

**DISCUSSIONE SULLE REGOLE DI PROGETTAZIONE IN DC2
NELL'AMBITO DEL NUOVO EC8 E APPLICAZIONI
PROGETTUALI**

**DISCUSSION ON THE DC2 DESIGN RULES IN THE
FRAMEWORK OF THE NEW EC8 AND DESIGN
APPLICATIONS**

Maria Maglio¹, Rosario Montuori², Elide Nastri¹, Vincenzo Piluso¹

University of Salerno

¹Department of Civil Engineering

²Department of Pharmacy

Fisciano (SA), Italy

mamaglio@unisa.it, r.montuori@unisa.it, enastri@unisa.it, v.piluso@unisa.it

ABSTRACT

This work aims to analyze the design rules proposed for the medium ductility class, i.e. DC2, in the new Eurocode 8. For structures designed in this class it is sufficient to adopt simplified seismic rules aimed at avoiding only the soft-storey mechanism. For this reason, a soft-storey mitigation criterion was introduced by respecting an inequality to be verified on all storeys of the structure. The purpose of the work is to evaluate the effectiveness of the proposed design criterion and compare the results with two theoretically more compliant design procedures developed in the framework of the Theory of Plastic Mechanism Control. The performance evaluation is made through pushover and IDA analyses.

SOMMARIO

Questo lavoro ha lo scopo di analizzare le regole progettuali proposte per la classe di duttilità media denominata DC2 ed introdotta nel nuovo Eurocodice 8. Per strutture progettate in tale classe è sufficiente adottare delle regole semplificate volte ad evitare solo lo sviluppo del meccanismo di piano soffice. Al fine di attuare lo scopo progettuale è stato introdotto un criterio per la mitigazione del piano soffice mediante il rispetto di una disuguaglianza da verificare a tutti i piani della struttura. Lo scopo del lavoro è valutare l'efficacia del criterio progettuale proposto dalla nuova bozza dell'Eurocodice 8 e confrontare i risultati ottenuti con due procedure progettuali teoricamente più

affidabili, sviluppate nell'ambito della Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico. La valutazione delle prestazioni strutturali e sismiche è stata condotta mediante analisi pushover e IDA.

1 INTRODUZIONE

La normativa di riferimento in ambito europeo per progettare strutture sismo-resistenti è la prEN1998 di cui una nuova versione sta per essere emanata. Secondo la bozza del nuovo Eurocodice 8 [1] le strutture devono essere progettate in una tra le tre classi di duttilità proposte: DC1 (duttilità bassa), DC2 (duttilità media) e DC3 (duttilità alta) a seconda della zona sismica di riferimento. In questo lavoro l'attenzione è volta alla classe di duttilità DC2 che corrisponde ad una intensità sismica media; pertanto, si considera la capacità di sovra resistenza locale, di deformazione locale e di dissipazione dell'energia locale della struttura [1]. Non è quindi necessario sfruttare tutte le risorse plastiche della struttura progettando nell'ottica di raggiungere il meccanismo globale al collasso, ma è necessario comunque evitare i meccanismi fragili. Per questo motivo la nuova versione della norma ha cercato di fornire un criterio di progetto che fosse in grado di evitare, in caso di evento sismico, soltanto il meccanismo di piano soffice poiché essendo un meccanismo di tipo fragile che porta al collasso rapido di un piano della struttura deve essere assolutamente evitato. Lo scopo del lavoro è effettuare un'analisi critica e una valutazione sulle nuove regole di progetto proposte per la classe di duttilità DC2, introdotta nell'ottica di una progettazione più economica delle strutture, facendo riferimento ai telai sismo-resistenti in acciaio (MRFs) [2]. Al fine di interpretare meglio i risultati progettuali e valutare l'efficacia delle regole proposte vengono considerati due schemi progettuali e le strutture vengono progettate usando anche una metodologia avanzata di progettazione sismica, che tiene conto degli effetti del secondo ordine, e si propone come un approccio alternativo a quello suggerito dall'eurocodice 8, ovvero la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico (TPMC) [3, 4] adattata per essere applicata a tale classe di duttilità.

2 APPROCCIO PROGETTUALE DEFINITO NEL NUOVO prEN1998-1-2 [2]

Nella progettazione di strutture sismo-resistenti in classe di duttilità media (DC2) devono essere evitati i meccanismi di piano. Secondo la norma negli edifici multipiano la formazione di un meccanismo dovrebbe essere evitata, pertanto nei telai sismo-resistenti in caso di un approccio progettuale basato sulle forze, tale condizione è considerata soddisfatta se la seguente formula è verificata a tutti i piani della struttura:

$$q_s q_R V_{tot} (q - q_s) d_{e,top} \leq 2 \sum_{i=1}^n M_{Rd.c.i}(N_{Ed}) \theta_u^{pl} \quad (1)$$

in cui $q_s = 1.50$ e $q_R = 1.30$ sono due componenti del fattore di struttura q per telai sismo-resistenti e classe di duttilità DC2; V_{tot} è il tagliante di piano nella condizione sismica di progetto; i è l'indice di una colonna nel piano, n è il numero di colonne in un piano, $d_{e,top}$ è lo spostamento al livello dell'ultimo piano calcolato per effetto dello spettro ridotto associato all'azione sismica di progetto; $M_{Rd.c.i}(N_{Ed})$ è il momento resistente della colonna i dove una cerniera plastica si può formare, al piano considerato, tenendo conto dell'influenza dello sforzo normale N_{Ed} per effetto del carico verticale dovuto alle masse considerate nell'analisi sismica della struttura; θ_u^{pl} è il valore minimo tra tutte le rotazioni plastiche delle colonne i dove può formarsi una cerniera plastica ad un certo piano ed è calcolata secondo la relazione riportata nella EN1998-1-1:2021 [1]. In particolare, la rotazione plastica delle colonne in acciaio a forma di I ed H può essere calcolata utilizzando la seguente formula:

$$\theta_u^{pl} = 7,37 \left(\frac{c}{t_w}\right)^{-0,95} \left(\frac{L_b}{i_z}\right)^{-0,5} (1 - v_G)^{2,4} \leq 0,15 \text{ rad} \quad (2)$$

c/t_w è la snellezza dell'anima, L_b è la lunghezza libera di inflessione della trave in acciaio, i_z è il raggio di inerzia di una sezione trasversale di acciaio rispetto all'asse debole; $v_G = N_{Ed,G}/N_{pl,e}$ dove $N_{Ed,G}$ è lo sforzo normale dovuto ai carichi verticali in combinazione sismica e $N_{pl,e} = \gamma_{rm} A_c f_y$, in questo caso è stato considerato $\gamma_{rm} = 1$.

2.1 Genesi del criterio di mitigazione del piano soffice [5]: analisi critica

La valutazione del rischio di formazione di un meccanismo di piano soffice si basa sul confronto tra il lavoro delle forze esterne generato da un terremoto e il lavoro interno dovuto alle cerniere plastiche in una configurazione deformata della struttura in cui lo spostamento del piano superiore nel range post-elastico è assegnato al potenziale piano soffice. Tale assunzione progettuale ha portato alla definizione del criterio di mitigazione del meccanismo di piano presente nella bozza del nuovo eurocodice 8 ed espresso dalla formula (1) che in fase progettuale deve essere combinato con il rispetto della limitazione degli effetti del secondo ordine e del drift secondo le relazioni presenti in normativa. Tale criterio è stato generato assumendo che "se uno spostamento δ è imposto in un meccanismo di snervamento cinematicamente ammissibile, la stabilità si verifica se il lavoro virtuale W_{ext} delle forze esterne V è minore o uguale del lavoro virtuale W_{int} dovuto alle forze interne" [5]. Quindi ad ogni piano deve essere verificata la seguente relazione:

$$V\delta \leq \sum M_{pl,Rd}\theta \quad (3)$$

dove $V\delta$ è il lavoro virtuale delle forze esterne mentre il secondo termine rappresenta il potenziale lavoro virtuale interno generato dalla formazione delle cerniere plastiche (nei telai sismo-resistenti tale lavoro coincide con il momento plastico delle colonne $M_{pl,Rd}$); V è la forza esterna, δ è lo spostamento imposto in un meccanismo di snervamento cinematicamente ammissibile, θ è la rotazione delle cerniere plastiche. In una analisi basata sulla forza, tenendo conto dell'energia di deformazione elastica, lo spostamento all'ultimo piano per effetto di V_1 è uguale a $d_1 = q_s d_{e,top}$, dove V_1 è il taglio globale fino al quale la struttura rimane elastica; invece, la richiesta di spostamento all'ultimo piano imposta da un terremoto è pari a $d_d = q d_{e,top}$. Se δ è calcolato con il modello della struttura $d_d = \delta$. In una struttura in cui si verifica il piano soffice, il drift nel piano interessato dal meccanismo è uguale allo spostamento del tetto nella fase post-elastica, quindi si ottiene:

$$\delta = d_d = d_1 \rightarrow \delta = q d_{e,top} = q_s d_{e,top} = (q - q_s) d_{e,top} \quad (4)$$

$d_{e,top}$ è lo spostamento alla sommità dell'edificio sotto l'azione del taglio di progetto V_{tot} . Il lavoro virtuale delle forze esterne nella fase plastica nel piano soffice è quindi dato da $V\delta = V_{Rd}(q - q_s)d_{e,top}$. Per semplicità, si considera che il valore rappresentativo delle forze esterne nella fase plastica è V_{Rd} che è calcolato nell'ambito dell'Eurocodice 8 come $V_{Rd} = q_s q_R V_{tot}$. Il lavoro interno è valutato ad ogni piano per effetto della rotazione plastica della colonna θ_u^{pl} allo stato limite del Danno Significativo (SD):

$$2 \sum_{i=1}^n M_{Rd.c.i}(N_{Ed}) \theta_u^{pl} \quad (5)$$

dove n è il numero di colonne e $2n$ perché ci sono due cerniere plastiche in una colonna, una superiore e una inferiore. Quindi, sostituendo nell'equazione (3) il valore di $V\delta$ al primo membro e la relazione (5) al secondo membro, si ottiene il criterio per evitare il meccanismo di piano soffice indicato nel nuovo eurocodice mediante la formula (1).

Tuttavia, tale procedimento deriva da alcune assunzioni preliminari che presentano diverse criticità:

- aver imposto il lavoro esterno minore o uguale del lavoro interno $W_{ext} \leq W_{int}$;
- lo spostamento alla sommità della struttura è piccolo per travi di grandi dimensioni;
- nessun criterio di gerarchia trave-colonna è stato considerato;
- non sono stati considerati direttamente gli effetti di secondo ordine.

La procedura di progettazione in DC2 non fa riferimento né ad un approccio statico né ad un approccio cinematico. L'Eq. (1) non è in grado di eseguire alcun controllo del meccanismo plastico ed infatti quando viene effettuato l'equilibrio tra il lavoro interno ed esterno le forze corrispondenti sono solo forze cinematicamente ammissibili ma il meccanismo di collasso si ha essenzialmente derivando il moltiplicatore di collasso come il massimo tra tutti i moltiplicatori staticamente compatibili (approccio statico) o in alternativa come il minimo tra tutti i moltiplicatori cinematicamente ammissibili (approccio cinematico). Inoltre, gli effetti del secondo ordine sono molto importanti quando si considera il meccanismo di piano soffice perché nel range plastico governano la pendenza della curva di equilibrio del meccanismo che raggiunge un valore minimo nel caso del meccanismo globale e questo è fortemente amplificato nel caso del meccanismo di piano. Pertanto, qualsiasi equazione per controllare l'occorrenza del meccanismo di piano dovrebbe prendere direttamente ed esplicitamente in considerazione il lavoro del secondo ordine dovuto ai carichi verticali che governano gli effetti del secondo ordine. Inoltre, non è possibile avere una regola dedicata al controllo del meccanismo plastico dove la resistenza plastica delle travi non viene esplicitamente considerata come avviene tipicamente quando si utilizzano criteri di gerarchia trave-colonna derivanti dai principi del "capacity design".

2 APPROCCIO PROGETTUALE BASATO SULLA TEORIA DEL CONTROLLO DEL MECCANISMO PLASTICO (TPMC)

Uno strumento avanzato per la progettazione sismica delle strutture in acciaio, alternativo a quello suggerito dal codice, è la "Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico" (TPMC) inizialmente proposta da Mazzolani e Piluso [3], successivamente aggiornata da Piluso et al. [4] portando alla soluzione in forma chiusa fino allo sviluppo più recente che ha rappresentato un importante miglioramento nel quadro della procedura di progettazione [6]. La TPMC si basa sul teorema cinematico del collasso plastico esteso al concetto di curva di equilibrio del meccanismo. A differenza della formulazione presente nell'eurocodice, tale procedura porta in conto direttamente, mediante il concetto di curva di equilibrio del meccanismo, gli effetti del secondo ordine dovuti ai carichi verticali. Il teorema cinematico del collasso plastico afferma che il moltiplicatore di collasso è il minimo tra tutti i moltiplicatori cinematicamente ammissibili. Partendo dal presupposto di un comportamento rigido-plastico, l'attenzione è focalizzata sullo stato di collasso della struttura. Recentemente è stato raggiunto un importante miglioramento nell'ambito della procedura di progettazione, mentre in precedenza le condizioni di progetto sono espresse in termini di spostamento ultimo δ_u quindi la teoria viene simbolicamente indicata come TPMC (δ_u), in questa nuova formulazione sono espresse in termini di rotazione plastica θ_u [6] quindi è indicata come TPMC (θ_u). La curva di equilibrio del meccanismo è una retta che può essere generalmente espressa nella forma seguente.

$$\begin{array}{ll} \text{TPMC } (\delta) & \text{TPMC } (\theta) \\ \alpha = \alpha_0 - \gamma\delta & \alpha = \alpha_0 - \gamma\theta \end{array} \quad (6)$$

Secondo la classificazione sulla capacità dissipativa delle strutture fornita dall'Eurocodice 8 [1] in questo lavoro la TPMC è stata adattata alla classe di duttilità DC2 per confrontare i risultati di progetto con quelli ottenuti mediante il criterio di mitigazione del meccanismo di piano soffice fornito dal nuovo Eurocodice 8. Viene quindi adottata una teoria semplificata (2-TPMC) per la classe di duttilità DC2 dove, per progettare le colonne ad ogni piano, è impostata solo la condizione per evitare il meccanismo di piano soffice. Secondo il teorema cinematico del collasso plastico è possibile imporre la condizione per evitare il meccanismo di piano soffice nel seguente modo:

$$\begin{array}{ll} \text{2-TPMC } (\delta_u) & \text{2-TPMC } (\theta_u) \\ \alpha_0^{(g)} - \gamma^{(g)}\delta_u \leq \alpha_{0,i_m}^{(3)} - \gamma_{i_m}^{(3)}\delta_u & \left\{ \begin{array}{l} \text{for } \theta = 0: \quad \alpha_0^{(g)} \leq \alpha_{0,i_m}^{(3)} \\ \text{for } \theta = \theta_u: \quad \alpha_0^{(g)} - \gamma^{(g)}\theta_u \leq \alpha_{0,i_m}^{(3)} - \gamma_{i_m}^{(3)}\theta_u \end{array} \right. \end{array} \quad (7)$$

per $i_m = 1, 2, 3, n_s$

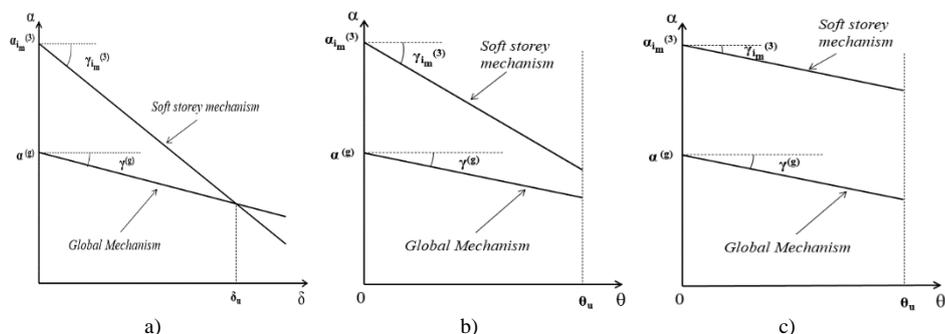


Fig. 1. a) Condizione di progetto per 2-TPMC(δ), b) 2-TPMC(θ) con pendenza del meccanismo globale minore di quella del meccanismo indesiderato, c) 2-TPMC(θ) con pendenza del meccanismo globale maggiore di quella del meccanismo indesiderato

Come si evince dalla Fig. 1 la condizione di progetto assicura che la curva di equilibrio del meccanismo globale sia sempre al di sotto della curva del meccanismo di piano soffice fino allo spostamento di progetto δ_u . Questa condizione per TPMC(θ) è verificata nel confine dell'intervallo tra $\theta = 0$ e $\theta = \theta_u$ perché la pendenza $\gamma^{(g)}$ non sempre è minore della pendenza associata al meccanismo indesiderato [6]. È importante sottolineare che nell'applicare la TPMC è stata usata la rotazione ultima ricavata dall'Eq. (2) per rendere confrontabili i risultati con quelli ottenuti mediante la procedura dell'Eurocodice.

4 CASI STUDIO

I casi studi esaminati si riferiscono a telai sismo-resistenti (MRFs) la cui configurazione in pianta è mostrata in Fig. 2 dove è evidenziato che il sistema strutturale è di due tipi: perimetrale (Fig. 2a) e spaziale (Fig. 2b). Nel primo caso solo i telai esterni possono resistere alle azioni sismiche e le campate interne sono progettate per resistere solo ai carichi verticali quindi gli effetti del secondo ordine dovuti alla struttura interna sono considerati attraverso la "leaning column". In questo caso abbiamo, nella direzione della forza sismica, due telai sismo-resistenti ed ognuno di loro porta in conto il peso di metà struttura. Nel secondo caso, anche il telaio interno è in grado di resistere all'azione sismica quindi ci sono, nella direzione dell'azione sismica, tre telai sismo-resistenti che considerano direttamente il peso della struttura compresa nella loro linea di influenza, per questo schema è stato progettato solo il telaio centrale essendo quello più sollecitato.

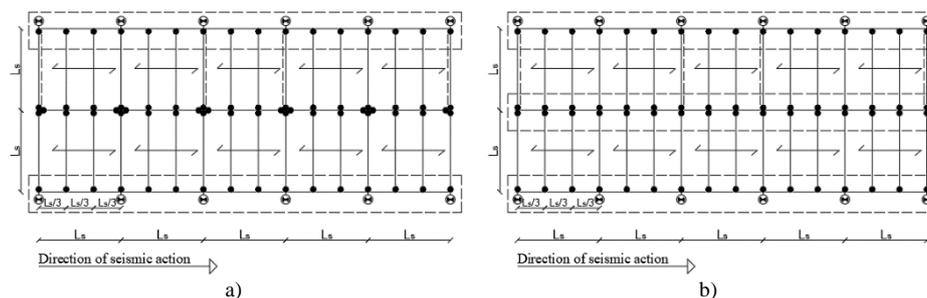


Fig. 2. Configurazione in pianta dell'edificio con identificazione dei telai perimetrali a); identificazione dei telai spaziali b)

Le strutture considerate sono di 4 piani con lunghezza delle campate di 9.00m e altezza di interpiano di 3.50 m. È stata considerata una destinazione ufficio, compreso nella categoria B in accordo all'Eurocodice 1[7]; l'acciaio adottato è S355, si assume inoltre che la scala e l'ascensore siano collocati al di fuori dell'edificio usando una struttura indipendente. Il carico permanente considerato su tutti i piani è 4.00 kN/m², il carico permanente delle pareti esterne è assunto pari a 0.12 kN/m², i carichi accidentali per il piano tipo sono uguali a 3.50 kN/m² e per il tetto 3.00 kN/m². Le forze orizzontali di progetto sono state determinate in accordo agli spettri definiti per la classe di duttilità DC2 ricavati mediante la nuova bozza dell'EC8 [1]. In particolare, sono stati considerati due spettri perché la verifica in termini di resistenza deve essere fatta con lo spettro modificato mediante il limite inferiore β mentre le verifiche in termini di drift ed effetti del secondo ordine devono essere effettuate con lo spettro senza il limite inferiore. Il nuovo Eurocodice suggerisce per i telai sismo-resistenti un valore di β pari a 0.08. Le travi sono state progettate, per resistere ai carichi verticali e poi incrementate per tener conto delle limitazioni dovute alla freccia massima, i profili finali ottenuti sono IPE 500 per il telaio perimetrale e IPE 600 per il telaio spaziale. Le colonne sono state progettate mediante le tre procedure sopra descritte in modo da soddisfare tutte le condizioni di progetto, nella seguente tabella si riportano i profili finali.

Tabella 1. Profili finali ottenuti per le colonne

Piano	Profili delle colonne per telaio perimetrale			Profili delle colonne per telaio spaziale		
	EC8	TPMC (δ)	TPMC (θ)	EC8	TPMC (δ)	TPMC (θ)
1	HE 240 B	HE 500 B	HE 400 B	HE 300 B	HE 600 B	HE 550 B
2	HE 220 B	HE 450 B	HE 400 B	HE 240 B	HE 550 B	HE 500 B
3	HE 200 B	HE 400 B	HE 340 B	HE 200 B	HE 450 B	HE 450 B
4	HE 160 B	HE 280 B	HE 260 B	HE 160 B	HE 340 B	HE 320 B

5 VALIDAZIONE DELLE PROCEDURE PROGETTUALI

5.1 Analisi pushover

Per valutare le performances delle strutture progettate è stata effettuata una analisi pushover, mediante il programma SAP 2000 [8]. Lo scopo è stato la valutazione della tipologia del meccanismo di collasso per confermare l'accuratezza delle metodologie di progettazione proposte. Le strutture sono considerate soggette alla combinazione sismica $G_k + \psi_2 Q_k$ ed azioni incrementali orizzontali. Il software applica un carico laterale incrementale che viene automaticamente aumentato fino a un limite predefinito. Le analisi sono condotte con controllo dello spostamento sotto una distribuzione triangolare del carico corrispondente alla forma modale fondamentale (prima modo di vibrare) della struttura, secondo il metodo delle forze laterali spiegato in EC8 [2].

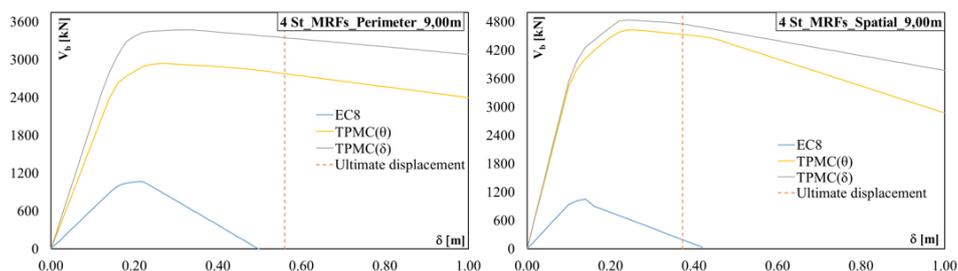


Fig. 3. Confronto tra le curve pushover

Dalla Fig. 3, che mostra le curve pushover ottenute, si nota che la struttura progettata mediante Eurocodice manifesta un comportamento fragile e lo spostamento di progetto compatibile con la rotazione ultima della struttura non è nemmeno raggiunto ma il meccanismo di piano si è già sviluppato. Al contrario, le strutture progettate con entrambi gli approcci basati sulla TPMC mostrano un comportamento duttile e raggiungono lo spostamento di progetto.

5.2 Analisi dinamiche incrementali non lineari (IDA)

Le analisi dinamiche incrementali [9] hanno lo scopo di confermare il meccanismo di collasso che si viene a sviluppare e confrontare le soluzioni strutturali in termini di capacità di dissipazione di energia. Per eseguire le IDA è stato utilizzato il programma informatico Sap 2000 [8], assumendo una formulazione di Rayleigh per uno smorzamento del 5% con fattori proporzionali calcolati con riferimento al primo e al secondo modo di vibrare. Sono stati considerati terremoti artificiali a partire dagli spettri di progetto, tramite il software Simqke [10]. Allo scopo di effettuare analisi incrementali sono state effettuate 10 IDA per ogni terremoto, aumentando il valore di PGA mediante 10 moltiplicatori ottenuti dividendo l'intervallo di accelerazione spettrale in step definiti scelti in modo tale che la curva media tra i massimi rapporti di spostamento interpiano, in funzione dell'accelerazione spettrale, raggiungesse il θ_u^{pl} di progetto. In questo modo i risultati ottenuti per strutture progettate secondo le tre diverse metodologie sono comparabili tra loro.

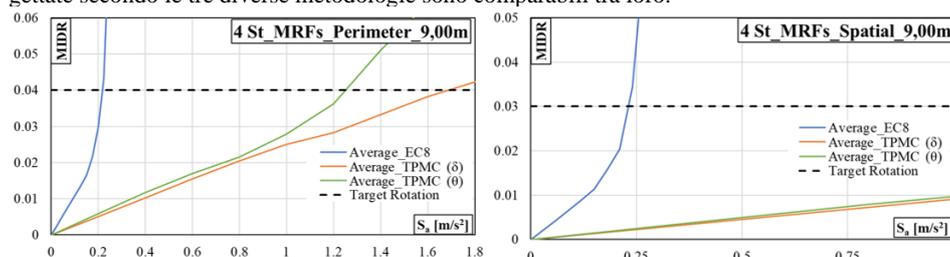


Fig. 4. Confronto tra i risultati ottenuti mediante analisi dinamiche non lineari

Dai grafici mostrati in Fig. 4 si nota che il comportamento delle strutture progettate secondo la nuova versione dell'EC8 è molto diverso da quelle progettate secondo le procedure che si basano sulla TPMC. Infatti, nel primo caso l'accelerazione spettrale corrispondente alla rotazione di progetto è molto piccola, al contrario le curve medie delle strutture progettate mediante TPMC raggiungono la rotazione di progetto per grandi valori di accelerazione spettrale.

6 CONCLUSIONI

Il lavoro svolto ha avuto lo scopo di effettuare una analisi e valutazione del criterio di mitigazione del piano sofficie per telai sismo-resistenti in acciaio previsto nella nuova bozza dell'Eurocodice 8 nella classe di duttilità DC2. A tale scopo vengono considerati due casi di telaio sismo-resistente: perimetrale e spaziale. Per fare un confronto e dimostrare l'efficacia della metodologia proposta, le strutture sono state progettate anche con la Teoria del Controllo del Meccanismo Plastico, specializzata per la classe di duttilità DC2 e basata su due approcci differenti, denominati TPMC(δ) e TPMC(θ), a seconda della condizione di progetto espressa in termini di spostamento ultimo o rotazione plastica. La regola per la mitigazione del meccanismo del piano sofficie in EC8 è data da una disuguaglianza che non funziona correttamente in quanto all'aumentare delle dimensioni delle travi diminuisce lo spostamento all'ultimo piano della struttura, di conseguenza la condizione progettuale risulta soddisfatta anche con colonne molto piccole. Infatti, con questa relazione, si verifica l'opposto del criterio di gerarchia che sta alla base delle regole sismiche che prevede trave debole-

colonna forte, di conseguenza, lo sviluppo delle cerniere plastiche nelle colonne e il meccanismo di piano non può essere evitato. Ciò è confermato dal meccanismo di collasso ottenuto dalle analisi pushover e mostrato in Fig. 5 per il caso del telaio perimetrale. Al contrario la TPMC ha dimostrato di garantire l'obiettivo di progetto prefissato.

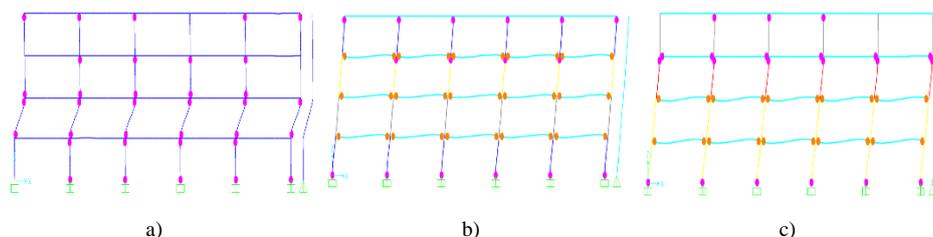


Fig. 5. Meccanismi di collasso per telaio perimetrale progettato mediante EC8 a), TPMC(δ) b), TPMC(θ) c)

BIBLIOGRAFIA

- [1] CEN, Eurocode 8, draft. "Design of structures for earthquake resistance - Part 1-1: General rules and seismic action", 2021.
- [2] CEN, Eurocode 8 draft: "Design of structures for earthquake resistance - Part 1-2: Rules for new buildings", 2021.
- [3] F. Mazzolani e V. Piluso, «Plastic Design of Seismic Resistant Steel Frames,» Earthquake Engineering and Structural Dynamics, pp. Vol. 26, pp. 167-191, 1997.
- [4] R. Montuori, E. Nistri e V. Piluso, «Advances in theory of plastic mechanism control: Closed form solution for MR-Frames,» Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 44, n. 7, pp. 1035-1054, 2015.
- [5] A. Plumier, «Mitigation of soft storey failure: a new criteria,» in Proceedings of the 10th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, Timisoara, 2022.
- [6] K. Annunziata, R. Montuori, E. Nistri e V. Piluso, «New developments in the Theory of Plastic Mechanism Control,» 2022.
- [7] CEN, Eurocode 1: "Actions on structure Part 1-1: General actions-Densities, self-weight, imposed loads for buildings", 2004.
- [8] CSI 2007. SAP 2000, «Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures. Analysis Reference,» Computer and Structure Inc. University of California, Bekerley..
- [9] D. Vamvatsikos e C. Cornell, «Incremental dynamic analysis,» Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2002.
- [10] P. Gelfi, «https://gelfi.unibs.it/software/simqke/simqke_gr.htm,» [Online].

PAROLE CHIAVE

DC2, Eurocodice 8, TPMC(δ), TPMC(θ), MRFs, Piano soffice, Meccanismo di Collasso, Analisi Pushover, Analisi Dinamiche.