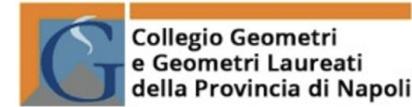


Seminario

8 Luglio 2025

Aula Magna "L. Massimilla"  
Università degli Studi di Napoli Federico II  
Piazzale Tecchio 80, Napoli



## LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' SISMICA DEGLI EDIFICI PRIVATI SOGGETTI A RILIEVO CON SCHEDA CARTIS



# La valutazione della vulnerabilità sismica dei Campi Flegrei

Prof. ing. Mauro DOLCE

*Reluis - Presidente*

[www.reluis.it](http://www.reluis.it)



# SCOPO DELLE VALUTAZIONI DI VULNERABILITÀ E RISCHIO DEGLI EDIFICI RILEVATI CON SCHEDA CARTIS

## PIANO STRAORDINARIO DI ANALISI DELLA VULNERABILITÀ DELLE ZONE DIRETTAMENTE INTERESSATE DAL FENOMENO BRADISISMICO

Attuazione dell'articolo 2 del **Decreto-legge 12 ottobre 2023, n. 140**, convertito, con modificazioni, nella legge 7 dicembre 2023 n. 183

.....

### 3. Analisi della vulnerabilità sismica dell'edilizia privata

Articolo 2, comma 1, lettera b) del DL 140/2023

**Obiettivo:** Analisi della vulnerabilità sismica dell'edilizia privata ordinaria (\*) compresa nella zona di intervento finalizzata all'individuazione delle misure di mitigazione più idonee e della relativa stima del fabbisogno finanziario necessario.

#### 3.1 Obiettivi e contenuti della misura

La misura prevede una **ricognizione speditiva del patrimonio edilizio privato** ricompreso nella zona di intervento, **al fine di definire un piano degli interventi, stimarne i costi e le priorità di intervento.**

Tale ricognizione, ai sensi dell'articolo 2, comma 3, lettera b) del decreto-legge 140/2023, va attuata mediante **procedure semplificate, che non hanno il valore di verifica sismica ai sensi delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018, ....**

*(\*) Per patrimonio edilizio privato deve intendersi il patrimonio edilizio di proprietà privata con **caratteristiche tipologiche ordinarie**, ..., con esclusione pertanto degli edifici a tipologia specialistica (capannoni industriali, edilizia sportiva, teatri, chiese, etc.) o monumentale.*

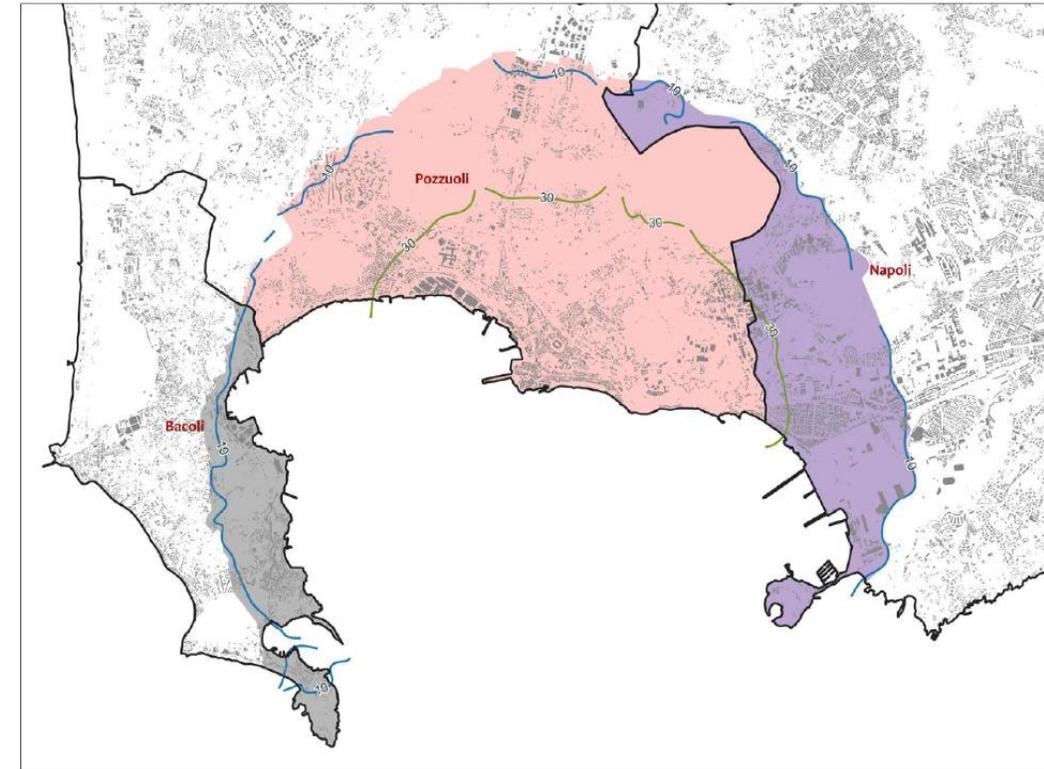
# SCOPO DELLE VALUTAZIONI DI VULNERABILITÀ E RISCHIO DEGLI EDIFICI RILEVATI CON SCHEDA CARTIS

**Piano straordinario di analisi della vulnerabilità delle zone direttamente interessate dal fenomeno bradisismico**

Misura *‘Analisi della vulnerabilità sismica dell’edilizia privata finalizzata all’individuazione di idonee misure di mitigazione e alla stima del relativo fabbisogno finanziario’* (Art. 2, comma 1, lettera b)

La misura è articolata nelle seguenti fasi:

- (i) Ricognizione preliminare delle caratteristiche edilizie strutturali, ....
- (ii) Ricognizione areale delle tipologie edilizie e costruttive maggiormente significative (scheda CARTIS-Comparto);
- (iii) Acquisizione delle istanze dei cittadini ... ;
- (iv) Ricognizione di dettaglio delle caratteristiche edilizie e costruttive (scheda CARTIS-edificio);
- (v) Rilievo speditivo delle cortine edilizie prospicienti le vie di fuga;
- (vi) Valutazione della vulnerabilità, quantificazione dei costi di intervento e piano di mitigazione**
- (vii) Trasmissione ai cittadini degli esiti delle analisi della fase (vi)



# GRUPPO DI LAVORO PER LA MESSA A PUNTO E L'APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA

## Gruppo di lavoro

Le Unità di Ricerca (UR) del Consorzio Interuniversitario ReLUIS che hanno collaborato alle attività illustrate nel presente rapporto e alla sua redazione sono di seguito elencate.

Il **coordinamento** del gdl è stato svolto dai Responsabili Scientifici dell'Accordo, proff. **Mauro Dolce** e **Andrea Prota**, con il supporto della prof.ssa **Francesca Ceroni**.

1. **Università degli Studi di Napoli 'Federico II' – UR Napoli**, responsabile prof. A. Prota, componenti: prof.ssa C. Casapulla, prof. G.M. Verderame, prof. M. Di Ludovico, dott. C. Del Gaudio, dott.ssa M.T. De Risi
2. **Università degli Studi di Napoli 'Parthenope' – UR Parthenope**, responsabile prof.ssa F. Ceroni
3. **Università degli Studi di Genova – UR Genova**, responsabile prof. S. Lagomarsino, componenti: prof.ssa S. Cattari, dott.ssa S. Alfano
4. **Università degli Studi di Padova – UR Padova**, responsabile prof.ssa F. da Porto, componenti: dott.ssa E. Saler
5. **Università degli Studi di Pavia – UR Pavia**, responsabili: prof. G. Magenes e prof. G. Guerrini; componenti: prof. A. Penna
6. **Università degli Studi della Basilicata – UR Basilicata**, responsabile prof. A. Masi, componenti: dott. V. Manfredi
7. **Università degli Studi di Napoli 'Federico II' – LUPT-PLINIUS - UR PLINIUS**, responsabile prof. G. Zuccaro, componenti: prof. A. Madeo (Università degli Studi della Calabria), Dott.ssa D. De Gregorio, Dott.ssa F.L. Perelli

## Contributi ai singoli capitoli

- Capp. 1 e 2 – Premessa e Descrizione generale della procedura di stima della vulnerabilità e dei costi di intervento – Coordinatori del gdl M. Dolce, A. Prota, e F. Ceroni, con la condivisione di tutte le UR
- Cap. 3 - Modello semplificato per la risposta globale di edifici in muratura – DBV-Masonry: UR Genova (S. Lagomarsino, S. Cattari, S. Alfano)
- Cap. 3 - Modello semplificato per i meccanismi locali in edifici in muratura – *FaiMec*: UR Unina (C. Casapulla)
- Cap. 3 - Modello semplificato per la risposta globale di edifici in muratura - HAREAS: UR PLINIUS (G. Zuccaro, A. Madeo, D. De Gregorio, F.L. Perelli)
- Cap. 3 - Modello a telaio equivalente per la risposta globale di edifici in muratura – 3Muri: UR Padova (F. Da Porto, E. Saler), UR Pavia (G. Magenes, G. Guerrini, A. Penna)
- Cap. 3 - Analisi cinematica secondo NTC2018 per i meccanismi locali: UR Padova (F. Da Porto, E. Saler), UR Pavia (G. Magenes, G. Guerrini, A. Penna)
- Cap. 4 - Modello semplificato per edifici in c.a. con telai nelle due direzioni – POST: UR Napoli (G. Verderame, C. Del Gaudio, M.T. De Risi)
- Cap. 4 - Modello semplificato per edifici in c.a. con telai in una sola direzione – POST+AL: UR Napoli (G. Verderame, C. Del Gaudio, M.T. De Risi)
- Cap. 4 - Modello di dettaglio per edifici in c.a. – OpenSees: UR Basilicata (A. Masi, V. Manfredi)
- Cap. 5 - Costi di intervento, strategie di mitigazione del rischio – UR Napoli (M. Dolce, M. Di Ludovico, A. Prota, G. De Martino)

Hanno inoltre collaborato all'effettuazione delle elaborazioni e alla stesura del rapporto:

- Arch. (PhD) L.U. Argiento (UR Parthenope),
- Ing. (PhD) M. Fabris, Ing. D. Zin (UR Padova),
- Ing. (PhD) A. Galasco, Ing. (PhD) C. Salvatori, Ing. (MSc) M. Tondelli, Ing. M. Bergianti (UR Pavia),
- Ing. (PhD) A. Digrisolo (UR Basilicata).

## FASE (vi) - Messa a punto della procedura di valutazione della vulnerabilità, quantificazione dei costi di intervento e piano di mitigazione

### METODOLOGIA

- Procedura che faccia riferimento alle caratteristiche e agli elementi costruttivi degli edifici che richiederà valutazioni esperte e una verifica attraverso modelli di calcolo su edifici campione

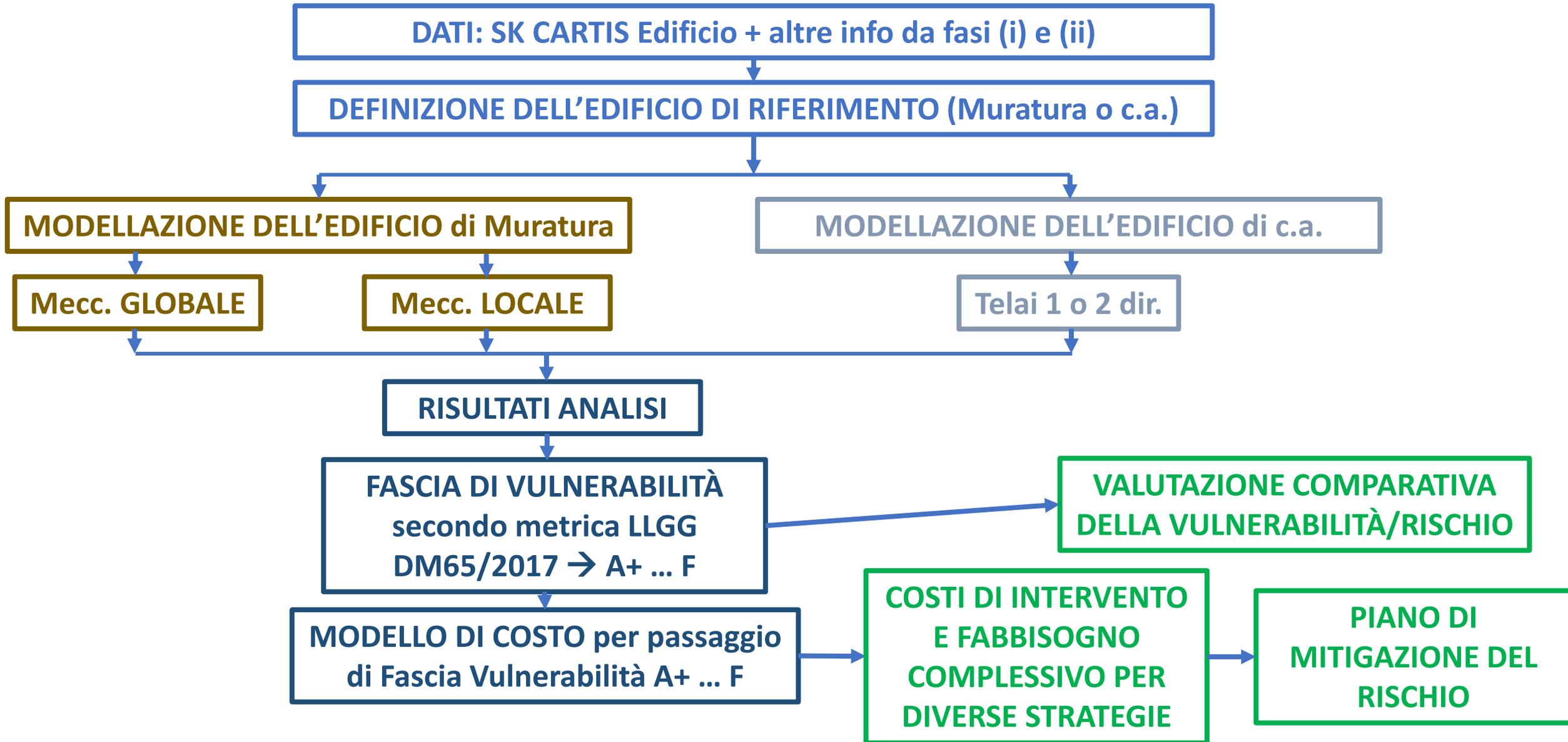
### RISULTATI ATTESI

- 1) **Valutazione comparativa della vulnerabilità/rischio**, per fasce di comportamento, tenendo anche conto delle **prime elaborazioni emerse nell'ambito delle analisi di microzonazione sismica**
- 2) **Valutazione dei costi di intervento**, per una **stima attendibile del fabbisogno economico complessivo relativo agli edifici indagati nella fase (iv)** [rilievo con CARTIS-edificio], **tenendo anche conto di quanto emerso nella fase (v)** [cortine edilizie].
- 3) **Piano di mitigazione del rischio sismico.**

## VULNERABILITÀ VS. RISCHIO PER L'AREA IN ESAME

- Il **Piano Straordinario** richiede di "*valutare la vulnerabilità sismica secondo fasce di vulnerabilità dei singoli edifici*", nonché di "*arrivare alla **valutazione comparativa del rischio**, tenendo anche conto delle prime elaborazioni emerse nell'ambito delle analisi di **microzonazione sismica***".
- La **valutazione del rischio** di un edificio richiede la conoscenza dell'**azione sismica** di progetto nel sito dell'edificio
- **Pericolosità di base**: sostanzialmente uniforme per la limitata estensione dell'area,
- **Effetti di amplificazione**, oggetto degli studi di MS → lo stato di avanzamento degli studi di MS può fornire oggi una valutazione generale della categoria di sottosuolo **prevalente** nell'area di interesse: **suolo tipo C**
- la richiesta del Piano, di valutazione della vulnerabilità per fasce e di valutazione comparativa del rischio, dei singoli edifici potrà essere soddisfatta effettuando le analisi del comportamento degli edifici **adottando per tutti i siti la stessa azione sismica** di progetto calibrata, secondo le **NTC 2018**, sulla categoria di sottosuolo prevalente nell'area di studio.
- La **classificazione per fasce di vulnerabilità** può essere utilizzata per una **valutazione comparativa del rischio**.

# SINTESI PROCEDURA E RISULTATI ATTESI



## Analisi del comportamento globale

**Modello 3D:** Modellazione considerando l'area resistente di piano nelle due direzioni, le masse e la compressione media nei maschi

**Metodo:** a) Calcolo analitico della curva di capacità in forma bilineare; b) Spettro per la domanda sismica (secondo NTC18) e calcolo della domanda di spostamento con il metodo N2 (secondo NTC18)



## Analisi dei meccanismi locali

**Modello 3D:** Modello a macro-blocchi rigidi

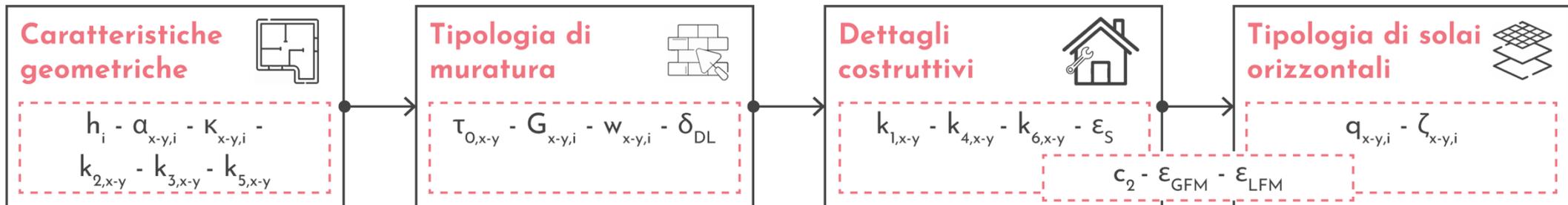
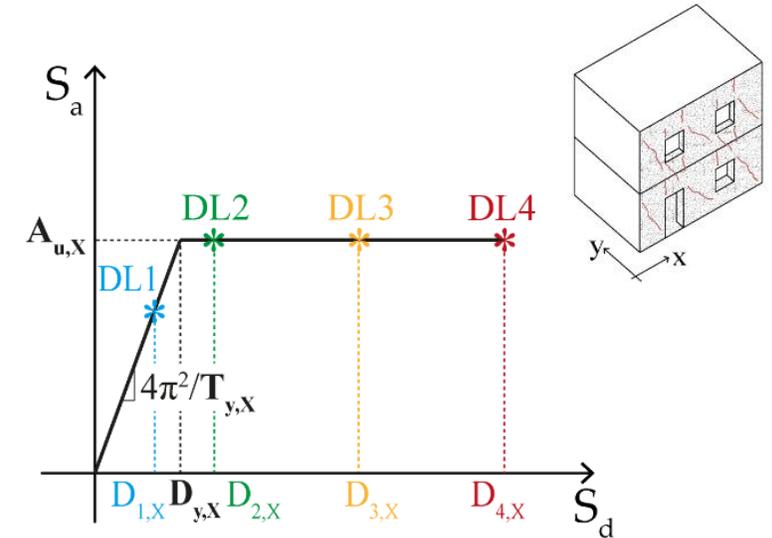
**Metodo:** a) Analisi limite per la capacità sismica, b) Spettro di piano per la domanda sismica (secondo NTC18)



## DBV-Masonry

### Modello meccanico-analitico per l'analisi del comportamento globale

- ➔ Si basa sull'utilizzo di un numero limitato di parametri meccanici e geometrici
- ➔ La risposta globale è descritta in termini di curva pushover, coerente con quella prevista dalle NTC 2018, convertita in curva di capacità per stimare l'accelerazione capace
- ➔ Risposta «shear-type» modificata da coefficienti correttivi della rigidità, resistenza e duttilità, che consentono di descrivere i diversi comportamenti tipici degli edifici esistenti
- ➔ Il confronto con l'input sismico, usando procedure statiche nonlineari (N2 – Rif NTC2018), consente di fornire un indice che può essere utilizzato per la classificazione degli edifici in fasce di rischio



## Modificatori qualitativi di comportamento presenti nella scheda CARTIS-Edificio

m. Ulteriori elementi di vulnerabilità per le murature		SI	NO	NON SO
1	Mancanza di ammorsamenti tra pareti ortogonali.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Presenza di cordoli in breccia su murature a doppio paramento.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Presenza di architravi con ridotta rigidezza flessionale o con inadeguata lunghezza di appoggio.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Presenza di archi ribassati e/o piattabande con imposte inadeguate.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Riduzioni localizzate della sezione muraria (presenza di canne fumarie, cavedi, nicchie, etc.).	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Discontinuità localizzate (chiusura vecchie aperture, sarciture mal realizzate, etc.).	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Presenza di aperture poste in prossimità della linea di colmo della copertura.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Presenza di pilastri isolati.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Aperture in prossimità degli angoli del fabbricato.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Presenza di pareti in muratura ad una testa, molto caricate e di snellezza inadeguata a carichi verticali.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11	Sopraelevazioni in muratura su muratura esistente.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12	Elevata percentuale di aperture di vani al piano terra.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13	Presenza di struttura di copertura rigida e mal collegata.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14	Presenza di travi di colmo di notevoli dimensioni mal collegate.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Orizzontamenti di qualsiasi tipo mal collegati alle pareti.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16	Mancanza di connessione della parete alla copertura.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17	Fondazione inadeguata a sostenere l'incremento di carico verticale dovuto al sisma.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18	Presenza di grotte o cavità al di sotto del solaio di piano terra.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19	Irregolarità della forometria rispetto alla scatola muraria esterna.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20	Presenza di piccoli corpi aggiunti di differente rigidezza e/o con collegamenti localizzati.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21	Presenza di piani sfalsati anche rispetto ad edifici contigui nell'aggregato.	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

c. POSIZIONE EDIFICIO NEL CONTESTO URBANO	<input type="radio"/> ISOLATA	<input type="radio"/> IN AGGREGATO	
		<input type="radio"/> <i>In adiacenza</i> (strutture staticamente indipendenti)	<input type="radio"/> <i>In connessione</i> (strutture interagenti)

f. Stato di Conservazione (SdC)		Scadente	Medio	Buono	g. Tipologia scale	
1	SdC d'insieme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	A - Scale a soletta rampante	<input type="radio"/>
2	SdC strutture verticali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	B - Scale con travi a ginocchio e gradini a sbalzo	<input type="radio"/>
3	SdC strutture orizzontali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	C - Scale con gradini a sbalzo	<input type="radio"/>
4	SdC elementi non strutturali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	D - Scale in legno	<input type="radio"/>
					E - Scale su volta rampante	<input type="radio"/>

i. Portici, logge e cavedi (% nell'edificio)		
<input type="checkbox"/> 1 - PORTICI <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 2 - LOGGE <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 3 - CAVEDI <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

<b>Elevazione</b>	<b>c. Presenza Catene o Cordoli (% nella tipologia) <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></b>
<input type="checkbox"/> Regolare (1)	<b>e. Presenza di Speroni/Contrafforti <input type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO <input type="radio"/> NON SO</b>
<input type="checkbox"/> Mediamente regolare (2)	
<input type="checkbox"/> Irregolare (3)	

Selezione dalla scheda CARTIS di parametri che non sono considerati da DBV-Masonry o per i quali il metodo meccanico-analitico non descrive completamente il fenomeno

# VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI IN MURATURA

## Processo di elicitazione di esperti

➔ Raccolta delle opinioni e valutazione del modificatore

### Modificatori vulnerabilità

elicitazione parametri da scheda CARTIS-edificio

lagomarsino.sergio@gmail.com [Cambia account](#)

Non condiviso

#### 1.c - Posizione dell'edificio nell'aggregato (anche da PLINIUS)

	+0.5	+0.25	+0.125	trascurabile	-0.125	-0.25	-0.5
interno	<input type="radio"/>						
d'estremità	<input type="radio"/>						
d'angolo	<input type="radio"/>						
in adiacenza (staticamente indipendenti)	<input type="radio"/>						
in connessione (staticamente interagenti)	<input type="radio"/>						

#### 3.2.a.4 - Copertura spingente / non spingente

+0.5 +0.25

Si > 0%

#### 3.2.c - Regolarità in elevazione

+0.5 +0.25

mediamente regolare

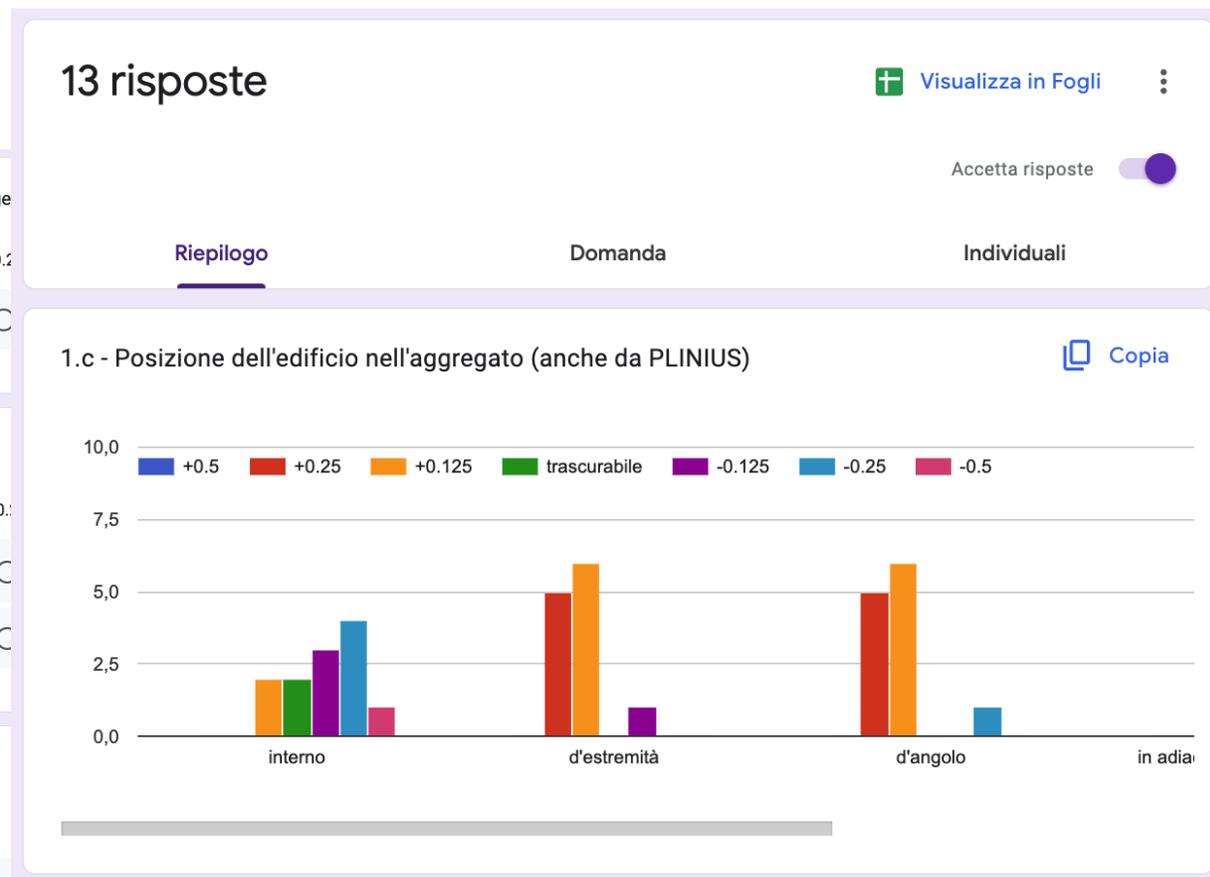
irregolare

#### 3.2.f.1/3 - Stato di conservazione

+0.25

d'insieme: scadente

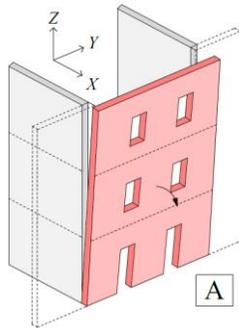
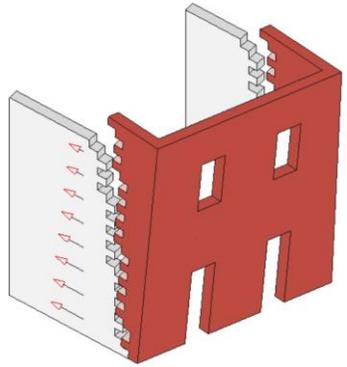
orizzontamenti: scadente



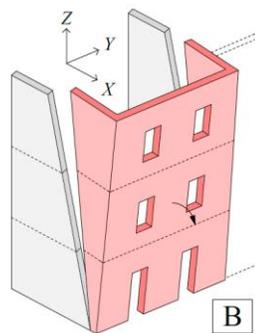
Peso dei modificatori espresso come frazioni di **classi di vulnerabilità EMS98**

# VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI IN MURATURA

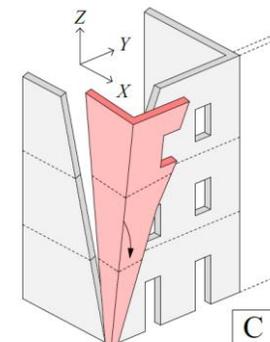
## FaiMec – Meccanismi locali considerati per le pareti di facciata



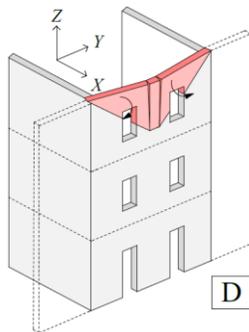
**MeccA - Ribaltamento semplice**  
Variabile: Quota cerniera cilindrica



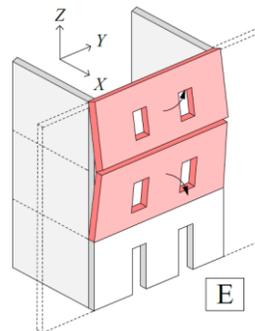
**MeccB - Ribaltamento composto**  
Variabile: Angolo lesione pareti trasversali



**MeccC - Ribaltamento cantonale**  
Variabile: Angolo lesione parete frontale = parete trasversale



**MeccD - Flessione orizzontale**  
Variabile: Quota cerniera orizzontale



**MeccE - Flessione verticale**  
Variabile E1 (1 piano): cerniera orizzontale  
Variabile E2 (2 piani): Nessuna

# VULNERABILITÀ DEGLI EDIFICI IN MURATURA

## FAIMEC – Modello a base meccanica della risposta locale



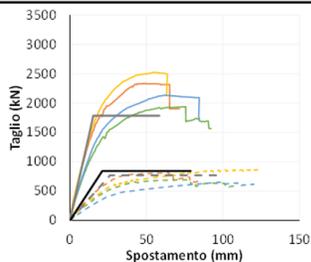
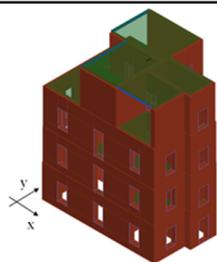
- Modello a macro-blocchi rigidi con e senza ammorsamento tra le pareti
- Resistenza a compressione infinita con  $FC = 1.2$
- Approccio cinematico lineare in analisi limite
- Calcolo della capacità per ciascuna classe di meccanismo con diverse posizioni in altezza
- Calcolo della domanda alle diverse quote portando in conto l'effetto filtro dell'edificio (PFA)
- Minimizzazione del rapporto C/D tra tutti i possibili meccanismi e a tutte le quote
- Valutazione SLD e SLV secondo NTC18 (Circolare applicativa 2019), fattore  $q=2.85$
- Definizione della classe di rischio secondo la metrica Sismabonus

***N.B. Il modello calcola la capacità sia in termini di geometria del meccanismo che di forza orizzontale di innesco, attraverso un processo di minimizzazione. Altri modelli assegnano la geometria in modo arbitrario***

# CONFRONTI CON MODELLI DI DETTAGLIO

*Confronto dei risultati ottenuti con il modello di dettaglio (3Muri) e il modello meccanico semplificato senza (DBV) e con l'applicazione dei modificatori di vulnerabilità (DBV+Mod)*

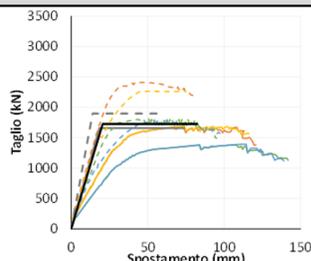
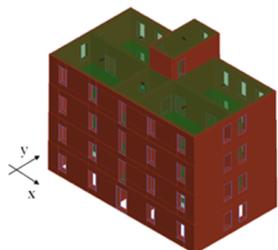
**Caso Studio 1 (Archetipo 1)**



Fascia di vulnerabilità

	DBV	DBV Mod.	3Muri
X	A+	A+	A+
Y	A+	A	A
CARTIS	A+	A	-

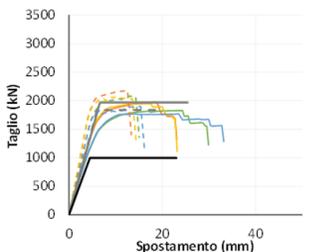
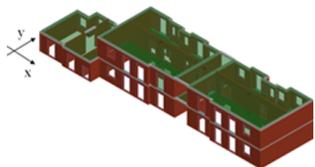
**Caso studio 2 (Archetipo 11)**



Fascia di vulnerabilità

	DBV	DBV Mod.	3Muri
X	A+	A	A+
Y	A+	A	A+
CARTIS	A+	A	-

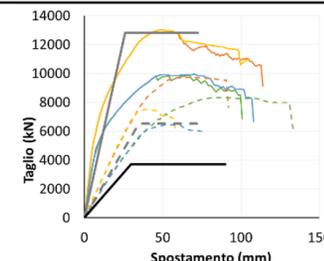
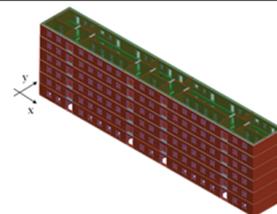
**Caso Studio 3 (Archetipo 12)**



Fascia di vulnerabilità

	DBV	DBV Mod.	3Muri
X	A+	A+	A+
Y	A+	A	A
CARTIS	A	A	-

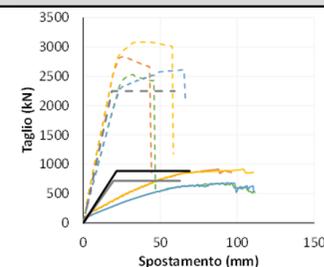
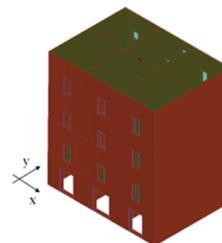
**Caso studio 4 (Archetipo 10)**



Fascia di vulnerabilità

	DBV	DBV Mod.	3Muri
X	A+	A+	A+
Y	C	C	C
CARTIS	C	C	-

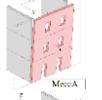
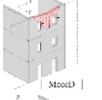
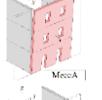
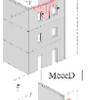
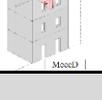
**Caso Studio 5 (Archetipo 13)**

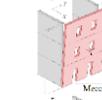
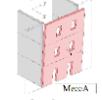
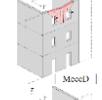


Fascia di vulnerabilità

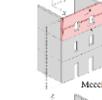
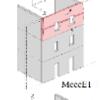
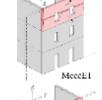
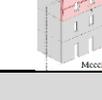
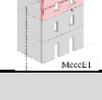
	DBV	DBV Mod.	3Muri
X	B	C	B
Y	A	A	A
CARTIS	B	B	-

## Confronto tra modelli di dettaglio e modelli meccanici (FaiMec) per meccanismi locali

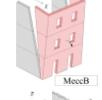
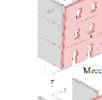
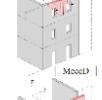
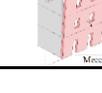
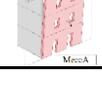
Caso Studio 1 (Archetipo 1)				
	Modello senza ammortamento		Modello con ammortamento	
	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>
FaiMec Pianta di dettaglio		E		D
FaiMec Input CARTIS		E		E
Analisi cinematica NTC2018		E		D

Caso Studio 3 (Archetipo 12)				
	Modello senza ammortamento		Modello con ammortamento	
	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>
FaiMec Pianta di dettaglio		D		D
FaiMec Input CARTIS		D		D
Analisi cinematica NTC2018		D		C

Caso Studio 4 (Archetipo 10)				
	Modello senza ammortamento		Modello con ammortamento	
	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>
FaiMec Pianta di dettaglio		A+		A+
FaiMec Input CARTIS		A+		A+
Analisi cinematica NTC2018		A+		A+

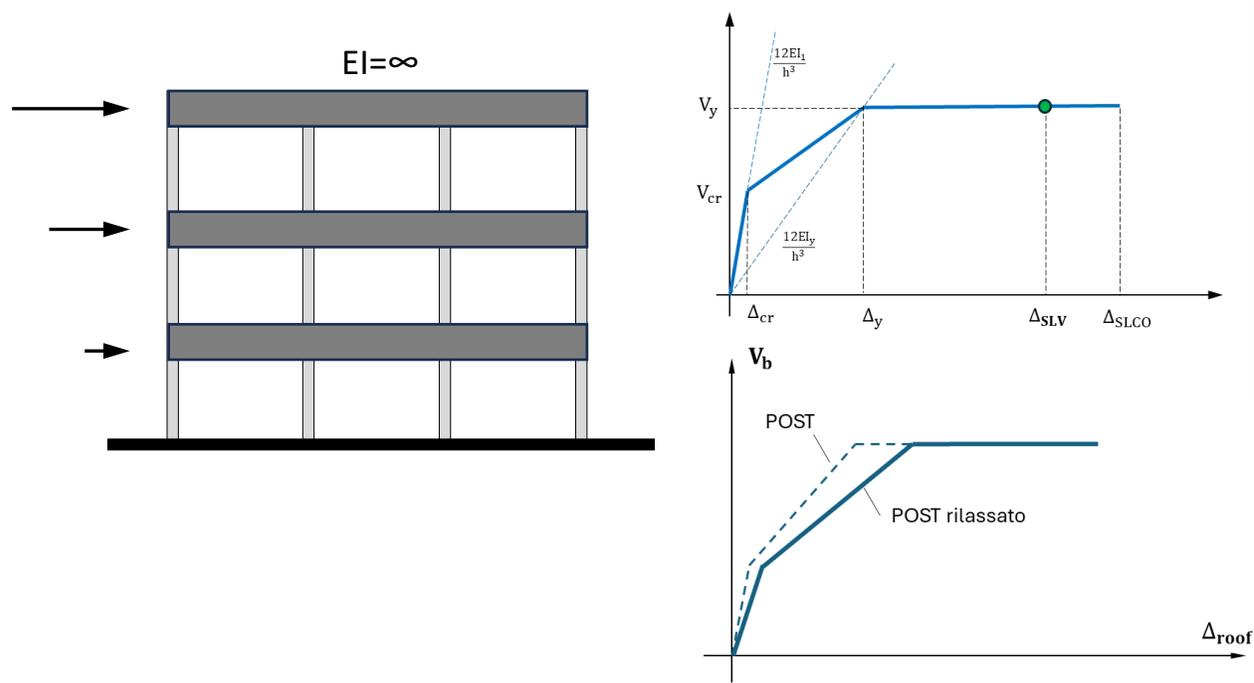
  

Caso Studio 5 (Archetipo 13)				
	Modello senza ammortamento		Modello con ammortamento	
	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>	<u>Meccanismo</u>	<u>Fascia di vulnerabilità</u>
FaiMec Pianta di dettaglio		F		D
FaiMec Input CARTIS		F		D
Analisi cinematica NTC2018		E		E

## Analisi di edifici con telai nelle due direzioni

Il modello **POST** (**P**ush-**O**ver of **S**hear-**T**ype frame) consente di valutare la risposta non lineare di un edificio in c.a. a struttura intelaiata. **Si basa sull'assunzione di travi infinitamente rigide** (e resistenti) che impediscono la rotazione dei nodi.

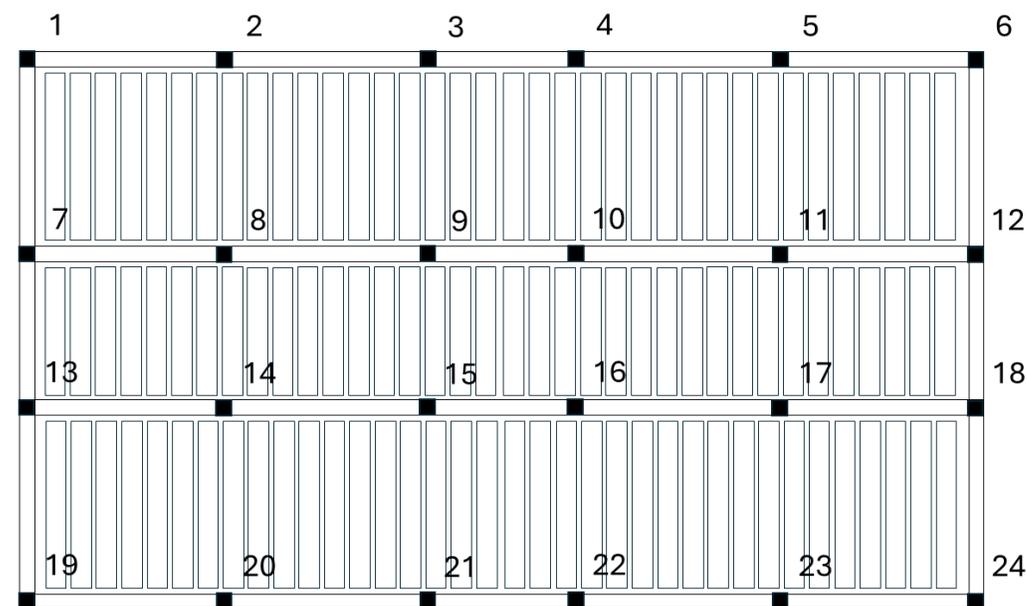
**Contributo tamponature (v. NTC) non considerato.**



## Analisi di edifici con telai in una sola direzione

**Procedura ad hoc** per tener conto della presenza dei soli telai perimetrali nella direzione debole, mediante l'applicazione dell'**analisi limite**, al fine di individuare il meccanismo plastico definito dal minimo moltiplicatore.

**Contributo tamponature (v. NTC) non considerato.**

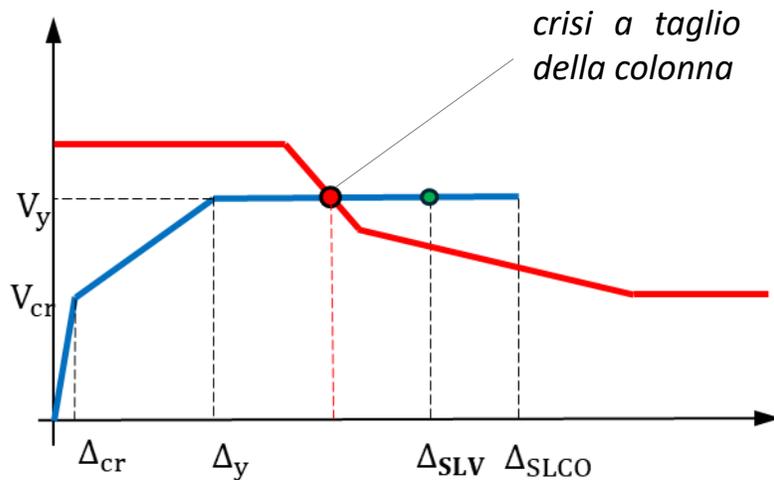


# MODELLAZIONE CON METODO SEMPLIFICATO PER STRUTTURE IN C.A. INTELAIATE NELLE DUE DIREZIONI

E' possibile valutare la crisi:

- **duttile delle colonne**
- **a taglio delle colonne**

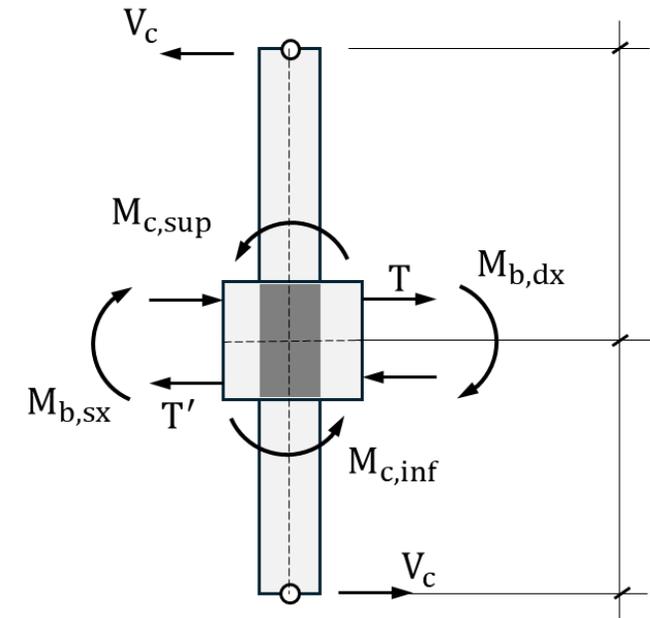
A partire dalla risposta flessionale della generica colonna è possibile definire a priori lo spostamento relativo di piano in corrispondenza del quale viene attinta **la crisi a taglio delle colonne**, nel rispetto dei modelli di capacità duttili e taglienti dell'attuale quadro normativo nazionale (NTC2018; Circolare 7/2019).



Inoltre, è possibile valutare la crisi:

- **a taglio dei pannelli nodali non confinati**

**NB.** La staffatura dei pannelli nodali è regolata solo con l'entrata in vigore del DM 1996.

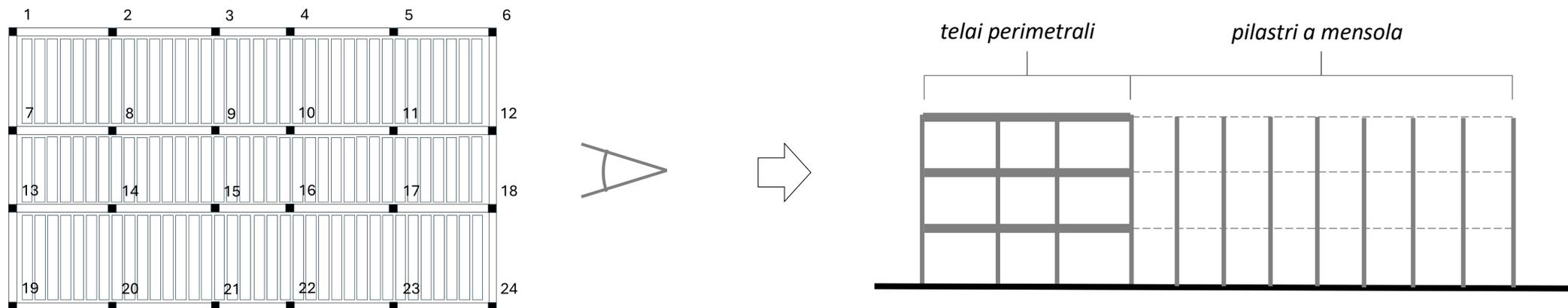


$d_b^*$  = braccio della coppia interna trave

$$\sum M_c = \frac{1}{\left(\frac{1}{d_b^*} - \frac{1}{h}\right)} (0.30\sqrt{f_c}) A_{jh} \sqrt{1 + \frac{\sigma_v}{(0.30\sqrt{f_c})}}$$

# MODELLAZIONE CON METODO SEMPLIFICATO PER STRUTTURE IN C.A. INTELAIATE IN UNA SOLA DIREZIONE

Il caso degli edifici in c.a. con **telai unidirezionali** è un esempio tipico degli edifici progettati per **solli carichi gravitazionali** per i quali - scelta la direzione di orditura dei solai - si registra la **presenza di travi (porta solaio)** solo nella direzione ortogonale alla orditura degli stessi (ovvero la presenza di telai in una sola direzione) e **lungo il perimetro dell'edificio**.



L'ipotesi di telaio shear-type (POST) non può essere utilizzata per la valutazione della risposta laterale dell'edificio nella direzione ortogonale a quella dei telai (ossia dove non sono presenti le travi interne):

- *né in campo lineare*, in quanto essa produrrebbe una sovrastima della rigidezza laterale;
- *né tantomeno in campo inelastico*, in quanto essa produrrebbe una sovrastima della resistenza laterale accompagnata dallo sviluppo di un diverso meccanismo plastico rispetto all'ipotesi shear-type.

# CONFRONTI DEL MODELLO SEMPLIFICATO CON MODELLI DI DETTAGLIO

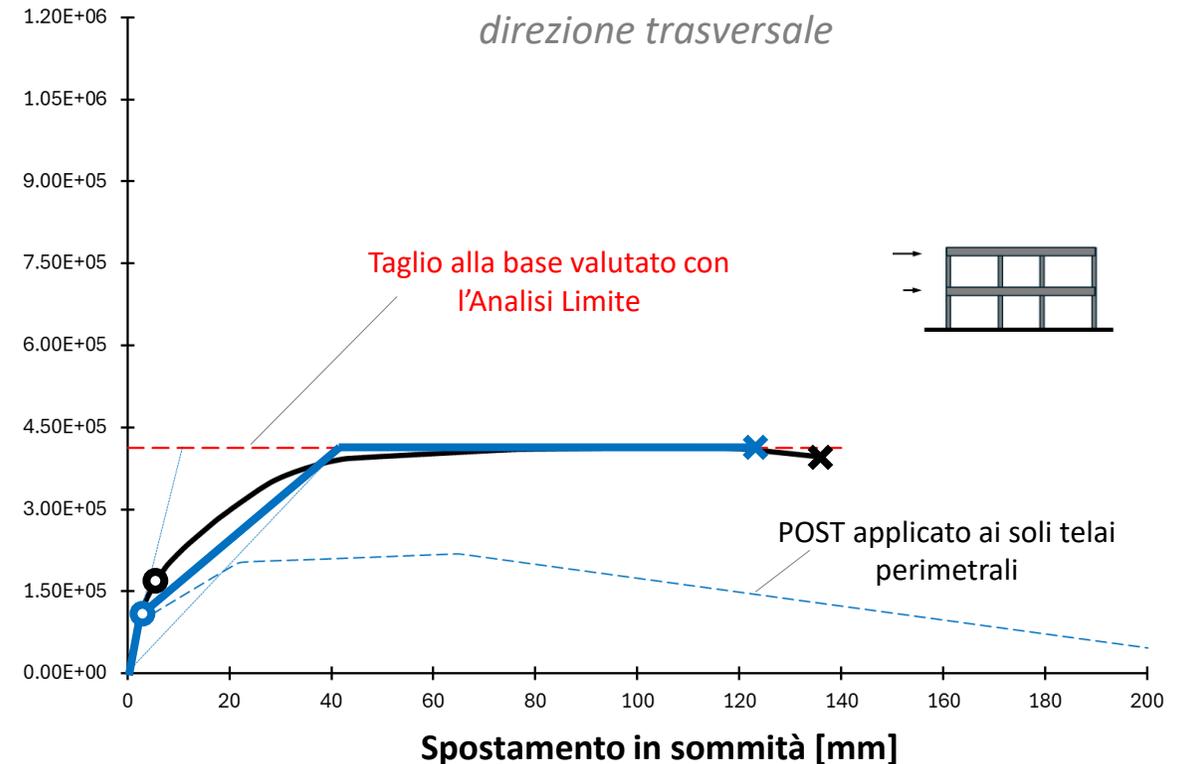
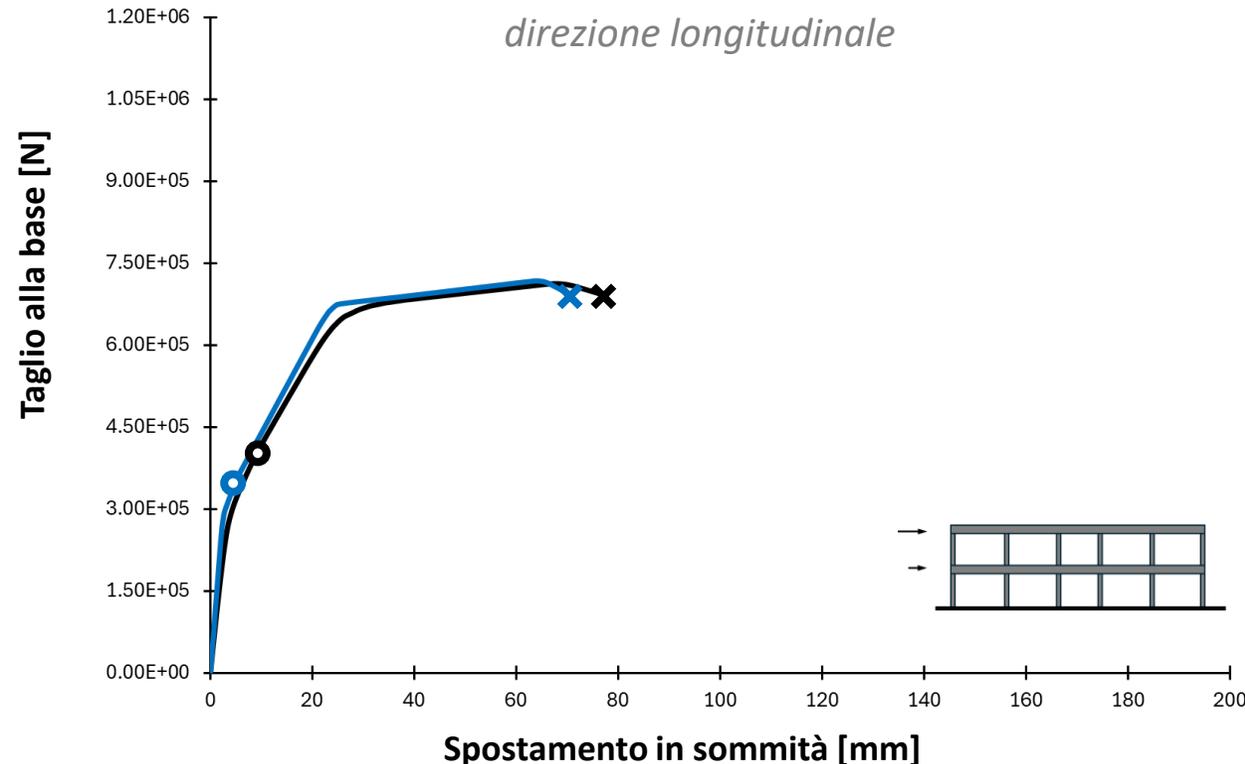
L'edificio evidenzia, come atteso, una maggiore resistenza plastica nella direzione longitudinale (direzione forte), in quanto caratterizzata dalla presenza di telai unidirezionali

Il **modello semplificato** mostra:

- un buon accordo con il modello di dettaglio, in termini di risposta laterale non lineare (curva di push-over);
- una leggera sottostima della capacità sismica rispetto al modello di dettaglio.

## Numero Piani 2

Modello di dettaglio (riferimento)	
✕	Crisi duttile pilastro (MAX capacità sismica)
○	Crisi taglio nodo (MIN capacità sismica)
Modello semplificato	
✕	Crisi duttile pilastro (MAX capacità sismica)
○	Crisi taglio nodo (MIN capacità sismica)



## AVVERTENZE SUI RISULTATI

- Le valutazioni della vulnerabilità sono **esclusivamente riferite alle strutture** degli edifici , in accordo con **NTC 2018**, e non prenderanno in considerazione le parti non strutturali (tamponature e tramezzature, cornicioni, intonaci, etc.)
- **Non potranno tener conto di difetti occulti o carenze gravi** delle strutture dei singoli edifici non riscontrabili e non segnalate nella scheda CARTIS Edificio, sia per l'impossibilità di effettuare saggi e indagini accurate, sia per l'eventuale inaccessibilità degli ambienti in cui tali difetti e carenze sono localizzati
- **Non sarà possibile riscontrare l'eventuale presenza di calcestruzzi particolarmente scadenti, né apparecchi murari di qualità molto scarsa**
- La classificazione in fasce di vulnerabilità **non fornisce indicazioni predittive puntuali sui danni strutturali e non strutturali** che tale edificio potrebbe subire per effetto di singole scosse
- **Interventi precedenti:** le modellazioni porteranno in conto esclusivamente la **parte di intervento visibile** con un sopralluogo speditivo (ad esempio la presenza di catene)

# COERENZA FORMALE della procedura e dei modelli con NTC18 e relativa circolare e con DM 65 del 07-03-2017

La procedura di valutazione della vulnerabilità mediante modelli numerici e la classificazione del rischio sono formalmente coerenti con:

1) DM 17.01.2018 Norme Tecniche per le costruzioni (NTC18), e relativa Circolare 21.01.2019 , n. 7 del C.S.LL.PP., Istruzioni per l'applicazione, riguardo a:

- definizione delle azioni sismiche
- definizione del **modello di calcolo** dell'edificio di riferimento
- assunzione dei **coefficienti di sicurezza > 1**

2) DM 65 del 07-03-2017 All A - Linee guida per la classificazione del rischio sismico delle costruzioni riguardo a:

- **classificazione IS-V (SL Salvaguardia della Vita)**

→ → →

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
$100\% < IS-V$	$A^+_{IS-V}$
$80\% \leq IS-V < 100\%$	$A_{IS-V}$
$60\% \leq IS-V < 80\%$	$B_{IS-V}$
$45\% \leq IS-V < 60\%$	$C_{IS-V}$
$30\% \leq IS-V < 45\%$	$D_{IS-V}$
$15\% \leq IS-V < 30\%$	$E_{IS-V}$
$IS-V \leq 15\%$	$F_{IS-V}$

# QUANTIFICAZIONE DEI COSTI DI INTERVENTO, FABBISOGNO TOTALE E PIANO DI MITIGAZIONE

- 1) **La quantificazione dei costi di intervento** è riferita a:
  - **dati di costo** di riduzione della vulnerabilità derivanti dalle **ricostruzioni** dei terremoti recenti e dal piano nazionale di mitigazione del rischio sismico finanziato con l'**art. 11 del DL 39/09**, la cui elaborazione ha fornito il **costo marginale** dell'intervento [**€/mq/(punto%incr.IS-V)**]
  - **passaggio di classe** desiderato (ad es. da classe E a classe B) commisurato all'incremento di IS-V
  - **strategia di mitigazione** considerata (ad es. tutti gli edifici almeno in classe B, oppure miglioramento di due classi per tutti gli edifici)
- 2) **Il fabbisogno totale** è calcolato sommando i costi per i singoli edifici in relazione alla strategia considerata
- 3) **Il piano di mitigazione** potrà essere definito adottando una delle strategie considerate, tenendo conto del fabbisogno totale e delle disponibilità economiche

## Finanziamenti pubblici

➤ **Edilizia Pubblica - Articolo 11 del decreto-legge n. 39 del 28 aprile 2009 (Verifiche ed interventi per la riduzione del rischio sismico) ha dato avvio al Piano Nazionale di Prevenzione Sismica (di seguito PNPS).**

- Per ogni tipologia di intervento prevista dal NSPP, i contributi ammessi sono riferiti a un **costo convenzionale** per metro cubo, da moltiplicare per il volume totale dell'edificio, e sono stabiliti come segue:

- ❑ 100 €/mc RAFFORZAMENTO LOCALE
- ❑ 150 €/mc MIGLIORAMENTO SISMICO
- ❑ 200 €/mc DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE

*Comprensivi di iva e spese tecniche*

- Dai dati di costo per interventi di miglioramento è stato possibile stimare un **costo marginale, CM [€/m<sup>3</sup>/Δ%ζ<sub>E SLV</sub>]**, ossia il **costo per unità di volume necessario per incrementare di un punto percentuale il livello di sicurezza di un edificio;**

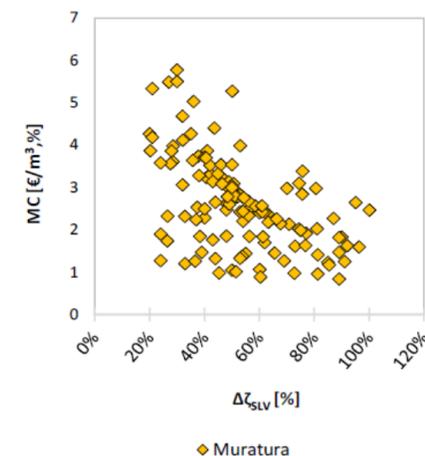
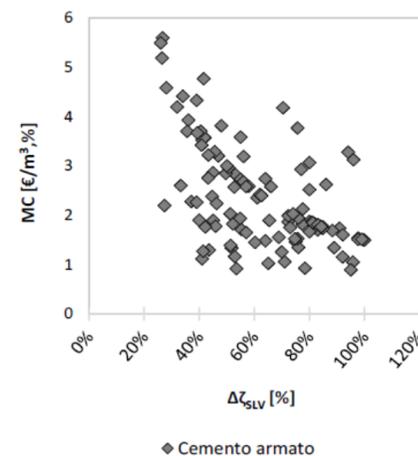
- Analizzando il CM in funzione dell'incremento del livello di sicurezza ottenuto tra la configurazione ante e post operam, Δ%ζ<sub>E SLV</sub>, si osserva che il **CM tende a diminuire al crescere di Δ%ζ<sub>E SLV</sub>** indipendentemente dalla tipologia strutturale

- Tale costo mediamente è risultato pari a (M. Dolce et al (2021).

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102391>):

**2,1 €/m<sup>3</sup>/Δ%ζ<sub>E SLV</sub>** per gli edifici in cemento armato,

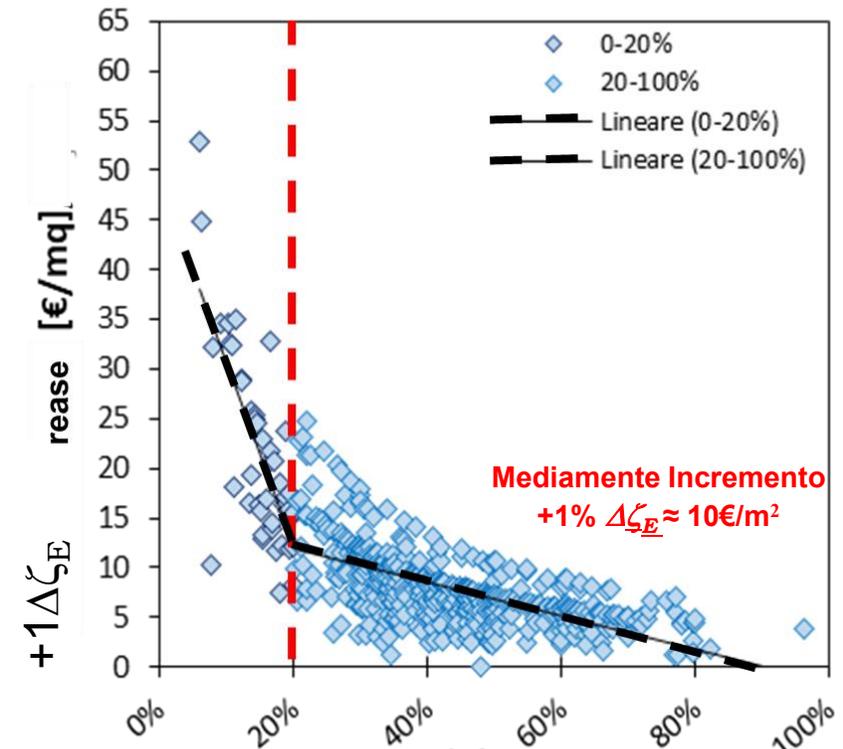
**2,5 €/m<sup>3</sup>/Δ%ζ<sub>E SLV</sub>** per gli edifici in muratura



## Finanziamenti pubblici

- **Post terremoto L'Aquila 2009 (Fuori Centro Storico FCS)** : O.P.C.M. n. 3779/2009 e O.P.C.M. n. 3790/2009, e relativi indirizzi

- Da tali dati è stato possibile stimare un **costo marginale, CM** [ $\text{€}/\text{m}^2/\Delta\% \zeta_{E \text{ SLV}}$ ], ossia il costo per unità di superficie necessario per incrementare di un punto percentuale il livello di sicurezza di



$\Delta\zeta_E \leq 20\% \rightarrow$  media 22€/mq per 1% incremento  $\zeta_E$ 
Δ%NBS
 $\Delta\zeta_E > 20\% \rightarrow$  media 8€/mq per 1% incremento  $\zeta_E$

$\Delta\zeta_E$

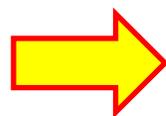


## Procedura valutazione costi

CI valore:  $CM(\Delta\zeta_E)_i \times \Delta\zeta_E \times S_c$  [€/m<sup>2</sup>]

Indice di Sicurezza	Classe IS-V
100% < IS-V	A <sup>+</sup> <sub>IS-V</sub>
80% ≤ IS-V < 100%	A <sub>IS-V</sub>
60% ≤ IS-V < 80%	B <sub>IS-V</sub>
45% ≤ IS-V < 60%	C <sub>IS-V</sub>
30% ≤ IS-V < 45%	D <sub>IS-V</sub>
15% ≤ IS-V < 30%	E <sub>IS-V</sub>
IS-V ≤ 15%	F <sub>IS-V</sub>

$\Delta\zeta_E$  per passare da **Classe IS-V Ante** → **Classe IS->V Post**



		Classe IS-V Post			
		Classe A <sup>+</sup>	Classe A	Classe B	Classe C
Classe IS-V Ante	Classe B	30,0%	20,0%	-	-
	Classe C	47.5%	37.5%	17.5%	-
	Classe D	62.5%	52.5%	32.5%	15.0%
	Classe E	77.5%	67.5%	47.5%	30.0%
	Classe F	92.5%	82.5%	62.5%	45.0%

**DM 65 del 07-03-2017 All A.**

**Linee guida per la classificazione  
del rischio sismico delle costruzioni**

## COSTI DI INTERVENTO: PROPOSTA

Costi di intervento complessivi per incrementare il livello di sicurezza, incluso anche un costo forfetario di intervento sulle parti non strutturali

N. Passaggi di classe	Costo parametrico massimo di intervento incluse parti non strutturali <i><u><math>C_{Ius_{max,ns}}</math></u></i>
+ 1 classe	570.00 €/m <sup>2</sup>
+ 2 classi	740.00 €/m <sup>2</sup>
+ 3 classi	830.00 €/m <sup>2</sup>
+ 4 classi	910.00 €/m <sup>2</sup>
+ 5 classi	980.00 €/m <sup>2</sup>
+ 6 classi	1040.00 €/m <sup>2</sup>

Seminario

8 Luglio 2025

Aula Magna "L. Massimilla"  
Università degli Studi di Napoli Federico II  
Piazzale Tecchio 80, Napoli



## LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITA' SISMICA DEGLI EDIFICI PRIVATI SOGGETTI A RILIEVO CON SCHEDA CARTIS



# La valutazione della vulnerabilità sismica dei Campi Flegrei

Prof. ing. Mauro DOLCE

*Reluis - Presidente*



[www.reluis.it](http://www.reluis.it)