

WP11

Costruzioni in Calcestruzzo Armato

Gettate in Opera e Prefabbricate

Coordinatori
Gennaro Magliulo, Enrico Spacone
DPC: Daniele Spina
2024-2026



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Il WP11 è organizzato in cinque task:

Task 11.1 – Modelli di capacità (Responsabile Prof. G. Verderame)

Task 11.2 – Metodi per l'esecuzione di analisi non lineari dinamiche (Responsabile Prof. E. Spacone)

Task 11.3 – Metodo del fattore globale applicato alle analisi non lineari dinamiche (Responsabile Prof. G. Monti)

Task 11.4 – Uniformazione del rischio (Responsabile Prof. G. Monti)

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

N°UR	UR - Responsabile
1	UniCH – Enrico Spacone
2	UniNA – Gennaro Magliulo
3	Sapienza – Nicola Nisticò- Giorgio Monti
4	UniCT – Edoardo Marino
5	UniAQ – Amedeo Gregori
6	UniNA – Andrea Prota
7	UniNA – Gerardo Mario Verderame
8	UniSa – Enzo Martinelli
9	PoliTO – Alessandro Fantilli
10	IUAV – Anna Saetta
11	PoliBA – Giuseppina Uva
12	PoliTO – Paolo Castaldo
13	UniNA – Antonio Bilotta
14	Sapienza – Paolo Franchin
15	PoliPA – Fabio Di Trapani
16	Insubria – Bruno Dal Lago
17	UniBG – Andrea Belleri
18	Eucentre – Davide Bellotti

WP11 TASK 5

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

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



EUCENTRE
FOR YOUR SAFETY.

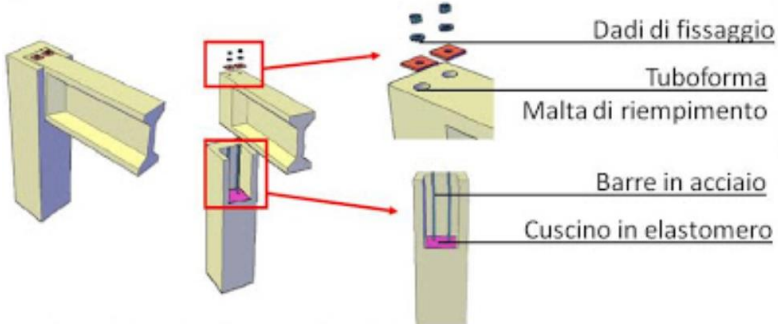


PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Responsabile scientifico task : Gennaro Magliulo

WP11- Task 5

CONNESSIONI CON SPINOTTI



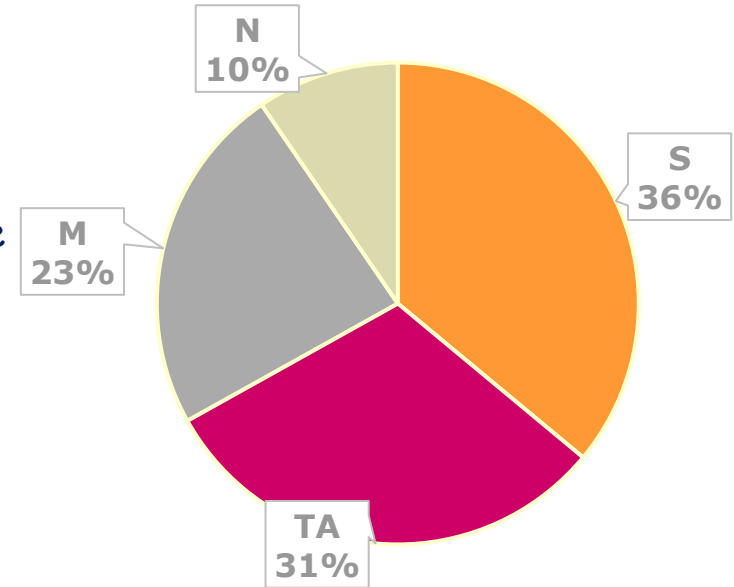
© ReLUIS 2012

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 raccolga letteratura/codici/linee guida esistenti sul tema delle connessioni con spinotti in strutture in c.a. soggette a forze orizzontali																																	
sviluppo di una modellazione accurata, tarata sulle evidenze scientifiche raccolte																																	
analisi della variabilità della risposta di connessioni con spinotti attraverso un'analisi parametrica																																	
valutazione della capacità delle connessioni spinottate per le diverse condizioni limite individuate																																	
PRODOTTI (Report attività/finale)																																	

DATABASE

Documenti caricati: 98

- ❖ N = documenti normativi
- ❖ S = articoli scientifici di natura sperimentale
- ❖ M = articoli scientifici inerenti alla modellazione (micro e macro)
- ❖ TA = articoli scientifici di natura teorico-analitica



Condizioni limite individuate:

- ❖ fessurazione calcestruzzo
- ❖ **snervamento della barra e schiacciamento del calcestruzzo intorno allo spinotto**
- ❖ **rottura del calcestruzzo associata alla presenza delle staffe**
- ❖ **distacco del copriferro laterale o frontale**
- ❖ **attingimento della resistenza a taglio dello spinotto (tranciamento dello spinotto)**
- ❖ perdita di appoggio

CONFRONTO ANALITICO-SPERIMENTALE

Step 1. Per ogni condizione limite individuata, creazione di un file .doc comune a tutte le UR con la raccolta, in forma di elenco numerato, delle formulazioni di letteratura per il calcolo della capacità a taglio delle connessioni spinottate.



Step 2. Classificazione delle prove sperimentali in base alle condizioni limite individuate. Per ciascun test, sono stati rilevati i parametri salienti quali: resistenza sperimentale (V_{test}), diametro dello spinotto (d_b), numero di spinotti (N°_s), numero di registri di spinotti (N°_{ls}), rapporto copriferro (frontale o laterale)-diametro (c/d_b), resistenze medie dei materiali impiegati (f_{cm} , f_{ym}), etc...

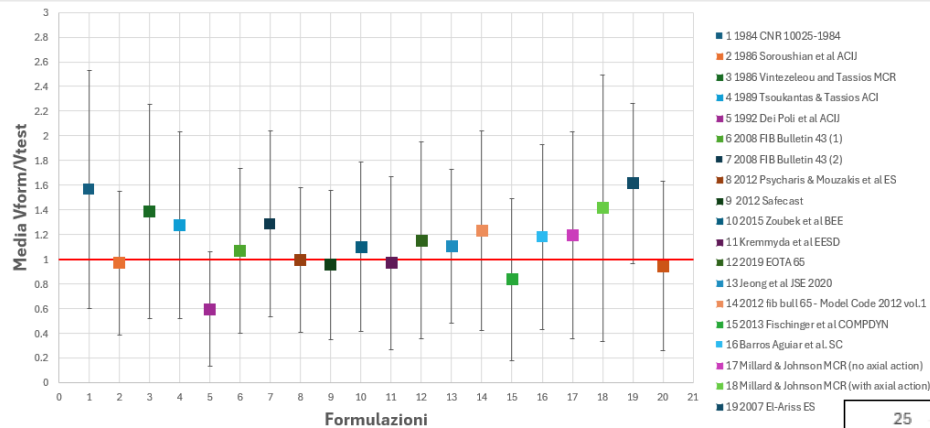


Step 3. Applicazione di tutte le formulazioni analitiche relative ad una specifica condizione limite a tutte le sperimentazioni della stessa condizione limite (V_{form}). Si calcola, dunque, il rapporto tra il valore di taglio analitico ed il valore di taglio sperimentale (V_{form}/V_{test}).

CONFRONTO ANALITICO-SPERIMENTALE APPROCCIO COMUNE

Risultati preliminari.

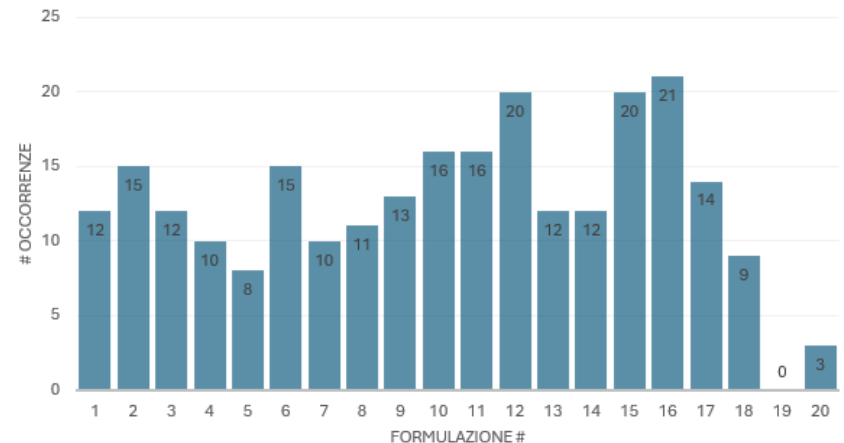
Condizione limite "snervamento della/e barra/e e schiacciamento del calcestruzzo intorno allo spinotto"



Media e deviazione standard del rapporto $V_{\text{form}}/V_{\text{test}}$

Vicina a 1 entro il threshold da sotto? [YES/NO]																			
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]	[20]
NO	NO	YES	YES	#####	NO	YES	NO	NO	NO	YES	NO	YES	YES	NO	NO	YES	YES	NO	YES
YES	NO	YES	YES	#####	NO	YES	YES	NO	NO	YES	NO	NO	YES	NO	NO	NO	YES	#####	#####
YES	NO	YES	NO	#####	NO	NO	YES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	#####	#####
YES	NO	YES	NO	#####	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	YES	YES	NO	YES	NO	YES	NO	#####
NO	NO	NO	NO	#####	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	NO	NO	NO	NO	NO
NO	YES	NO	NO	#####	YES	NO	NO	NO	NO	NO	YES	NO	NO	NO	YES	NO	NO	NO	NO

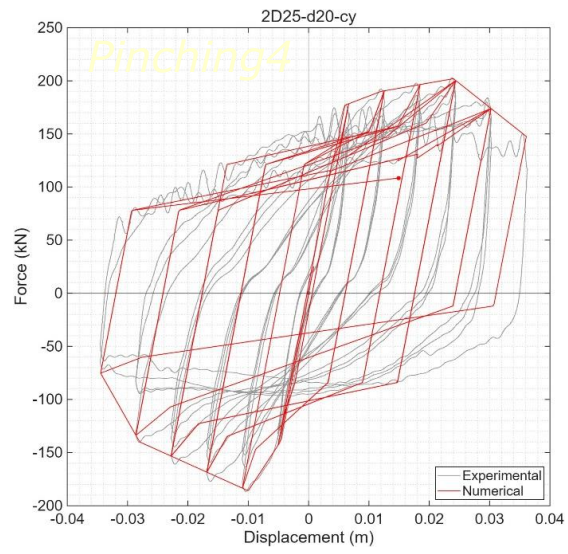
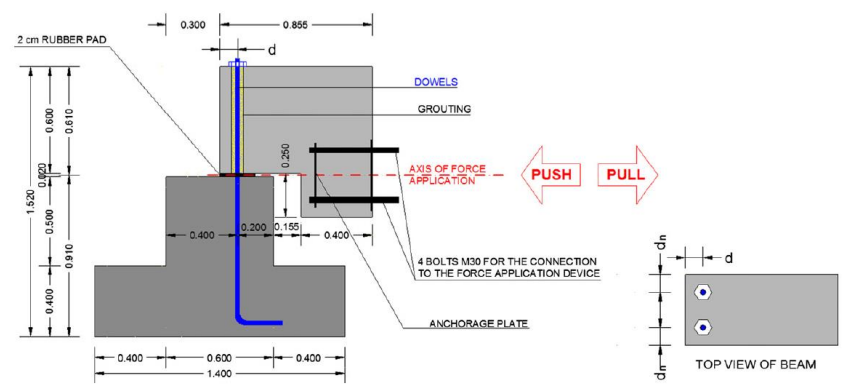
Numero di occorrenze dei casi in cui le
formulazioni soddisfino fissati criteri di
accuratezza



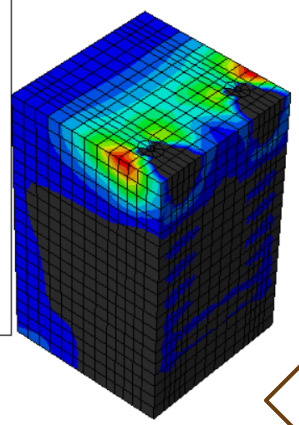
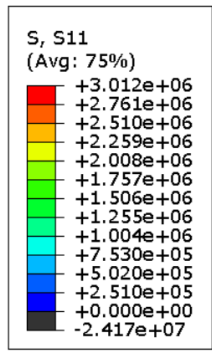
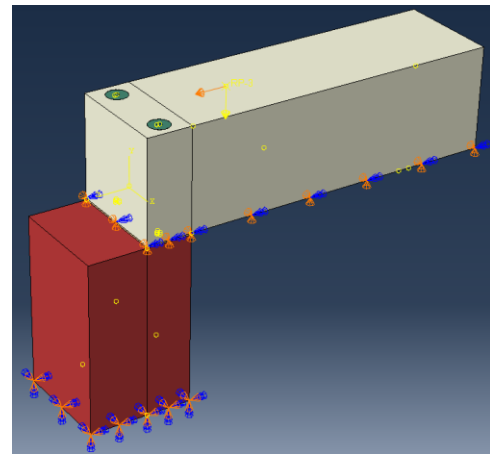
WP11- Task 5

MODELLAZIONE NUMERICA (in progress)

Macro. Riproduzione in OpenSees delle prove di Psycharis e Mouzakis (2012)



Micro. Riproduzione in Abaqus delle prove di Magliulo et al. (2014)



BIBLIOGRAFIA

- ❖ Magliulo, G., Ercolino, M., Cimmino, M., Capozzi, V., & Manfredi, G. (2014). FEM analysis of the strength of RC beam-to-column dowel connections under monotonic actions. *Construction and Building Materials*, 69, 271-284.
- ❖ Magliulo, G., Ercolino, M., Petrone, C., Coppola, O., and Manfredi, G.. 2014. The Emilia earthquake: seismic performance of precast reinforced concrete buildings. *Earthquake Spectra* 30(2):891-912.
- ❖ McKenna, F., Fenves, G. L., Filippou, F., Mazzoni, S., Scott, M., Elgamal, A., ... & McKenzie, P. (2010). OpenSees. University of California, Berkeley: nd.
- ❖ Psycharis, I. N., & Mouzakis, H. P. (2012). Shear resistance of pinned connections of precast members to monotonic and cyclic loading. *Engineering Structures*, 41, 413-427.
- ❖ ReLuis. 2012. Report sui danni registrati a San Felice sul Panaro (MO).
- ❖ Dassault Systemes. Abaqus (2022), SIMULIA.

WP11 TASK 1

Modelli di capacità

Responsabile scientifico task : Prof. Ing. Gerardo Verderame



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

WP11 TASK 1

Modelli di capacità

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 diverse normative** ovvero tra i modelli di capacità (*sia di elementi duttili che sensibili al taglio*) presenti nelle attuali normative (EC8-3-2005, NTC18+Circolare 7-2019, ASCE-SEI 41/17) con quelli proposti in EC II generazione;
- la valutazione della capacità predittiva degli stessi rispetto a **database sperimentali presenti in letteratura**

Proposta/sviluppo di **modelli di capacità di elementi esistenti rinforzati** con tecniche non riportate nelle attuali normative nazionali ed internazionali.

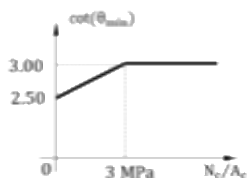
Elementi sensibili al taglio (NODI TRAVE/COLONNA)

Analisi del modello proposto dall'attuale bozza di futuri Eurocodici per nodi **staffati e non staffati**, sulla base del modello di **Pejatovic et al. (2022)**

$$\tau_{R1} = \tau_{Rc} + \tau_{Rs} \leq \tau_{Rc,max}$$

$$\tau_{R1} = \frac{v(=0.50)}{1.4} \eta f_c \frac{(\cot \theta - \cot \beta)}{1 + \cot^2 \theta} + \rho_w f_{yw} \cot \beta \leq \frac{v(=0.50)}{1.4} \eta f_c \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \cot \theta = \cot \beta + \sqrt{1 + \cot^2 \beta} \leq \cot(\theta_{min}) \\ \eta = \left(\frac{30}{f_c} \right)^{1/3} \end{array} \right.$$



$$\tau_{R2} = \tau_{R1} + \tau_{j,min}$$

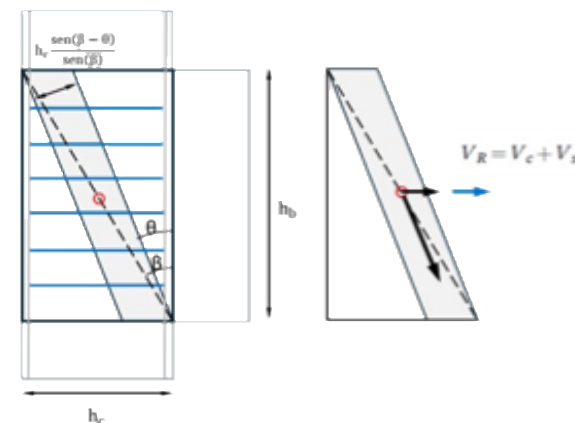
$$\tau_{j,min} = \alpha \frac{N_c}{A_c} \sqrt{\frac{h_c}{h_b}}$$

$$\alpha = (0.50_{ext} + 1.20_{int})$$

$$\tau_R = \max[\tau_{R2}; \tau_{j,cr}]$$

$$\tau_{j,cr} = f_{ct} \sqrt{1 + \frac{N_c}{A_c f_{ct}}}$$

$$f_{ct} = 0.30(f_c - 8)^{2/3}$$



Elementi sensibili al taglio (NODI TRAVE/COLONNA)

Confronto con database sperimentali

Risultati per nodi esterni

N.test=190 con crisi JF o B-JF

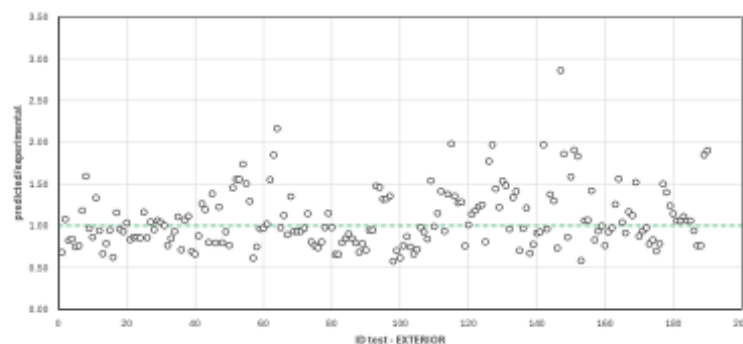
categoria ESTERNI	media	mediana	CoV
	-	-	-
TUTTI	1.08	0.97	0.33
STAFFATI	1.09	0.98	0.37
NON STAFFATI	1.05	0.94	0.32
JF	1.08	0.96	0.38

Risultati per nodi interni

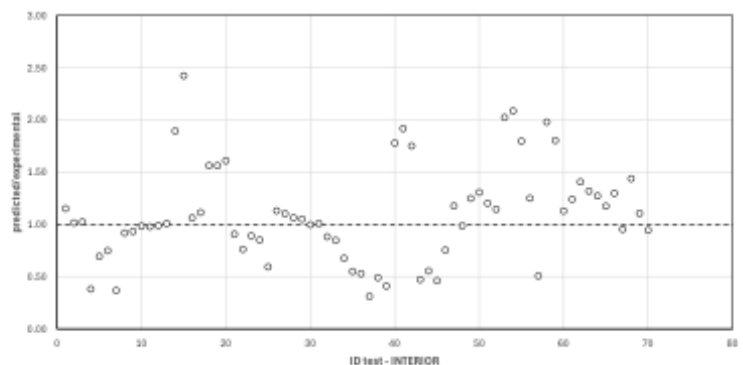
N.test=70 con crisi JF o B-JF

categoria INTERNI	media	mediana	CoV
	-	-	-
TUTTI	1.10	1.04	0.42
STAFFATI	1.11	1.05	0.45
NON STAFFATI	0.89	0.00	0.17
JF	1.12	1.10	0.45

(*) database in (Bilotta, Cosenza, 2022)



Sovrastima del **8%** rispetto al dato sperimentale. Il Coefficiente di Variazione (**CoV**) è **maggiore 30%**.



Sovrastima del **10%** rispetto al dato sperimentale. Il Coefficiente di Variazione (**CoV**) è **maggiore 40%**.

Elementi sensibili al taglio (TRAVI E COLONNE)

Analisi del modello proposto dall'attuale bozza di futuri Eurocodici la resistenza a taglio viene valutata utilizzando un **unico modello di resistenza**:

- sia in condizioni sismiche che non sismiche,
- sia per elementi nuovi che per elementi esistenti.

Tale modello di resistenza parte dalla medesima schematizzazione a traliccio prevista dagli attuali eurocodici per gli elementi ex-novo, introducendo alcune modifiche:

$$\tau_R = f_{yw} \cdot \rho_{sw} \cdot \cot\theta \leq \frac{v f_c}{2}$$

La valutazione della $\cot\theta$ può essere condotta seguendo due possibili approcci:

➤ in forma chiusa, limitando la $\cot\theta$ e fissando $v = 0.50$:

$$1.00 \leq \cot\theta = \sqrt{\frac{0.50}{\omega_{sw}}} - 1 \leq \cot\theta_{\min}$$

➤ in modo iterativo, valutando v sulla base dello stato deformativo della sezione trasversale ϵ_x :

$$1.00 \leq \cot\theta = \sqrt{\frac{v}{\omega_{sw}}} - 1 \quad v = \frac{1}{1 + 110(\epsilon_x + (\epsilon_x + 0.001) \cot^2\theta)} \leq 1$$

$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_{xt} + \epsilon_{xc}}{2} = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[\left(\frac{F_t}{A_{st} E_s} \right) + \left(\frac{-F_c}{A_{cc} E_c} \right) \right] & \text{quando } F_c \text{ è di compressione} \\ \frac{1}{2} \left[\left(\frac{F_t}{A_{st} E_s} \right) + \left(\frac{|F_c|}{A_{sc} E_s} \right) \right] & \text{quando } F_c \text{ è di trazione} \end{cases}$$

Elementi sensibili al taglio (TRAVI E COLONNE)

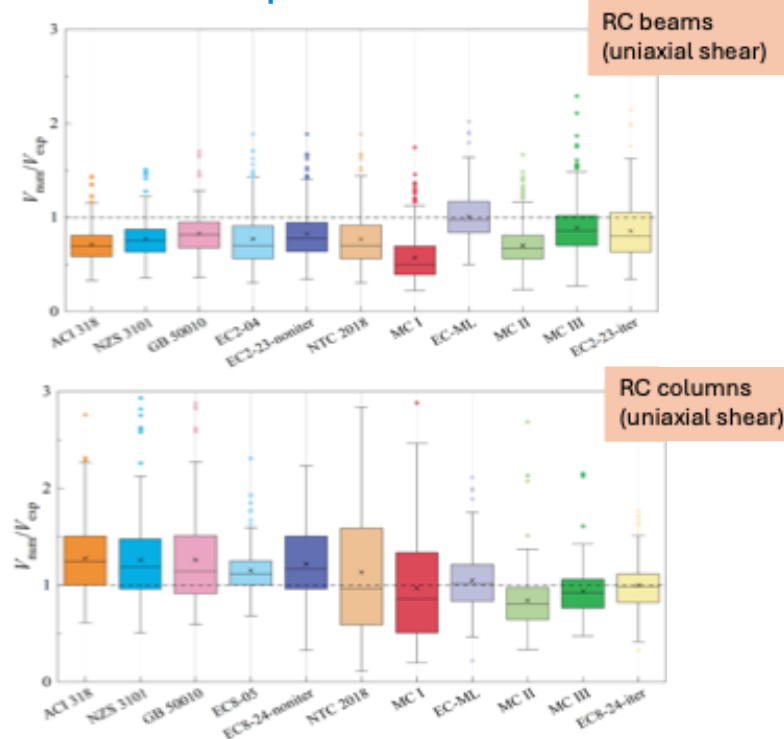
Confronto con database sperimentali e con altre normative

Un primo confronto

Database: 36 colonne a sezione rettangolare
fenomenologicamente fragili incluse nel database ACI369

Modello di capacità	Media (pred/obs)	Mediana (pred/obs)	CoV (pred/obs)
Ritter-Mörsch	0.34	0.23	72%
NTC18 (cap.7)	0.67	0.54	56%
EC8 - 3 (2005)	1.22	1.23	23%
ASCE 41-17	1.07	0.99	38%
EC8 II gen	0.98	0.96	31%

Un confronto più esteso



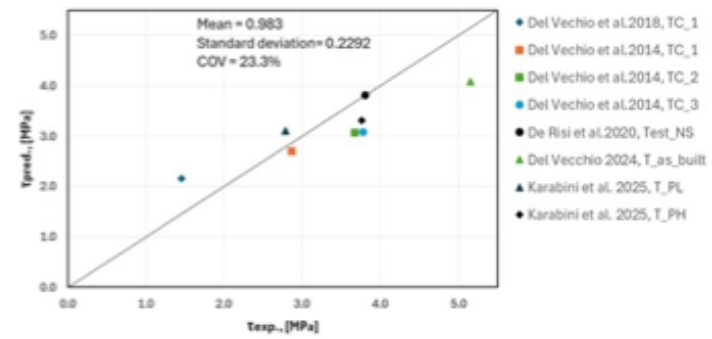
Modelli di capacità di elementi esistenti rinforzati ... Ad es.

Proposte sulla base di risultati sperimentali

Riformulazione alla luce dei nuovi Eurocodici del modello di capacità *fib bulletin 90/CNR DT 200-R2* relativo al contributo del rinforzo FRP alla capacità di nodi esistenti non staffati

Proposta di modifica - Resistenza a taglio di pilastri con incamiciatura in acciaio (nastri pre-tesi): confronto tra modello NTC18 e con risultati sperimentali.

Test	μ_{Apl}	V_{max}^{exp}	$\alpha=0.50$		$\alpha=1.00$	
			$V_{R,DM2018}$	$\frac{V_{max}^{exp}}{V_{R,DM2018}}$	$V_{R,DM2018,MOD}$	$\frac{V_{max}^{exp}}{V_{R,DM2018}}$
			[kN]	[-]	[kN]	[-]
AB	0.0	115.7	131.8	0.88	131.8	0.88
SL	0.0	181.6	149.2	1.22	191.6	0.95
SH	2.5	226.0	156.8	1.44	199.7	1.13
TL	1.1	204.5	147.9	1.38	186.9	1.09
TH	2.8	215.2	158.5	1.36	202.7	1.06



Circolare 7, 2019 – EC8-3 (2005)

$$V_R = [V_N + k * (V_C + V_W + V_{W,CAM})]$$

$$V_{W,CAM} = (\alpha_{f_{yw}}) \frac{2t_j}{s} b 0.9d \cot \theta$$

$\alpha=0.50$ – la camicia in acciaio deve rimanere in campo elastico

WP11 TASK 2

Metodi per l'esecuzione di analisi non lineari dinamiche

Responsabile scientifico task : Prof. Ing. Enrico Spacone

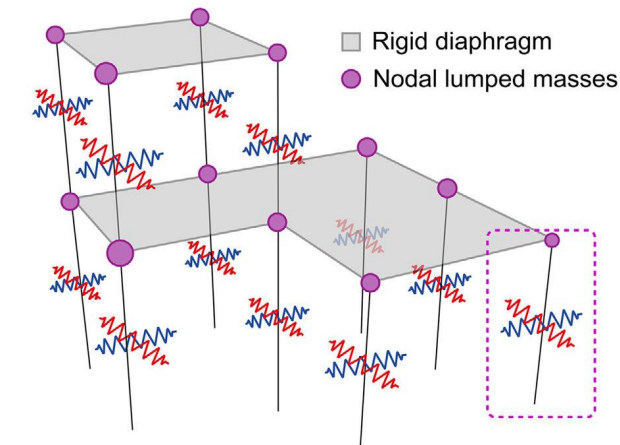


PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

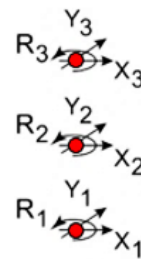
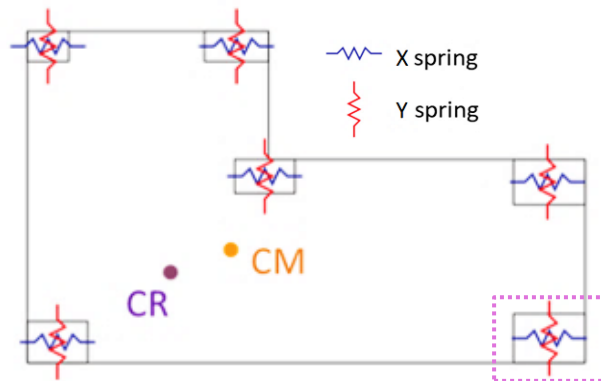
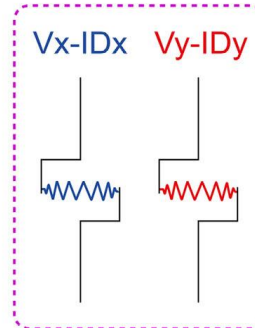
WP11 TASK 2.1

Modellazioni semplificate della risposta di telai in C.A.

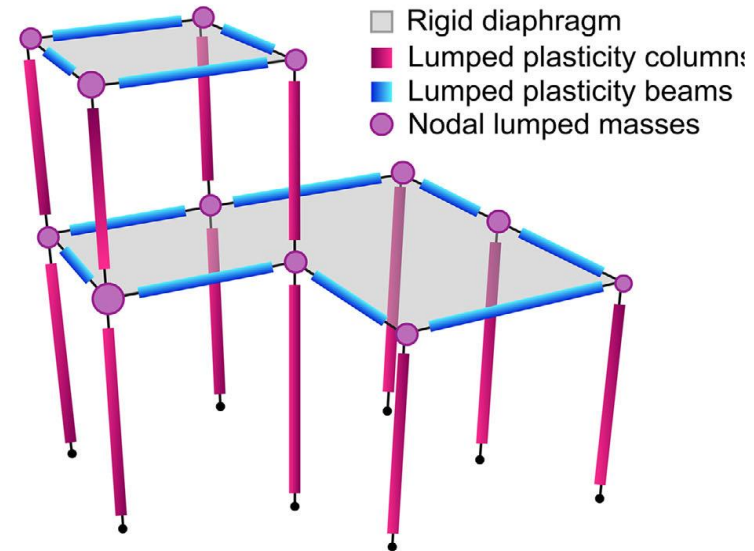
- Modellazione delle colonne mediante molle non lineari equivalenti: **disaccoppiate** a livello del singolo elemento e **accoppiate** a livello di piano.
- Rigid links orizzontali a livello di piano.
- Masse concentrate ai nodi di piano.



Uncoupled local springs

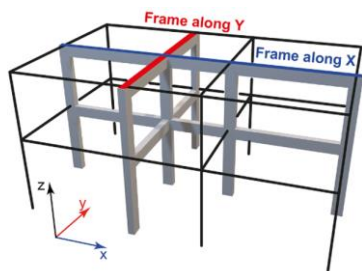


Global DOFs*

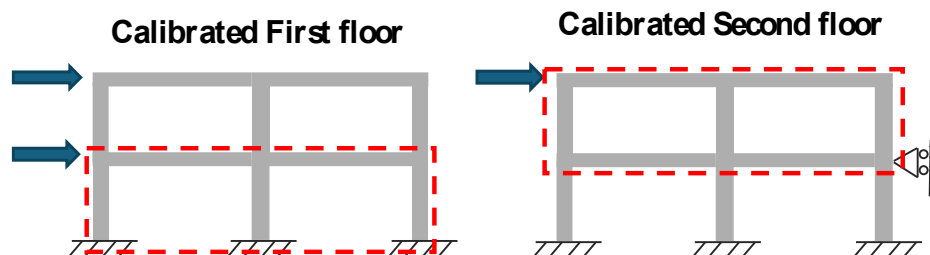


CALIBRAZIONE COMPORTAMENTO MONOTONO DELLE COLONNE

1. Estrazione telaio 2D

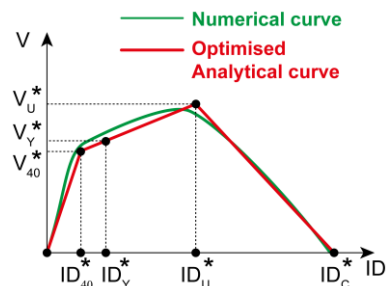


2. Analisi pushover telaio 2D



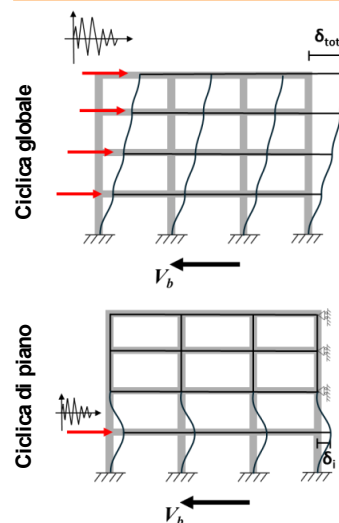
3. Calibrazione parametri molle di colonna nel modello semplificato

Calibrazione comportamento monotono delle colonne



Le curve **monotone** calibrate tramite Algoritmi Genetici sono implementate in OpenSees utilizzando il materiale: **ModIMKPeakOriented**

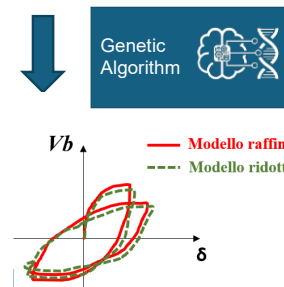
Calibrazione comportamento isteretico delle colonne



Funzione d'errore

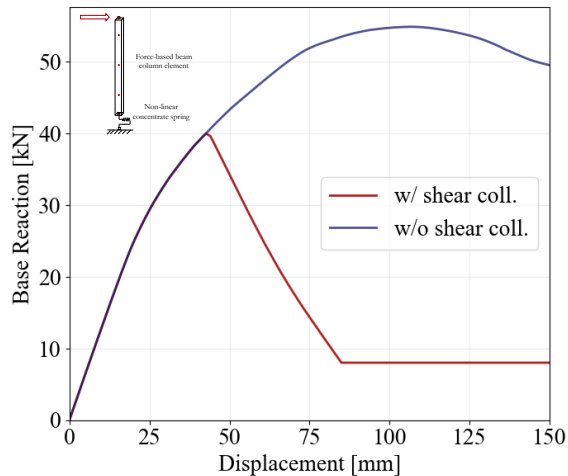
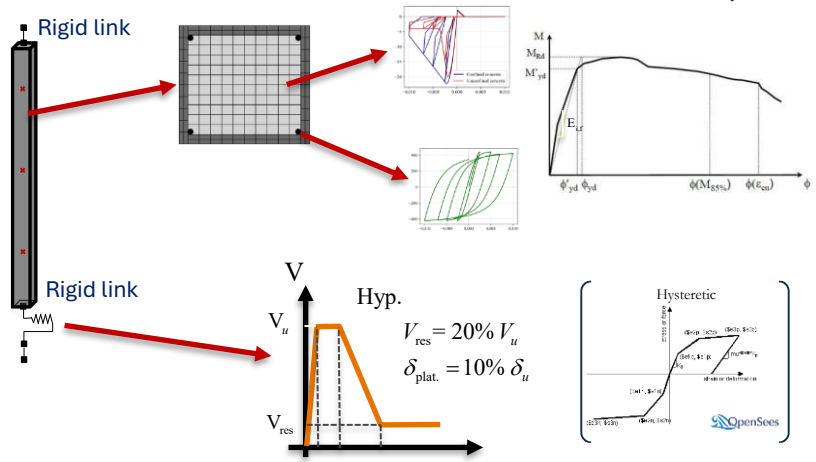
$$RMSD = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_{analyses}} \sum_{n=1}^{n_{pt,i}} (\delta_{i,n}^{red} - \delta_{i,n}^{ref})^2}$$

i: i-esima analisi ciclica (1 globale + 4 di piano)
n: numero di punti della curva F/
red: modello ridotto
ref: modello raffinato
RMSD: root mean square deviations

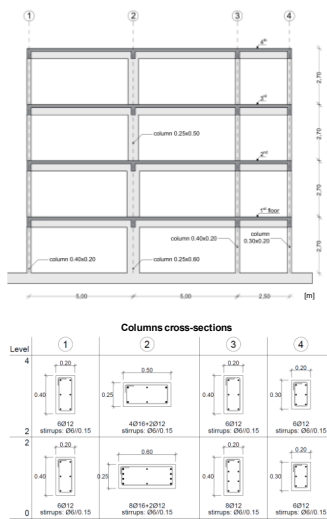


MODELLO DETTAGLIATO A PLASTICITÀ DISTRIBUITA CON SEZIONE A FIBRE

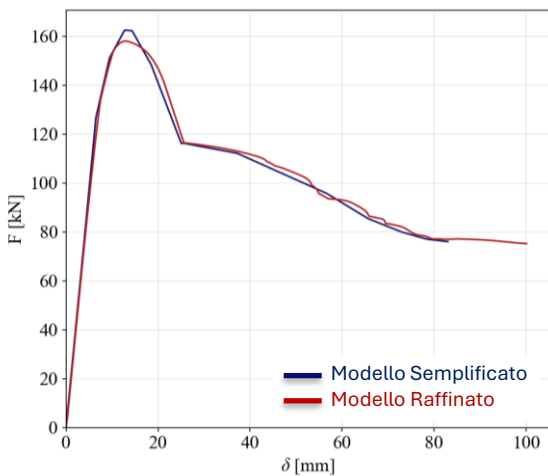
Force-based beam column element (flexural response)



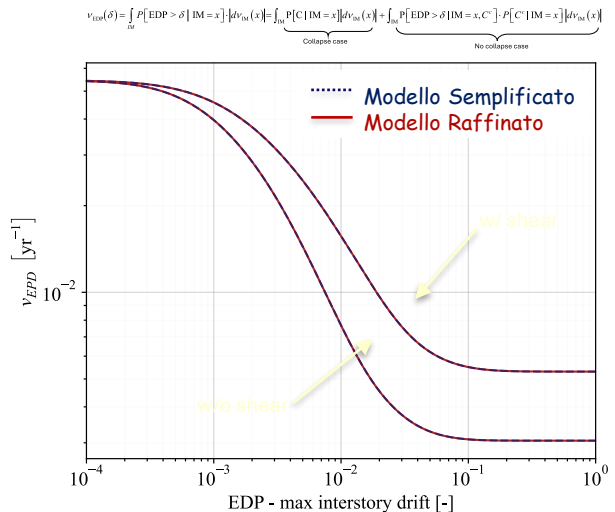
ICONS Frame



CURVE PUSHOVER



DEMAND CURVES

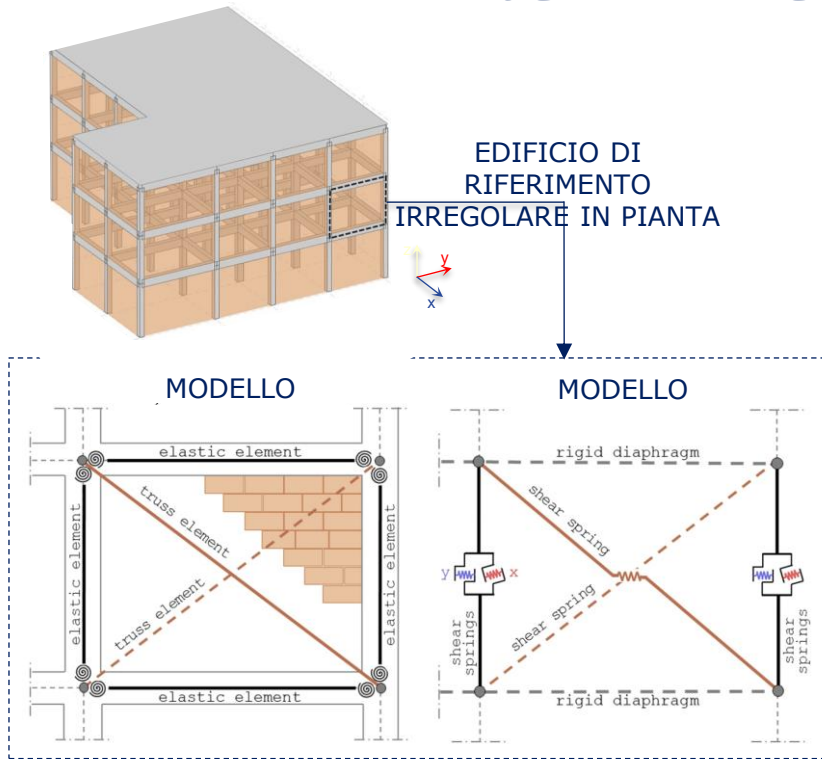


MODELLAZIONE DELLE TAMPONATURE

CONFRONTO

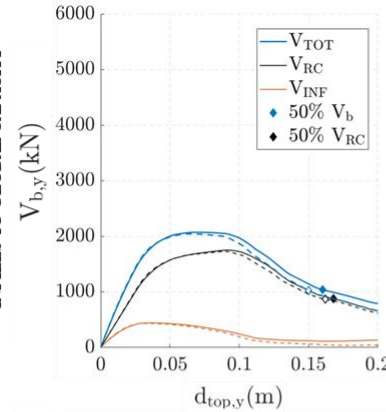
TELAIO TAMPONATO 1 (DEBOLE)

TELAIO TAMPONATO 2 (FORTE)

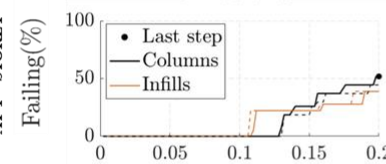


- Le linee continue e tratteggiate denotano rispettivamente i modelli dettagliato e semplificato.
- Il **modello semplificato** cattura efficacemente gli effetti torsionali, i contributi a livello di componente e i meccanismi di crisi globali.
- Il modello semplificato riduce sostanzialmente il costo computazionale, risultando **100 volte più efficiente** (in media) del modello dettagliato.

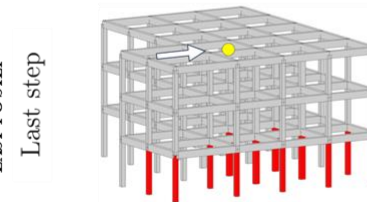
CONTRIBUTIONS OF COLUMNS AND INFILLS TO GLOBAL CAPACITY



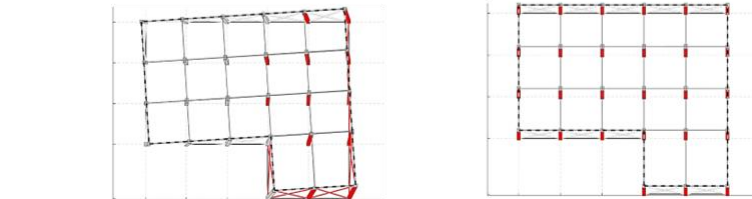
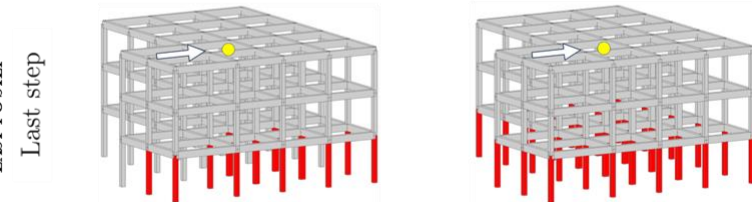
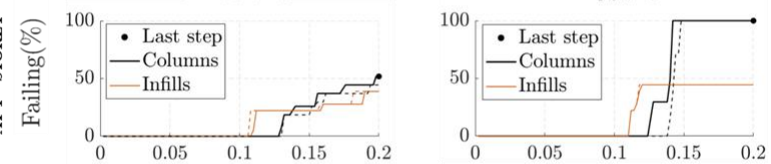
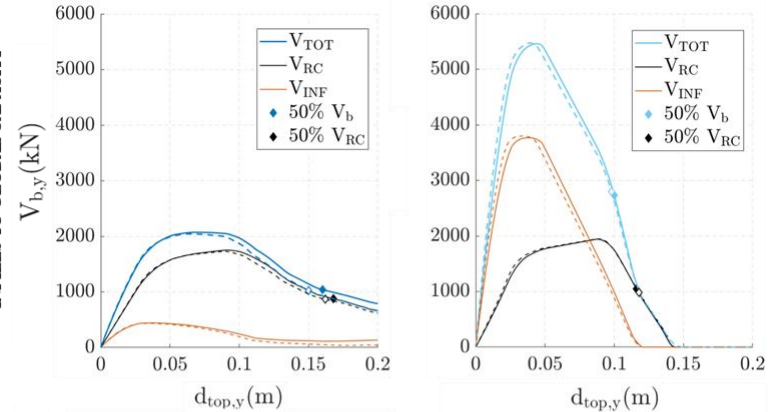
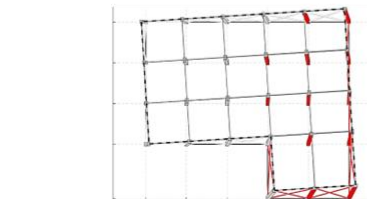
FAILURE EVOLUTION AT 1st STOREY



FAILED COLUMNS AT LAST POST STEP



PLAN DEFORMED SHAPE



WP11 TASK 2.2

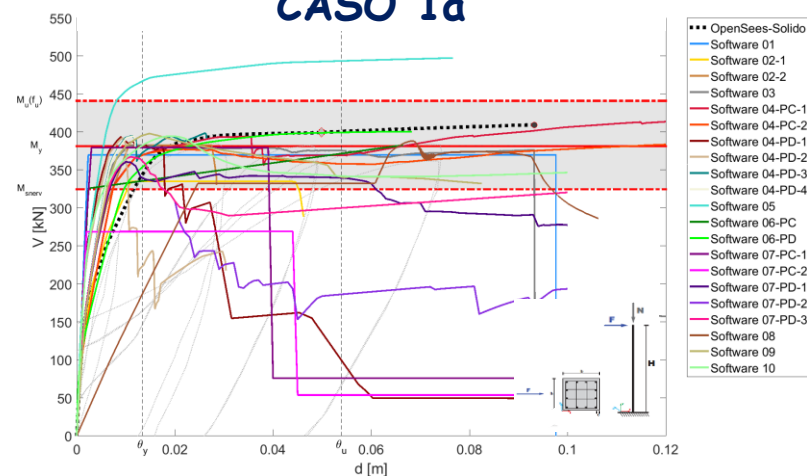
Confronto e valutazione di diversi approcci di modellazione forniti da software

UR: UniCH, UniRM1, UniCT, UniNA, UniSA, PoliTO, IUAV, PoliBA, UniPA

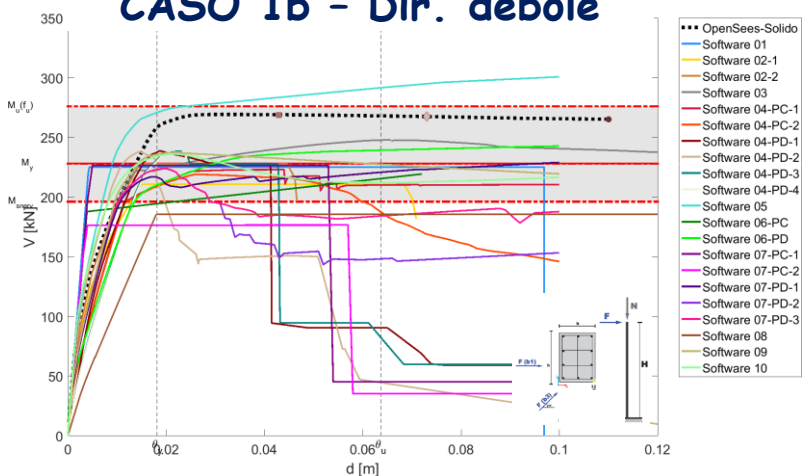
CASO 1

Pilastri testati sperimentalmente e confrontati con risultati sperimentali e modello solido sviluppato in OpenSees tramite STKO pre-post processor

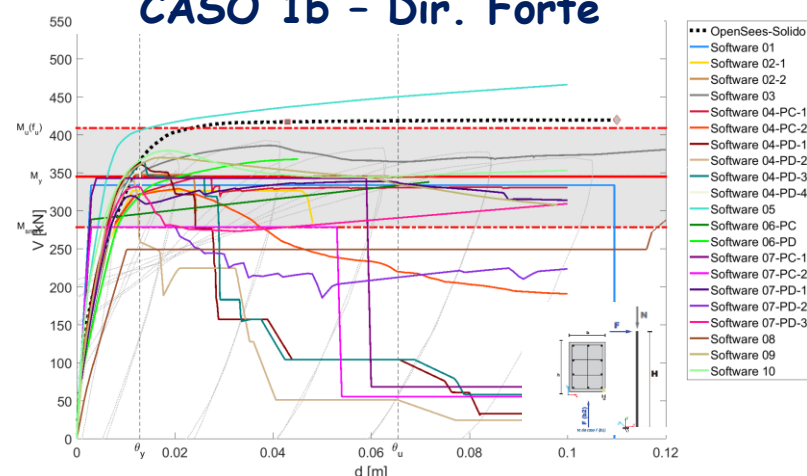
CASO 1a



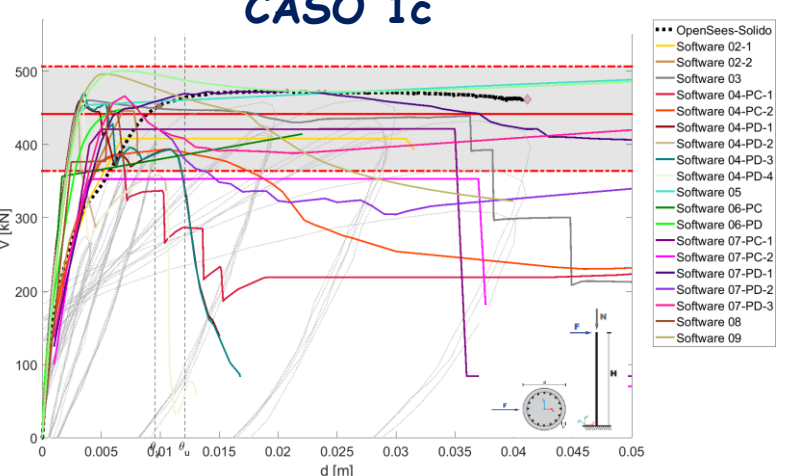
CASO 1b - Dir. debole



CASO 1b - Dir. Forte



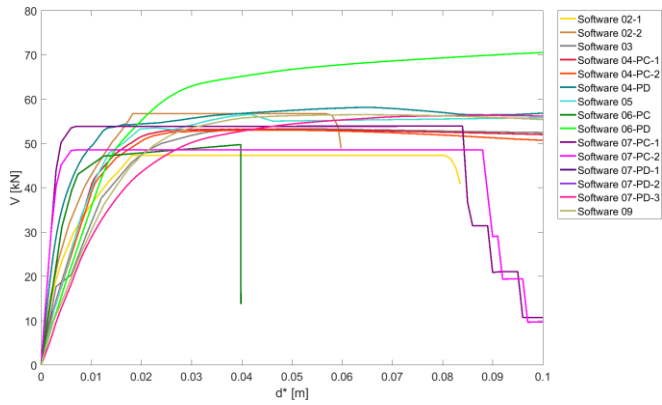
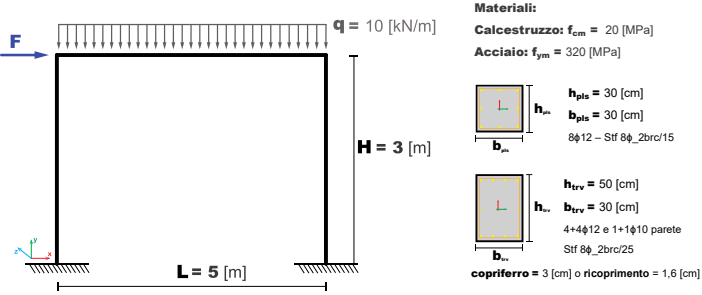
CASO 1c



Software utilizzati: ProSAP edis Edis SeismoStruct CDM_Dolmen SAP2000 Sismicad IperSpaceBIM CDS G MidasGen

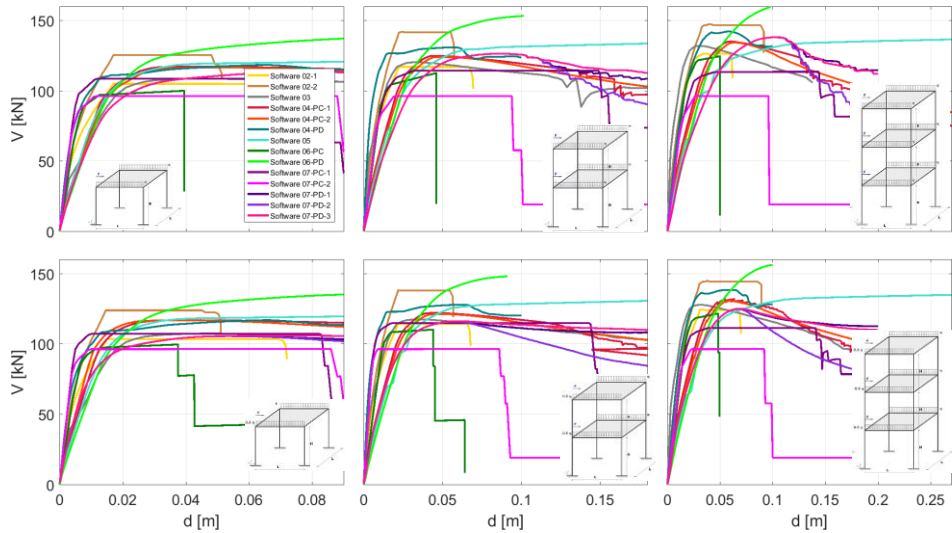
CASO 2

Telaio semplice in C.A. considerando 2 diversi configurazioni i carico:



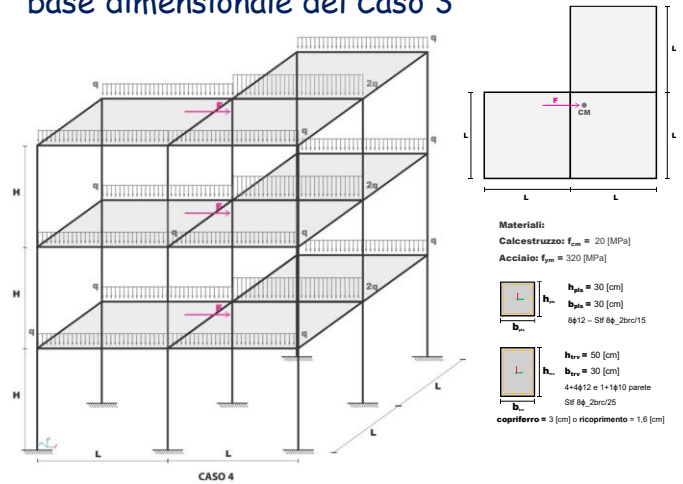
CASO 3

Telaio semplice in C.A. considerando 2 diversi configurazioni i carico e 3 differenti configurazioni in altezza



CASO 4

Edificio di forma a 'L' in C.A. di 3 piani sulla base dimensionale del Caso 3



WORK IN PROGRESS

WP11 TASK 2.3

Modellazione dello smorzamento nelle ADNL

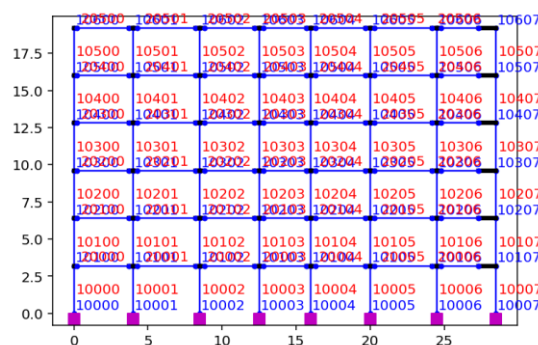


PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

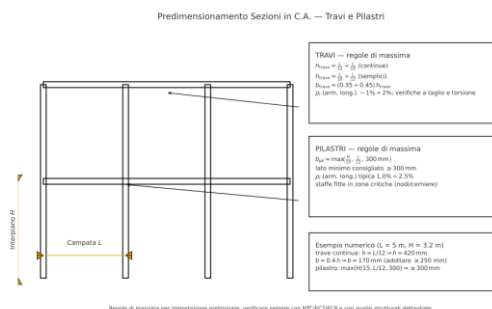
Highlights:

- Confrontiamo Rayleigh ($K_{init}/K_{comm}/K_{tan}$) e smorzamento modale in OpenSeesPy su telai RC di nuova progettazione.
- Quantifichiamo l'impatto della scelta del modello e della variabilità di ζ (COV 20-40%) su EDP globali e di sezione (spostamenti globali, drift, accelerazioni, V-M).
- Forniamo linee guida operative e "ricette" replicabili per ADNL robuste, riducendo bias da smorzamento nelle verifiche prestazionali.

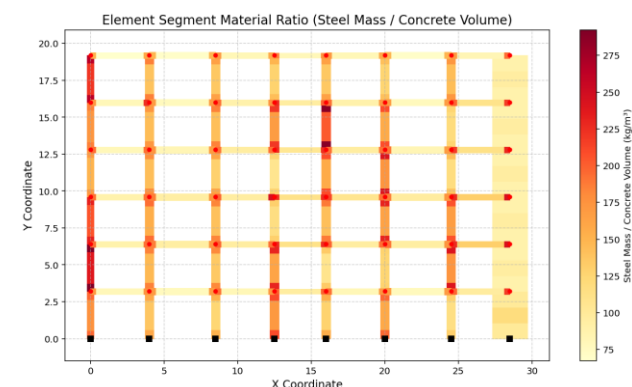
EDIFICIO IN C.A. tramite progettazione parametrica



Telaio RC



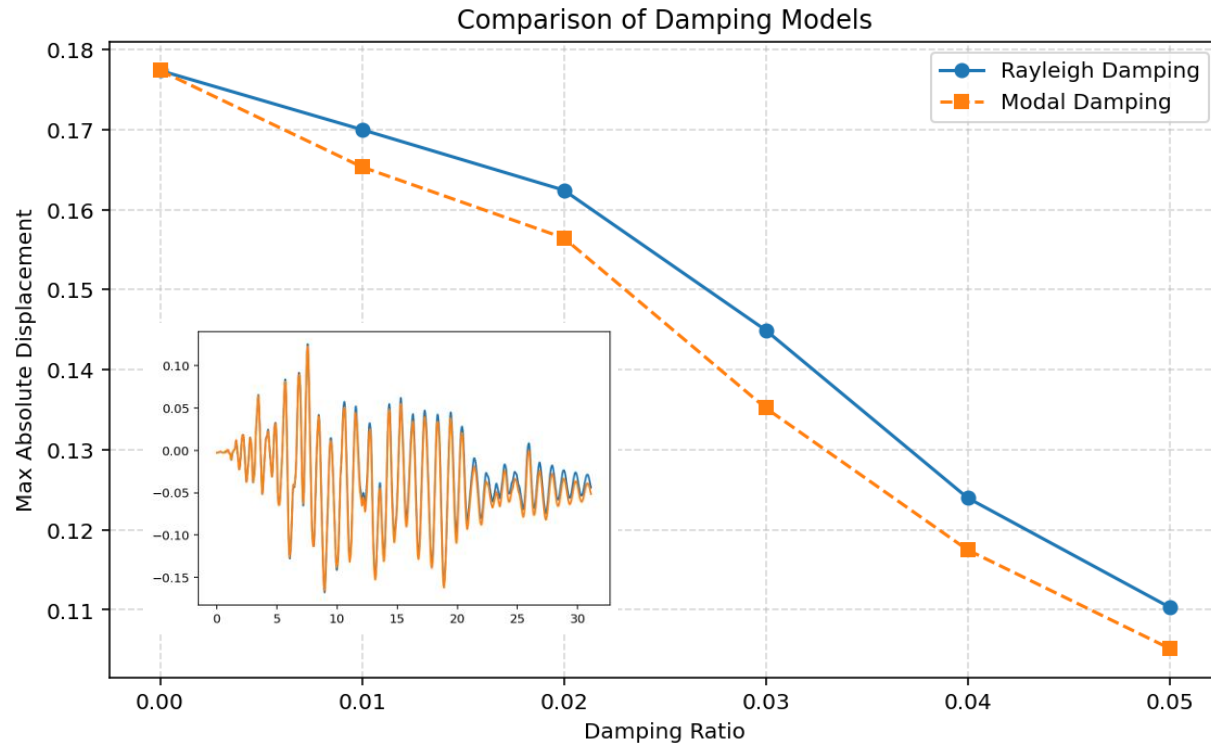
Pre-dimensionamento
Sezioni in CA



Ottimizzazione
delle armature

Modello agli Elementi Finiti Parametrico

- Telaio in cemento armato 2D modellato in OpenSees usando force-based beam-column con sezione a fibre
- Analisi dinamiche non lineari al passo (time-history) con record sismici reali.



- Il grafico mostra una **decrescita monotona** dello spostamento massimo all'aumentare di ζ : da ≈ 0.178 a ≈ 0.110 con Rayleigh e fino a ≈ 0.105 con lo **smorzamento modale** (0-5%).
- In tutto l'intervallo il **modale fornisce valori sistematicamente inferiori al Rayleigh**, con **scarti $\sim 2-8\%$** che aumentano con ζ .
- Ciò suggerisce una maggiore efficacia del modale nel controllare i modi partecipativi (specie quelli superiori) alle percentuali di smorzamento più alte.
- Operativamente, la scelta del modello incide sul dimensionamento: **Rayleigh** tende a essere **leggermente più conservativo sugli spostamenti**, mentre il **modale è più "pulito" rispetto al target di ζ sui primi modi**.

WP11 TASK 3

Fattore globale nelle NLA

Responsabile scientifico task : Prof. Ing. Giorgio Monti

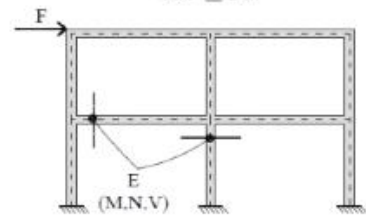


PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

Global Reistanze Format fib Model Code 2010 (and 2020) - PoliTO

"LOCAL" ANALYSIS

$$Ed \leq Rd$$



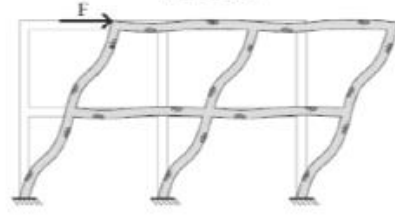
F : agent external actions

Ed : design value of **effects** of actions evaluated with linear elastic analysis

Rd : sectional resistance in terms of internal actions (M,N,V)

"GLOBAL" ANALYSIS

$$Fd \leq Rd$$



F : agent external actions

Fd : design value of external actions

Rd : global design resistance of the structure to the external action evaluated with non-linear analysis

PARTIAL SAFETY FACTORS

design structural resistance

structural resistance by means of NLNA

$$R_d = \frac{R_{NLNA}(X_{rep}; a_{rep})}{\gamma_R \gamma_{Rd}}$$

partial safety factor accounting for both the **statistical variability of material properties** and the **geometric aleatory**

partial safety factor for the **resisting model uncertainties**

PARTIAL SAFETY FACTOR FOR ALEATORY UNCERTAINTIES

sensitivity factor: set equal to 0.8 in line to the assumption of dominant resistance variable within the reliability analysis

the coefficient of variation (CoV) of the global structural resistance

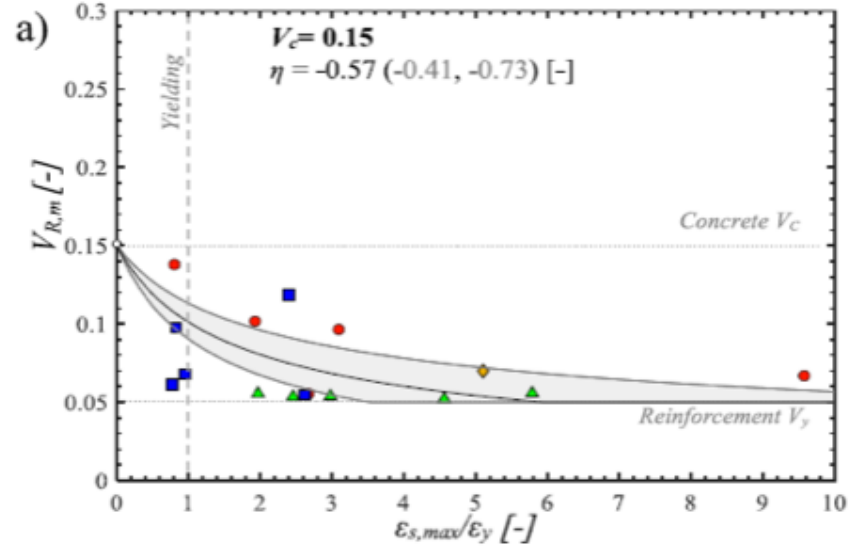
$$V_R = \sqrt{\overbrace{V_{R,m}^2}^{\text{material}} + \underbrace{V_{R,g}^2}_{\text{geometry}}} \quad \text{with } V_R \leq 0.3$$

CoV of the global resistance $V_{R,m}$ with respect to the strain ratio $\epsilon_{s,max}/\epsilon_y$ in the longitudinal reinforcing rebars involved in the failure mode

$$\gamma_R = \frac{\exp(\alpha_R \beta_t \cdot V_R)}{\delta_R} \geq 1.00$$

is related to the bias factors of geometrical properties deviations $\delta_{R,g}$ and to the mean-to-mean deviation $\delta_{R,m}$ ($\delta_R = \delta_{R,g} \cdot \delta_{R,m}$) ≈ 1

the target reliability index and can be adopted in compliance to:
prEN 1990:2020 and
prEN 1992-1-1:2020 Annex A



ROBUSTNESS AND GLOBAL APPROACH

Enhance the structural response of RC cast-in-situ buildings designed in a highly seismic area under progressive collapse phenomena by improving the design of the planar frames



STRUCTURAL SAFETY

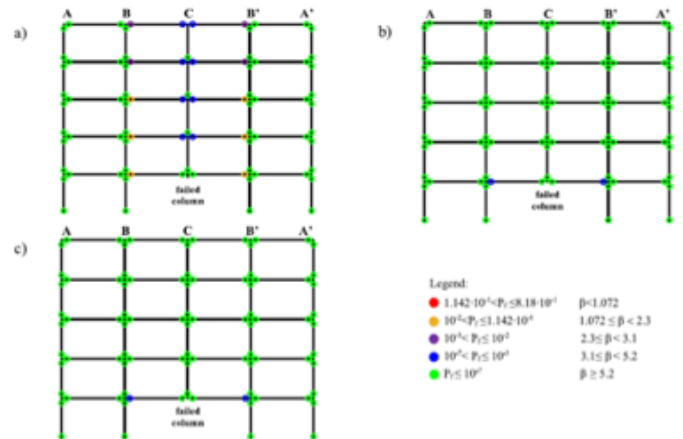
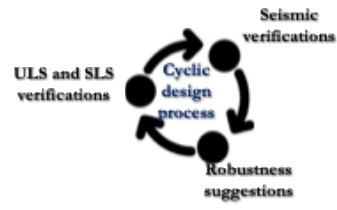
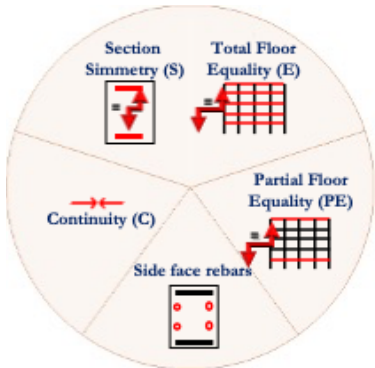
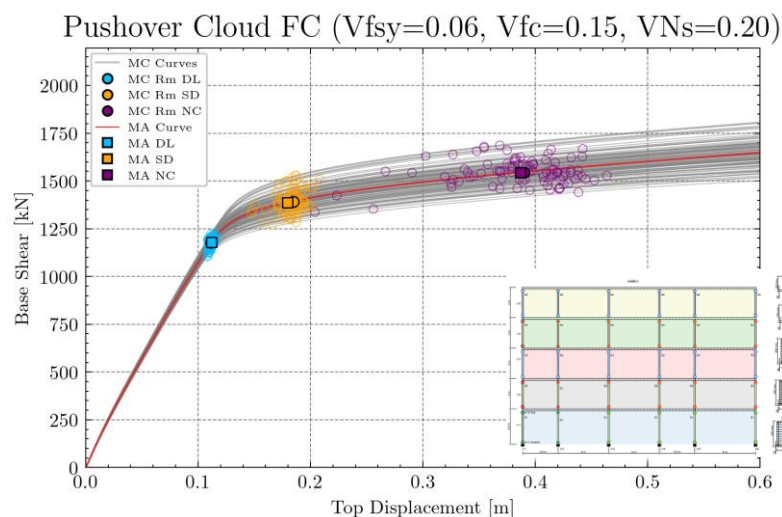


Fig. 20. Failure probabilities for the frame 2 considering: a) confined concrete; b) steel longitudinal reinforcement; c) steel transverse reinforcement.

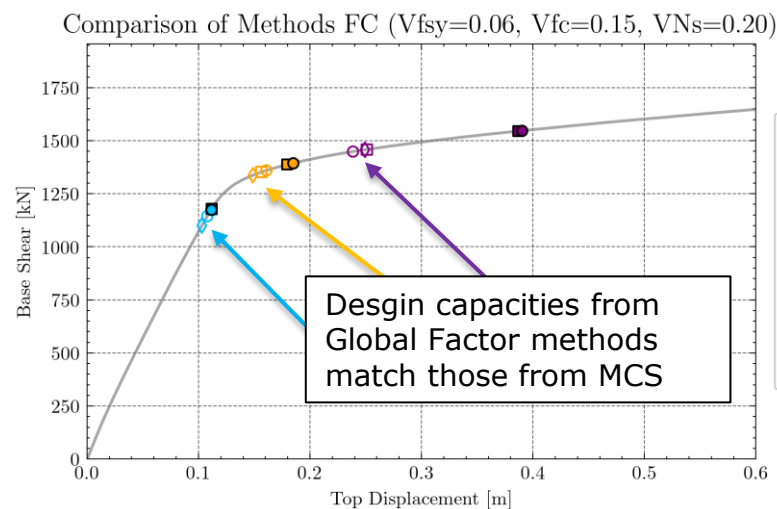
Fattore globale nelle NLA - UniRM1

- Push-over analysis performed according to current codes **does not provide safe estimates** of structural capacity
- **Treatment of uncertainties** using KL/CF is oversimplified
- Need for a rational method to determine **design capacity** meeting **EN1998-1-1:2024 reliability targets** $\beta_{t,LS,CC}$
- Two hybrid (numerical/analytical) methods have been developed:
 - **Method A – Hierarchical Statistical Propagation (HiSP):**
rigorous, bottom-up, uses series/parallel system logic → **for scientists**
 - **Method B – Simplified FOSM (SimFOSM):**
pragmatic, global displacement model, faster and practical → **for engineers**

Analisi di Pushover



What a **scientist** would do:
100+ MCS analyses



What an engineer would do:
1 Global Factor analysis
both for Method A and Method B

WP11 TASK 4

Rischio Uniforme

Responsabile scientifico task : Prof. Ing. Giorgio Monti



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

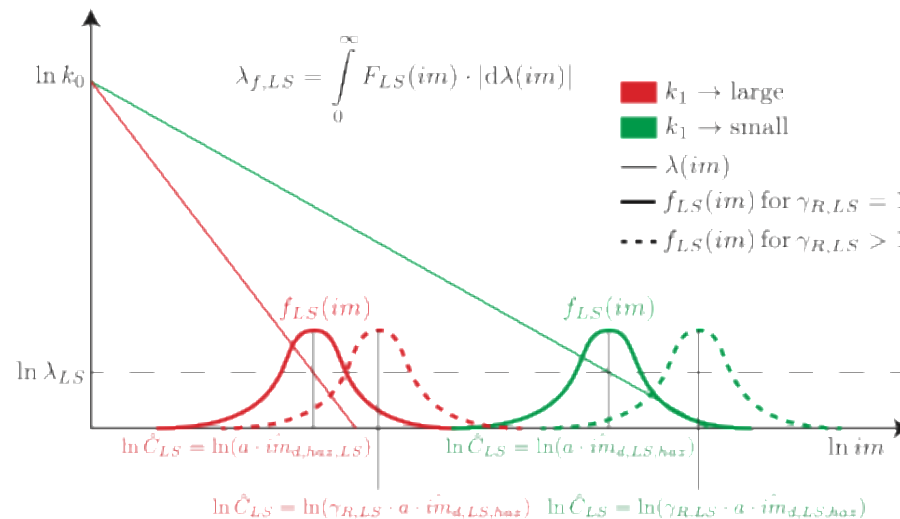
• Problem

- **EN1998-1-1:2024** introduces reliability-based targets (Annex F)
 $\beta_{t,LS,CC}$
- But identical reliability $\neq$ identical risk — **hazard curve slopes differ by site**
- Current calibration achieves uniform reliability, **not uniform risk**

• Objective

- Develop an **analytical framework** to translate reliability targets into risk-consistent design parameters
- Define a **site- and structure-specific** Key Performance Indicator (KPI):

$\gamma_{t,LS,CC}$ = Risk-targeted performance factor



From Code Targets to Risk-Targeted Performance

- **Two paths:**

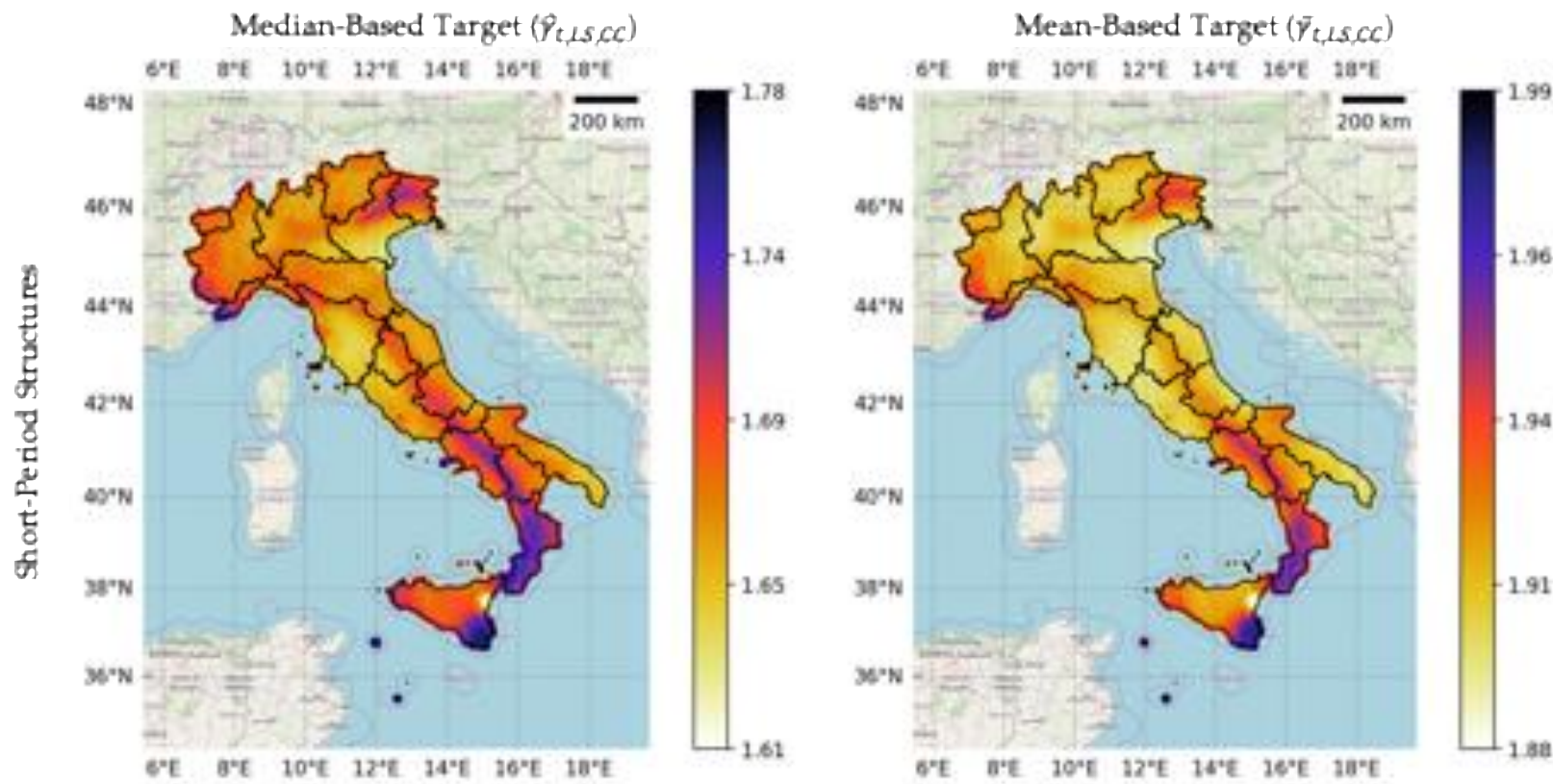
- *Approach A (median hazard – EC8):* aleatory only → **new design**
- *Approach B (mean hazard):* aleatory + epistemic → **existing/critical structures**

$$\gamma_{t,LS,CC} = \left[\frac{\text{hazard}}{\text{risk}} \cdot \exp \frac{(\text{slope} \cdot \text{uncertainty})^2}{2} \right]^{1/\text{slope}}$$

- It is the ratio between the median of the global structural capacity and the corresponding demand, **needed to achieve the target risk** $\beta_{t,LS,CC}$

WP11- Task 4

Target Performance for Uniform Risk across Italy



Maps of Required Target Performance ($\gamma_{t,LS,CC}$) for SD Limit State, CC2, calculated $\beta_{Se,LS} = 0.6$.
 (left) Median-Based Target ($\hat{\gamma}_{t,LS,CC}$) calculated with $\hat{k}_\alpha$.
 (right) Mean-Based Target ($\bar{\gamma}_{t,LS,CC}$) calculated with $\bar{k}_\alpha$ and $\beta_U = 0.4$.

WP11

Costruzioni in Calcestruzzo Armato Gettate in Opera e Prefabbricate

Grazie per l'attenzione