



Rete dei Laboratori Universitari
di Ingegneria Sismica e Strutturale

Convegno ReLUIS



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Kick off del Progetto DPC_ReLUIS 2024-2026

Napoli, 17-18 ottobre 2024

WP 11 - Costruzioni in Calcestruzzo Armato Gettate in Opera e Prefabbricate

Gennaro Magliulo, Enrico Spacone

Task del WP11 Reluis 22-24

Task 11.1 – Valutazione della capacità

Task 11.2 – Analisi non lineari statiche e dinamiche

Task 11.3 – Ponti esistenti stradali e ferroviari

Task 11.4 – Valutazione della sicurezza mediante analisi non lineari

Task del WP11 Reluis 24-26

Task 11.1 – Modelli di capacità

Task 11.2 – Metodi per l'esecuzione di analisi non lineari dinamiche

Task 11.3 – Metodo del fattore globale applicato alle analisi non lineari dinamiche

Task 11.4 – Uniformazione del rischio

Task 11.5 – Progettazione e comportamento sismico di connessioni in edifici prefabbricati in c.a.

N°UR	UR - Responsabile	Task1	Task2	Task3	Task4	Task5
1	<u>UniCh</u> – Enrico <u>Spacone</u>	X	X		X	
2	<u>UniNa</u> – Gennaro Magliulo	X				X
3	Sapienza – Nicola Nisticò- Giorgio Monti	X		X	X	X
4	<u>UniCt</u> – Edoardo Marino	X	X			
5	<u>UniAq</u> – Amedeo Gregori	X	X			
6	<u>UniNa</u> – Andrea <u>Prota</u>	X				
7	<u>UniNa</u> – Gerardo Mario Verderame	X	X			
8	<u>UniSa</u> – Enzo Martinelli		X			
9	<u>PoliTo</u> – Alessandro <u>Fantilli</u>	X	X			
10	IUAU Ve – Anna Saetta		X			
11	<u>PoliBa</u> – Giuseppina Uva		X			
12	<u>PoliTo</u> – Paolo Castaldo			X		
13	<u>UniNa</u> – Antonio Bilotta	X	X			
14	Sapienza – Paolo <u>Franchin</u>	X	X			
15	<u>PoliTo</u> – Fabio Di Trapani		X			
16	<u>Insurbia</u> – Bruno Dal Lago					X
17	<u>UniBg</u> – Andrea Belleri					X
18	<u>Eucentre</u> – Davide Bellotti					X

Task 11.1 - Modelli di capacità (Gerardo Verderame)

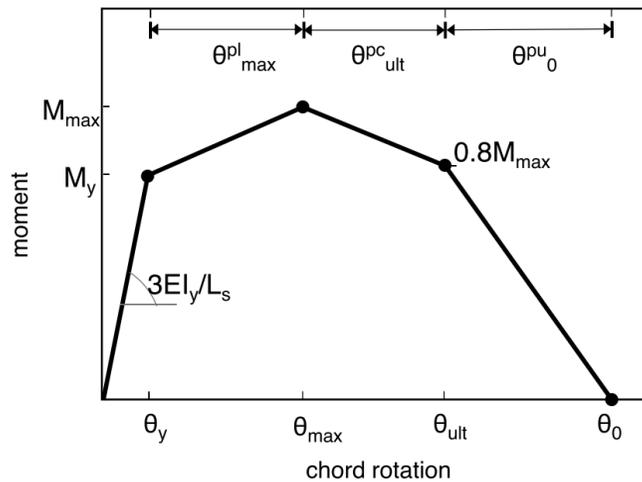
Risultati 22-24

Proposta e pubblicazione di diversi modelli:

- Verifiche di duttilità di sezione/elemento
- Modelli di capacità deformativa uniassiale di elementi progettati con norme obsolete con barre lisce e nervate
- Modelli di capacità a taglio uniassiale di elementi con diversa sezione trasversale
- Modelli di capacità a taglio di intersezioni nodali in c.a senza armatura trasversale
- Modelli di risposta monotona/ciclica di elementi in c.a. a comportamento duttile
- Modelli di risposta di intersezioni nodali non armate

Risultati 22-24

Modelli di capacità a taglio di elementi in c.a.



$$EI_y/EI_g = 0.0318 \cdot 6.11^v \cdot (L_s/d)^{1.21}$$

$$\theta_{max}^{pl} = 0.0073 \cdot 0.436^v \cdot (s/d)^{-0.261} \cdot 1.05^{100\omega_2}$$

$$\theta_{ult}^{pc} = 0.0126 \cdot 0.161^v \cdot 5.66^{\omega_l} \cdot 1.88^{100\rho_w}$$

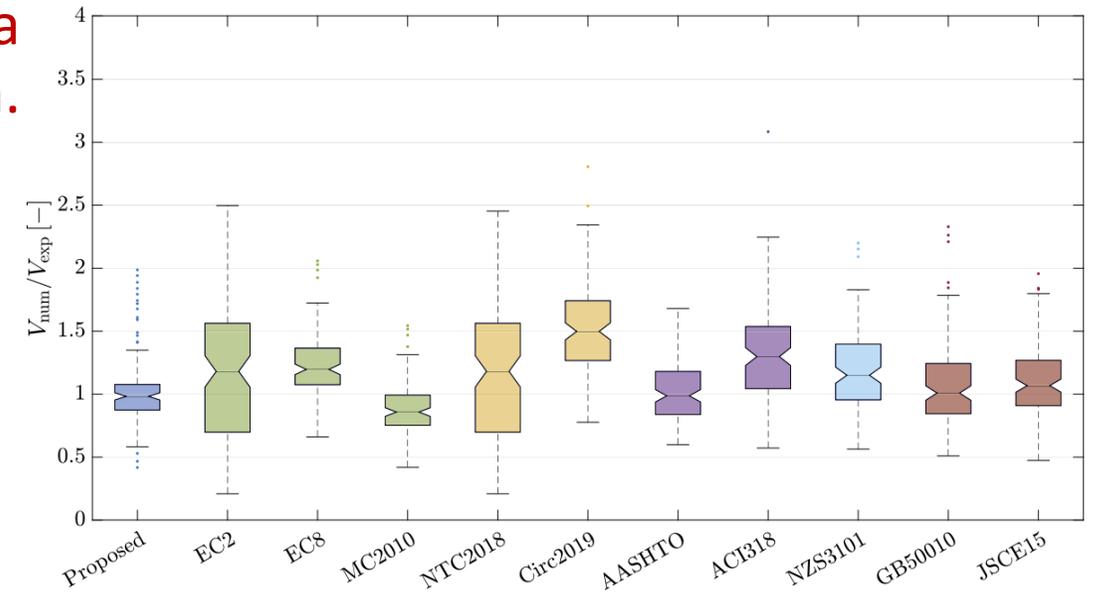
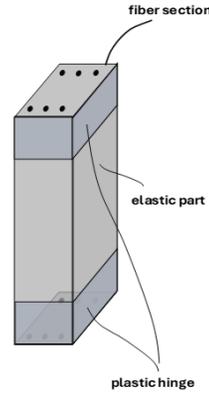


Fig. 11. Comparison among code-conforming predictions of the shear capacity for RC columns in terms of box plot of the ratio between numerical predictions and corresponding experimental values V_{num}/V_{exp} .

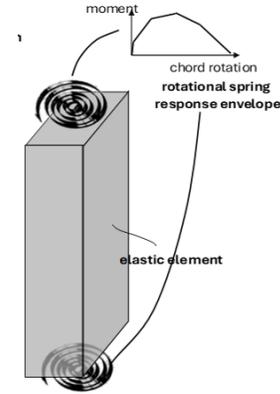
Modelli di capacità deformativa di elementi in c.a.

Risultati 22-24

Modelli di risposta
monotona/ciclica di
elementi in c.a. a
comportamento
duttile



fiber-section lumped
plasticity element



phenomenological lumped
plasticity element

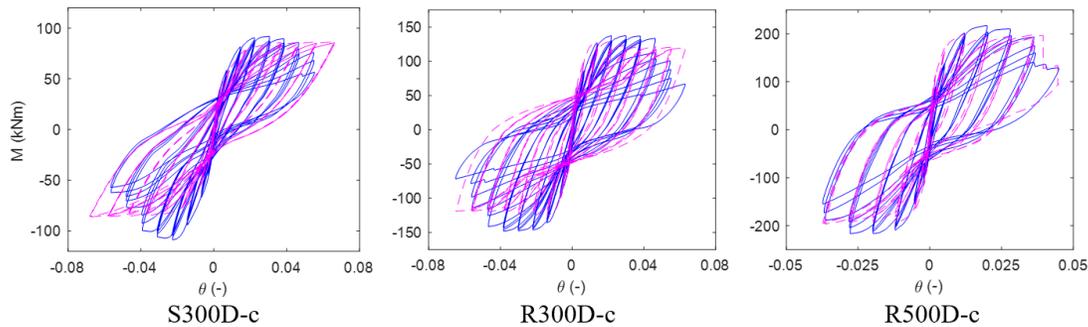
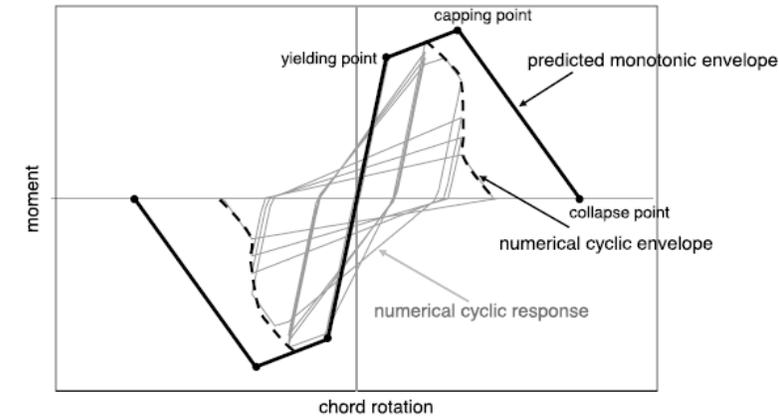
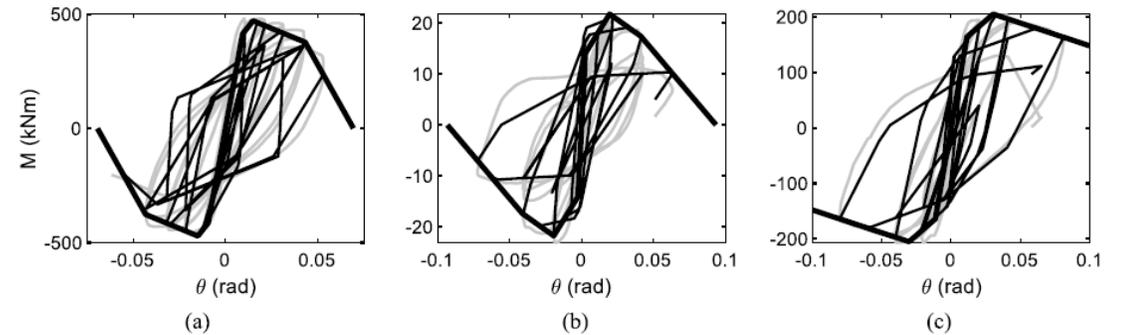


Figure 11. Validation of the proposed model: observed (continuous blue line) and numerical (dashed magenta line) moment – chord rotation loops for the columns tested by Di Ludovico et al. (2014).



— experimental — predicted response envelope — predicted cyclic response

Task 11.1 - Modelli di capacità

Progetto 24-26

Alla luce delle nuove indicazioni proposte dagli **Eurocodici di II generazione** (EC2 e EC8) il task si pone tra i vari obiettivi:

- la comparazione tra i modelli di capacità presenti nelle diverse normative (NTC18 e relativa Circolare 7-2019, EC di I e II gen., ASCE-SEI 41/17,..)
- la capacità predittiva degli stessi valutata rispetto a database sperimentali presenti in letteratura

Task 11.1 - Modelli di capacità

Progetto 24-26

Modelli di capacità deformativa di elementi duttili

- Notevoli variazioni sono state apportate dagli *Eurocodici di II gen.* rispetto a quelli di *I gen.*, sia nella definizione delle capacità ai diversi Stati Limite che nelle formulazioni predittive.
- La attuale Circolare2019, tra l'altro, risulta non sempre coerente con quanto indicato negli attuali Eurocodici di I gen.

Task 11.1 - Modelli di capacità

Progetto 24-26

Modelli di capacità resistente di elementi sensibili al taglio

- Gli attuali modelli contenuti negli Eurocodici di II gen sono basati sulla MCF theory seppur inseriti sempre nella logica del traliccio a inclinazione variabile. I modelli sono iterativi e specializzati sia al caso di sollecitazione statiche (EC2) che al caso di azioni cicliche inelastiche (EC8).
- Tale cambiamento è valido anche per i modelli di capacità delle intersezioni nodali trasversalmente armati (nuova progettazione).
- Diverso è il caso per le intersezioni nodali non armate (ovvero esistenti) per le quali rimane l'approccio alle tensioni principali (già attualmente utilizzato dall'attuale EC8 e Circolare 2019).

Task 11.1 - Modelli di capacità

Progetto 24-26

Modelli di capacità di elementi rinforzati

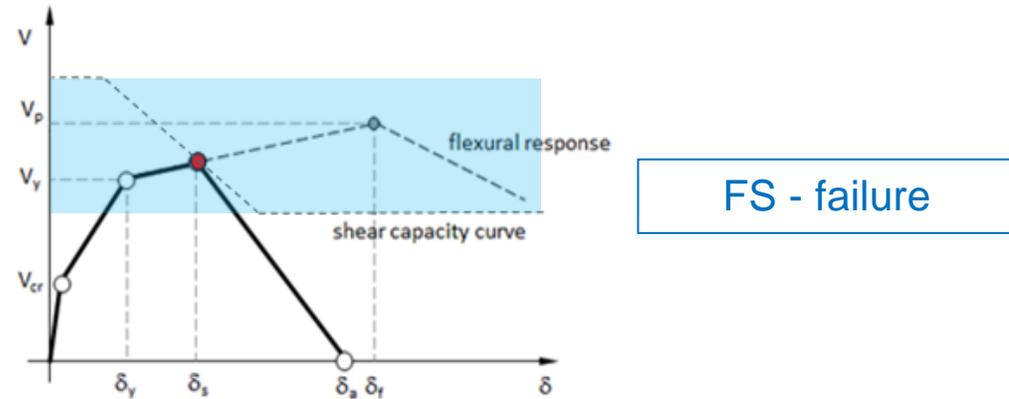
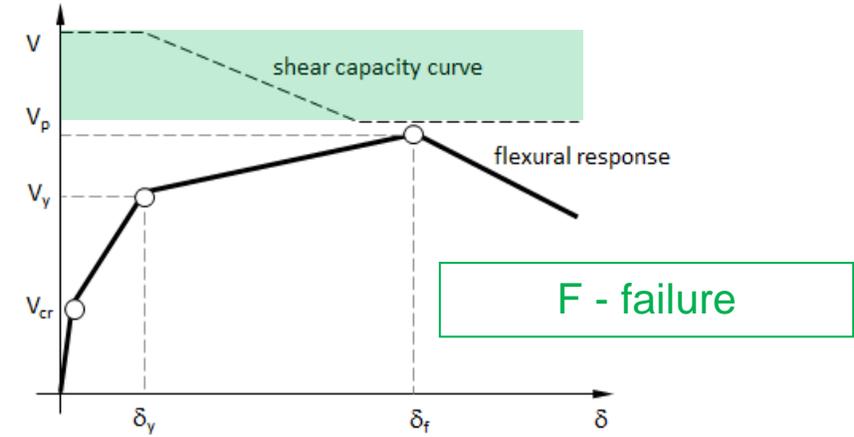
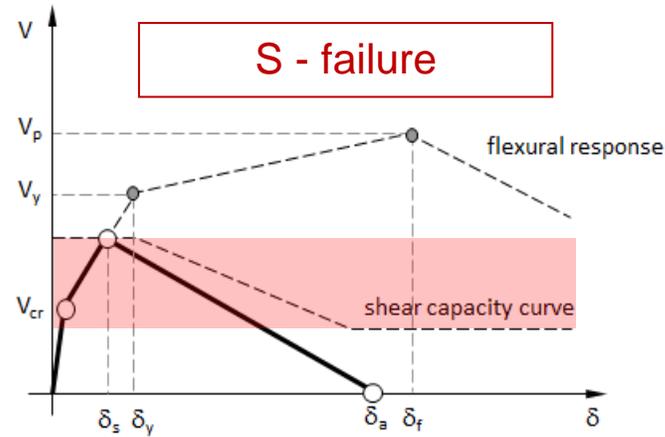
Si propone di lavorare su tecniche di rinforzo di elementi in c.a. attualmente non presenti in Circolare 7/2019 al fine di fornire modelli di capacità al momento assenti nelle normative nazionali ed internazionali.

Task 11.2 - Metodi per l'esecuzione di analisi non lineari dinamiche (Enrico Spacone)

Risultati 22-24

- Applicazione del metodo del PO a strutture con Irregolarità in pianta ed in altezza
 - Proposta di aggiornamento normativo sulle procedure del metodo nonlin statico
 - Proposta di aggiornamento normativo relativo agli edifici con irregolarità in pianta ed in altezza
- Modelli numerici compatibili con i modelli meccanici sviluppati nel Task 11.1
- Primi risultati relativi al confronto fra diversi metodi di smorzamento per analisi dinamiche nonlineari

Risultati 22-24



Modellazione a cerniere

 concentrate di elementi

 strutturali con diversi

 meccanismi di rottura

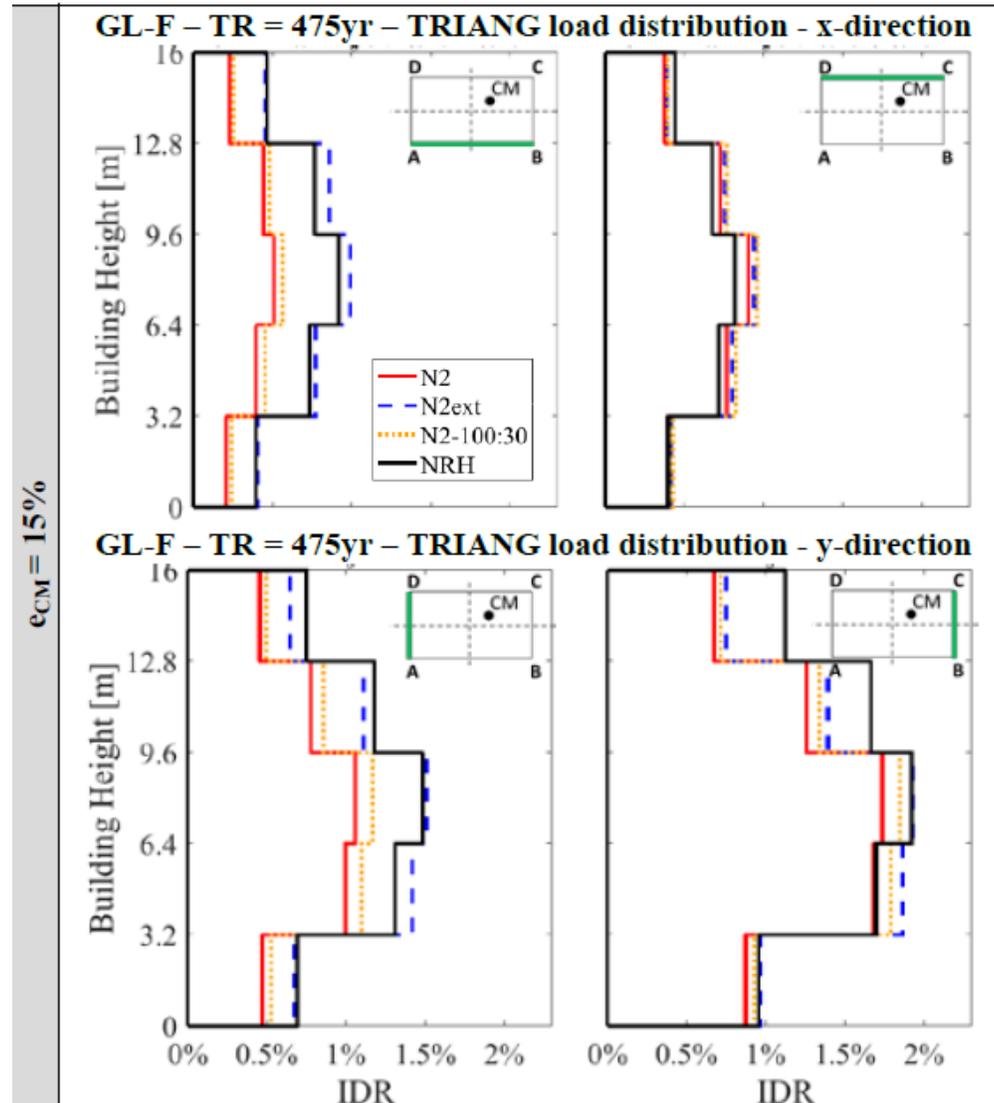
Risultati 22-24

Esempio di studio sulla

 validità del metodo

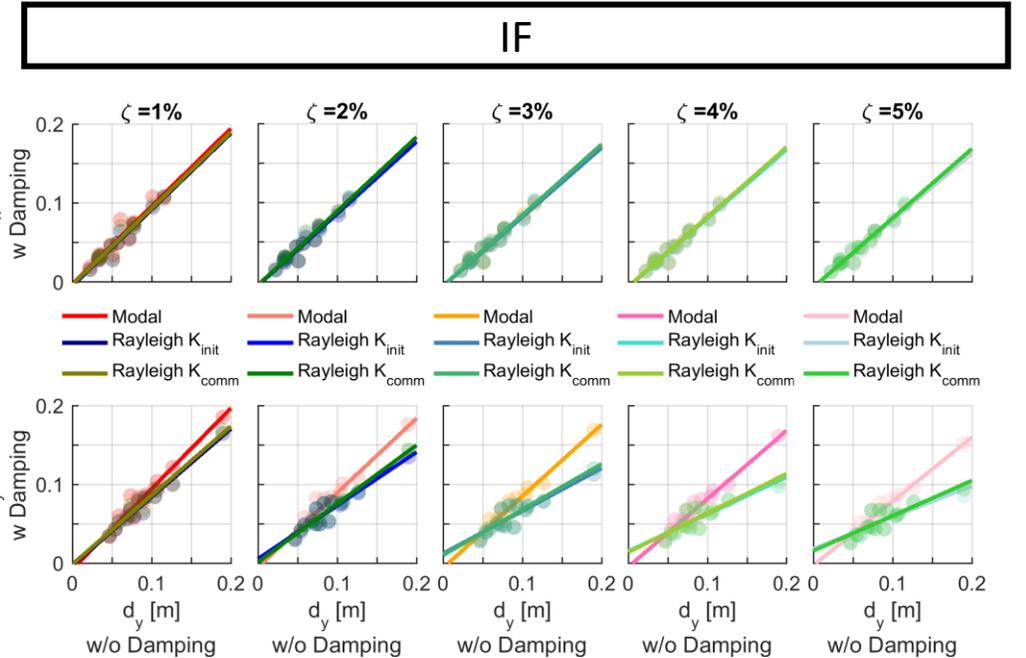
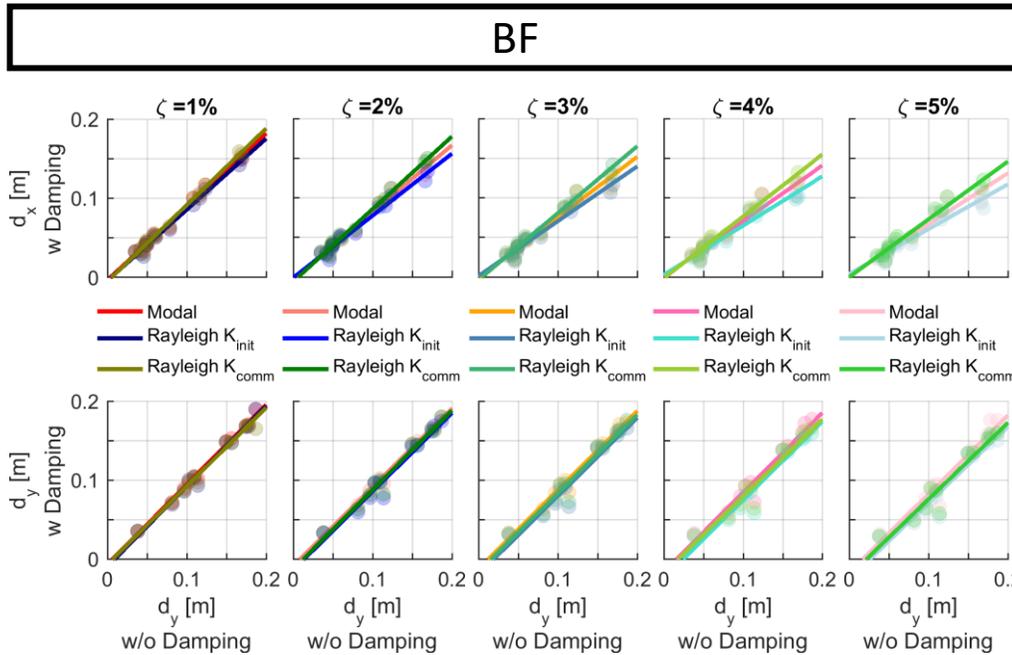
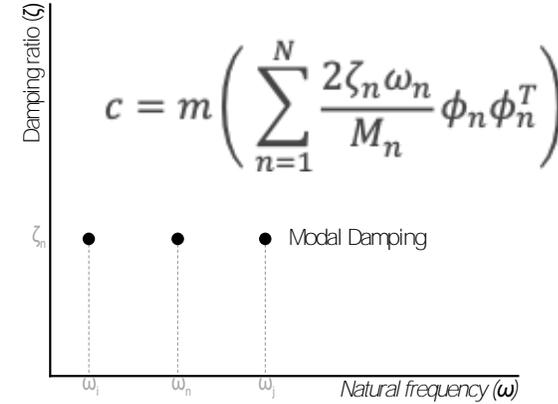
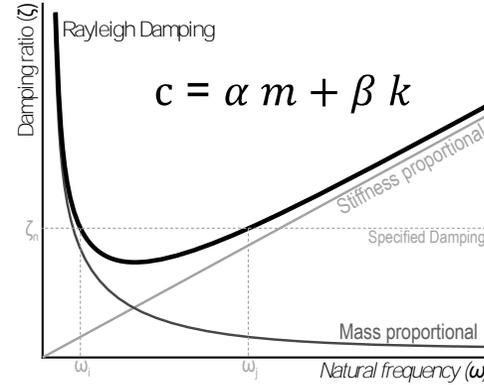
 N2 modificato per edifici

 torsionalmente flessibili



Risultati 22-24

Analisi preliminari di NLRHA
con diversi tipi di smorzamento



Task 11.2 - Metodi per l'esecuzione di analisi non lineari dinamiche

Progetto 24-26

- ***Modellazione della risposta non lineare di elementi duttili e sensibili al taglio*** (Verderame)

Verifica di diversi approcci e confronto fra loro performance (con Task 11.1)

- ***Modellazione dello smorzamento nelle ADNL*** (Spacone)

Completare il confronto fra diversi metodi, stabilirne la base fisico-meccanica e fornire indicazioni pratiche

Task 11.2 - Metodi per l'esecuzione di analisi non lineari dinamiche

Progetto 24-26

- ***Confronto e valutazione di diversi approcci di modellazione forniti da software commerciali*** (Camata)

Confronto valutazione sicurezza sismica di casi studio usando software commerciali

- ***Confronto e valutazione di approcci semplificati*** (Spacone)

Validazione di procedure per ottenere modelli surrogati per analisi di vulnerabilità/rischio a larga scala

Task 11.3 - Metodo del fattore globale applicato alle analisi non lineari dinamiche (Giorgio Monti)

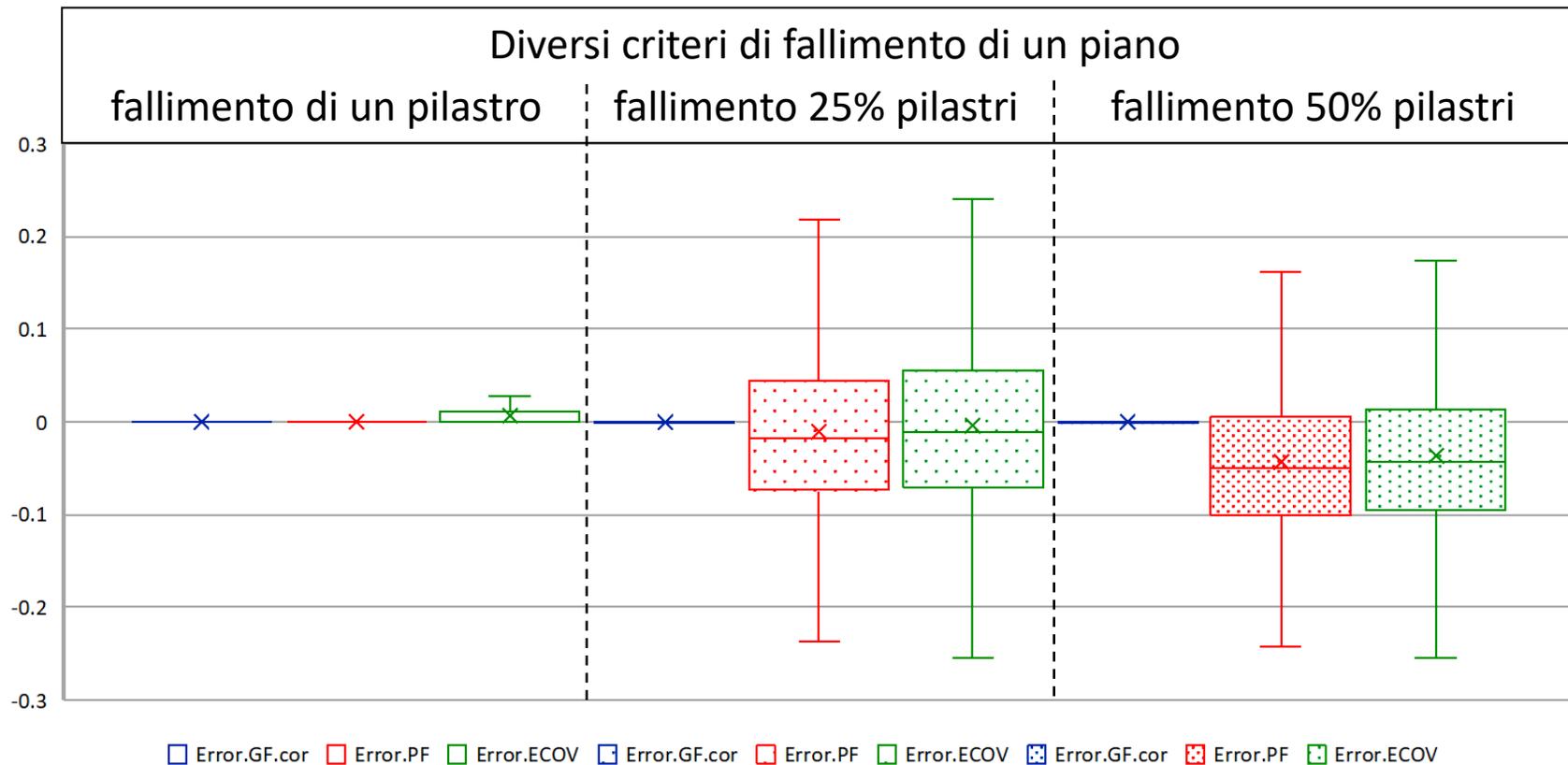
- Nel metodo del Fattore Globale descritto nel Model Code 2020 la capacità di progetto R_d della struttura si ottiene come

$$R_d = \frac{R_{ANL}(x_m)}{\gamma_R}$$

- dove:
 - R_{ANL} è la capacità media calcolata con l'Analisi Non Lineare (*pushover*, ecc.)
 - x_m sono i valori medi delle variabili di base
 - γ_R è un unico fattore globale di sicurezza

Risultati 22-24

Errore rispetto al metodo esatto (Monte Carlo) dei seguenti metodi:
Fattore Globale **Fattori Parziali** **ECOV**



Progetto 24-26

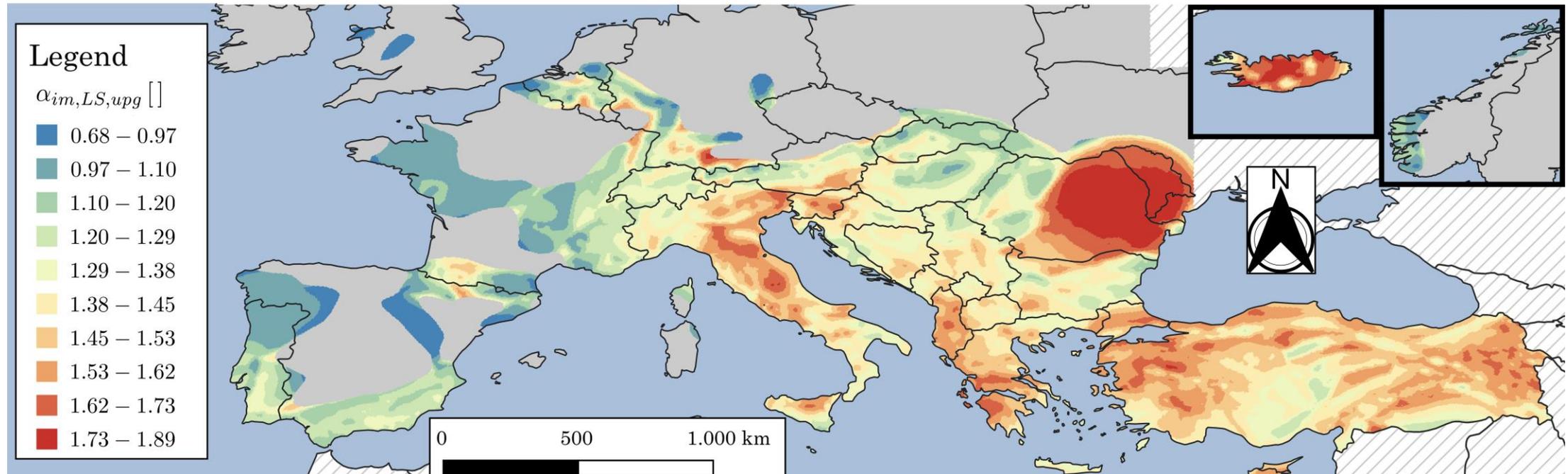
- L'espressione analitica del Fattore Globale sviluppata nel progetto 2022-24 tiene conto della presenza di diversi meccanismi di fallimento concorrenti, correlati o scorrelati, e delle loro incertezze
- Si eseguiranno validazioni numeriche dell'efficacia di tale espressione analitica, nel rispetto di predefinite probabilità di superamento degli stati limite a livello globale
- Si valuterà, attraverso esempi applicativi, l'accuratezza del metodo per fallimenti locali correlati e non correlati, senza modificare l'approccio metodologico normativo

Task 11.4 – Uniformazione del Rischio (Giorgio Monti)

- La frequenza di superamento di un dato Stato Limite **non è uniforme** sul territorio italiano
- Quindi il rischio **non è uniforme** sul territorio
- Sono allo studio metodi alternativi per ottenere strutture che abbiano lo **stesso rischio di fallimento** in diverse zone con diversa sismicità, sia per il nuovo sia per l'esistente

Task 11.4 – Uniformazione del Rischio

Fattore correttivo di α_g per ottenere rischio uniforme a SLV
 Miglioramento al 60% di edifici esistenti



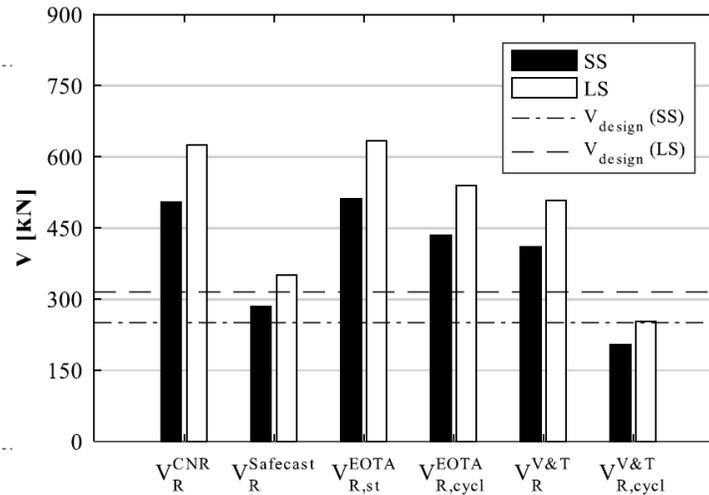
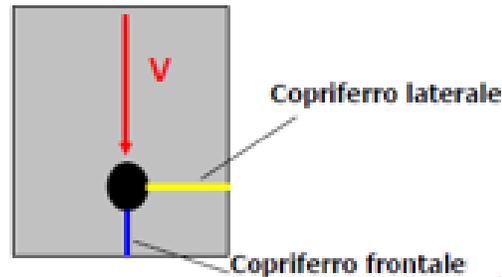
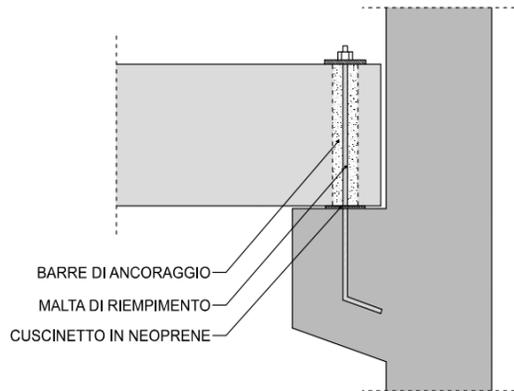
Task 11.4 – Uniformazione del Rischio

- Aggiornamento delle mappe del fattore di modifica della pericolosità sismica utilizzando curve di hazard non lineari
- Nuova relazione tra frequenza annuale di superamento di uno stato limite e frequenza annuale di superamento della misura di intensità
- Verifica degli effetti pratici della nuova impostazione progettuale orientata all'uniformazione del rischio, per nuove strutture e miglioramento/adequamento delle strutture esistenti

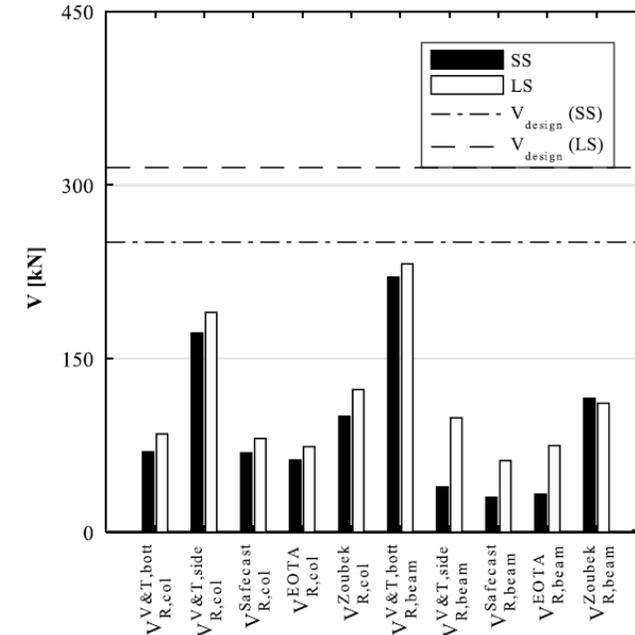
Task 11.5 –Progettazione e comportamento sismico di connessioni in edifici prefabbricati in c.a. (Gennaro Magliulo)



Nonostante la recente bibliografia abbia evidenziato l'influenza dei dettagli sulla capacità delle connessioni spinottate nelle strutture prefabbricate, **nessuna indicazione in merito viene fornita dalla normativa italiana.**



Meccanismo duttile (c/φ ≈ 8)



Meccanismo fragile (c/φ ≈ 4)

-Cimmino, M. 2020. Seismic collapse assessment of new European single-story RC precast buildings with weak connections. BEE, 18(15), 6661-6686.

WP11-T5 - Progettazione e comportamento sismico di connessioni in edifici prefabbricati in c.a.

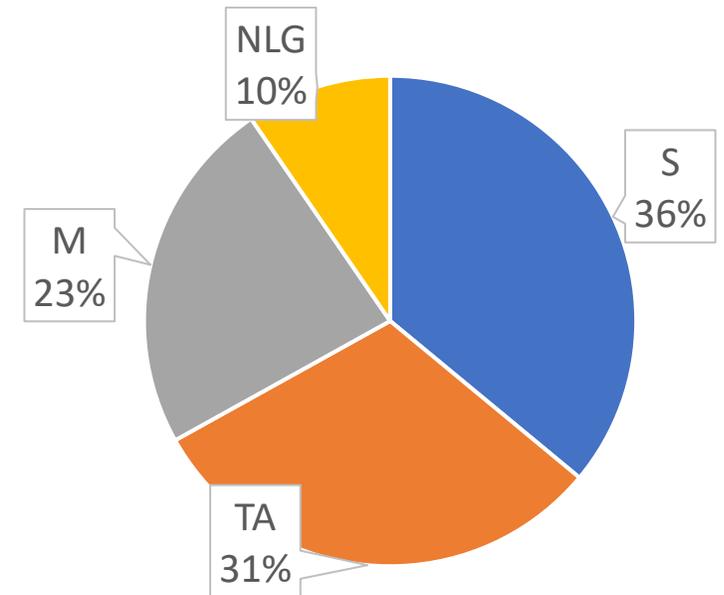
OBIETTIVI DEL PROGETTO E DESCRIZIONE ATTIVITÀ

A. Belleri, D. Bellotti, E. Brunesi, F. Cavalieri, B. Dal Lago, D. D'Angela, C. Di Salvatore, M. Eteme Minkada,
G. Magliulo, N. Nisticò, P. Riva, D. Spina

a) Raccolta bibliografica aggiornata in merito alla sperimentazione, alle analisi numeriche e alle formulazioni teoriche riguardanti **connessioni con spinotto**, in diverse configurazioni, sotto azioni sismiche.

99 documenti raccolti:

- ❖ Documenti normativi e linee guida - NLG
- ❖ Articoli scientifici di natura sperimentale - S
- ❖ Articoli scientifici inerenti alla modellazione (micro e macro) - M
- ❖ Articoli scientifici di natura teorico-analitica - TA



WP11-T5 - Progettazione e comportamento sismico di connessioni in edifici prefabbricati in c.a.

OBIETTIVI DEL PROGETTO E DESCRIZIONE ATTIVITÀ

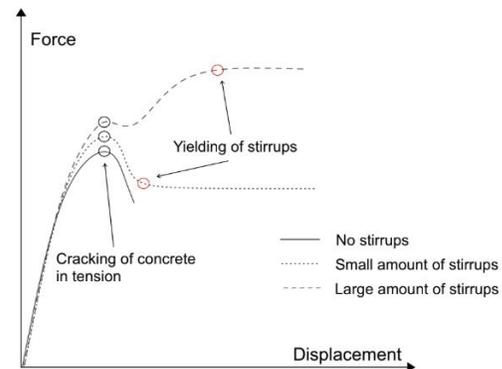
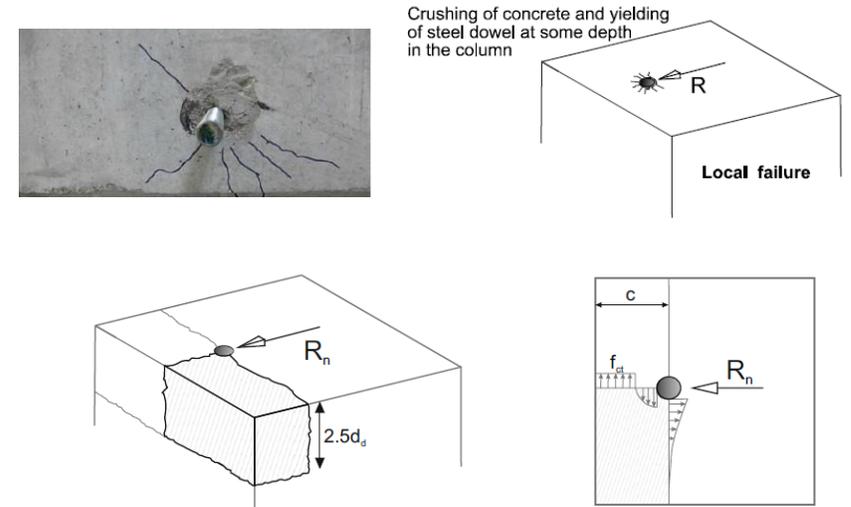
A. Belleri, D. Bellotti, E. Brunesi, F. Cavalieri, B. Dal Lago, D. D'Angela, C. Di Salvatore, M. Eteme Minkada,
G. Magliulo, N. Nisticò, P. Riva, D. Spina

b) Correlazione degli stati progressivi di danneggiamento con stati limite, normativi e non.

Condizioni limite individuate (attività in corso)

- ❖ Fessurazione calcestruzzo
- ❖ Snervamento della barra e schiacciamento del cls intorno allo spinotto
- ❖ Rottura associata alla presenza delle staffe
- ❖ Distacco del copriferro laterale o frontale
- ❖ Attingimento della resistenza a taglio dello spinotto
- ❖ Perdita di appoggio

In corso, validazione delle formulazioni esistenti su base sperimentale per ciascuna condizione limite individuata.



-Vintzeleou, E.N. and Tassios, T.P. 1986, *Mathematical-models for dowel action under monotonic and cyclic conditions*, MCR., 38(134), 13-22.

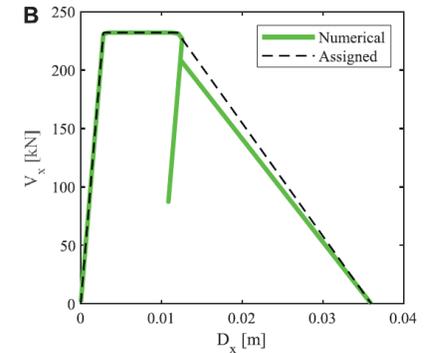
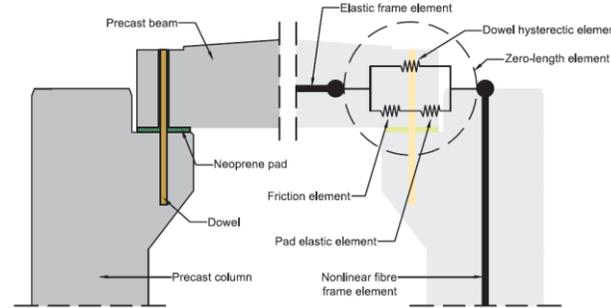
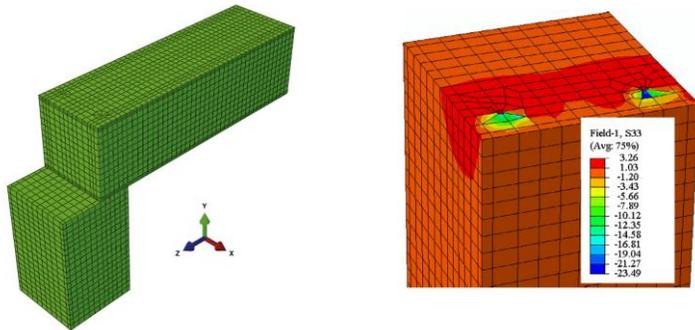
-Zoubek, B. et al. 2015. *Estimation of the cyclic capacity of beam-to-column dowel connections in precast industrial buildings*. BEE, 13, 2145-2168.

WP11-T5 - Progettazione e comportamento sismico di connessioni in edifici prefabbricati in c.a.

OBIETTIVI DEL PROGETTO E DESCRIZIONE ATTIVITÀ

A. Belleri, D. Bellotti, E. Brunesi, F. Cavalieri, B. Dal Lago, D. D'Angela, C. Di Salvatore, M. Eteme Minkada, G. Magliulo, N. Nisticò, P. Riva, D. Spina

c) Modellazione numerica accurata del comportamento sotto azioni sismiche di tali connessioni (micro e macro).



d) Definizione di formulazioni accurate per la determinazione della capacità di tali connessioni nelle diverse condizioni di danneggiamento, che potranno tradursi in apposite linee guida.

WP11 - Task 5																																							
DESCRIZIONE	MESI																																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33						
	Ap	Mg	Gi	Lu	Ag	Se	Ot	No	Di	Ge	Fe	Ma	Ap	Mg	Gi	Lu	Ag	Se	Ot	No	Di	Ge	Fe	Ma	Ap	Mg	Gi	Lu	Ag	Se	Ot	No	Di						
	2024									2025									2026																				
database che raccoglie letteratura/codici/linee guida esistenti sul tema delle connessioni con spinotti in strutture in c.a. soggette a forze orizzontali	[Activity]																																						
sviluppo di una modellazione accurata, tarata sulle evidenze scientifiche raccolte										[Activity]																													
analisi della variabilità della risposta di connessioni con spinotti attraverso un'analisi parametrica																			[Activity]																				
valutazione della capacità delle connessioni spinottate per le diverse condizioni limite individuate																												[Activity]											
PRODOTTI (Report attività/finale)																																							

bre 2024

- Magliulo, G. et al. 2014. FEM analysis of the strength of RC beam-to-column dowel connections under monotonic actions. *CBM*, 69, 271-284.
- Magliulo, G., et al. 2021. Modeling of the beam-to-column dowel connection for a single-story RC precast building. *Frontiers*, 7, 627546.
- Sousa, R., et al. 2020. Numerical simulation of beam-to-column connections in precast reinforced concrete buildings using fibre-based frame models. *ES*, 203, 109845

GRAZIE DELL'ATTENZIONE

enrico.spacone@unich.it, gennaro.magliulo@unina.it