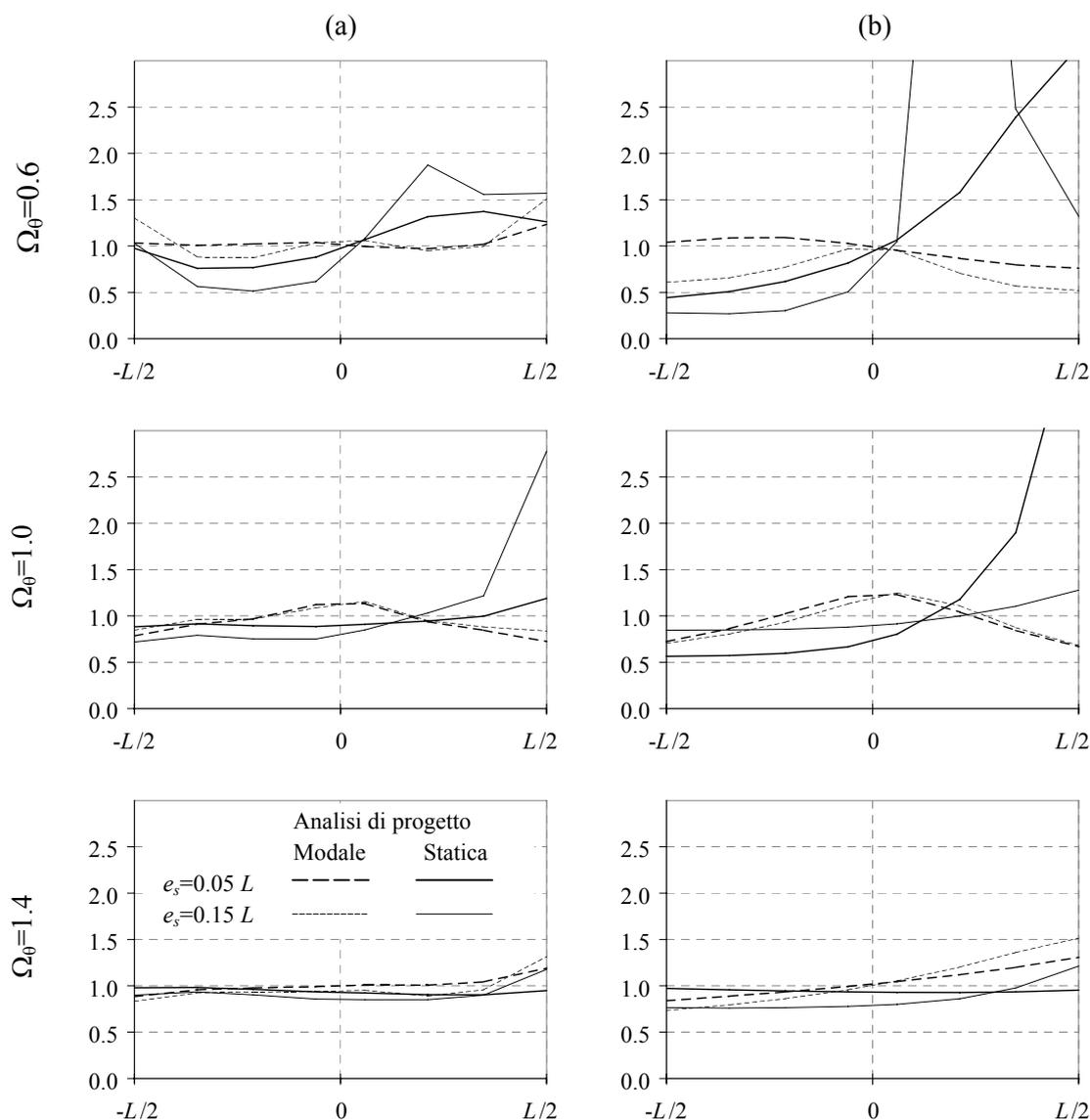


Figura 6. Richiesta di duttilità normalizzata globale \bar{d} (a) e richiesta di duttilità normalizzata \bar{d}_c della sezione di base delle colonne del primo piano (b).

Nel caso di sistemi asimmetrici torsio-rigidi ($\Omega_0 = 1.4$), la richiesta di duttilità è poco dipendente dal metodo di analisi, essendo sempre prossima a quella dei corrispondenti sistemi torsionalmente bilanciati. Più precisamente, il comportamento delle strutture progettate per mezzo dell'analisi modale è leggermente peggiore di quello riscontrato nei telai progettati con analisi statica, come era già stato evidenziato dallo studio di sistemi monopiano, anche se le differenze sono più piccole di quelle denotate in quel caso.

Considerazioni intermedie possono essere fatte per strutture aventi $\Omega_0 = 1.0$. Quando l'eccentricità strutturale è piccola entrambi i metodi di analisi conducono alla stessa richiesta di duttilità; il suo massimo valore si raggiunge nei telai centrali o in quelli del lato rigido della struttura, a seconda che sia stata usata l'analisi modale o quella statica rispettivamente. Quando l'eccentricità cresce, la richiesta di duttilità diventa inaccettabilmente elevata nei sistemi progettati con analisi statica, mentre la risposta è praticamente invariata se la progettazione viene effettuata con l'analisi modale.

4 CONCLUSIONI

L'estesa analisi parametrica condotta sugli schemi monopiano e lo studio di un significativo insieme di sistemi regolarmente asimmetrici multipiano dimostra, innanzitutto, che l'uso dell'analisi modale è fortemente necessario nel progetto degli edifici asimmetrici torsio-flessibili, perché l'uso dell'analisi statica incrementa in misura estremamente elevata la richiesta di duttilità globale e locale. I codici sismici dovrebbero pertanto consentire l'uso dell'analisi statica solo se essa viene effettuata includendo eccentricità correttive realmente capaci di fornire gli stessi risultati dell'analisi modale, ottenute per mezzo di formule o di procedure ben differenti da quelle attualmente prescritte (Anastassiadis et al. 1998; Calderoni et al. 1994, 1995, 1996, 1999). Le stesse limitazioni devono essere estese alle strutture aventi rapporto tra le frequenze latero-torsionali disaccoppiate pari ad uno in presenza di eccentricità strutturali elevate.

Al contrario, nel caso di sistemi torsio-rigidi l'uso dell'analisi modale non fornisce un miglioramento del comportamento inelastico; questo è anzi in molti casi addirittura peggiore di quello evidenziato da schemi progettati con analisi statica. Al fine di ridurre la richiesta di duttilità di tali sistemi appare quindi essenziale l'utilizzo di ulteriori eccentricità di progetto, calibrate mediante lo studio del comportamento inelastico (Gheri e Rossi 1999).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Anastassiadis, K., Athanatopoulos, A. & Makarios, T. 1998. Equivalent static eccentricities in the simplified methods of seismic analysis of buildings. *Earthquake Spectra* 14(1): 1-34.
- Calderoni, B., Gheri, A. & Mazzolani, F.M. 1994. A new approach to the problem of in-plan regularity in seismic design of buildings. *Proceedings of 10th European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna, 2: 843-848.
- Calderoni, B., Gheri, A. & Mazzolani, F.M. 1995. Critical analysis of torsional provisions in seismic codes. *Proceedings of Seventh Canadian Conference on Earthquake Engineering*, Montreal, Canada.
- Calderoni, B., Gheri, A. & Mazzolani, F.M. 1996. Critical analysis of EC8 approach to face the problem of structural regularity. *European Workshop on the Seismic Behaviour of Asymmetric and Set-back Structures*, Capri, Italy: 104-117.
- Calderoni, B., Gheri, A. & Rinaldi, Z. 1999. Efficacia delle eccentricità correttive nel progetto di edifici multipiano planimetricamente irregolari: metodologia ed applicazione ad un caso reale, *IX Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Torino, Italy.
- Gheri, A. & Rossi, P.P. 1999. Formulation of design eccentricity to reduce ductility demand in asymmetric buildings. *Engineering Structures*, (accettato).
- Rossi, P.P. 1998. Comportamento sismico di edifici planimetricamente irregolari, Tesi di Dottorato di Ricerca, Catania, Italy.