

***Valutazione del rischio sismico e  
tipologie di interventi per edifici  
storici monumentali***

Relatore :

Ing. Fabio Russo

ing.russofabio@gmail.com

- **RISCHIO SISMICO**: si può intendere la probabilità di perdita totale o parziale dell'**elemento** per effetto di eventi a loro volta caratterizzati da probabilità di accadimento.
- L'elemento a rischio può essere una **costruzione**, ovvero le **persone** oppure i **beni** in essa contenuti, nonché le **attività** che vi si svolgono.
- Per una **costruzione** e per le **attività** il danno può essere quantificato in termini economici e le strategie d'intervento possono essere decise in base ad un' **Analisi Benefici-Costi**.
- Per gli altri elementi a rischio , quali **persone**, **beni culturali**, **valori sociali**, la quantificazione del danno è **difficilmente o non traducibile in termini economici**

- **RISCHIO SISMICO:** misura degli effetti che i terremoti in una data zona determinano sugli elementi esposti  $R = P * V * E$

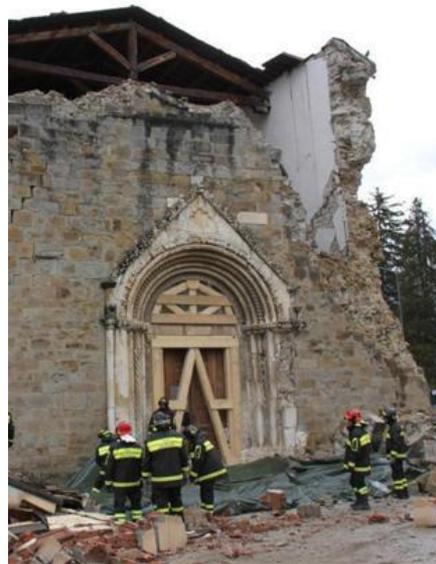
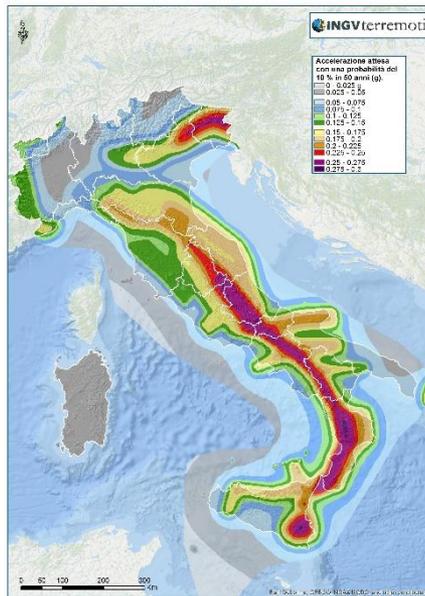
Pericolosità

\*

Vulnerabilità

\*

Esposizione



- **RISCHIO SISMICO:** misura degli effetti che i terremoti in una data zona determinano sugli elementi esposti  $R = P * V * E$
- **Pericolosità sismica:** definisce il grado di probabilità che si verifichi, in una determinata area e in uno specifico lasso di tempo, un evento sismico di fissata intensità.
- **Vulnerabilità sismica:** la propensione di manufatti, attività o beni a subire danni o modificazioni per effetto di un terremoto.
- **Esposizione :** rappresenta l'estensione ovvero la quantità e qualità dei diversi elementi antropici (popolazione insediata, edifici, sistemi di infrastrutture) che compongono la realtà territoriale che possono essere danneggiati, alterati o distrutti dal verificarsi di un evento sismico.

## Valutazione della sicurezza.

- La **valutazione della sicurezza** fornisce una **rappresentazione semplificata del rischio** della costruzione e dei suoi contenuti, essendo riferita a pochi **possibili eventi** di prefissata probabilità di accadimento.
- Nelle **NTC18**, la sicurezza è riferita alla probabilità di superamento di diversi stati limite,
  - SLO, stato limite di Operatività della costruzione;
  - SLD, stato limite di Danno;
  - SLV, stato limite di salvaguardia della Vita;
  - SLC, stato limite di Collassoquantificati attraverso predeterminati parametri di risposta (spostamenti, sollecitazioni, deformazioni, etc.), in corrispondenza dei quali la costruzione raggiunge un ipotizzato livello di danneggiamento, fino al collasso totale.

## Valutazione della sicurezza per edifici storici monumentali.

- Per i beni culturali sono emanate dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali le **LL. GG. 'Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale'**.
- Tale **Direttiva** fornisce indicazioni per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale tutelato, con riferimento alle norme tecniche per le costruzioni NTC.
- Il 'Codice dei beni culturali e del paesaggio', D.Lgs. 22 gennaio 2004, n.42, stabilisce all'art. 4 che le funzioni di tutela del patrimonio culturale sono attribuite allo stato ed esercitate dal Ministero per i Beni e le attività Culturali, mentre all' art. 29 al comma 4 precisa che per i beni immobili situati in zone dichiarate soggette a rischio sismico in base alla normativa vigente, il restauro comprende l'intervento di miglioramento strutturale.
- Le LL. GG. sono state redatte con l'intento di specificare un percorso di **conoscenza, valutazione del livello di sicurezza** nei confronti delle azioni sismiche e **progetto degli eventuali interventi**, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente **adattato** alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale;

La **finalità** è quella di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di **miglioramento sismico**.

Tale documento è riferito alle sole costruzioni in muratura.

## Valutazione della sicurezza per edifici storici monumentali.

- Sono indicati i **requisiti di sicurezza** da considerare per i beni architettonici di valore storico artistico.
- Sono opportunamente ridefiniti gli stati limite di riferimento, che non si riferiscono solo ad esigenze di salvaguardia del manufatto e dell'incolumità delle persone ( Stato limite di salvaguardia della Vita SLV) e di funzionalità ( Stato limite di Danno SLD), ma anche **ai danni nei beni di valore artistico in esso contenuti ( Stato limite di Danno ai beni Artistici, SLA).**
- Sono suggeriti i **livelli di protezione sismica**, in relazione alle **esigenze di conservazione** ed alle **condizioni d'uso**.

### Fattori che influenzano la vulnerabilità sismica degli edifici in muratura.

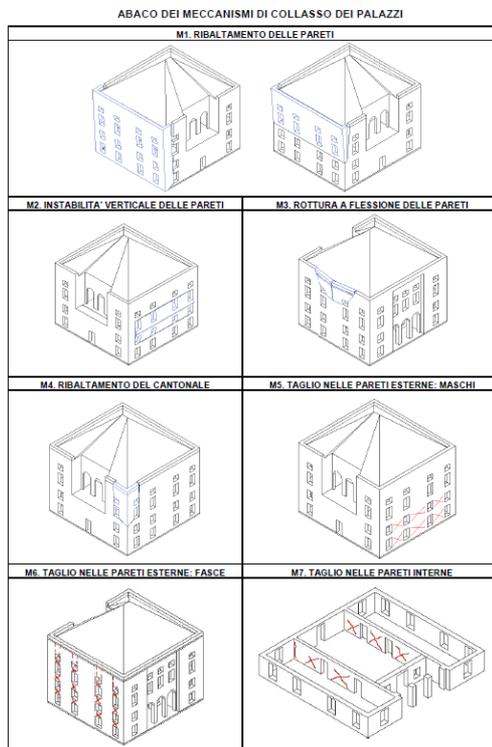
- Assenza di connessioni tra le diverse pareti di muratura;
- Assenza di connessioni efficaci tra pareti ortogonali (ammorsamenti, cantonali);
- Assenza di connessioni trasversali tra i paramenti murari di una parete;
- Presenza di elementi spingenti (archi, volte, cupole, puntoni di copertura) la spinta dei quali non sia efficacemente trasferita a elementi strutturali adeguatamente resistenti;
- Presenza di orizzontamenti voltati di limitato spessore e soggetti a significativi spostamenti delle imposte (in particolare ai piani alti dell'edificio);
- Coperture e/o solai mal organizzati e/o mal collegati alle pareti;
- Presenza, ai piani alti, di masse di entità significativa;
- Muratura poco coesa e facilmente disgregabile;
- Presenza di fenomeni di degrado nei materiali;
- Presenza di pareti eccessivamente snelle;
- Presenza di pilastri isolati eccessivamente caricati;

## Fattori che influenzano la vulnerabilità sismica degli edifici in muratura.

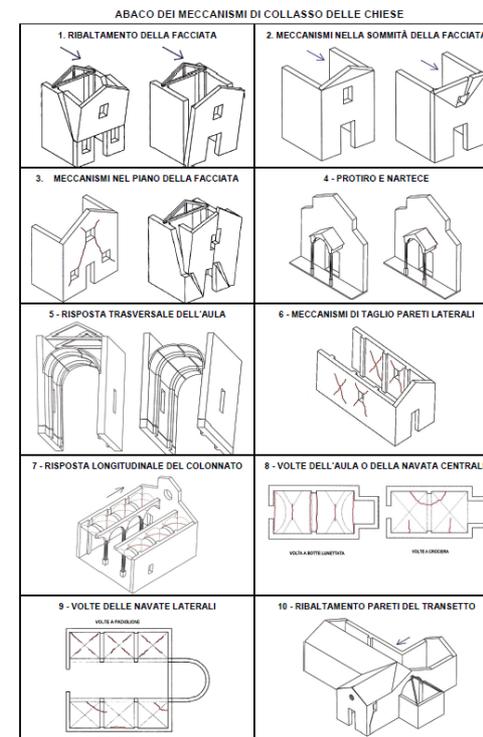
- Riduzione localizzate della sezione muraria (presenza di canne fumarie, cavedi, nicchie, etc.);
- Presenza di corpi di fabbrica di differente altezza;
- Presenza di piani sfalsati;
- Presenza di scale a struttura vulnerabile;
- Presenza di elementi non strutturali non adeguatamente ancorati (cornicioni, timpani di facciata, camini, elementi di decoro, etc.) la cui caduta costituisce un pericolo

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di intervento per edifici storici monumentali

Un valido ausilio alla corretta valutazione della vulnerabilità sismica ci è dato dall'abaco dei meccanismi di danno allegato alla schede per il rilievo del danno ai beni culturali per palazzi e per le chiese.



Palazzi – 22 Meccanismi

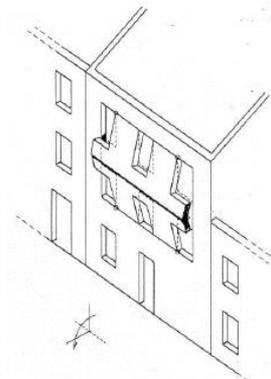
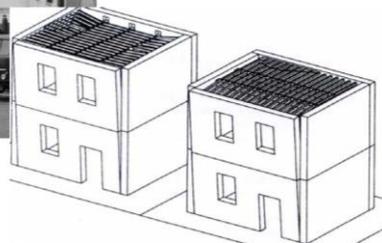


Chiese – 28 Meccanismi

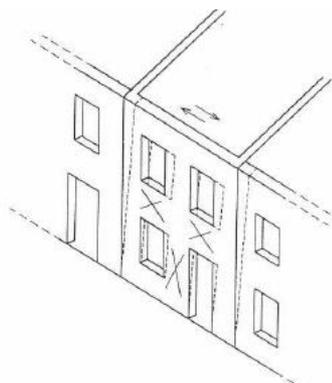
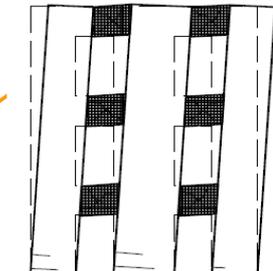
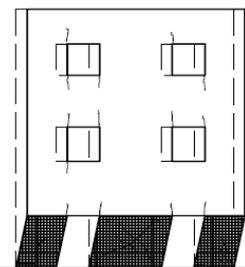
Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
– Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

**COMPORTAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI IN MURATURA**

**Collasso fuori piano ("1° modo")**

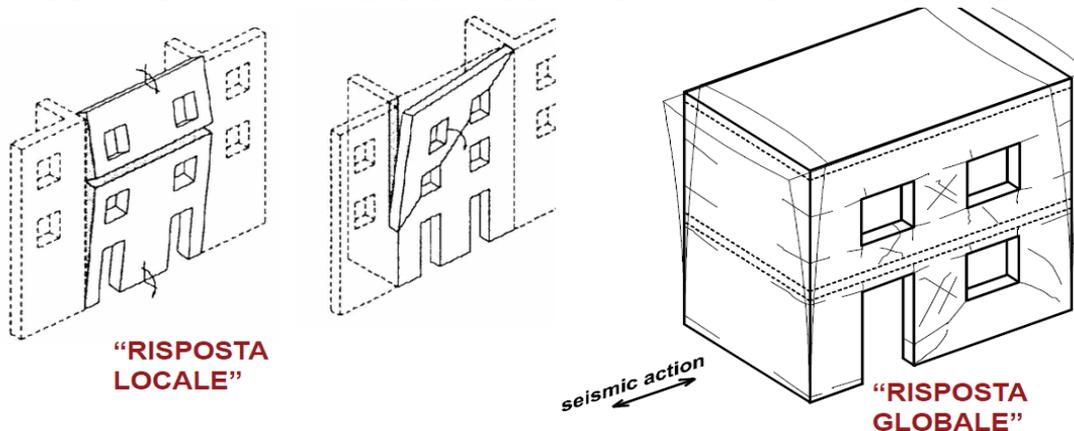


**Collasso per azioni nel piano (2° modo)**

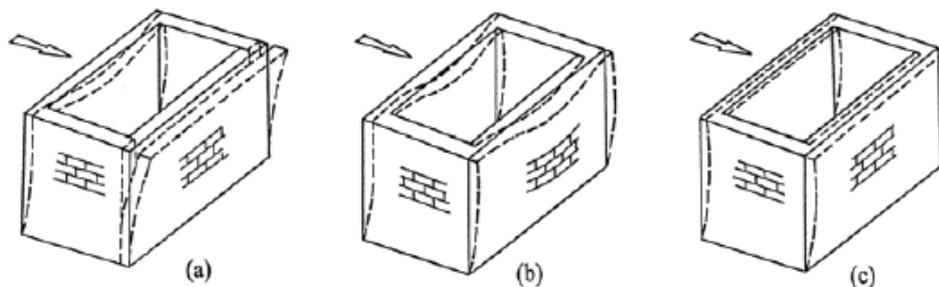


Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
– Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

### COMPORTAMENTO SISMICO DEGLI EDIFICI IN MURATURA



- La massima resistenza al sisma in un edificio può essere sviluppata mediante una risposta globale, se sono impediti i meccanismi di collasso locali mediante opportuni accorgimenti costruttivi (collegamenti, incatenamenti...)



*Influenza del grado di vincolo tra gli elementi sulla risposta sismica: (a) con solaio deformabile e senza cordolo, (b) con cordolo e solaio deformabile, (c) con cordolo e solaio rigido.*

## INFLUENZA DELLA QUALITA' MURARIA NEI MECCANISMI DI DANNEGGIAMENTO LOCALE

Negli edifici esistenti in muratura spesso avvengono collassi globali o parziali indotti dall'azione sismica, in genere per **perdita dell'equilibrio** di porzioni murarie.

### Muratura di buona qualità

Formazione di lesioni e comportamento per blocchi rigidi



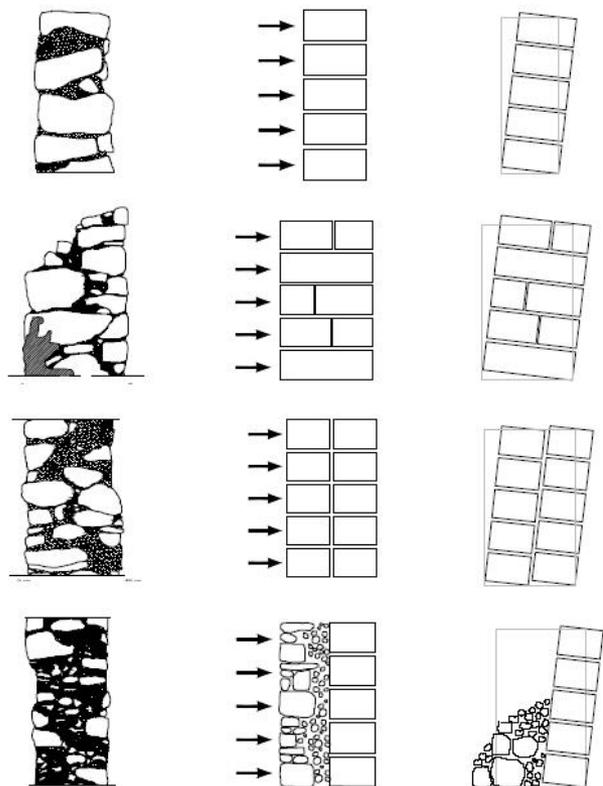
### Muratura di qualità scadente

Fessurazione diffusa, disgregazione e distacco tra i paramenti



## INFLUENZA DELLA QUALITA' MURARIA NEI MECCANISMI DI DANNEGGIAMENTO LOCALE

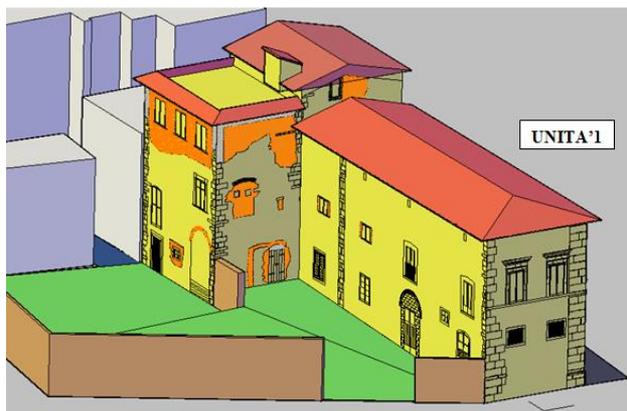
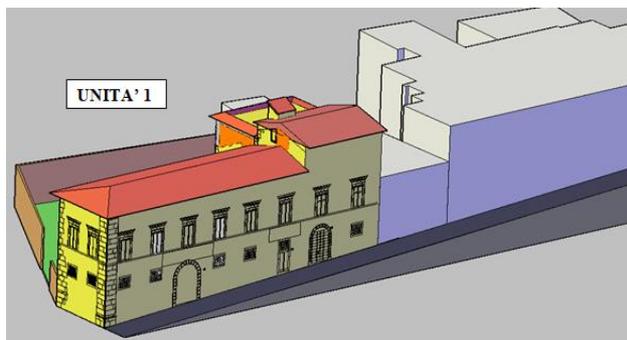
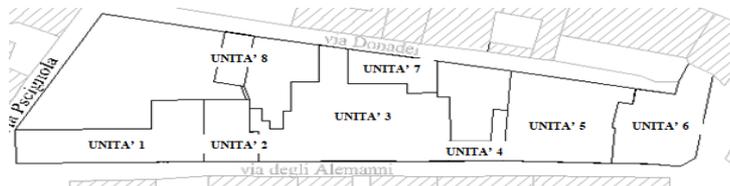
### L'influenza della tipologia di sezione trasversale



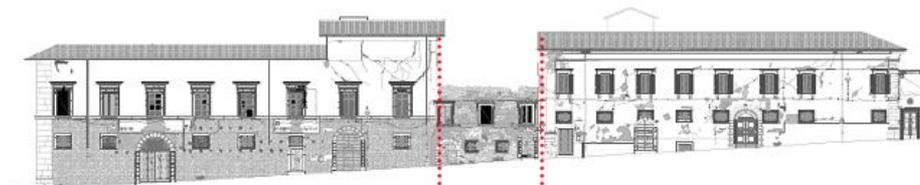
(Binda et al., Politecnico di Milano)

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## CASO DI STUDIO PALAZZO BONOMO L'AQUILA (UNITÀ STRUTTURALE DI TESTATA IN AGGREGATO, UNITÀ 1)

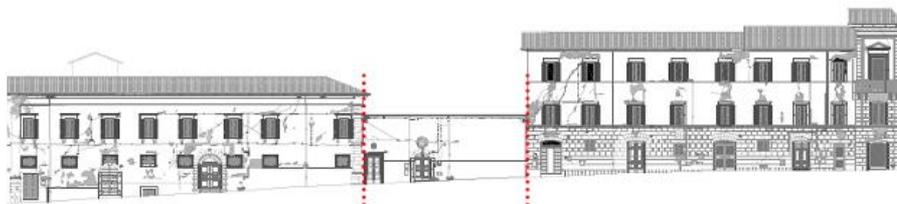


Cortina aggregato B (Via Alemanni)



UNITA' 1      UNITA' 2      UNITA' 3

Collegamento tra l'UNITA' 1 e l'UNITA' 3



UNITA' 3      UNITA' 4      UNITA' 5-6

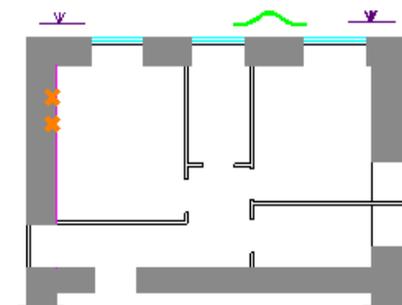
Collegamento tra l'UNITA' 3 e l'UNITA' 5-6

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## CASO DI STUDIO PALAZZO BONOMO L'AQUILA – DANNEGGIAMENTO

- Ribaltamento della facciata;
- Crollo dei maschi murari interni ed esterni;
- Crollo delle volte in muratura (con elementi lapidei disposti sia in foglio che di taglio);
- Lesioni nel piano della volta;
- Lesioni di taglio nei maschi murari;
- Lesioni a taglio delle fasce di piano;
- Danneggiamento degli architravi

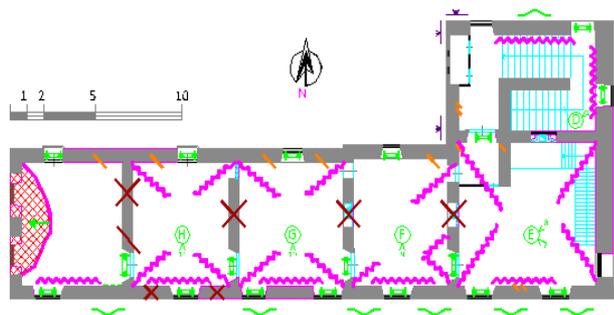
*Piano Secondo (soppalco): Rilievo del danno*



*Piano Terra: Rilievo del danno*



*Piano Primo: Rilievo del danno*



RILIEVO DEI DANNI E DEI DISSESTI

	spanciamento		crolla		feccure su pavimenti e volte
	lesione non passante		lesione al cantonale	TIRANTI 	
	lesione passante		martello		
	lesione diffusa		incrocio		
	lesione a croce		lesione all'architrave		

Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
– Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

### 1) RIBALTAMENTO DELLA FACCIATA



*Lesione inclinata nei due muri di controvento per il ribaltamento della facciata*



*Lesione dell'orizzontamento con distacco della pavimentazione*



*Vista della lesione dall'intradosso della volta*

## 2) Crollo di elementi murari interni ed esterni

Il crollo della muratura esterna si è rilevata solo in una struttura dell'aggregato, sita sul lato opposto alla piazza della prefettura (Via Piscinola). Via degli Alemanni è leggermente in discesa procedendo da Piazza della Prefettura verso la fine dell'aggregato; l'azione sismica ha probabilmente dato luogo ad azioni spingenti (conformazione della copertura senza cordolo in sommità) fino a giungere sull'ultima parete muraria, provocandone il crollo parziale)



*Forti stati di danneggiamento dei maschi murari*

### 3) Crollo delle volte in muratura (con elementi in laterizio disposti di taglio)

Il crollo della volta in muratura è un danno frequente nelle costruzioni oggetto dei rilievi geometrici e strutturali. In generale non si può dire a priori se è il meccanismo principale, tanto è vero che è sempre accompagnato anche da un leggero ribaltamento della facciata su cui la volta scarica il peso proprio e portato



*Crollo della volta a botte con elementi in laterizio di coltello*

#### 4) Lesioni nel piano della volta

In condizioni generali il meccanismo nel piano della volta si evidenzia con lesioni che partono dagli spigoli e procedono verso il centro della volta stessa (nel caso di volta a padiglione, le lesioni si estendono fino agli angoli della zona piana). Anche in questo caso le lesioni possono essere causate da un meccanismo principale come, ad esempio, il ribaltamento della parete esterna.



*Lesioni tipiche nelle volte a padiglione*

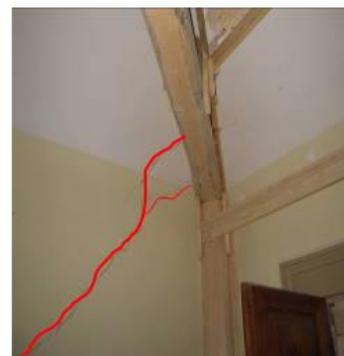
# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## 5) Lesioni a taglio nei maschi murari

Sono le lesioni più diffuse riscontrate ed interessano tutte le murature esterne e di controvento. In genere è possibile evidenziare la realizzazione di lesioni a taglio in corrispondenza di aperture (porte) successivamente chiuse o in presenza di aperture realizzate nella muratura in assenza di opportuni ammorsamenti atti ad evitare che la nuova distribuzione delle sollecitazioni determini il raggiungimento della resistenza offerta dall'elemento strutturale.



*Lesione a taglio nel maschio in prossimità dei vani (aperture di vario genere e tipologia)*



*Lesione a taglio nel maschio con innesco a partire dalla volta*

Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
– Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

**6) Lesioni a taglio per effetto della presenza di strutture contigue**

Le strutture contigue con altezza differente, generano una concentrazione delle sollecitazioni agenti, provocando forti lesioni e danneggiamenti alle strutture ad esse adiacenti, con l'attivazione del meccanismo che può essere di varia natura.



*Ribaltamento del cantonale d'angolo della struttura più alta*

## 7) Lesioni a taglio delle fasce di piano



*Danneggiamento delle fasce di piano al di sotto del vano finestra*



*Danneggiamento delle fasce di piano al di sopra del vano porta*

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## 8) Danneggiamento degli architravi

Sono stati evidenziati danni diffusi ai suddetti elementi costruttivi come:

- Lesioni (per i sistemi archivoltati);
- Deformazioni e espulsione dalla parete (per le piattabande metalliche)



*Particolare presenza piattabanda in legno*



*Danneggiamento dell'architrave a volta*

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## PROGETTO DEGLI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO SISMICO

Tenendo conto del danneggiamento il criterio di intervento (che può essere generalizzato a tutti gli edifici in muratura) è quello di impedire i meccanismi locali «di fuori piano» per ricondurre il comportamento della struttura ad un comportamento di tipo globale «nel piano» incrementando ove occorre la resistenza degli elementi murari ed eventualmente agendo sulla distribuzione delle rigidità degli elementi.

Riassumendo gli interventi di progetto consistono essenzialmente nella realizzazione e verifica di:

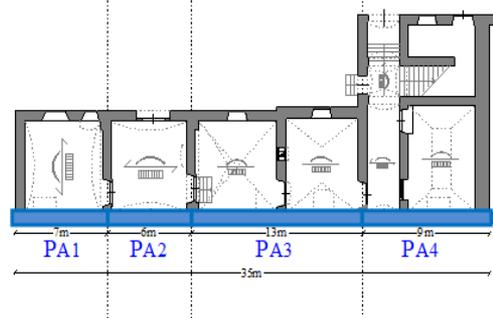
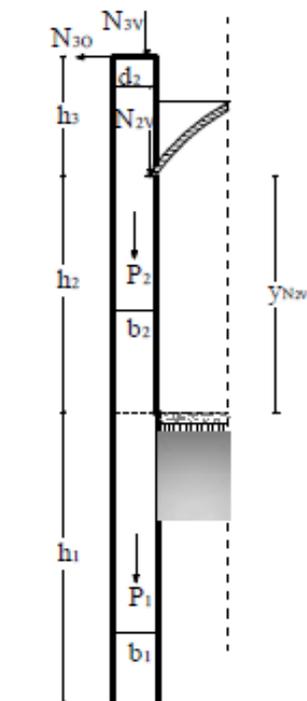
- Inserimento di “tirantature”;
- Sostituzione architravi danneggiati con altri in acciaio;
- Consolidamento volte;
- Risarcitura lesioni;
- Iniezioni con malta;
- Interventi “scuci e cucì”;
- Chiusura vani;
- Demolizioni parziali e ricostruzione degli elementi strutturali fortemente danneggiati;
- Rinforzi capriate
- Intonaco armato.

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## Inserimento di “tirantature”

Le verifiche con riferimento ai meccanismi locali di danno e collasso (nel piano e fuori piano) possono essere svolti tramite l'analisi limite dell'equilibrio, secondo l'approccio cinematico, che si basa sulla scelta del meccanismo di collasso e la valutazione dell'azione orizzontale che attiva tale cinematisimo.

Porzione PA2

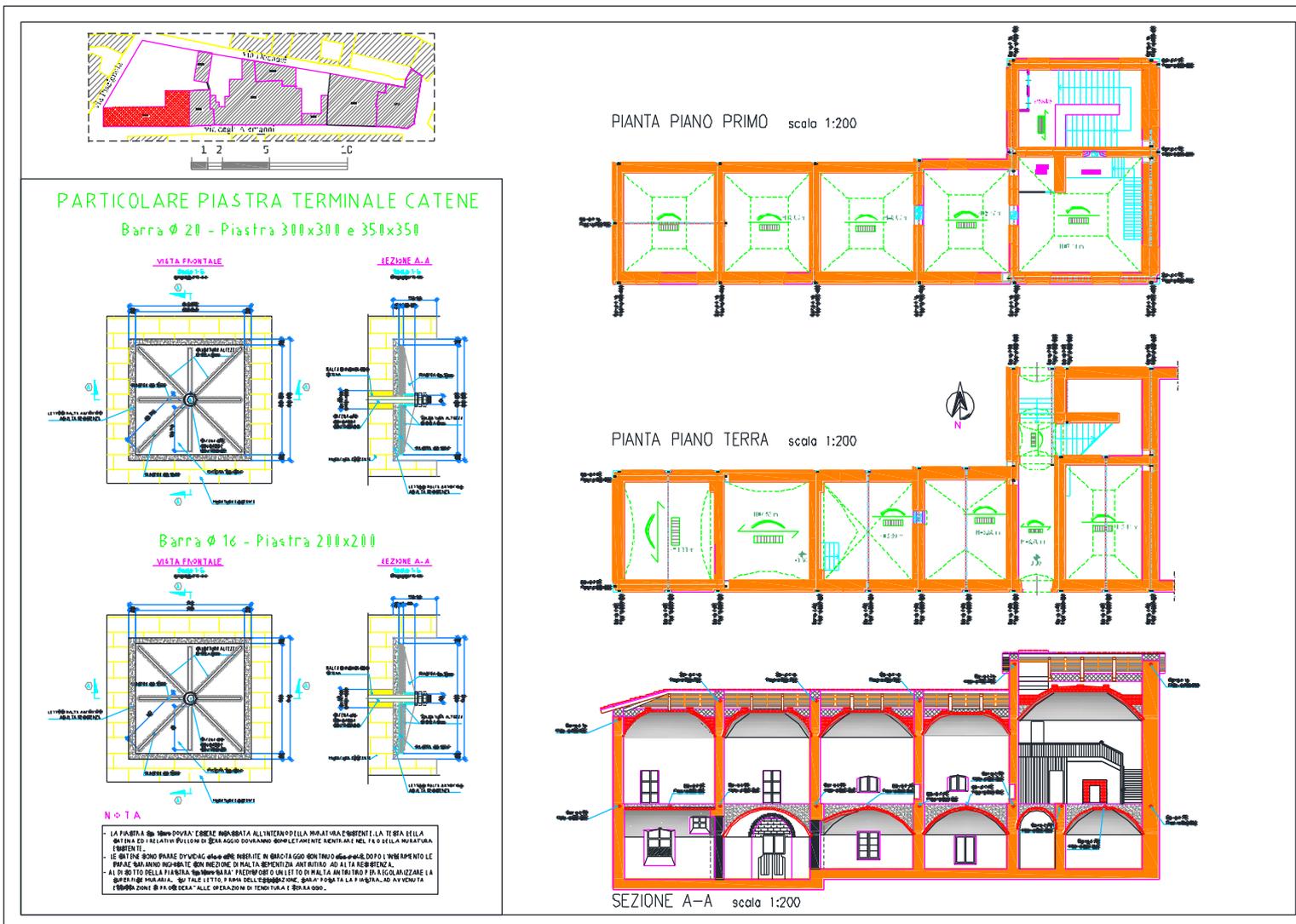


ANALISI CINEMATICA LINEARE				ANALISI CINEMATICA NON LINEARE							
t	$M_S$	$M_D$	$\alpha$	$\theta_{k0}$	$h_{bar}$	$d_k$	$M^*$	$e^*$	$a_0^*$	$d^*$	$d_u^*$
[m]	[kNm]	[kNm]	-	[°]	[m]	[m]	[kN]	[%]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m]	[m]
0,16	202,9	5053,2	0,040	3,16	5,42	0,30	74,98	79%	0,37	0,382	0,15

Verifica semplificata con fattore di struttura q (elemento isolato o porzione appoggiata a terra)					
$a_g$ (PVR)	S	q	$a_0^*$	$a_g S/q$	Non Verificato del 79%
[m/s <sup>2</sup> ]	-	-	[m/s <sup>2</sup> ]	[m/s <sup>2</sup> ]	
2,46	1,40	2	0,37	1,72	
Verifica mediante spettro di capacità (elemento isolato o porzione appoggiata a terra)					
$T_s$	$S_g(T_s)$	$(T_s/2\pi)^2$	$d_u^*$	$S_{De}(T_s)$	Non Verificato del 38%
[s]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m]	
2,79	1,25	0,197	0,15	0,25	

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

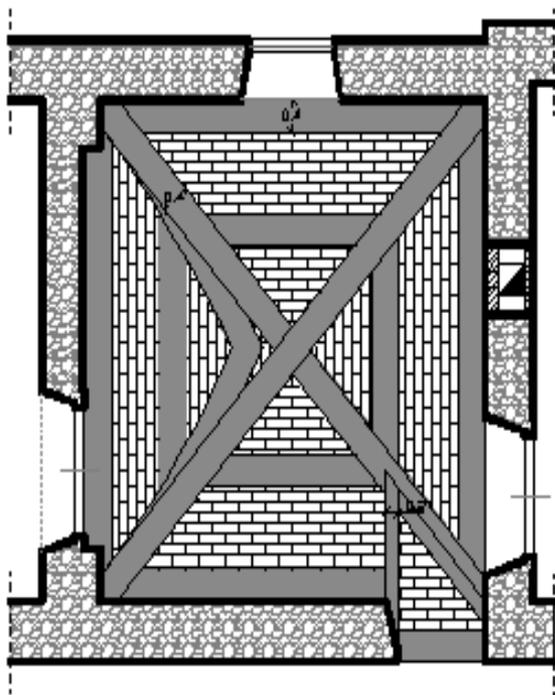
## Disposizione “tirantature”



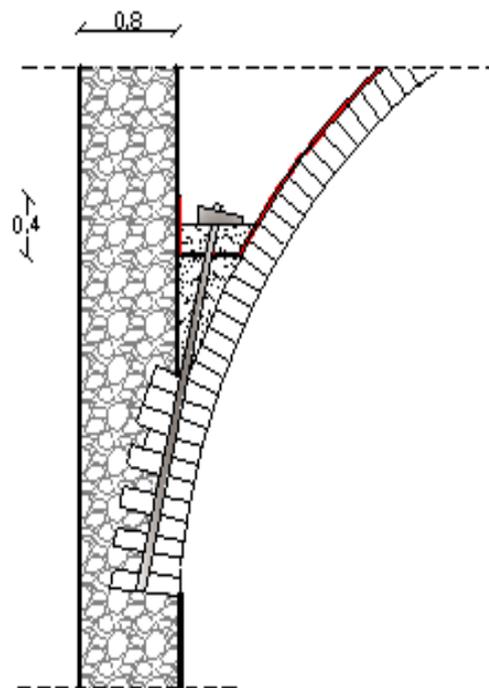
# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## Consolidamento volte

Il rinforzo mediante applicazione di tessuti in FRP all'intradosso e/o all'estradosso delle strutture voltate incide sulla modalità di collasso modificando il meccanismo di formazione delle cerniere. Le tensioni di trazione, venutesi a creare a seguito della parzializzazione della sezione, vengono assorbite dal rinforzo in FRP, analogamente a quanto avviene nelle sezioni in c.a.



*Disposizione rinforzo*

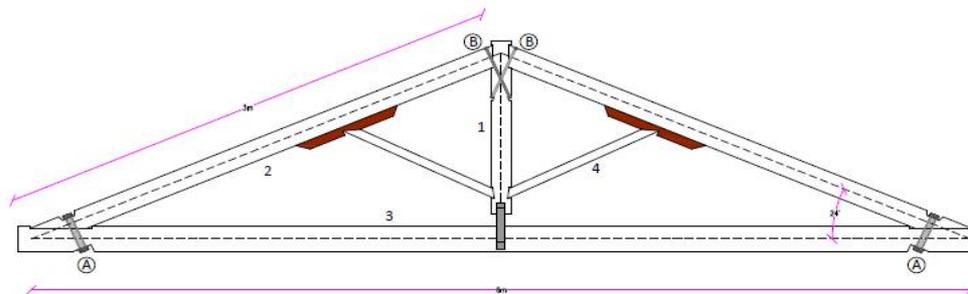


*Particolare risolto rinforzo*

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## Consolidamento capriate

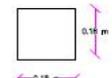
Ripristino dei collegamenti e sostituzione degli elementi ammalorati



SEZIONE ELEMENTO 1



SEZIONE ELEMENTO 2



SEZIONE ELEMENTO 3



SEZIONE ELEMENTO 4



 RINFORZO ELEMENTO LIGNEO DI COLLEGAMENTO TRA I PUNTONI E LE SAETTE MEDIANTE L'UTILIZZO DI MATERIALE CON LE MEDESIME CARATTERISTICHE MECCANICHE

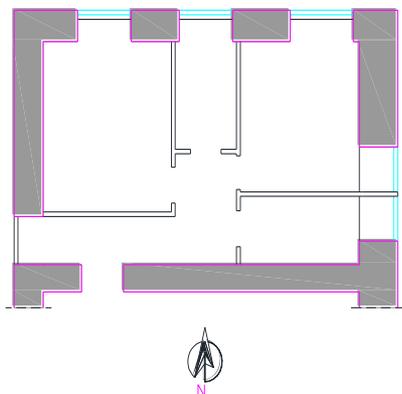
**(A)** SINGOLO BULLONE DIAM. 40 mm CLASSE 8.8 (ortogonale al puntone)

 SOSTITUZIONE ELEMENTO LIGNEO DI COLLEGAMENTO TRA IL MONACO E LA CATENA MEDIANTE L'UTILIZZO DI MATERIALE CON LE MEDESIME CARATTERISTICHE MECCANICHE

**(B)** SINGOLO BULLONE DIAM. 12 mm CLASSE 8.8 (ortogonale al puntone)

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

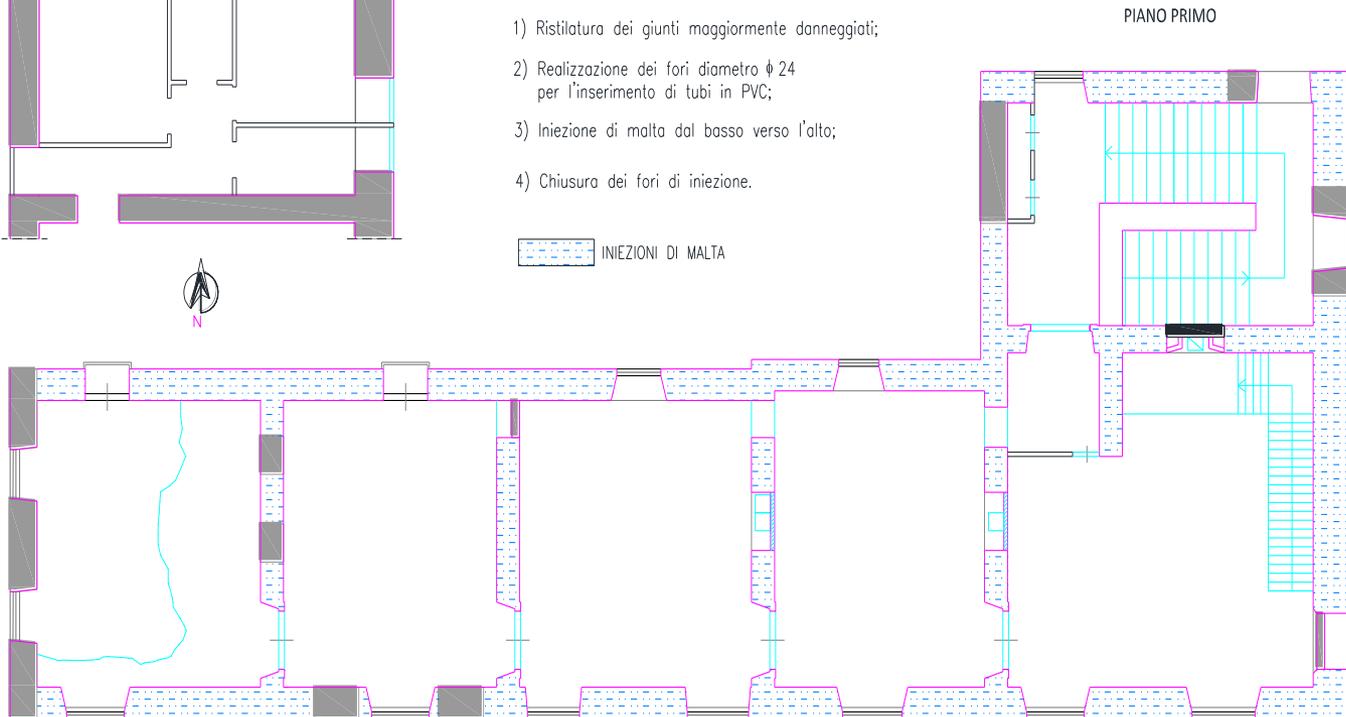
## Iniezioni di malta su tutte le murature a tutti gli impalcati



### FASI ESECUTIVE

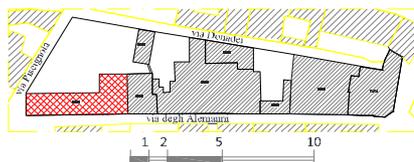
- 1) Ristilatura dei giunti maggiormente danneggiati;
- 2) Realizzazione dei fori diametro  $\phi 24$  per l'inserimento di tubi in PVC;
- 3) Iniezione di malta dal basso verso l'alto;
- 4) Chiusura dei fori di iniezione.

 INIEZIONI DI MALTA



# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

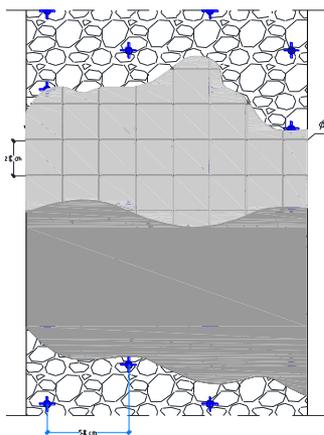
## Intonaco armato sulle murature di controvento



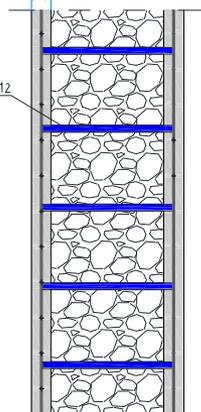
### PARTICOLARE INTONACO ARMATO

Barra  $\phi$  8 - Maglia 20 x 20 cm Cls 5-6 cm

VISTA FRONTALE



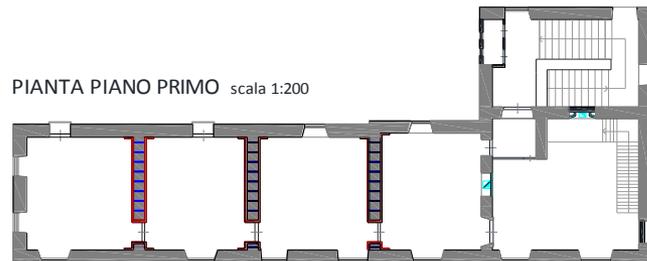
SEZIONE



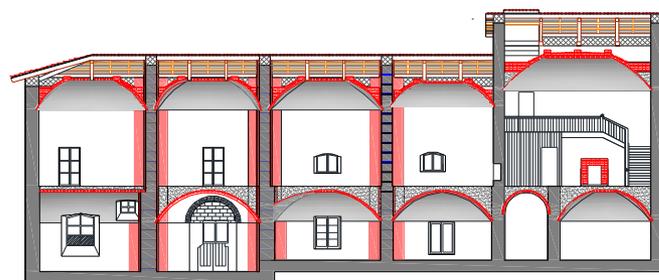
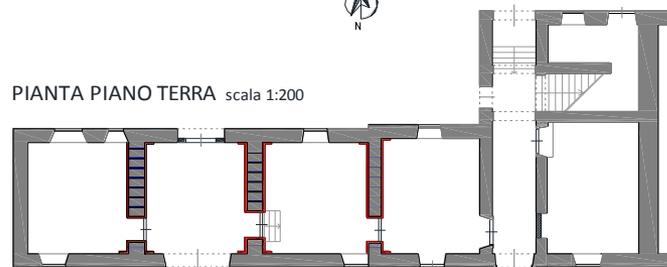
#### DESCRIZIONE:

APPLICAZIONE DI RETE ELETTROSALDATA  $\phi$ 8 DI MAGLIA 20x20 CON GETTO DI CLS DI SPESORE MINIMO 5 CM SU ENTRAMBI I LATI COLLEGATA CON BARRE PASSANTI (CIRCA 6/MQ). OCCORRE CURARE LE SOVRAPPOSIZIONI (ALMENO DUE MAGLIE) E RISVOLTI NELLE ZONE D'ANGOLO

PIANTA PIANO PRIMO scala 1:200



PIANTA PIANO TERRA scala 1:200

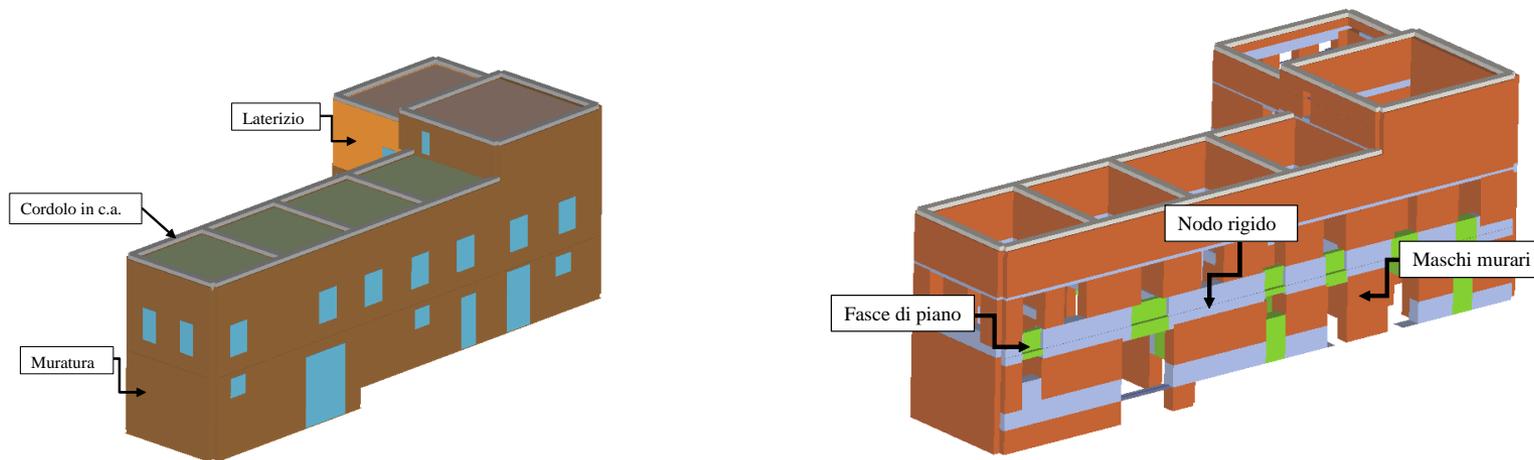


SEZIONE A-A scala 1:100

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## Modellazione ed analisi strutturali mediante analisi statica non lineare (push over)

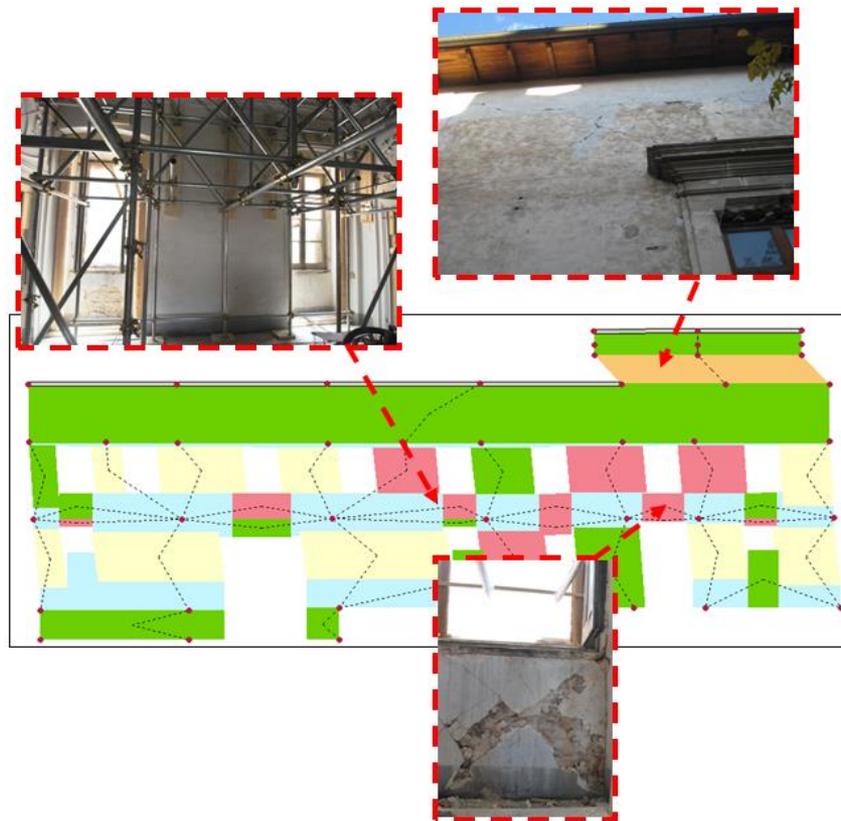
L'analisi, eseguita in controllo di spostamento, procede al calcolo della distribuzione di forze che genera il valore dello spostamento richiesto. L'analisi viene fatta continuare fino a che non si verifica il decadimento del taglio del 20% dal suo valore di picco. Si calcola così il valore dello spostamento massimo alla base dell'edificio generato da quella distribuzione di forze. Questo valore di spostamento costituisce il valore ultimo dell'edificio. Lo spostamento preso in esame per il tracciamento della curva di capacità è quello di un punto dell'edificio detto nodo di controllo.



# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## Risultati analisi struttura senza interventi

N.	Dir. sisma	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
		$D_{0max}$ [cm]	$D_u$ [cm]	$q^*$ SLU	Ver.	$D_{0max}$ [cm]	$D_u$ [cm]	Ver.	$D_{0max}$ [cm]	$D_u$ [cm]	Ver.		
1	+X	3,54	1,29	4,32	No	1,20	0,99	No	0,90	0,99	Si	0,41	0,84
2	+X	4,00	1,90	4,64	No	1,40	1,62	Si	1,07	1,47	Si	0,50	1,15
3	-X	3,41	1,33	4,35	No	1,14	1,15	Si	0,85	1,15	Si	0,43	1,01
4	-X	3,91	1,66	4,74	No	1,36	0,99	No	1,03	0,99	No	0,45	0,75
5	+Y	3,11	1,06	4,64	No	1,10	1,06	No	0,85	1,06	Si	0,37	0,96
6	+Y	3,58	1,11	5,11	No	1,28	1,11	No	0,97	1,11	Si	0,32	0,87
7	-Y	3,05	0,67	5,07	No	1,07	0,67	No	0,82	0,67	No	0,25	0,64
8	-Y	3,52	0,68	6,43	No	1,25	0,68	No	0,95	0,68	No	0,21	0,54
9	+X	3,69	1,60	4,40	No	1,26	1,09	No	0,95	1,09	Si	0,47	0,88
10	+X	3,43	1,17	4,33	No	1,15	0,90	No	0,86	0,90	Si	0,39	0,81
11	+X	4,14	1,58	4,88	No	1,46	1,58	Si	1,12	1,27	Si	0,41	1,08
12	+X	3,94	1,87	4,62	No	1,37	1,35	No	1,05	1,35	Si	0,50	0,98
13	-X	3,54	1,46	4,43	No	1,20	1,30	Si	0,90	1,13	Si	0,45	1,08
14	-X	3,35	1,15	4,28	No	1,11	1,03	No	0,83	1,03	Si	0,40	0,93
15	-X	3,96	1,47	5,05	No	1,38	0,92	No	1,05	0,92	No	0,40	0,68
16	-X	3,87	1,80	4,61	No	1,34	1,20	No	1,02	1,20	Si	0,49	0,90
17	+Y	3,25	1,71	4,44	No	1,16	1,46	Si	0,90	1,46	Si	0,55	1,25
18	+Y	2,93	0,81	5,26	No	1,02	0,81	No	0,77	0,81	Si	0,31	0,81
19	+Y	3,65	1,23	5,03	No	1,30	1,23	No	0,99	1,23	Si	0,35	0,95
20	+Y	3,45	0,83	5,62	No	1,23	0,83	No	0,94	0,83	No	0,26	0,68
21	-Y	3,19	0,94	4,57	No	1,14	0,94	No	0,88	0,94	Si	0,32	0,83
22	-Y	2,94	0,53	5,58	No	1,02	0,53	No	0,78	0,53	No	0,22	0,54
23	-Y	3,67	0,85	5,77	No	1,30	0,85	No	0,99	0,85	No	0,24	0,66
24	-Y	3,41	0,54	7,16	No	1,21	0,54	No	0,92	0,54	No	0,17	0,44



**Il danneggiamento rilevato in sito è congruente a quanto evidenziato nel modello strutturale (alfa u 0.17)**

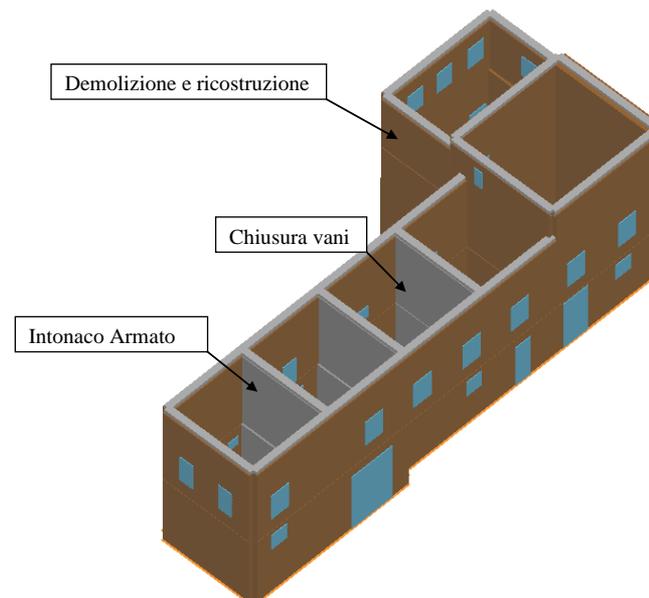
# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## Risultati analisi struttura con interventi

Al modello esaminato precedentemente verranno applicati gli interventi precedentemente descritti e qui di seguito riportati:

- Inserimento “tirantature”;
- Risarcitura lesioni;
- Iniezioni con malta;
- Interventi “scuci e cucì”;
- Chiusura vani;
- Demolizioni parziali e ricostruzione degli elementi strutturali fortemente danneggiati;
- Intonaco armato.

N.	Dir. sisma	SLV				SLD			SLO			Alfa u	Alfa e
		D <sub>max</sub> [cm]	D <sub>u</sub> [cm]	q* SLU	Ver.	D <sub>max</sub> [cm]	D <sub>d</sub> [cm]	Ver.	D <sub>max</sub> [cm]	D <sub>o</sub> [cm]	Ver.		
1	+X	1,56	0,91	3,01	No	0,37	0,50	Si	0,23	0,50	Si	0,67	1,19
2	+X	1,86	1,72	3,29	No	0,49	0,81	Si	0,31	0,81	Si	0,91	1,41
3	-X	1,53	0,90	3,04	No	0,36	0,64	Si	0,22	0,64	Si	0,68	1,41
4	-X	1,74	1,53	3,30	No	0,45	0,81	Si	0,28	0,81	Si	0,90	1,48
5	+Y	1,37	1,85	2,35	Si	0,27	0,90	Si	0,21	0,90	Si	1,26	1,97
6	+Y	1,59	2,34	2,44	Si	0,34	1,63	Si	0,27	1,63	Si	1,23	2,74
7	-Y	1,33	1,31	2,24	No	0,27	0,62	Si	0,21	0,62	Si	0,99	1,59
8	-Y	1,58	1,82	2,42	Si	0,34	0,89	Si	0,26	0,89	Si	1,11	1,76
9	+X	1,68	1,22	3,09	No	0,42	0,57	Si	0,26	0,57	Si	0,78	1,21
10	+X	1,50	1,11	3,04	No	0,35	0,58	Si	0,21	0,58	Si	0,80	1,34
11	+X	1,88	1,22	3,44	No	0,50	0,89	Si	0,33	0,89	Si	0,71	1,48
12	+X	1,83	1,62	3,21	No	0,47	0,73	Si	0,30	0,73	Si	0,91	1,33
13	-X	1,63	1,00	3,05	No	0,40	0,58	Si	0,25	0,58	Si	0,69	1,25
14	-X	1,45	0,84	3,03	No	0,34	0,58	Si	0,20	0,58	Si	0,67	1,37
15	-X	1,84	1,06	3,42	No	0,49	0,74	Si	0,31	0,74	Si	0,65	1,33
16	-X	1,76	1,41	3,25	No	0,45	0,86	Si	0,28	0,86	Si	0,84	1,54
17	+Y	1,47	1,79	2,53	Si	0,31	1,00	Si	0,23	1,00	Si	1,16	2,01
18	+Y	1,21	0,62	2,13	No	0,24	0,62	Si	0,19	0,62	Si	0,67	1,68
19	+Y	1,69	2,37	2,62	Si	0,39	1,70	Si	0,28	1,70	Si	1,14	2,70
20	+Y	1,54	2,39	2,41	Si	0,32	0,83	Si	0,25	0,83	Si	1,25	1,71
21	-Y	1,46	1,43	2,47	No	0,30	1,04	Si	0,23	1,04	Si	0,98	2,08
22	-Y	1,23	1,21	2,27	No	0,24	0,87	Si	0,19	0,87	Si	0,99	2,03
23	-Y	1,69	2,21	2,69	Si	0,40	1,66	Si	0,28	1,66	Si	1,12	2,66
24	-Y	1,53	0,91	2,57	No	0,33	0,49	Si	0,24	0,49	Si	0,70	1,23

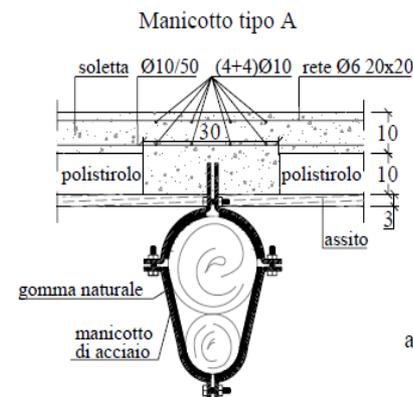
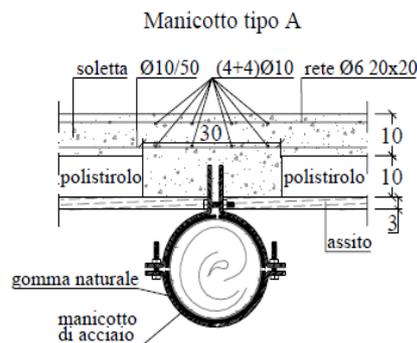
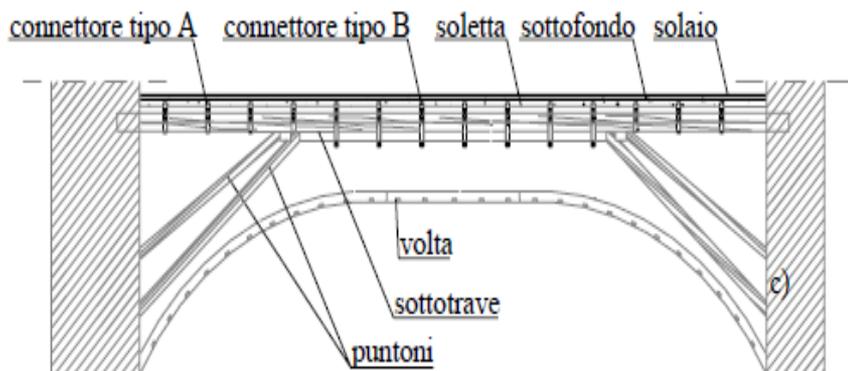


**CON GLI INTERVENTI DI PROGETTO  
VIENE RAGGIUNTO IL VALORE MINIMO DI ALFA U = 0.65**

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi -

## SULL'INTERVENTO DI IRRIGIDIMENTO DEGLI IMPALCATI IN LEGNO – IL CASO DI PALAZZO REALE, NAPOLI – UN ESEMPIO DI REVERSIBILITA' DEGLI INTERVENTI –

La tipologia d'intervento mediante la realizzazione di una struttura composta è stata usata con successo, in molte situazioni, a partire dagli anni 1980. Infatti questo intervento è caratterizzato da un breve tempo di realizzazione e non richiede la rimozione dell'intero solaio esistente ma solo della pavimentazione, permettendo di salvaguardare l'integrità delle decorazioni eventualmente presenti all'intradosso del solaio. Attualmente vengono utilizzate molteplici tipologie per la connessione a taglio alcuni sono: spinotti solidarizzati al legno con resina, semplici chiodi, pioli tubolari, indentellamento della soletta di calcestruzzo in sedi praticate nelle travi di legno. Le travi dei solai in legno antico presentano spesso uno stato fessurativo diffuso e di degrado biologico avanzato, pertanto, per evitare la realizzazione dei fori necessari alla messa in opera dei sistemi di connessione tradizionali è stato concepito un sistema di connessione innovativo, **reversibile**, in cui il connettore che deve essere annegato nella soletta in calcestruzzo non viene alloggiato direttamente nella trave in legno, ma è saldato su di un manicotto in acciaio, che avvolge la trave. Esso è costituito da due o più parti tra loro bullonate, inoltre, tra la trave ed il manicotto è interposto uno strato di gomma la cui funzione è quella di realizzare un efficace contatto tra il sistema di connessione e la trave, poiché avendo a che fare con travi di legno antico la loro superficie sicuramente non risultava molto regolare.



a)

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali – Palazzi, ville ed altre strutture con pareti di spina ed orizzontamenti intermedi –

## SULL'INTERVENTO DI IRRIGIDIMENTO DEGLI IMPALCATI – IL CASO DI PALAZZO REALE, NAPOLI – UN ESEMPIO DI REVERSIBILITA' DEGLI INTERVENTI –

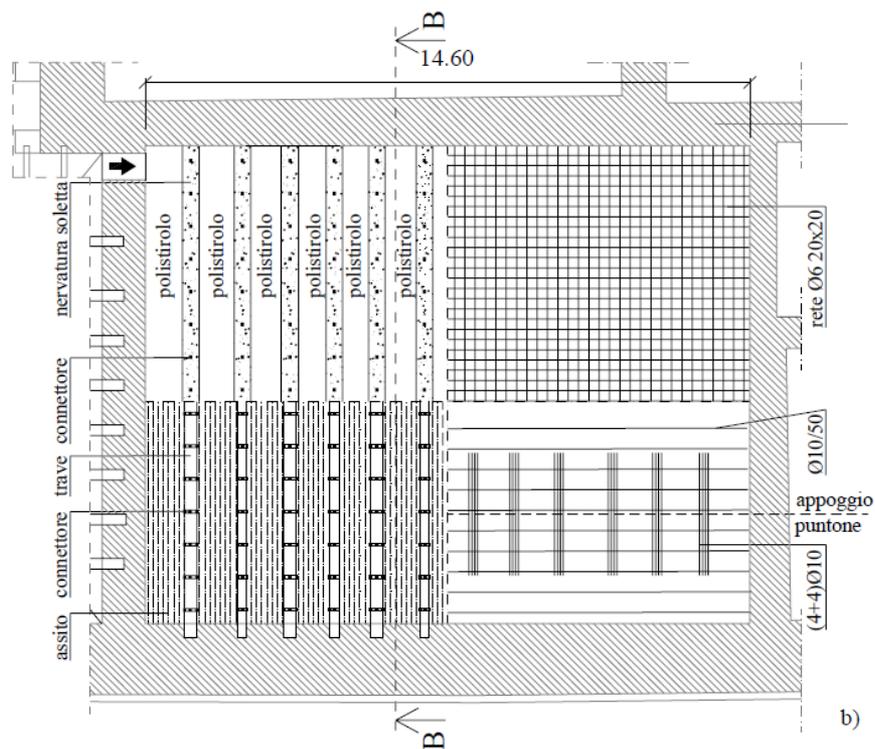


Fig. 4.3.24. Sistema di connessione legno-calcestruzzo: a) Sezioni trasversali; b) Carpenteria solaio; c) Sezione B-B.

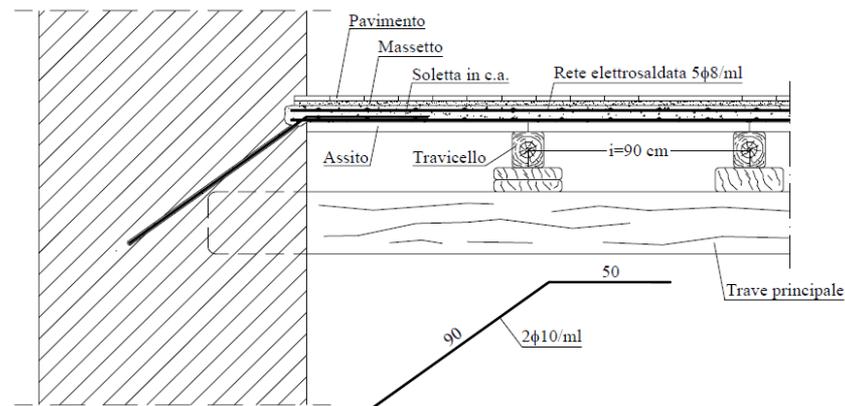


Fig. 4.3.18. Particolare intervento sul solaio.

Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
*Vulnerabilità sismica delle chiese*



- Le chiese hanno sempre presentato un'elevata vulnerabilità nei riguardi delle azioni sismiche come testimoniano i pesanti danni che si sono verificati a seguito di eventi storici

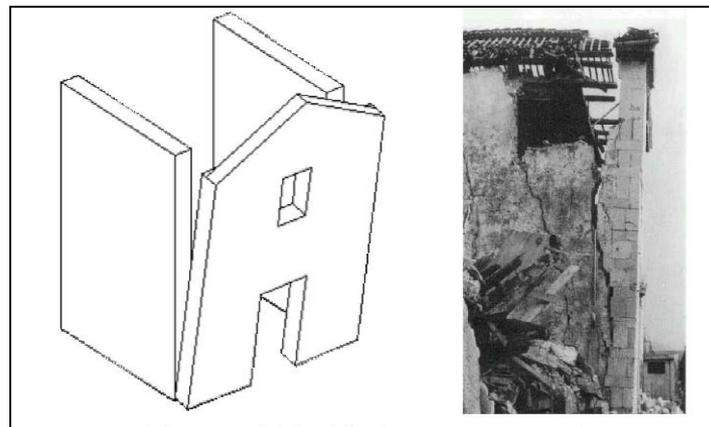
Vulnerabilità

*intrinseca: fragilità del materiale e complessità strutturale*

*aggiunta: degrado materiali, aggravato da scarsa manutenzione ed inefficaci interventi di consolidamento*

*Primo modo*

*Primo modo* :  
meccanismi fuori piano



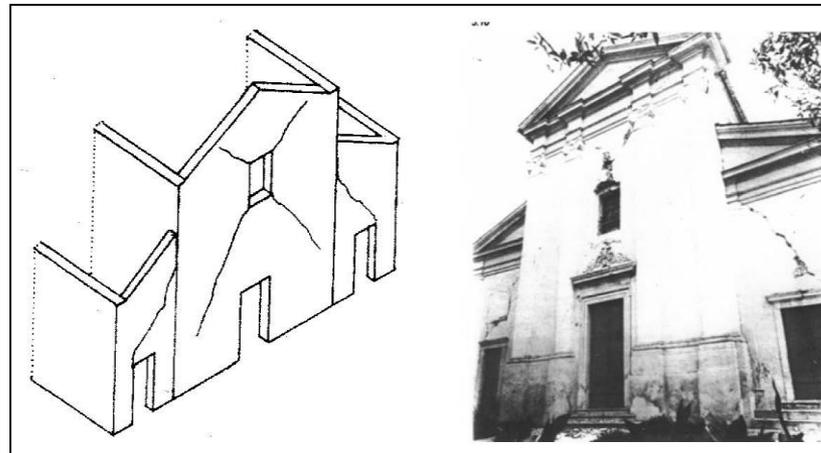
Ribaltamento facciata  
Chiesa di San Pietro a Coppito



Ribaltamento abside  
Chiesa di San Biagio di Amiterno

*Secondo modo*

*Secondo modo :*  
meccanismi nel piano



Meccanismo di piano  
Chiesa di San Marco



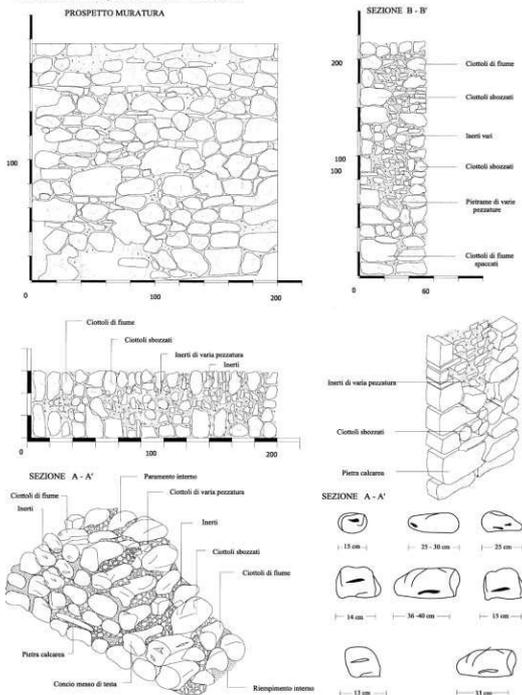
Meccanismo di piano Arco Trionfale  
Chiesa di San Flaviano

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## QUALITA' MURARIA

### Tipologia muraria ad "apparecchio Aquilano"

Muratura a sacco di spessore 60 cm. La parte corticale è costituita da ciottoli di fiume con qualche ricorso di pietra calcarea. Il nucleo interno costituito da terra, ciottoli di fiume e materiale di scarto.



Muratura a sacco



San Flaviano

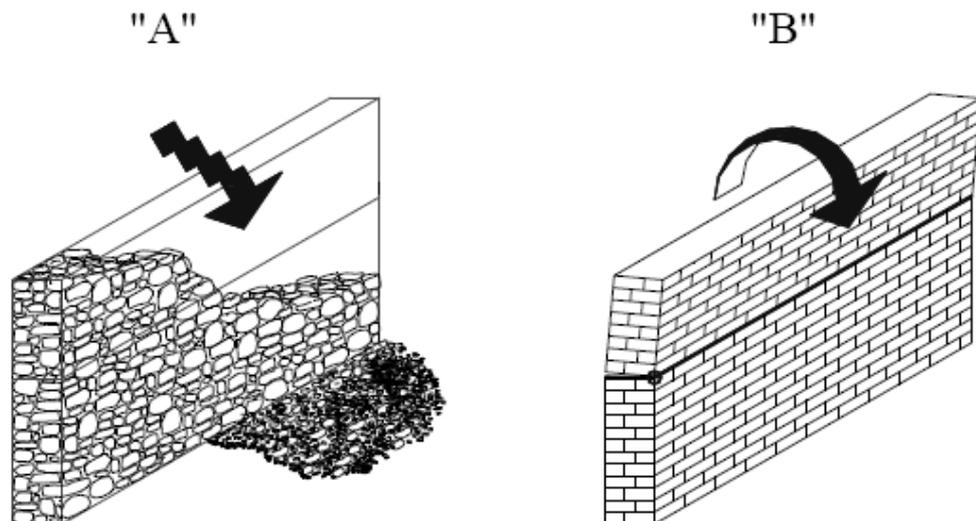


S. Maria di Paganica



# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## QUALITA' MURARIA



Risposta negativa ad azioni sismiche per mancanza di filari orizzontali che consentono la formazione di cerniere cilindriche

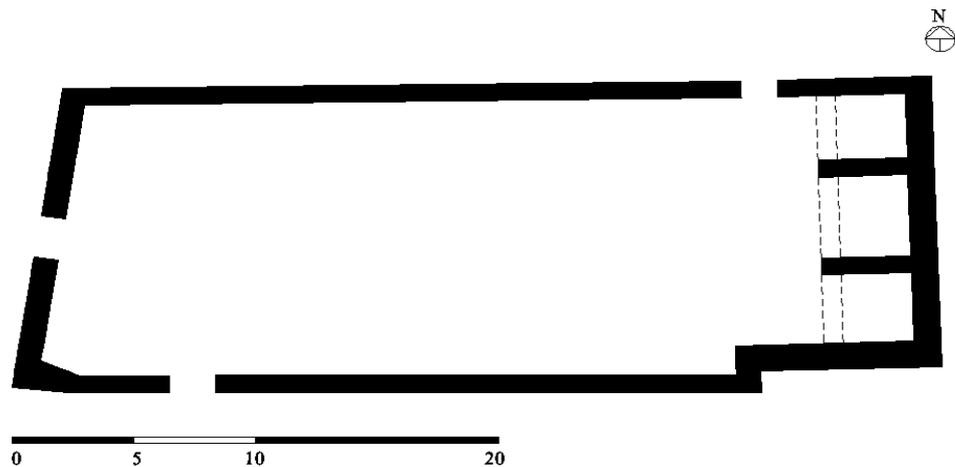
Consequente rottura per disgregazione

L'indice IQM attribuito a tale muratura è **C** ovvero SCADENTE, sia per carichi verticali che per azioni nel piano e fuori piano

### IQM Indice di Qualità Muraria (Borri)

SCHEDE DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' MURARIA								AQUILA 01																																																																					
								FOTO																																																																					
								SCHEMI																																																																					
Assonometria				Prospetto		Sezione		DESCRIZIONE																																																																					
<p>Muratura di ciottoli legati con malta di calce e sabbia misti a pietrame e scaglie di pietra. Il paramento esterno è costituito da grossi ciottoli posti con la dimensione maggiore secondo la profondità. I ciottoli sono sistemati a filari orizzontali di differenti altezze, con i letti regolarizzati da frammenti di pietrame e malta grossa o da scaglie di pietra poste orizzontalmente. Il paramento interno si differenzia da quello esterno solo per una minore cura nella scelta degli elementi e nella regolarità dei filari. Per elevati spessori dei muri si possono formare superfici di distacco lungo piani verticali interni al setto per la presenza di un nucleo irregolare formato da piccoli ciottoli e materiale minuto.</p> <p>Ciottoli di fiume. Malta di calce e sabbia spesso polverulenta ed erosa per i primi 5-10 cm del paramento esterno. Per muri di elevato spessore (foto a destra, chiesa di Santa Maria Paganica – AQ) vi è riempimento incoerente.</p>																																																																													
MATER.				<p>Dimensioni e forme ricorrenti dei blocchi:</p> <p><math>s = 15 \div 25</math> cm <math>h = 8 \div 15</math> cm <math>l = 15 \div 30</math> cm</p>																																																																									
GEOMETRIA				<table border="1"> <thead> <tr> <th>P.D.</th> <th>MA.</th> <th>F. EL.</th> <th>S. G.</th> <th>R. EL.</th> <th>OR.</th> <th>D. EL.</th> <th>Categoria</th> <th>Verticali</th> <th>Fuori piano</th> <th>Nel piano</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NR</td> <td>NR</td> <td>NR</td> <td>NR</td> <td>R</td> <td>PR</td> <td>PR</td> <td>Metodo punteggi</td> <td><b>C</b></td> <td><b>C</b></td> <td><b>C</b></td> </tr> <tr> <td colspan="8">LMT (sezione)</td> <td></td> <td>145</td> <td>117</td> </tr> <tr> <td colspan="8">N.B. Ingranamento assente pur con LMT di circa 150 in quanto le pietre sono arrotondate.</td> <td>IQM</td> <td>1,5</td> <td>1,5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td colspan="8">Parametri meccanici: valori MIN-MAX</td> <td><math>f_m</math> (N/cmq)</td> <td>E (N/mmq)</td> <td><math>\tau_o</math> (N/cmq)</td> </tr> <tr> <td colspan="8"></td> <td>131-227</td> <td>712-1049</td> <td>2,3-3,7</td> </tr> </tbody> </table>							P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano	NR	NR	NR	NR	R	PR	PR	Metodo punteggi	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	LMT (sezione)									145	117	N.B. Ingranamento assente pur con LMT di circa 150 in quanto le pietre sono arrotondate.								IQM	1,5	1,5	1	Parametri meccanici: valori MIN-MAX								$f_m$ (N/cmq)	E (N/mmq)	$\tau_o$ (N/cmq)									131-227	712-1049	2,3-3,7
P.D.	MA.	F. EL.	S. G.	R. EL.	OR.	D. EL.	Categoria	Verticali	Fuori piano	Nel piano																																																																			
NR	NR	NR	NR	R	PR	PR	Metodo punteggi	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>C</b>																																																																			
LMT (sezione)									145	117																																																																			
N.B. Ingranamento assente pur con LMT di circa 150 in quanto le pietre sono arrotondate.								IQM	1,5	1,5	1																																																																		
Parametri meccanici: valori MIN-MAX								$f_m$ (N/cmq)	E (N/mmq)	$\tau_o$ (N/cmq)																																																																			
								131-227	712-1049	2,3-3,7																																																																			
ANALISI				IQM																																																																									

Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
*Caso di studio San Flaviano*



**EPOCA DI COSTRUZIONE:**

XIII secolo

**TIPOLOGIA :**

Pianta Basilicale rettangolare ad aula  
unica con abside a tre navate

**DIMENSIONI GLOBALI:**

L = 38 m

B = 15 m

H = 12.15 – 20.80 m

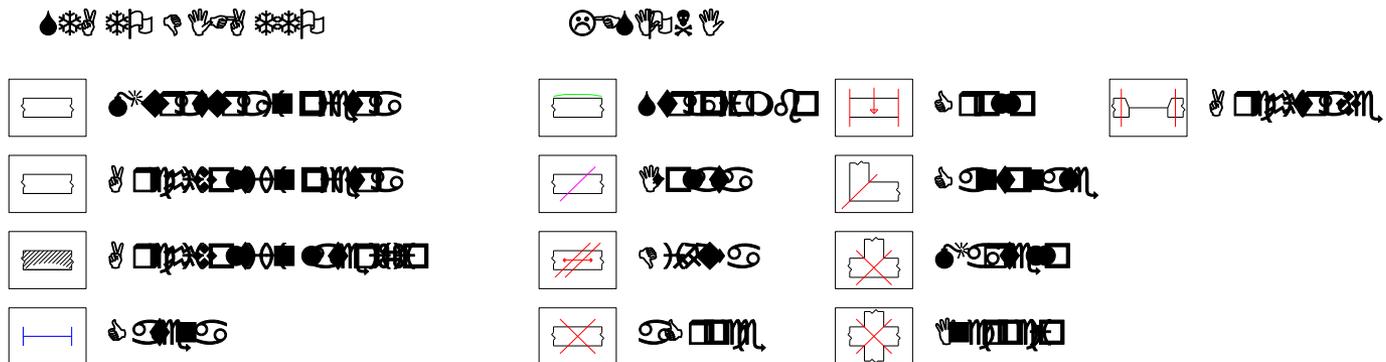
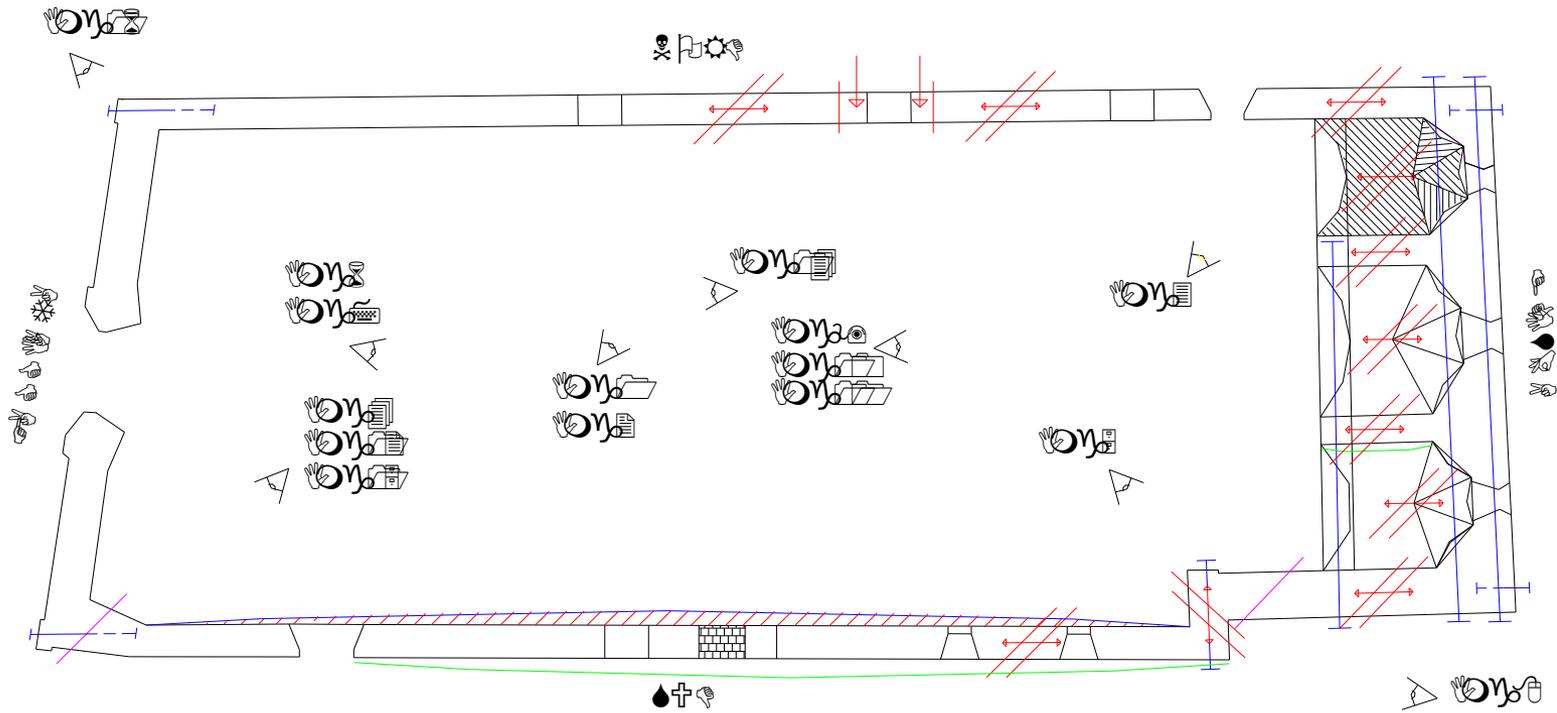
**COPERTURE :**

Capriate in acciaio di recente  
introduzione



# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

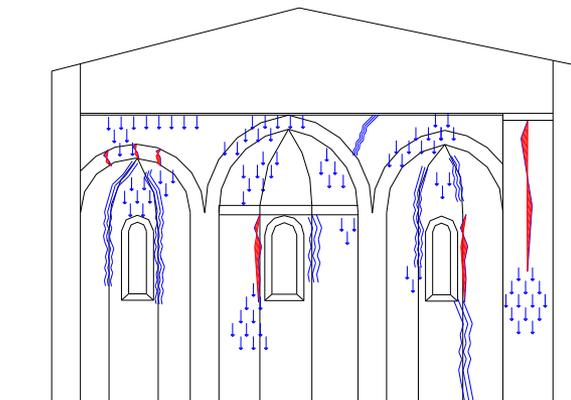
## Caso di studio San Flaviano: Mappatura dei danni



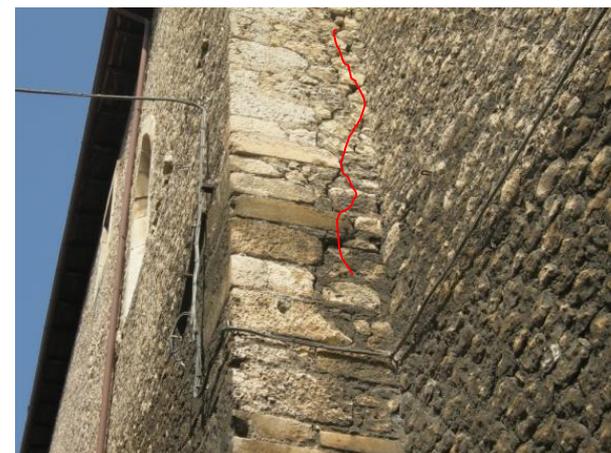
# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Caso di studio San Flaviano

### Mappatura dei danni Abside



-   Crack
-   Crack
-   Crack
-   Crack
-   Crack
-   Crack

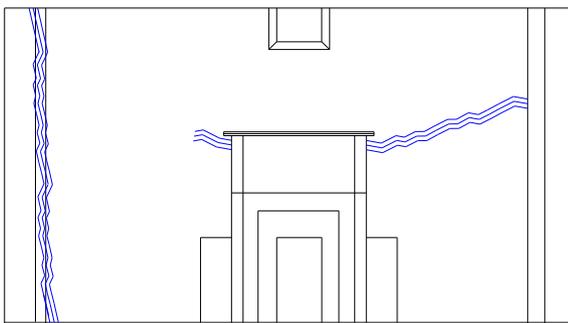


# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Caso di studio San Flaviano



### Mappatura dei danni Facciata



Legend for damage mapping symbols:

- Cracks (various patterns)
- Delamination (horizontal lines)
- Spalling (irregular shapes)
- Reinforcement (cross-hatching)
- Structural elements (arrows and boxes)

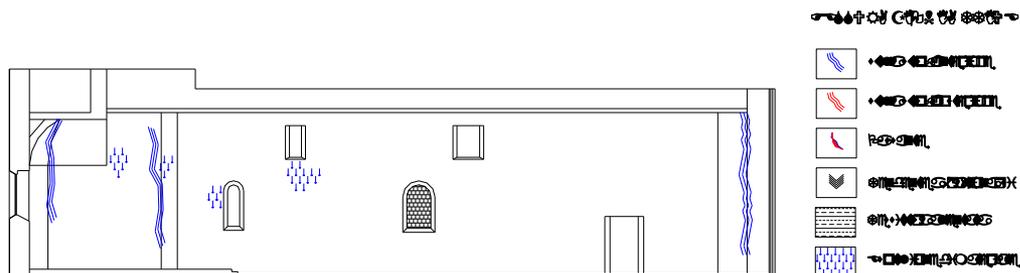


# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Caso di studio San Flaviano



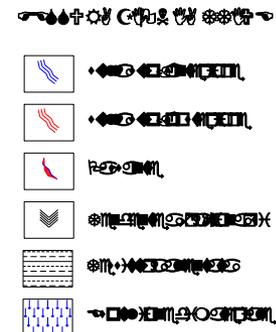
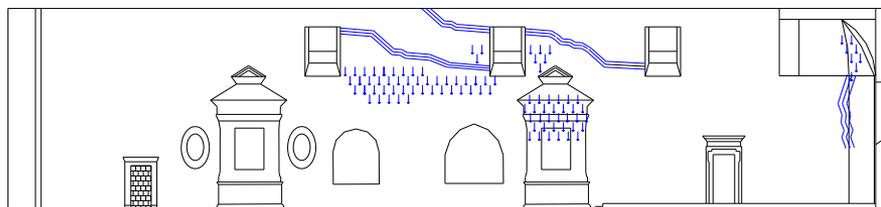
### Mappatura dei parete sud



# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Caso di studio San Flaviano

### Mappatura dei danni parete nord



**L'analisi di vulnerabilità sismica di una chiesa può valutarsi:**

**Sulla Singola Chiesa:**

**ANALISI per MACROELEMENTI**

- **LL. GG. punto 5.3.2 LV2: meccanismi locali di collasso**

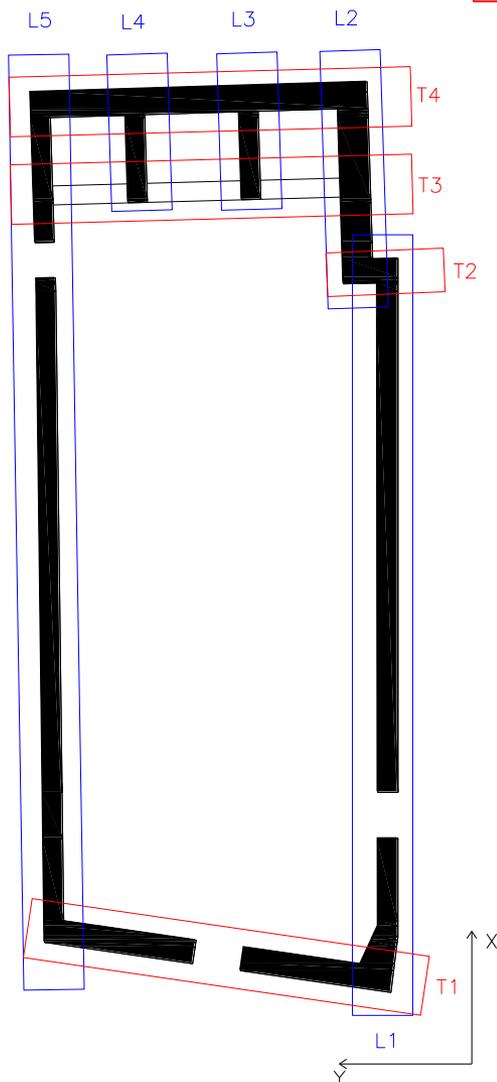
**Analisi cinematica lineare o non dei singoli macroelementi**

- **Mele & De Luca '99 : procedura "a due passi"**
  - 1. Analisi tridimensionale elastica , statica e dinamica, dell'intero complesso**
  - 2. Analisi limite dei singoli macroelementi**

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Analisi strutturale San Flaviano

### INDIVIDUAZIONE MACROELEMENTI



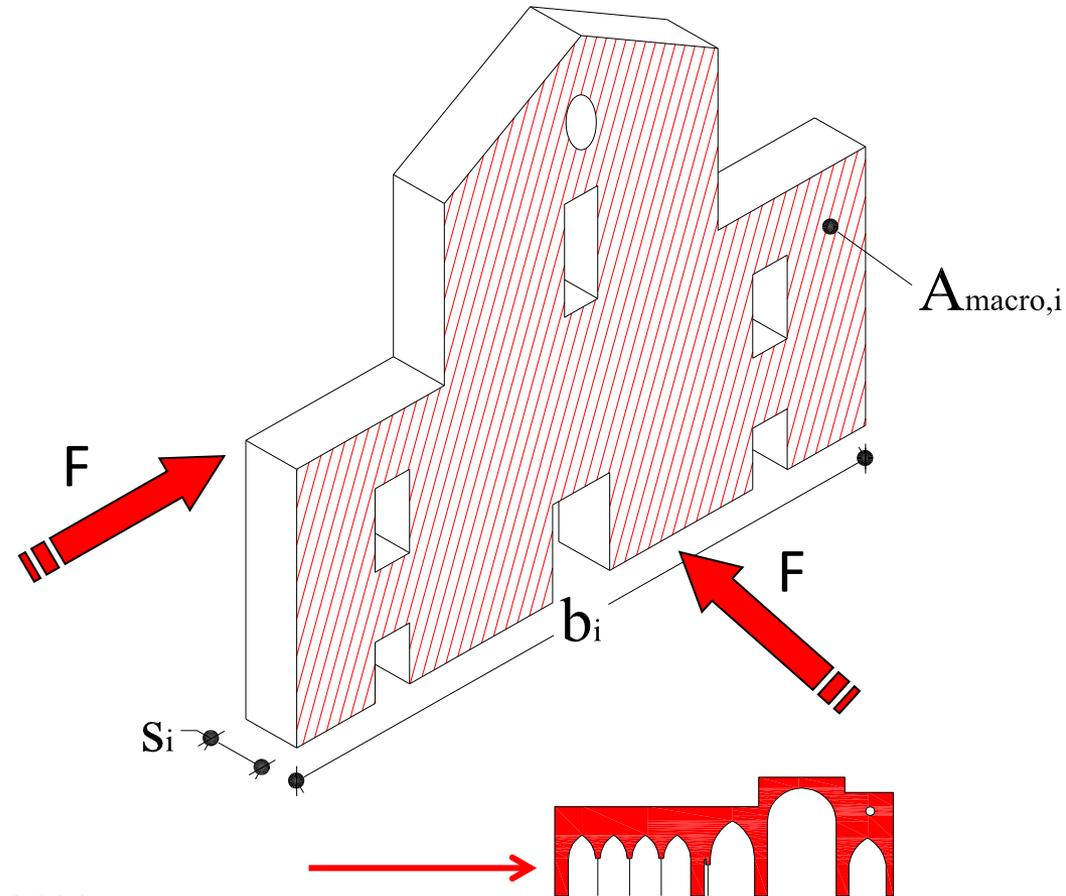
<b>FACCIATA</b>	<b>T1</b>			
<b>ARCO TRIONFALE</b>	<b>T3</b>			
<b>ABSIDE</b>	<b>T4</b>		<b>L3</b>	
<b>PROSPETTO LONGITUDINALE ESTERNO</b>	<b>L1</b>		<b>L2</b>	
<b>PROSPETTO TRASVERSALE ESTERNO</b>	<b>T2</b>			

## Ripartizione semplificata dell'azione sismica

$$\frac{F_i}{\gamma_I \cdot F} = \frac{A_{\text{macro},i} \cdot d_i}{\sum_i A_{\text{macro},i} \cdot d_i}$$

dove:

- $d_i = 2 \cdot s_i$  per i macroelementi  $\perp$  a  $F$
- $d_i = \delta_i \cdot b_i$  per i macroelementi  $//$  a  $F$
- $\delta_i = 1 - 2 \cdot f_i \geq 0.5$  per arcate longitudinali interne
- $\delta_i = 1 - f_i \geq 0.5$  per gli altri macroelementi
- $f_i = (A_{\text{fori}} / A_{\text{tot}})_{\text{macro},i}$  (percentuale di foratura macroelemento i-esimo)

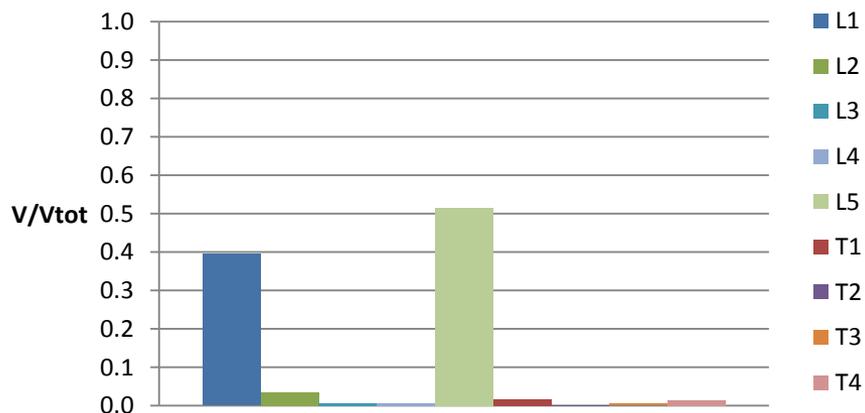


# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

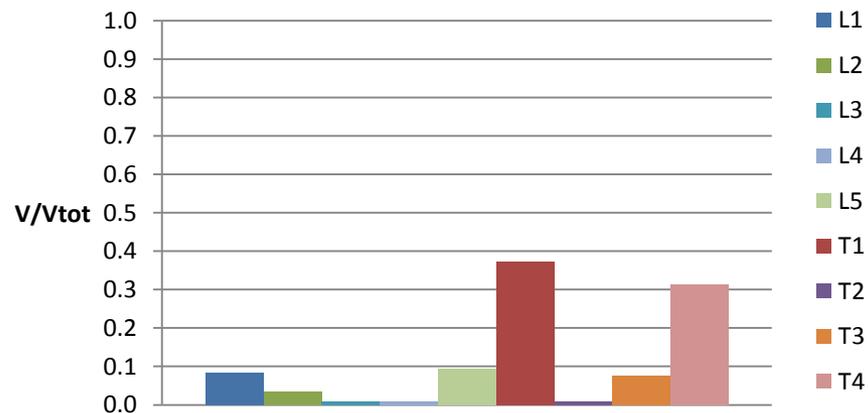
## Analisi strutturale San Flaviano

### Ripartizione semplificata dell'azione sismica

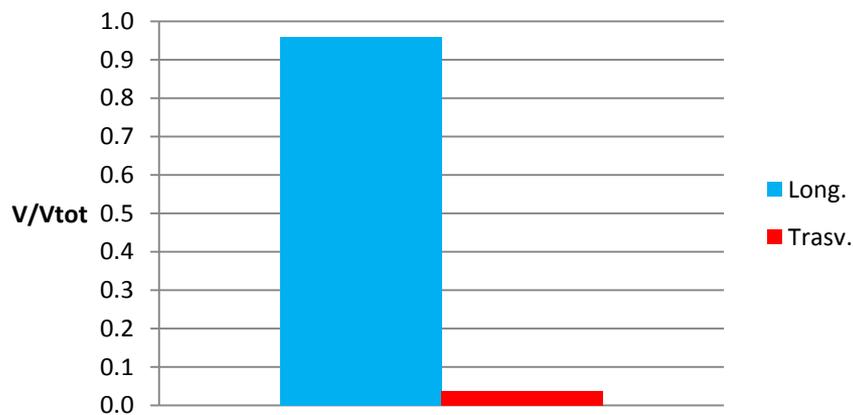
#### Tagliante alla base dir. X



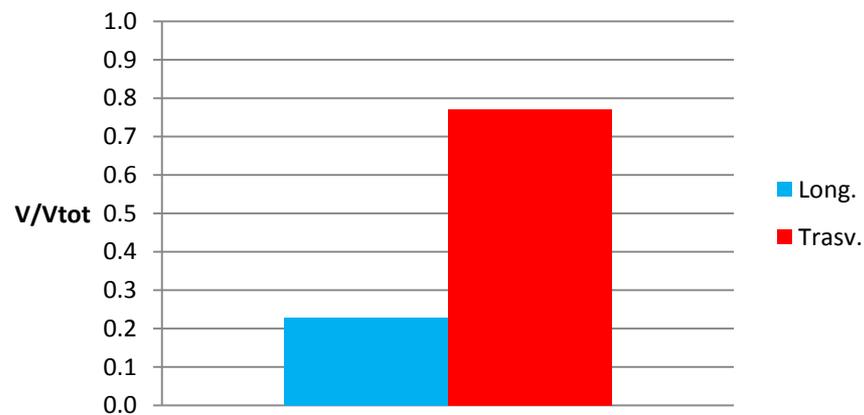
#### Tagliante alla base dir. Y



#### Tagliante alla base dir. X

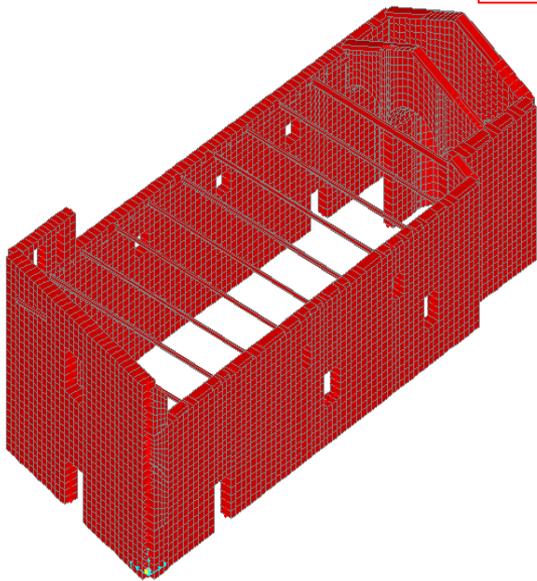


#### Tagliante alla base dir. Y



Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
*Analisi strutturale San Flaviano*

**Modelli strutturali Analisi Lineare**



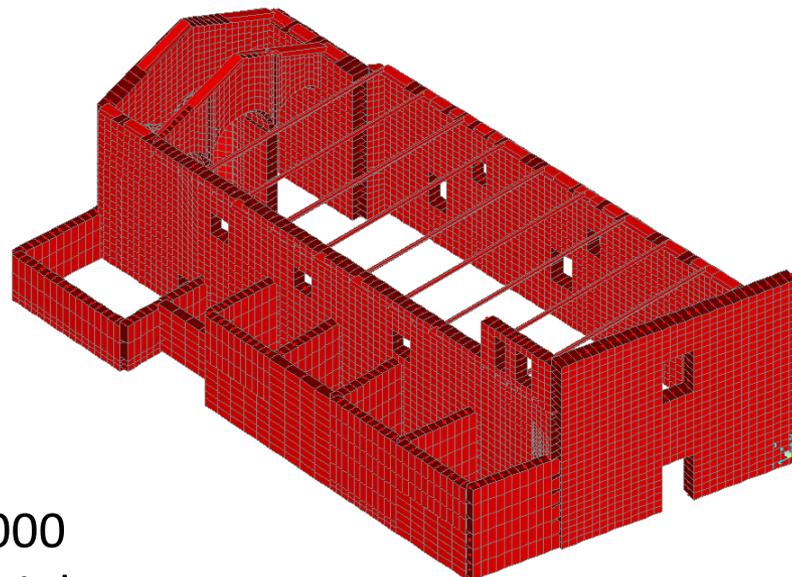
ISOLATO

7545 Points

63 Frames

6754 Shells

$T_1 = 0.60$  s



IN AGGREGATO

8300 Points

63 Frames

7465 Shells

$T_1 = 0.36$  s

Software: SAP 2000

Elementi: shell think

Materiale:

$E = 1000$  MPa

$\nu = 0.2$

$g = 19$  kN/m<sup>3</sup>

Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
*Analisi Lineare: Forme Modali*

**DISPERSIONE DELLE FORME MODALI**



**ASSUME RILIEVO IL COMPORTAMENTO LOCALE**

**(E' giustificata la scomposizione in Macroelementi)**

T1=0.60 My=12.2% Mx=1.7% T2=0.35 My=8.5% Mx=6.1% T4=0.22 My=15.1% Mx=1.9% T15=0.11 Mx=13.9% My=0.8% T16=0.11 Mx=10% My=1.7% T19=0.10 Mx=13.3%

T1=0.35 My=12.5%  
Mx=1.7%

T2= 0.35 My=8.5%  
Mx=6.1%

T4= 0.22 My=15.1%  
Mx=1.9%

T15= 0.11 Mx=13.9%  
My=0.8%

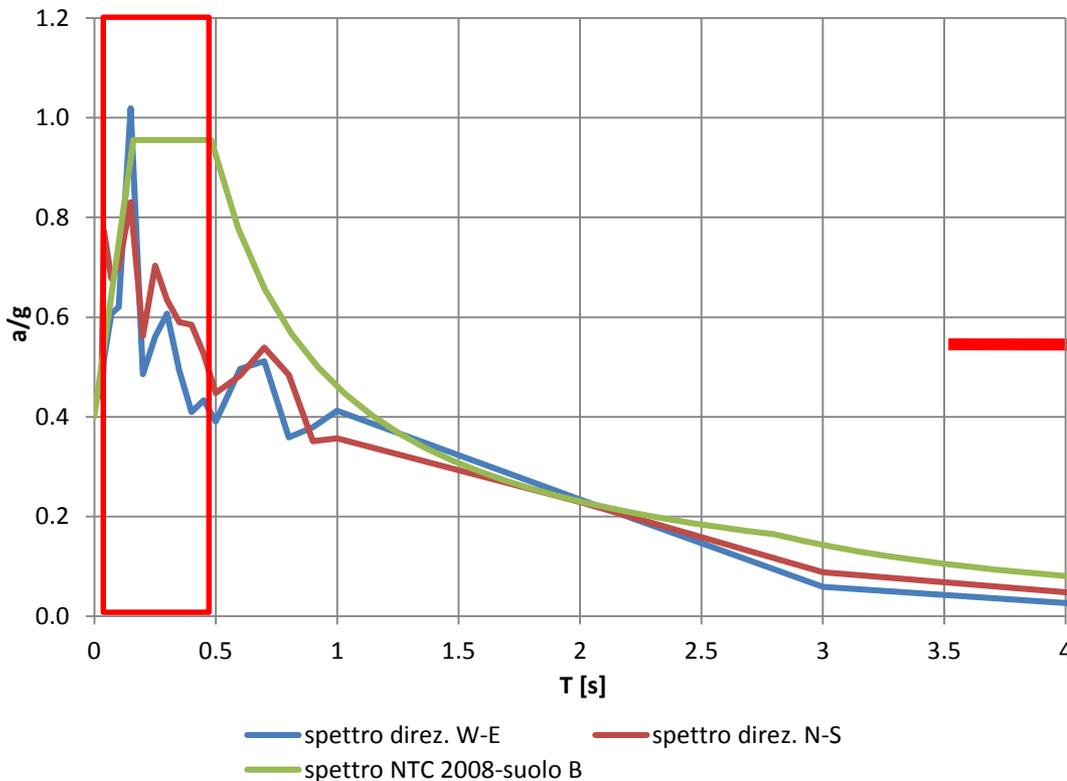
T16= 0.11 Mx=10%  
My=1.7%

T19= 0.10 Mx=13.3%

Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
*Analisi strutturale San Flaviano*

**Spettri di risposta in accelerazione:  
Mainshok 06 Aprile '09 dir N-S e W-E vs NTC'08**

**Spettri Elastici (stazione AQK) smorz.=0.05**



Spettro NTC'08 ricavato per  
Stato limite SLV  
 $V_N = 50$  anni  
Classe d'uso III  $\rightarrow T_R = 742$  anni  
Suolo B  
 $T_2 \rightarrow S_T = 1.2$

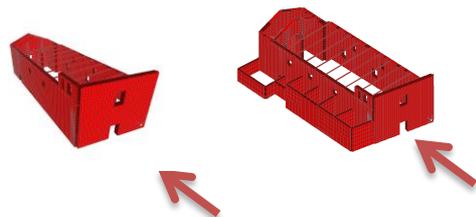
**Richiesta sismica**

I periodi significativi ricadono nell'intervallo  
0.1 - 0.5 s

**AZIONI SISMICHE  
MOLTO GRAVOSE**

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Analisi strutturale San Flaviano

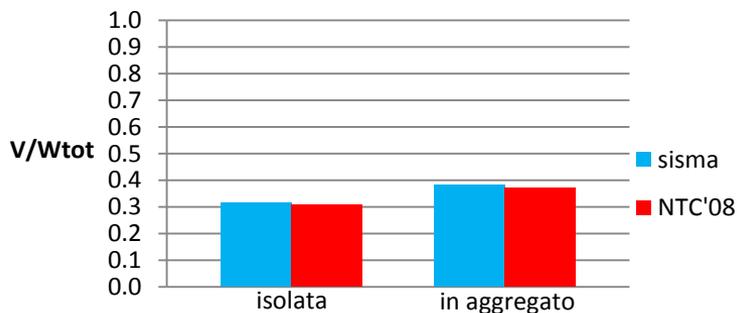


$$W_{tot,isol.} = 21060 \text{ kN}$$

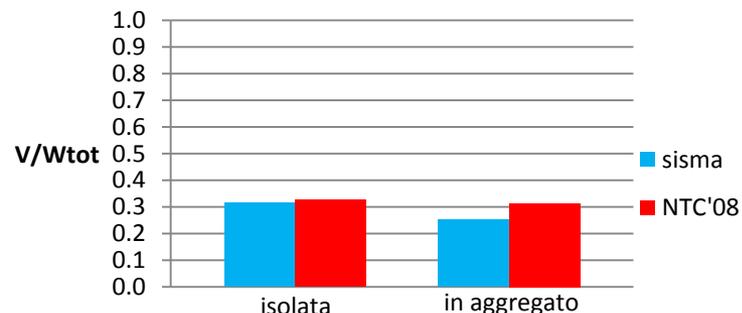
$$W_{tot,agg.} = 20898 \text{ kN}$$



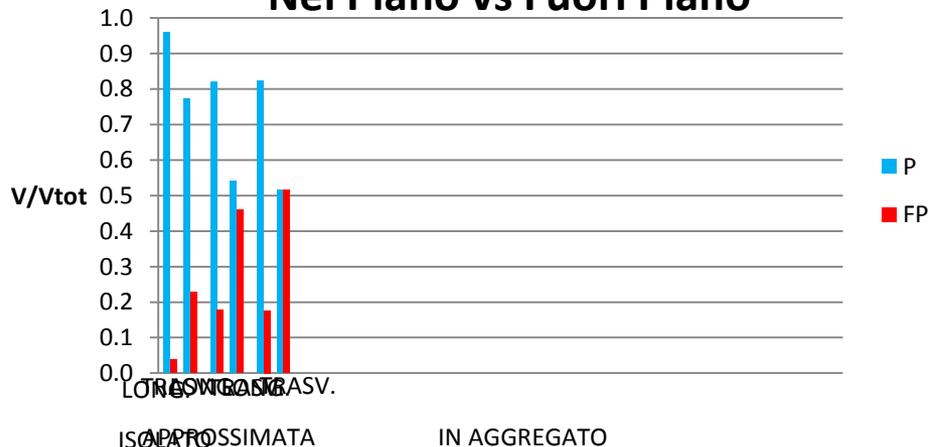
### Tagliante Tot alla base dir. X



### Tagliante Tot alla base dir. Y



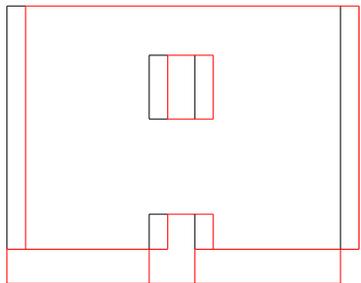
### Ripartizione azioni orizzontali Nel Piano vs Fuori Piano



L'edificio in aggregato essendo più rigido riceve azioni più forti, trasversalmente è meno sollecitato per la presenza di pareti di controvento

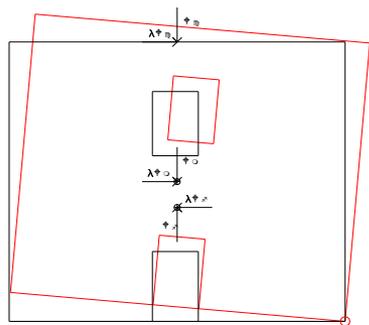
La ripartizione approssimata non riesce a cogliere il contributo dei pannelli fuori piano, cosa che invece, per tale tipologia strutturale è molto rilevante.

### 1) Rottura per taglio



$$I = I(t_o, h, b, f, W)$$

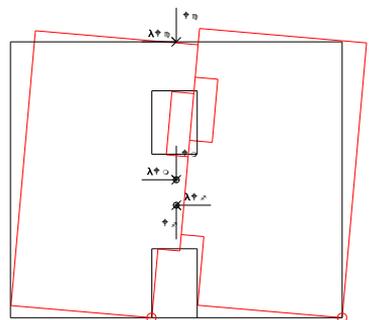
### 2) Ribaltamento



$$\lambda = \frac{1}{h/b} \cdot \chi$$

$$c = c(h, b, f, W_m, W_c)$$

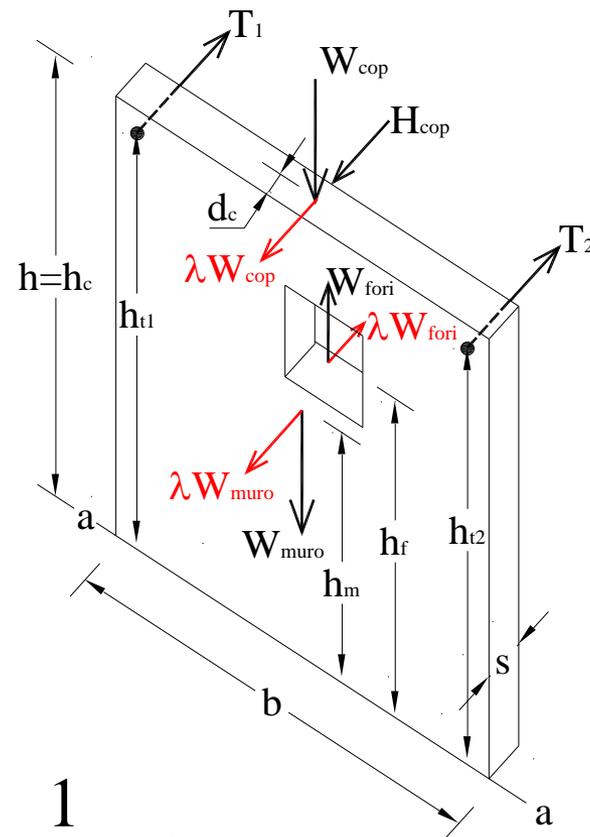
### 3) Ribaltamento con lesione centrale



$$\lambda = \frac{1}{h/b} \cdot \chi$$

$$c = c(t_o, h, b, f, W_m, W_c)$$

### 1) Ribaltamento fuori piano

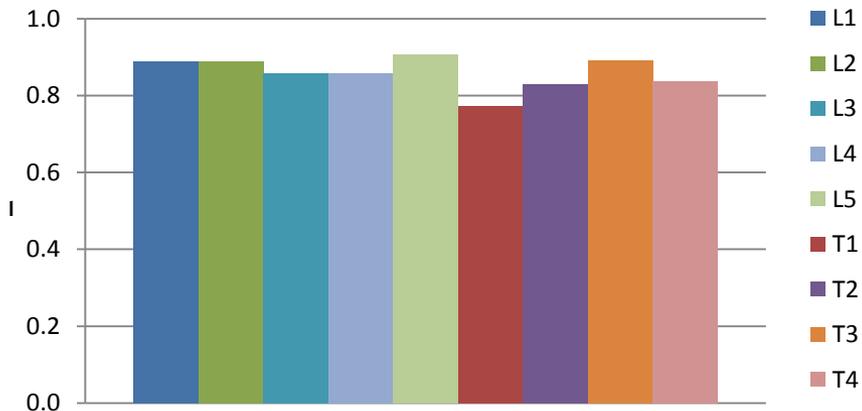


$$\lambda = \frac{1}{h/s} \cdot \chi$$

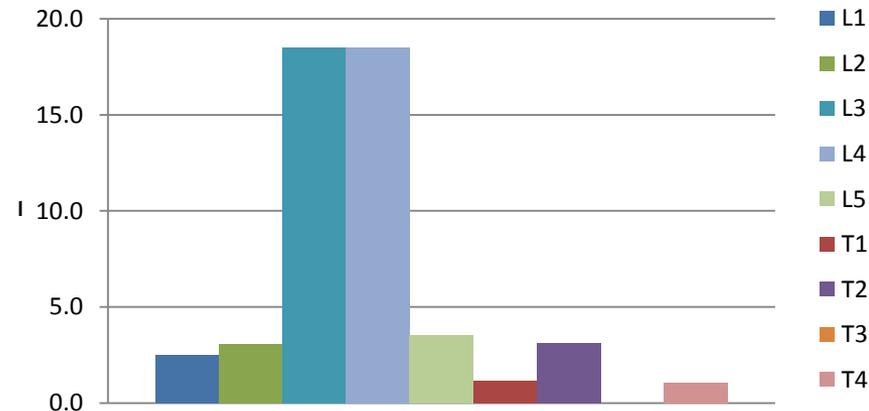
$$c = c(t_o, h, b, f, W_m, W_c, T_i)$$

Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali  
*Step 2: analisi limite, meccanismi di piano vs fuori piano*

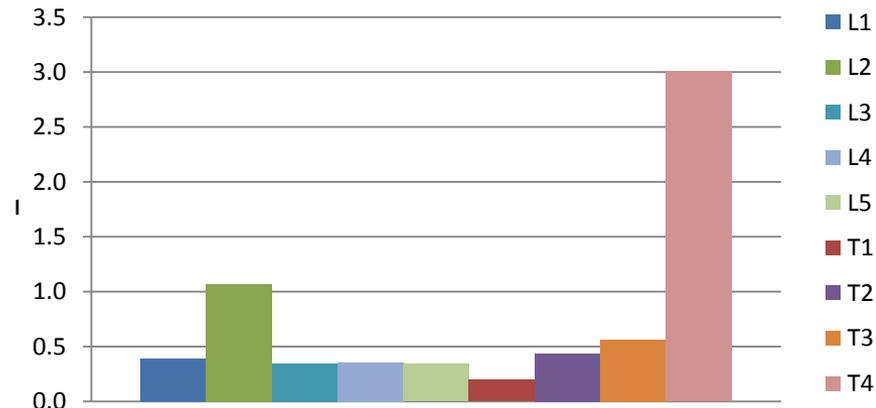
**Rottura per Taglio**



**Ribaltamento**



**Ribaltamento fuori piano**



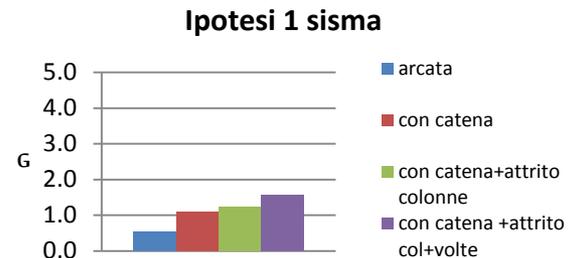
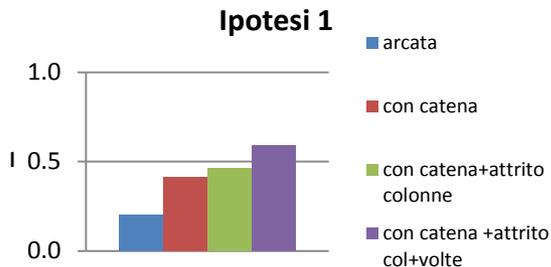
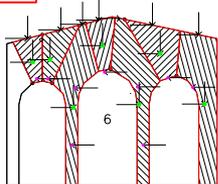
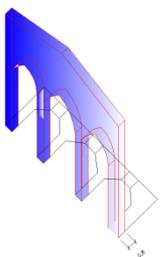
**Il meccanismo più penalizzante è il ribaltamento fuori piano a cui per ogni macroelemento compete il  $I_{min}$  ad eccezione di L2, T3 e T4**

# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

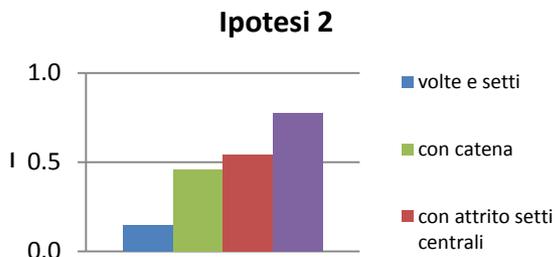
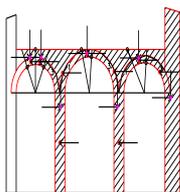
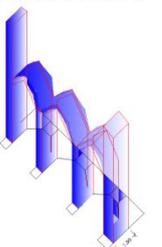
## Step 2: analisi limite, meccanismi di collasso

IPOTESI 1

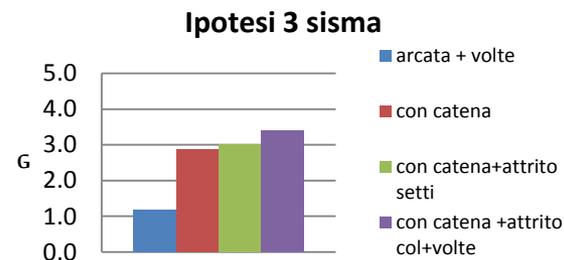
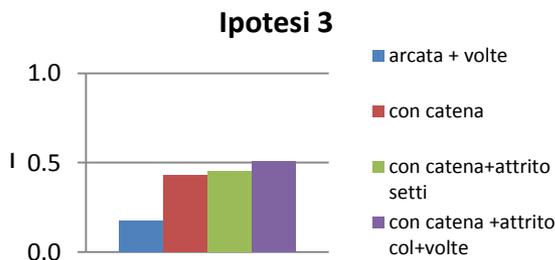
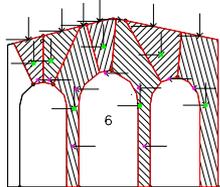
**M13**



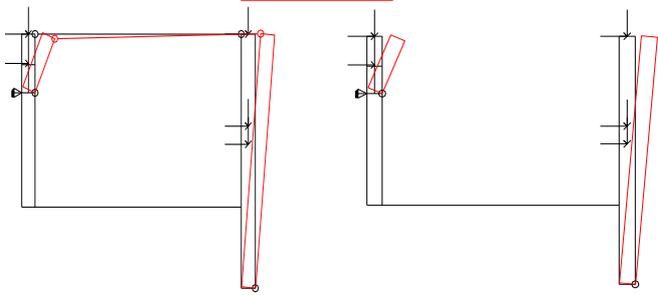
IPOTESI 2



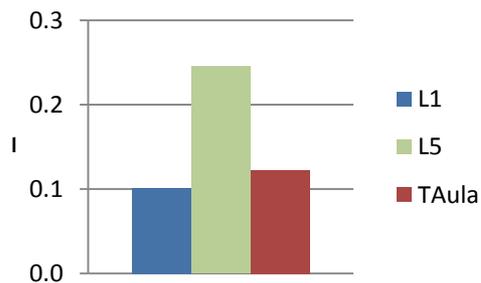
IPOTESI 3



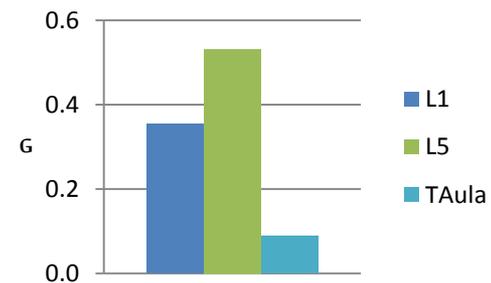
**M19**



**Ribaltamento fuori piano**



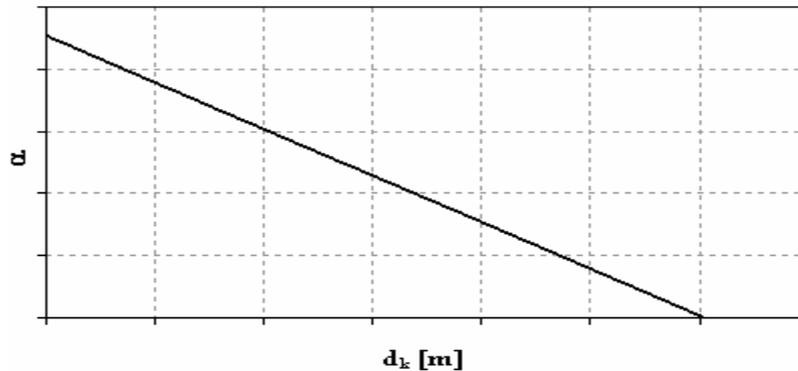
**Ribaltamento fuori piano**



## ANALISI CINEMATICA NON LINEARE

Consiste nel valutare la curva di capacità ottenuta sulla base dell'andamento del moltiplicatore  $I$  dei carichi orizzontali in relazione all'evoluzione del meccanismo

Si associa il moltiplicatore  $I$  dei carichi orizzontali ad ogni configurazione variata in relazione allo spostamento  $d_k$  di un punto di controllo, fino a determinare in relazione all'evoluzione del meccanismo la configurazione che determina  $I=0$   
 Determinando la curva la curva  $I=I(d_k)$

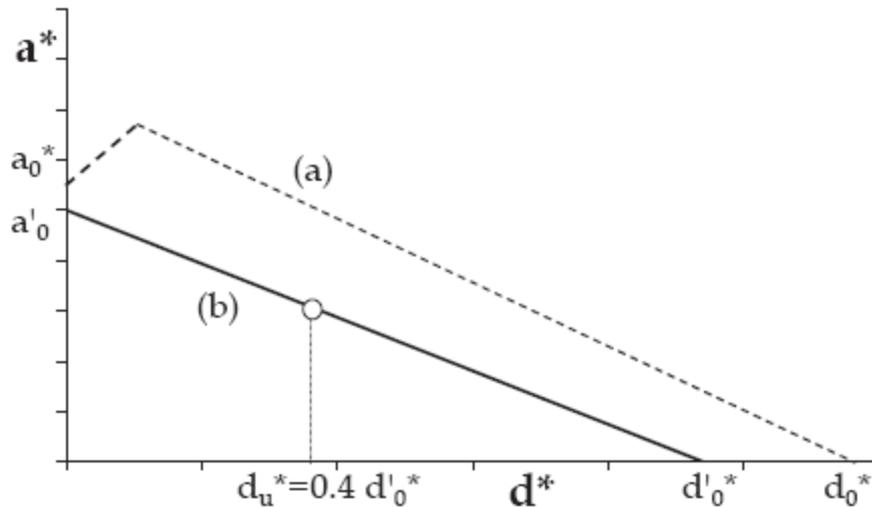


Per ottenere la curva di capacità dell'oscillatore equivalente si trasforma il moltiplicatore  $I$  in accelerazione spettrale  $a^*$  e lo spostamento del punto di controllo  $d_k$  in spostamento spettrale  $d^*$

$$d^* = d_k \frac{\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}{\delta_{x,k} \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}}$$

$$a^*(d^*) = \frac{\alpha(d_k) \cdot \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^*} = \frac{\alpha(d_k) \cdot g}{e^*}$$

**ANALISI CINEMATICA NON LINEARE**



la capacità ultima di spostamento  $d_u^*$  è definita su una curva di capacità che tenga conto delle sole azioni persistenti a collasso  
 Come  $d_u^* = 0.4 d_o^*$

Le verifiche di sicurezza allo SLV si effettuano confrontando la capacità ultima  $d_u^*$  con la domanda di spostamento  $D'_d$  da norma

la domanda di spostamento  $D'_d$  è valutato attraverso lo spettro elastico con riferimento al periodo secante  $T_s$  valutato come

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{d_s^*}{a_s^*}}$$

$d_s^* = 0.4 d_u^*$   
 $a_s^*$  l'accelerazione corrispondente

$$\Delta'_d = S_{De}(T_s)$$

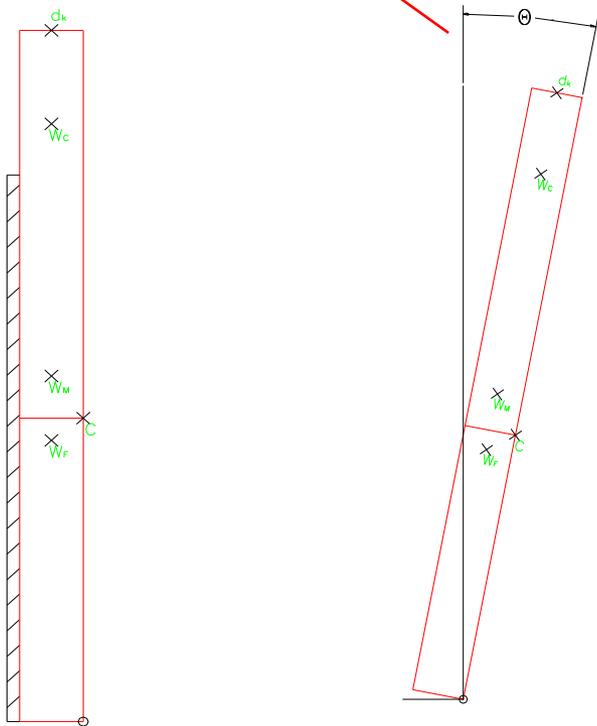
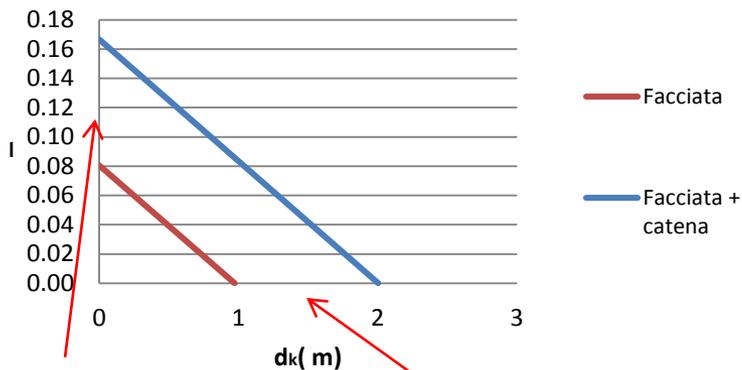
Nel caso il meccanismo locale interessa una porzione della costruzione posta ad una certa quota dovrà verificarsi anche

$$\Delta'_d = \frac{S_{De}(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{\sqrt{\left(1 - \frac{T_s}{T_1}\right)^2 + 0.02 \frac{T_s}{T_1}}} \cdot \left(\frac{T_s}{T_1}\right)^2$$

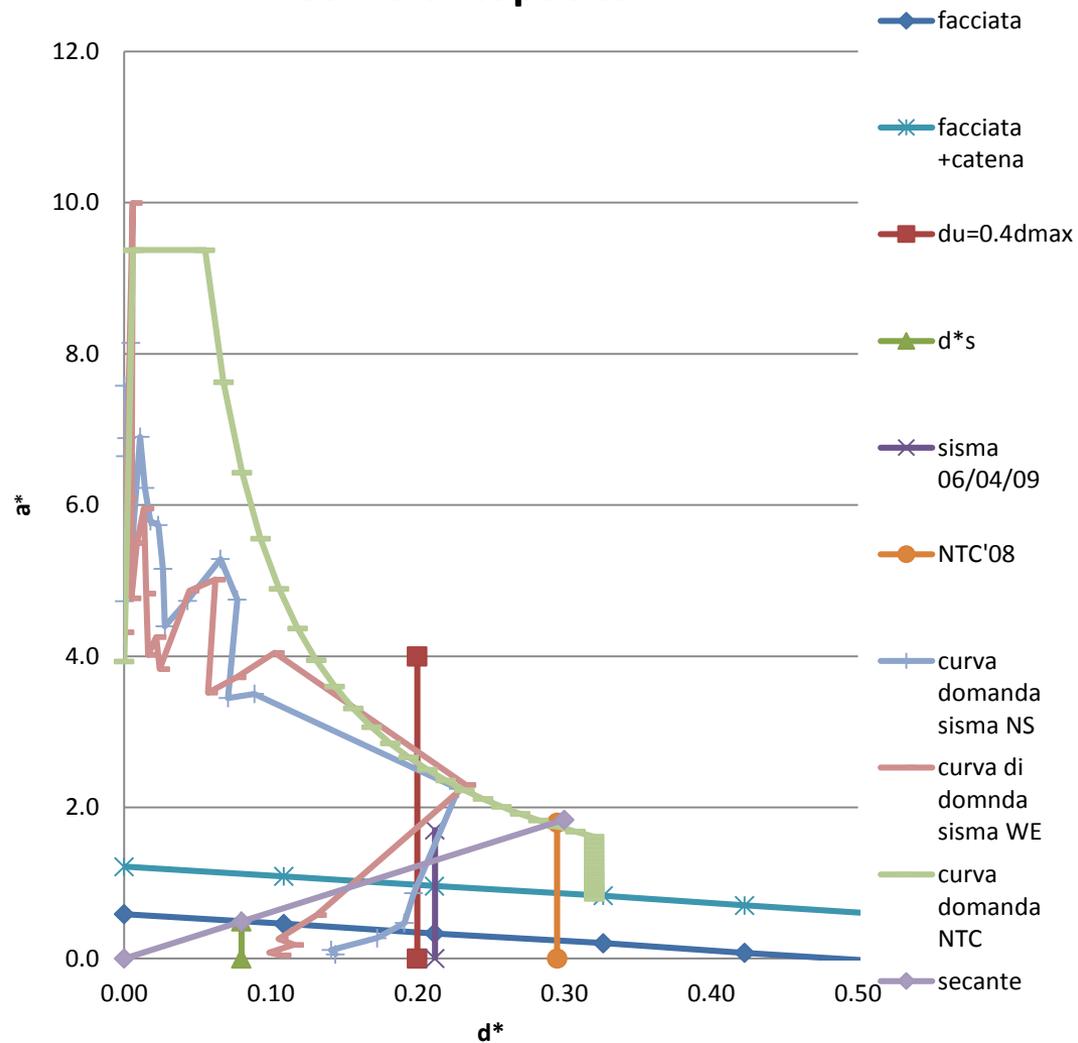
# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Step 2: cinematica non lineare della facciata

### Relazione I-d<sub>k</sub>



### Curva di capacità

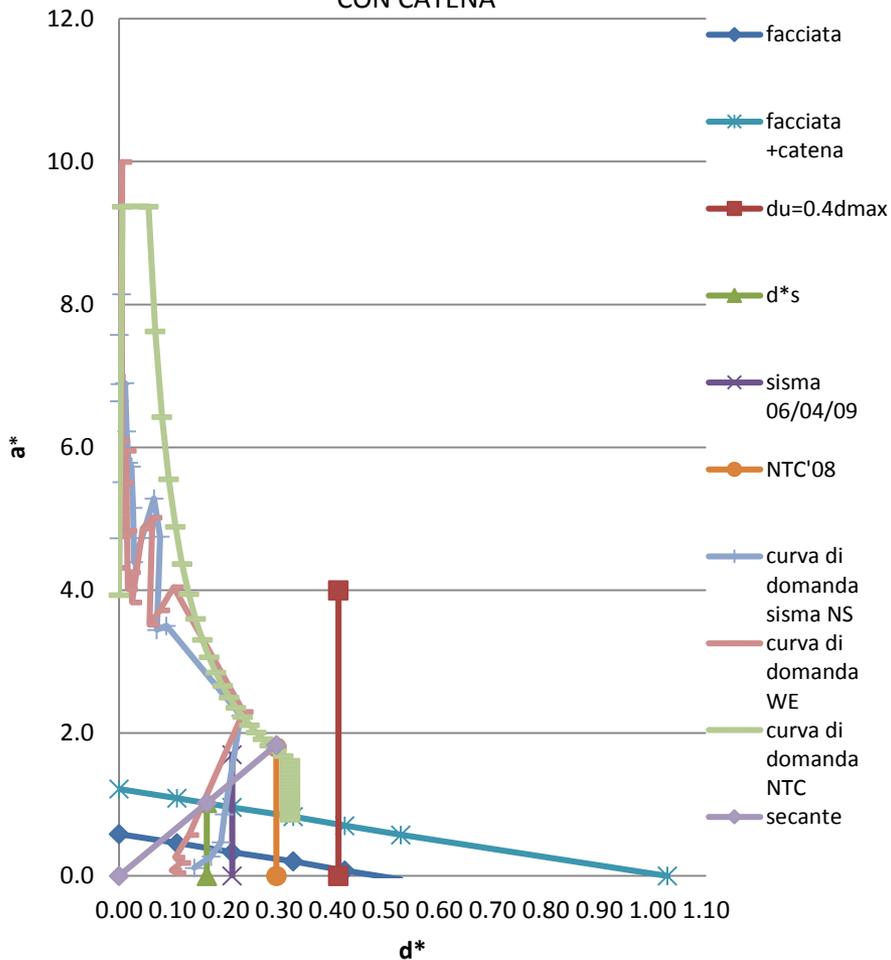


# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

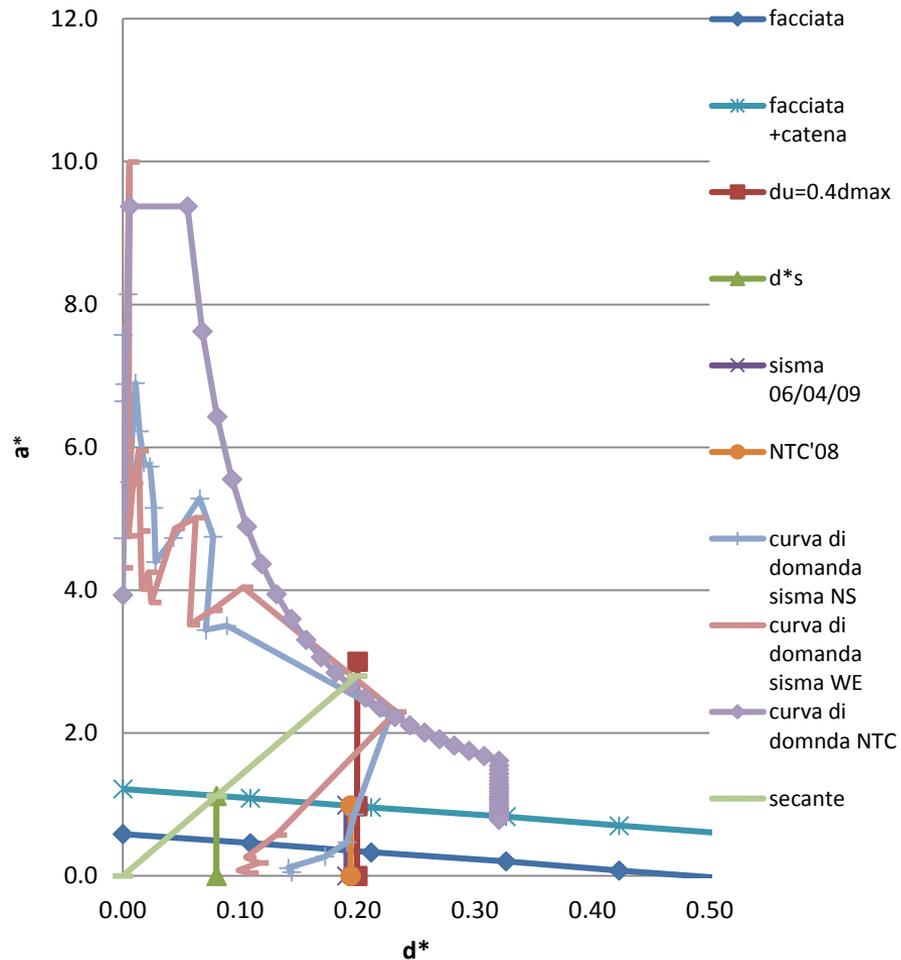
## Step 2: cinematica non lineare della facciata

### Curva di capacità

CON CATENA



### Curva di capacità



# Valutazione del rischio sismico e tipologie di interventi per edifici storici monumentali

## Confronto danni presenti vs analisi

Facciata



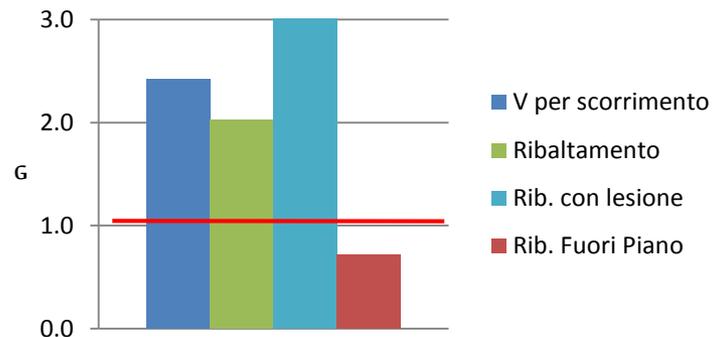
Meccanismi M1-M2



Confermati dai risultati delle analisi



### Macroelemento T1



Arco Trionfale



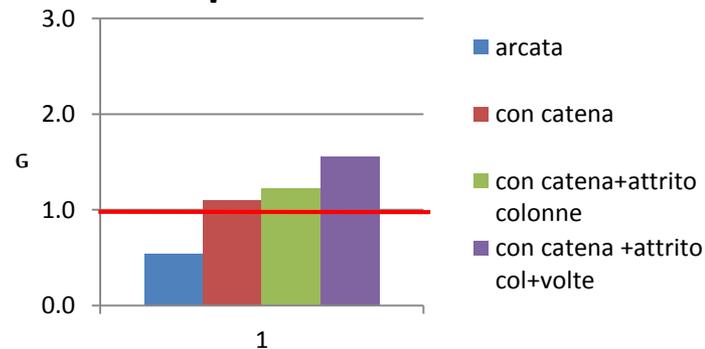
Meccanismo M13



Non Confermato dai risultati delle analisi



### Ipotesi 1 sisma



**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**