

**ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PRATO**

**CORSO DI AGGIORNAMENTO SULLE NTC 2018**

---

**4° MODULO**

**COSTRUZIONI ESISTENTI IN MURATURA:  
ESEMPI DI APPLICAZIONE**

**PALAZZO DELLE PROFESSIONI, 18 GIUGNO 2018**

---

**Prof. Ing. A. Vignoli**

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Università degli Studi di Firenze

## INDICE:

### **Analisi cinematica lineare**

Esempio per cinematicismo a terra ed in quota

Spettri di piano

Influenza dello smorzamento della struttura

### **Analisi globale: modellazione a telaio equivalente**

Influenza della nuova normativa nelle fasi di analisi e nei risultati

### **Caso studio reale: analisi di vulnerabilità sismica**

Processo di conoscenza

Stato attuale: meccanismi locali

Stato attuale: meccanismi globali

Stato di progetto: interventi previsti e livello di sicurezza raggiunto

### **Esempio di processo di conoscenza su bene tutelato**

## CONCLUSIONI

- Il nuovo NTC ha introdotto nuovi concetti per gli interventi sugli edifici esistenti come i rapporti  $\zeta_E$  e  $\zeta_{vi}$  che possono essere d'aiuto per la valutazione della vulnerabilità sismica del costruito
- Ha introdotto il concetto di grado di adeguamento sismico accettando che si possa considerare adeguato un edificio con  $\zeta_E < 1$
- La parte sulle tipologie di intervento è stata ampliata ed è diventata molto simile ad un manuale
- Sono stati introdotti gli spettri di piano *con la possibilità di considerare smorzamento della struttura e del cinematismo e relativi periodi di vibrazione in campo non lineare*
- Le verifiche degli edifici in muratura sono calibrate sulla risposta alla SLC
- Introdotte nuove formule per la valutazione della resistenza a taglio nelle murature e per gli elementi in c.a.
- Appare indispensabile per poter utilizzare l'NTC2018 per gli edifici esistenti la pubblicazione della Circolare esplicativa.
- Sono necessarie precisazioni su alcuni aspetti (smorzamento e periodo in campo non lineare e  $q^*$  allo SLV e SLC)

# CAPITOLO 8: COSTRUZIONI ESISTENTI

## DECRETO MINISTERIALE / CIRCOLARE: PRINCIPI GENERALI E CONFRONTO

### C8. COSTRUZIONI ESISTENTI

L'importanza che le criticità locali assumono negli edifici esistenti, in termini di danni a persone e cose, ha portato gli estensori delle nuove NTC a **considerare con maggiore attenzione gli interventi di rafforzamento locale e di miglioramento e ad aumentare l'importanza attribuita a tali forme d'intervento.**

Tale maggiore attenzione si è tradotta **in un diverso ordine di presentazione** (le varie forme d'intervento sono ora elencate dalla meno alla più impattante, dalla riparazione e rafforzamento locale all'adeguamento) e, soprattutto, **nell'ampia considerazione dedicata alla valutazione e riduzione del rischio sismico** e, in special modo, **nella maggiore attenzione prestata agli interventi finalizzati a rendere antisismici anche gli elementi non strutturali e gli impianti**, elementi che spesso contribuiscono in modo sostanziale ad incrementare il rischio sismico.

(...)

**Alla conoscenza della costruzione esistente si è dedicata, dunque, particolare attenzione, riducendo l'importanza attribuita alla conoscenza dei materiali impiegati per concentrarsi sui particolari costruttivi e sulle indicazioni progettuali dell'epoca di costruzione**, maggiormente responsabili del reale comportamento della costruzione a fronte di azioni sismiche.

## C8.5.3 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

### C8.5.3.1 EDIFICI IN MURATURA

**Il piano delle indagini**, tale da consentire anche la valutazione della significatività dei valori dei parametri meccanici globali dedotti dalla sperimentazione, costituisce quindi parte integrante dell'analisi della sicurezza e del progetto degli interventi. Nel caso di edifici appartenenti al patrimonio storico-artistico e nel recupero dei centri storici, occorre considerare l'impatto delle indagini in termini di conservazione del bene.

Data la difficoltà di effettuare prove in sito in numero statisticamente significativo, la **Tabella C8.5.1 (ex Tabella C8A.2.1)** offre, per il comportamento a tempi brevi delle tipologie murarie più ricorrenti, **indicazioni sui possibili valori dei parametri meccanici, identificati attraverso il rilievo degli aspetti costruttivi (§C8.5.2.1)**

Progettazione del piano delle indagini: mirato all'individuazione delle proprietà delle zone murarie che maggiormente contribuiscono alla sicurezza sismica (analisi di sensibilità preliminare)

Categorie  
precostituite  
C8.5.1

## C8.5.3 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI

### C8.5.3.1 EDIFICI IN MURATURA

- malta di calce di modeste caratteristiche (resistenza media a compressione  $f_m$  compresa tra 0,7 a 1,5 N/mm<sup>2</sup>),
- assenza di ricorsi (listature),
- paramenti semplicemente accostati o mal collegati, muratura non consolidata.
- **Ai soli fini della verifica sismica, nel caso in cui la malta abbia caratteristiche particolarmente scadenti (resistenza media a compressione  $f_m$  inferiore a 0,7 N/mm<sup>2</sup>) ai valori della tabella si applica un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.**
- I parametri indicati in tabella sono principalmente finalizzati alle verifiche nei riguardi delle azioni sismiche.
- La resistenza a compressione è utilizzata anche per le verifiche nei riguardi delle azioni non sismiche, a patto di considerare anche l'eventuale possibilità di fenomeni di instabilità locale, associati ad un insufficiente collegamento tra i paramenti.
- Comportamento a breve termine, a lungo termine può modificarsi
- Nel caso di murature di blocchi artificiali di tecnologia moderna, i parametri da utilizzare per le verifiche possono essere derivati dalle indicazioni per la progettazione di nuove costruzioni in muratura (§11.10).

Caratteristiche delle  
murature

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

*Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:*

**f** = resistenza media a compressione,

**$\tau_0$**  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),

$$V_t = l \cdot t \frac{1.5\tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = l \cdot t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}}$$

**$f_{v0}$**  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),

$$V_t = \frac{l t}{b} \left( \tilde{f}_{v0d} + \tilde{\mu} \sigma_0 \right) = \frac{l t}{b} \left( \frac{f_{v0d}}{1 + \mu\phi} + \frac{\mu}{1 + \mu\phi} \sigma_0 \right) \leq V_{t, \text{lim}}$$

**E** = valore medio del modulo di elasticità normale,

**G** = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,

**w** = peso specifico medio.

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

**Tabella C8.5.I - Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a:  $f$  = resistenza media a compressione,  $\tau_0$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $f_{v0}$  = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3),  $E$  = valore medio del modulo di elasticità normale,  $G$  = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,  $w$  = peso specifico medio.**

Tipologia di muratura	$f$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{v0}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	$G$ (N/mm <sup>2</sup> )	$w$ (kN/m <sup>3</sup> )
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**)	2,0-3,2	-	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	-	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	-	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

- di blocchi artificiali di tecnologia moderna, i parametri da utilizzare per le verifiche possono essere derivati dalle indicazioni per la progettazione di nuove costruzioni in muratura (§11.10).

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

- (\*) Nella muratura a conci sbozzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.
- (\*\*) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione  $f$  può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.
- (\*\*\*) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

#### 2. CIRC.617/09 - §C8A.1.A.3

*...Qualora esista una chiara, comprovata corrispondenza tipologica per materiali, pezzatura dei conci, dettagli costruttivi, in sostituzione delle prove sulla costruzione oggetto di studio possono essere utilizzate prove eseguite su altre costruzioni presenti nella stessa zona.*

*Le Regioni potranno, tenendo conto delle specificità costruttive del proprio territorio, definire zone omogenee a cui riferirsi a tal fine.*

**A integrazione della Tabella C8.5.I, le Regioni possono fornire indicazioni aggiuntive specifiche per le tipologie murarie ricorrenti sul proprio territorio. Si deve comunque sottolineare che, data la notevole varietà di tecniche costruttive e materiali impiegati, un inquadramento della muratura in tipologie precostituite deve essere considerato con estrema cautela.**



ABACO DELLE MURATURE

## **Il collegamento al sito dell'abaco è stato inserito sul sito istituzionale di Regione Toscana.**

Si trova "In Primo Piano" nella pagina Rischio Sismico compreso il banner laterale a sinistra.

<http://www.regione.toscana.it/speciali/rischio-sismico>

E' raggiungibile dal menù "Banche dati",

<http://www.regione.toscana.it/speciali/rischio-sismico/banche-dati>

da "Normativa e Progettazione",

<http://www.regione.toscana.it/normativa-e-progettazione>

e all'interno della pagina dedicata a "VSM Vulnerabilità Sismica Muratura".

<http://www.regione.toscana.it/-/vulnerabilita-sismica-edifici-in-muratura-vsm->

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

Le caratteristiche meccaniche della muratura, in uno stato di fatto **migliore** di quello indicato nella Tabella C8.5.I, possono ottenersi applicando (indicativamente e salvo più dettagliate valutazioni) i coefficienti migliorativi di **Tabella C8.5.II (ex Tabella C8A.2.1)**.

I coefficienti migliorativi sono funzione dei seguenti fattori:

- ***malta di buone caratteristiche***: il coefficiente indicato in Tabella C8.5.II, diversificato per le varie tipologie, si può applicare sia ai parametri di resistenza ( $f$ ,  $\tau_0$  e  $f_{v0}$ ), sia ai moduli elastici (**E** e **G**);
- ***presenza di ricorsi (o listature)***: il coefficiente indicato in tabella si può applicare ai soli parametri di resistenza ( $f_m$  e  $\tau_0$ ); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in cui si riscontra tale tecnica costruttiva;
- ***presenza sistematica di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti***: il coefficiente indicato in tabella si può applicare ai soli parametri di resistenza ( $f$ ,  $\tau_0$  e  $f_{v0}$ ).

***I suddetti coefficienti migliorativi possono essere applicati in combinazione tra loro, in forma moltiplicativa, considerando la concomitanza al più di due effetti.***

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

Tipologia di muratura	Malta buona	Giunti sottili (<10 mm)	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Nucleo scadente e/o ampio	Iniezione di miscele leganti	Intonaco armato *
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	-	1,3	1,5	0,9	2	2,5
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e	1,4	1,2	1,2	1,5	0,8	1,7	2
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	-	1,1	1,3	0,8	1,5	1,5
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,5	-	1,5	0,9	1,7	2
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	1,2	-	1,2	0,7	1,2	1,2
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	1,5	1,5	-	1,3	0,7	1,5	1,5

\* Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadriati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(\*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0,35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

(\*) I coefficienti correttivi relativi *alle iniezioni di miscele leganti* devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\**intonaco armato*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) *Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0.35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).*

(\*\*\*\*) *Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.*

(\*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(\*\*) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione  $f_m$  superiore a 2 N/mm<sup>2</sup>. In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a  $f_m^{0.35}$  ( $f_m$  in N/mm<sup>2</sup>).

(\*\*\*\*) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

### C8.5.3.1 CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI MATERIALI - MURATURA

*Nel caso di uso combinato di diverse tecniche di consolidamento, i coefficienti possono essere applicati in forma moltiplicativa; **il valore del coefficiente complessivo non può superare il limite massimo indicato in tabella.***



**ANALISI CINEMATICA LINEARE :**  
**ESEMPIO PER CINEMATISMO A TERRA ED IN QUOTA**  
**SPETTRI DI PIANO**  
**INFLUENZA DELLO SMORZAMENTO DELLA STRUTTURA**

# PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

## C8.7.1 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI – COSTRUZIONI IN MURATURA

### C8.7.1.2.1.1 Analisi con approccio cinematico lineare

- Stato Limite di Attivazione del meccanismo (**SLAt**)
- **SLV**, attraverso il metodo semplificato del fattore di comportamento  $q$ , e richiede il calcolo del solo moltiplicatore di attivazione del meccanismo  $\alpha_0$

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{Py,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{PQx,k}}$$

- Poiché tale analisi discende dal teorema cinematico dell'analisi limite, il moltiplicatore  $\alpha_0$  rappresenta una stima non cautelativa dell'effettivo moltiplicatore statico di collasso (corrispondente all'attivazione del meccanismo in ambito dinamico).
- Quest'ultimo può essere stimato come il più basso dei moltiplicatori  $\alpha_0$  ottenuti per i meccanismi selezionati come possibili; in tal senso, la forma geometrica delle porzioni di muratura coinvolte nella catena cinematica dovrebbe derivare, nell'ambito di ciascuna classe di meccanismo, da un processo di minimizzazione, facendo riferimento anche a modelli attritivi a blocchi rigidi (identificazione del meccanismo corretto).

# PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

## C8.7.1 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI – COSTRUZIONI IN MURATURA

### C8.7.1.2.1.4 Verifica dei meccanismi locali

Per la verifica dei meccanismi locali occorre valutare correttamente gli effetti di interazione dinamica con la costruzione, in relazione alle sue caratteristiche dinamiche e alla quota alla quale gli elementi soggetti a verifica sono collocati (forme modali).

**Per la determinazione degli spettri di risposta alle diverse quote della costruzione, si può fare riferimento al § C7.2.3 e, in particolare, alle equazioni [C.7.2.5÷10].**

**(spettri di piano)**

In particolare, per tener conto delle non linearità della struttura principale, che producono una riduzione dell'amplificazione delle accelerazioni relative ai meccanismi locali, occorre valutare lo smorzamento viscoso equivalente  $\xi_k$  e l'incremento del periodo equivalente  $T_k$ , da introdurre nelle equazioni suddette.

**Indicazioni per tenere in conto del  $\xi_k T_k$**

**gli edifici in muratura**

- presentano un incremento del periodo equivalente compreso tra il 50% ed il 100%
- raggiungono valori di smorzamento viscoso equivalente variabili dal 10% fino al 20%.

## ARTICOLO

Degli Abbati, Cattari, Lagomarsino. *Proposta di spettri di piano per la verifica di elementi non strutturali e meccanismi locali negli edifici in muratura*. XVII Convegno ANIDIS - Pistoia

### C7.2.3 Spettri di piano

**Formulazione analitica semplificata, valida per gli elementi non strutturali, per gli impianti e per eventuali meccanismi locali**, valida qualunque sia la tipologia della costruzione.

La formulazione analitica semplificata consente di valutare lo spettro di accelerazione  $S_{ez}(T, \zeta)$  ad una quota  $z$  significativa per l'elemento non strutturale, la formulazione è basata sulle proprietà dinamiche della struttura principale e sui valori dello spettro di risposta alla base dell'edificio calcolati in corrispondenza dei periodi propri della costruzione.

Questa formulazione consente di tenere conto del contributo fornito da tutti i modi di vibrazione ritenuti significativi;

in linea generale devono essere preventivamente individuate le forme di vibrazione (ed i relativi periodi) significative per l'elemento non strutturale, l'impianto o il meccanismo locale in esame, anche in relazione alla sua posizione in pianta (la sommatoria nella formula che segue è estesa a questi modi, identificati dal pedice  $k$ ):

## C7.2.3 Spettri di piano

$$S_{eZ,k}(T, \xi, z) = \begin{cases} \frac{1.1 \xi_k^{-0.5} \eta(\xi) a_{Z,k}(z)}{1 + [1.1 \xi_k^{-0.5} \eta(\xi) - 1] \left(1 - \frac{T}{aT_k}\right)^{1.6}} & T < aT_k \\ \frac{1.1 \xi_k^{-0.5} \eta(\xi) a_{Z,k}(z)}{1 + [1.1 \xi_k^{-0.5} \eta(\xi) - 1] \left(\frac{T}{bT_k} - 1\right)^{1.2}} & T > bT_k \end{cases} \quad aT_k \leq T \leq bT_k$$

$$a_{Z,k}(z) = S_e(T_k, \xi_k) \gamma_k \psi_k(z) \sqrt{1 + 0.0004 \xi_k^2}$$

$S_{eZ,k}$  è il contributo allo spettro di risposta di piano fornito dal k-esimo modo della struttura principale, di periodo proprio  $T_k$  e smorzamento viscoso equivalente  $\xi_k$

$a$  e  $b$  sono coefficienti per definire l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano, pari a **0.8** e **1.1** rispettivamente;

$\eta(\xi)$  è il fattore che altera lo spettro elastico per un coefficiente di smorzamento  $\neq$  dal 5% (del meccanismo);

$\eta(\xi_k)$  è il fattore che altera lo spettro elastico per un coefficiente di smorzamento  $\neq$  dal 5% (della struttura);

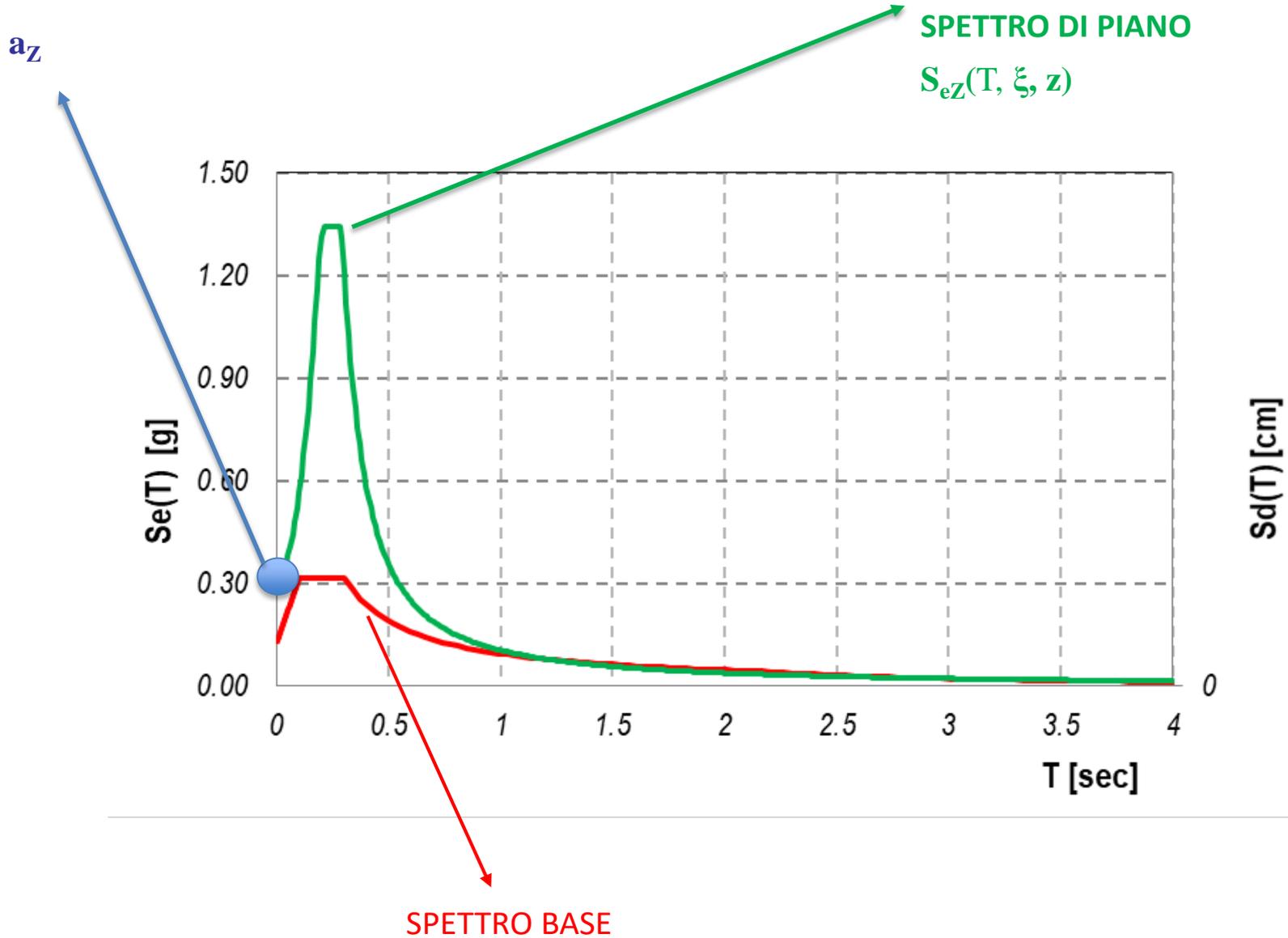
$\gamma_k$  coef. di partecipazione modale

$$\gamma_1 = \frac{3n}{2n+1}$$

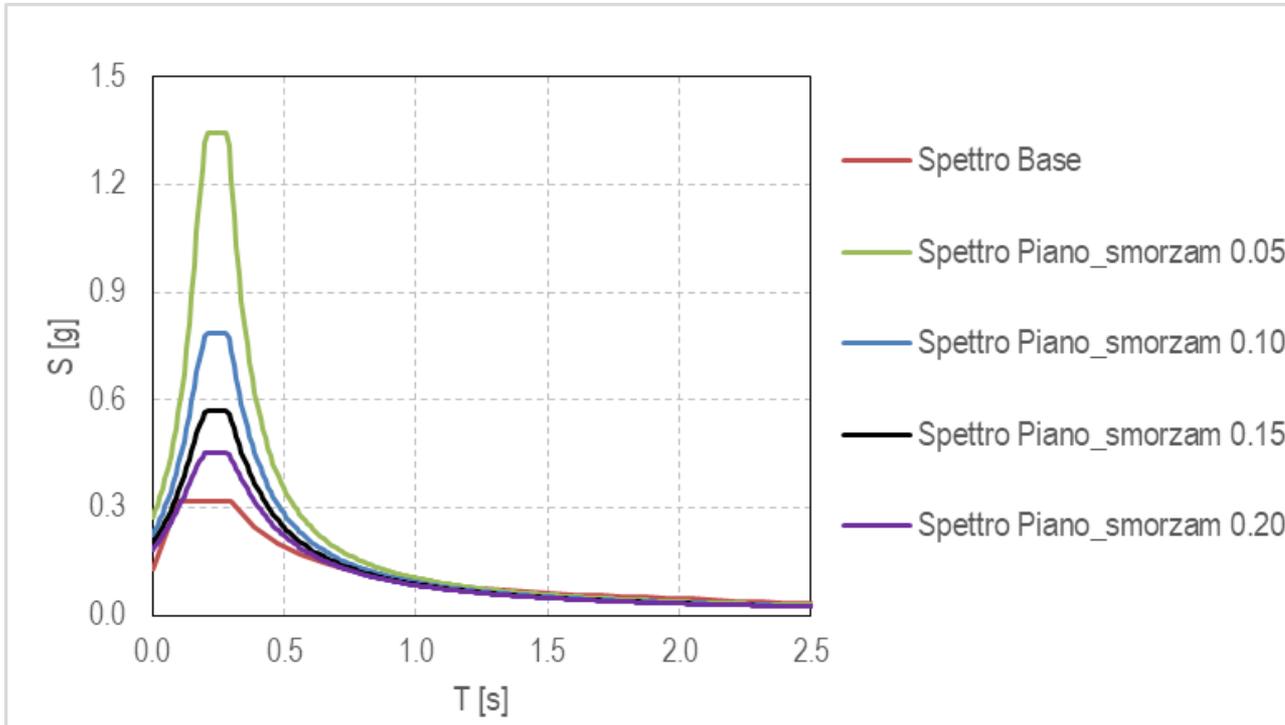
$\Psi_k(z)$  valore della k-esima forma modale alla quota  $z$ ,  $\Psi_k(z) = Z/H$

$a_{Z,k}$  è il contributo del k-esimo modo alla accelerazione massima di piano.

TUTTI MODI SIGNIFICATIVI SONO COMBINATI



## Andamento dello spettro di piano in funzione dello smorzamento della struttura ( $\xi_k$ )



3 piani

H = 9 metri

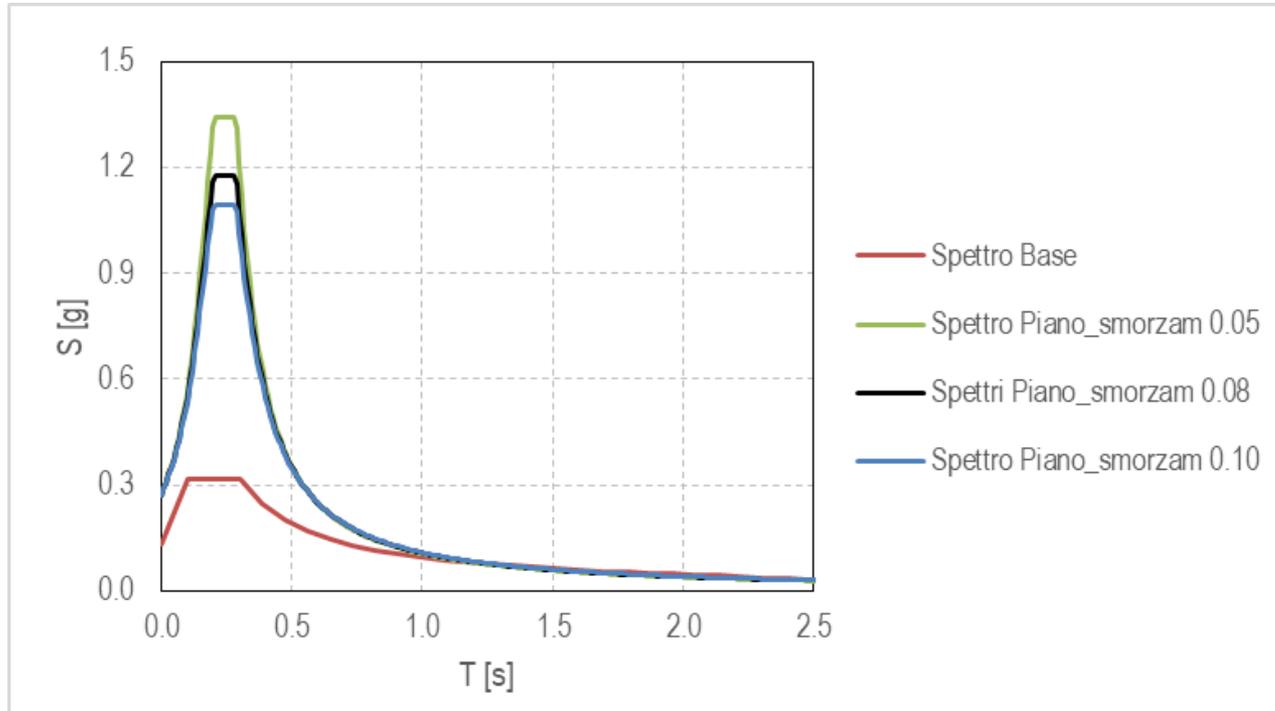
Z= 6 metri (sec. piano)

k=1

Si considera una sola  
forma modale

n	3	numero piani
$\gamma_1$	1.29	coeff partecipaz modale k esimo modo di vibrare della costruzione
a	0.8	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
b	1.1	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
$\xi$ [%]	0.05	smorzamento viscoso equivalente dell'elemento non strutturale
$\psi_k(z)$	0.67	collocato il meccanismo locale da verificare
$\xi_k$ [%]	<b>variabile</b>	<b>smorzamento viscoso equivalente della struttura (variabile da 10 al 20%)</b>

## Andamento dello spettro di piano in funzione dello smorzamento del meccanismo (o elemento non strutturale) ( $\xi$ )



3 piani

H = 9 metri

Z= 6 metri (sec. piano)

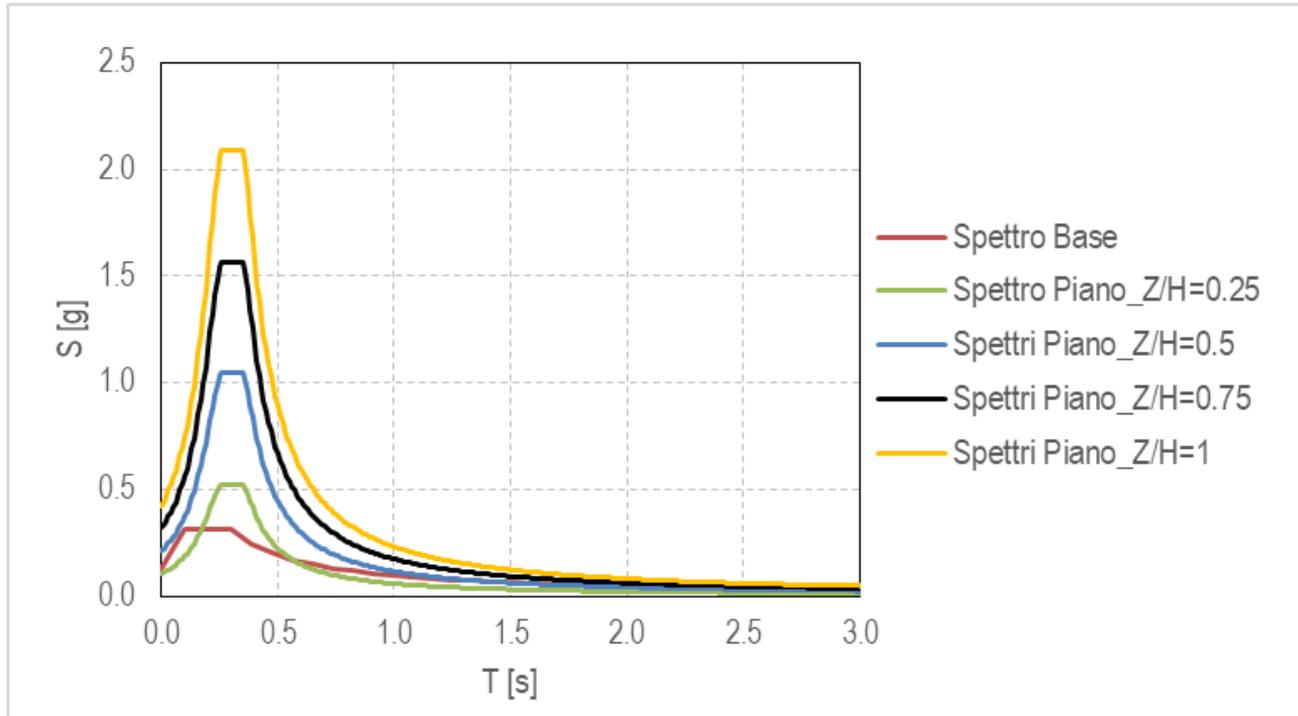
k=1

Si considera una sola forma modale

n	3	numero piani
$\gamma_1$	1.29	coeff partecipaz modale k esimo modo di vibrare della costruzione
a	0.8	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
b	1.1	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
$\xi$ [%]	<b>variabile</b>	<b>smorzamento viscoso equivalente dell'elemento non strutturale</b>
$\psi_k(z)$	0.67	collocato il meccanismo locale da verificare
$\xi_k$ [%]	0.05	smorzamento viscoso equivalente della struttura

Da circolare SLV  $\xi = 8\%$  e SLC 10%

## Andamento dello spettro di piano in funzione di Z/H



4 piani

H = 12 metri

Z= 3 m Z/H=0.25

6 m Z/H=0.50

9 m Z/H=0.75

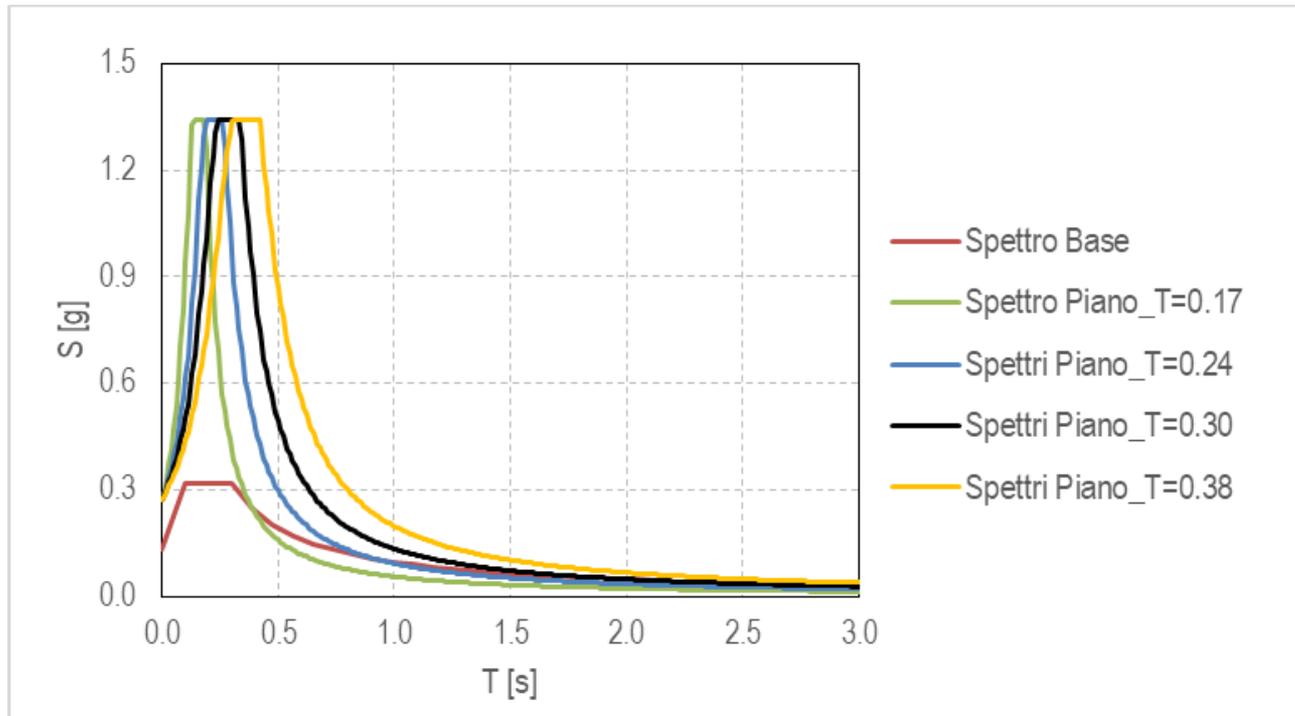
12 m Z/H=1.00

k=1

Si considera una sola  
forma modale

n	4	numero piani
$\gamma_1$	1.33	coeff partecipaz modale k esimo modo di vibrare della costruzione
a	0.8	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
b	1.1	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
$\xi$ [%]	0.05	smorzamento viscoso equivalente dell'elemento non strutturale
$\psi_k(z)$	<b>0.67</b>	<b>collocato il meccanismo locale da verificare</b>
$\xi_k$ [%]	0.05	smorzamento viscoso equivalente della struttura

## Andamento dello spettro di piano in funzione del periodo T



3 piani

$$\gamma_k(z) = 0.67$$

H= 5 m T=0.17 sec

H= 8 m T=0.24 sec

H= 11 m T=0.30 sec

H= 15 m T=0.38 sec

k=1

Si considera una sola  
forma modale

n	3	numero piani
$\gamma_1$	1.29	coeff partecipaz modale k esimo modo di vibrare della costruzione
a	0.8	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
b	1.1	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
$\xi$ [%]	0.05	smorzamento viscoso equivalente dell'elemento non strutturale
$\psi_k(z)$	0.67	collocato il meccanismo locale da verificare
$\xi_k$ [%]	0.05	smorzamento viscoso equivalente della struttura

# PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

## C8.7.1 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI – COSTRUZIONI IN MURATURA

### C8.7.1.2.1.5 Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

Nel caso dei meccanismi locali l'attivazione del meccanismo comporta l'apertura di lesioni, una condizione che può essere ancora lontana dal vero e proprio ribaltamento; peraltro, la presenza di un quadro fessurativo non necessariamente indica l'attivazione di un meccanismo di dissesto. Tuttavia, nel caso di elementi murari non efficacemente connessi al resto della costruzione per l'assenza di catene, di ammorsamento con i muri ortogonali, di collegamenti con i diaframmi orizzontali, la vulnerabilità nei confronti di questo stato limite può risultare elevata, come è stato osservato frequentemente a seguito dei passati terremoti.

Nell'ipotesi che la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporti come infinitamente rigida fino all'attivazione del cinematismo, questo si attiva quando l'accelerazione massima alla quota  $z$  ( $a_z$ ) a cui si colloca il meccanismo locale in esame è uguale all'accelerazione  $a_0$  corrispondente al moltiplicatore di attivazione  $\alpha_0$ :

$$a_{z,SLAt} = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC}$$

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{Py,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{PQ,k}}$$

Non libero di vibrare

# PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

## C8.7.1 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI – COSTRUZIONI IN MURATURA

### C8.7.1.2.1.5 Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

Nel caso invece di meccanismi locali relativi ad elementi liberi di vibrare (quali parapetti, porzioni svettanti di facciate, pinnacoli o merlature, ecc.) è necessario considerare la domanda in accelerazione (alla quota  $z$ ) corrispondente al periodo caratteristico iniziale  $T_0$  del meccanismo (per uno smorzamento  $\zeta=5\%$ , a meno di più accurate valutazioni da adottare in funzione della geometria e delle condizioni di vincolo) e confrontarla con la capacità  $a_y$  (che può in genere essere approssimata da  $\mathbf{a}_0$ ):

$$S_{eZ,SLAt}(T_0) = \frac{a_y}{FC} \cong \frac{\alpha_0 g}{e^* FC}$$

$e^*$  è la frazione di massa partecipante che, in prima approssimazione, può essere valutata considerando gli spostamenti virtuali relativi al cinematismo (misurati a partire dalla configurazione indeformata iniziale) come rappresentativi del modo di vibrazione del meccanismo locale.

Per la verifica è, in entrambi i casi, necessario valutare l'accelerazione al suolo  $a_{g,SLAt}$ , con la

$$S_{eZ}(T, \xi, z) = \sqrt{\sum S_{eZ,k}^2(T, \xi, z)} \quad \left( \geq S_e(T, \xi) \quad \text{per } T > T_1 \right)$$

e confrontarla con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  valutata per la probabilità di superamento corrispondente allo stato limite rilevante per la struttura oggetto di verifica.

**Libero di vibrare**

# PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI

## C8.7.1 PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI – COSTRUZIONI IN MURATURA

C8.7.1.2.1.7 Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento  $q$   
(analisi cinematica lineare)

L'accelerazione al suolo  $a_{g,SLV}$  può essere calcolata moltiplicando per un fattore di comportamento  $q$  l'accelerazione valutata per lo SLAt ( $a_{g,SLAt}$ ),

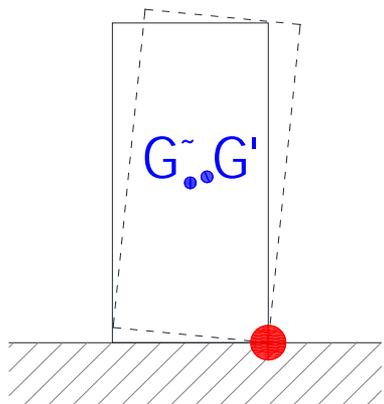
(...) si può assumere  $q = 2$ .

L'accelerazione al suolo  $a_{g,SLV}$  deve essere confrontata con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  valutata per la probabilità di superamento dello SLV nella vita di riferimento, come definita al §3.2 delle NTC.

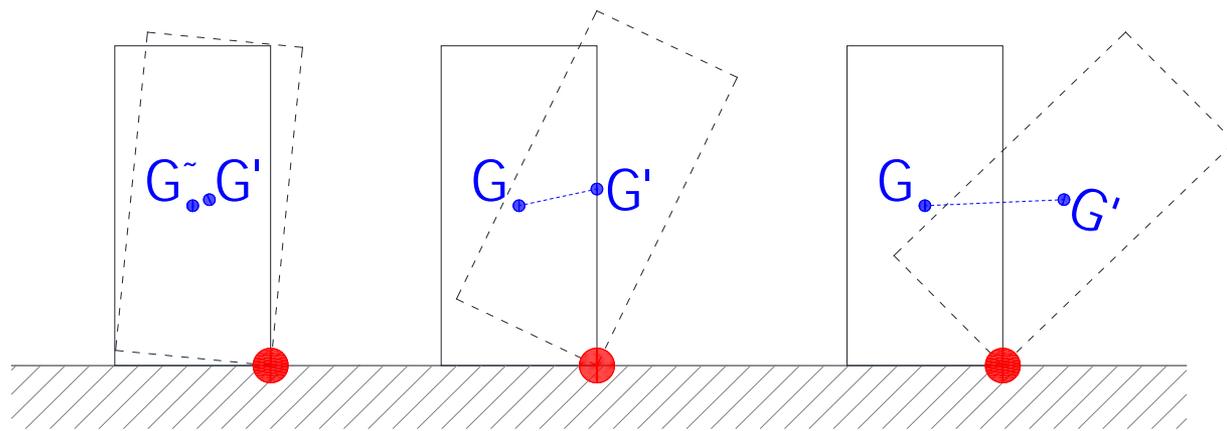
A partire da  $a_{g,SLV}$  è possibile calcolare il corrispondente periodo di ritorno  $T_{SLV}$  nel sito, da usarsi per il calcolo di  $T_{INT}$

# ESEMPIO

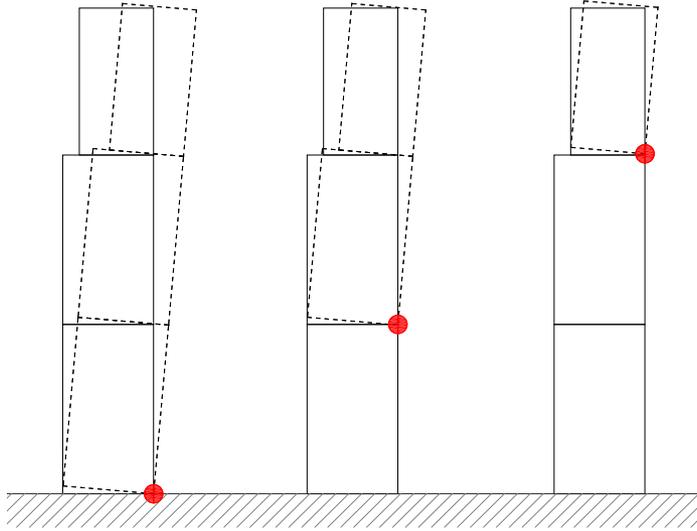
## ANALISI CINEMATICA LINEARE



## ANALISI CINEMATICA NON LINEARE



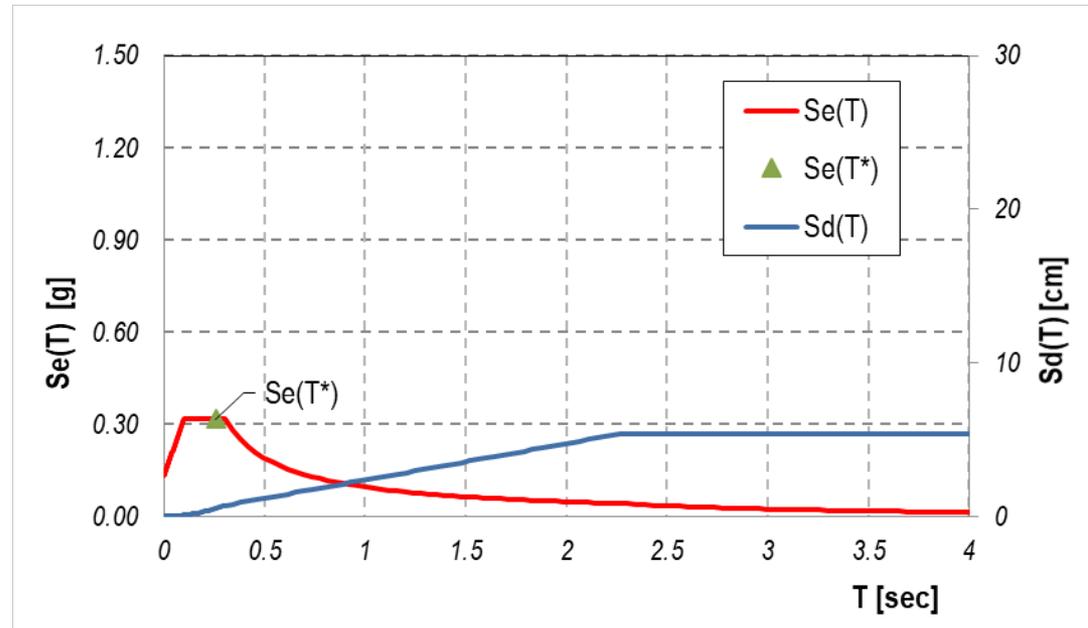
## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



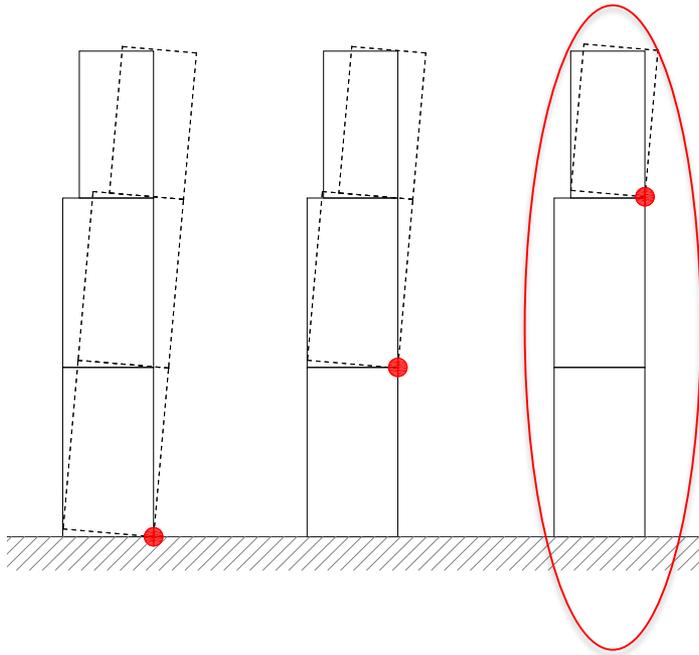
- FIRENZE
- TR = 475 ( $V_N=50$  anni,  $C_U=1$ )
- Terreno = A
- Categoria = T1
  - $a_g = 0.131$  [g]
  - $T_C = 0.302$  sec
  - $F_0 = 2.413$

### IPOTESI

- 3 piani
- Larghezza parete = 4 m;
- $H_1, H_2, H_3 = 3$  m;  $H_{TOT} = 9$  m;
- $t_1, t_2 = 0.60$  m;  $t_3 = 0.50$  m;
- Parete piena;
- Pietrame disordinato
- Carico solo in copertura,  $N=30$  kN,  $e=t/2$
- LC1, FC = 1.35 -  $T1=0,26$  s -  $\xi_1=5\%$



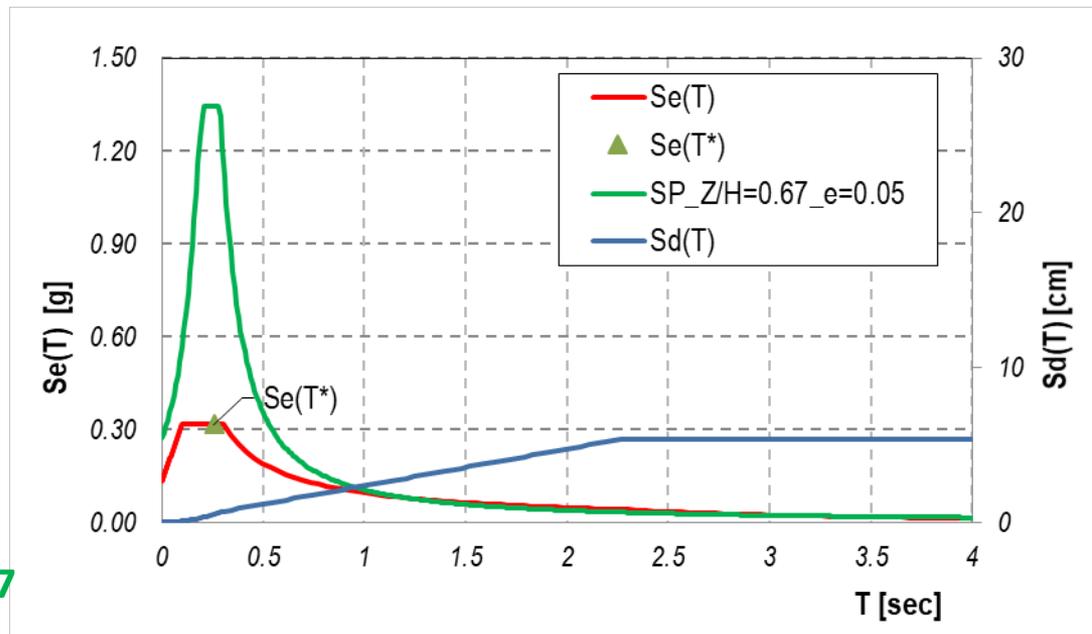
# ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



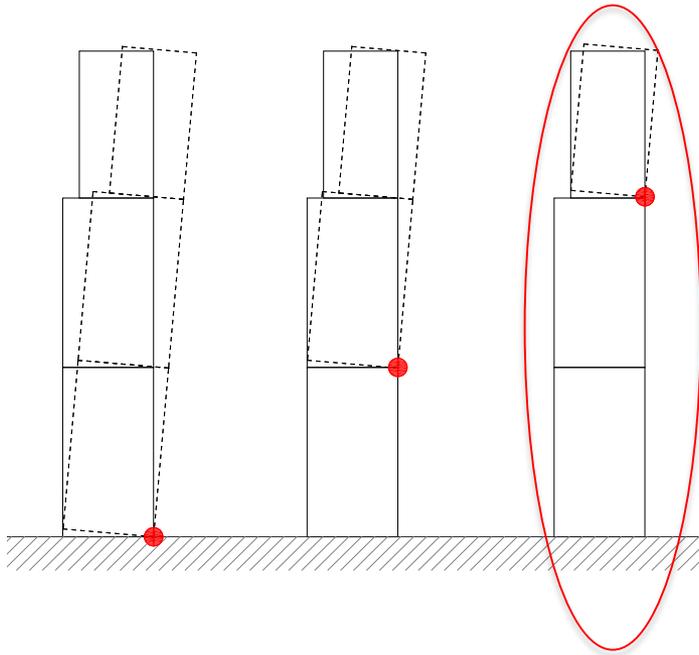
- FIRENZE
- TR = 475 ( $V_N=50$  anni,  $C_U=1$ )
- Terreno = A
- Categoria = T1
  - $a_g = 0.131$  [g]
  - $T_C = 0.302$  sec
  - $F_0 = 2.413$
- **SPETTRI DI PIANO  $\zeta_k=5\%$ ,  $Z/H=0.67$**

## IPOTESI

- 3 piani
- Larghezza parete = 4 m;
- $H_1, H_2, H_3 = 3$  m;  $H_{TOT} = 9$  m;
- $t_1, t_2 = 0.60$  m;  $t_3 = 0.50$  m;
- Parete piena;
- Pietrame disordinato
- Carico solo in copertura,  $N=30$  kN,  $e=t/2$
- LC1, FC = 1.35 -  $T1=0,26$  s -  $\xi1=5\%$



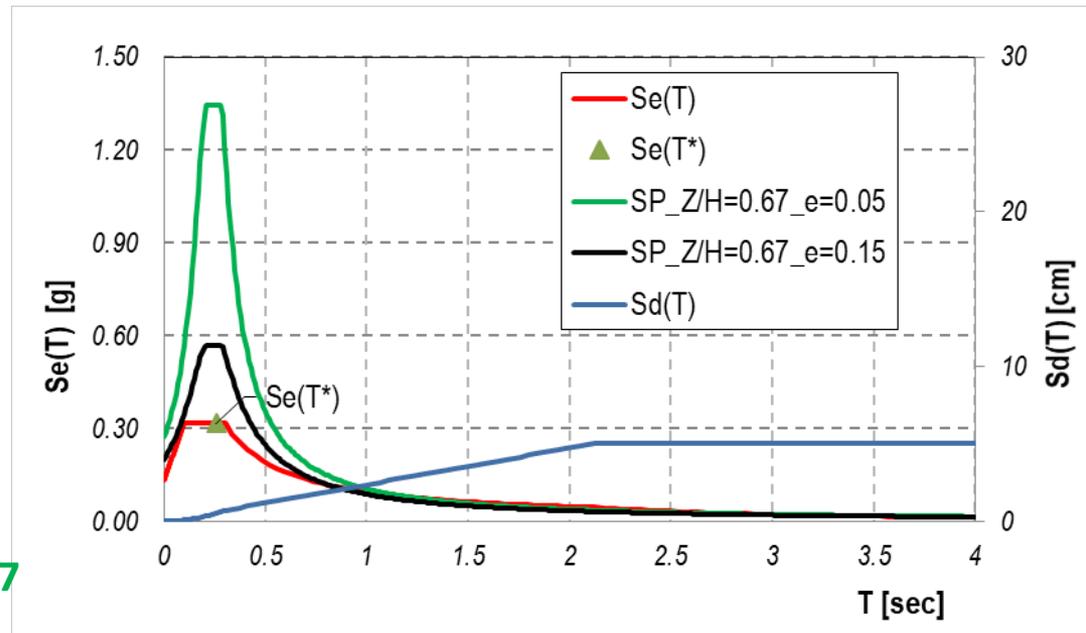
# ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



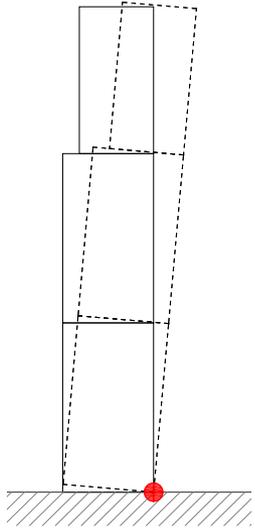
- FIRENZE
- TR = 475 ( $V_N=50$  anni,  $C_U=1$ )
- Terreno = A
- Categoria = T1
  - $a_g = 0.131$  [g]
  - $T_C = 0.302$  sec
  - $F_0 = 2.413$
- **SPETTRI DI PIANO  $\zeta_k=5\%$ ,  $Z/H=0.67$**   
 $\zeta_k=15\%$

## IPOTESI

- 3 piani
- Larghezza parete = 4 m;
- $H_1, H_2, H_3 = 3$  m;  $H_{TOT} = 9$  m;
- $t_1, t_2 = 0.60$  m;  $t_3 = 0.50$  m;
- Parete piena;
- Pietrame disordinato
- Carico solo in copertura,  $N=30$  kN,  $e=t/2$
- LC1, FC = 1.35 -  $T1=0,26$  s -  $\xi1=5\%$



# ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



MECCANISMO A TERRA

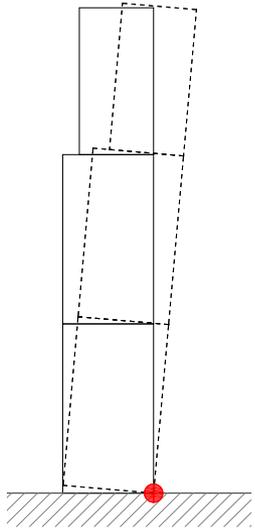
$$\alpha_0 = 0.0607$$

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{P_y,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{PQ,k}}$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

## 1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



MECCANISMO A TERRA

$$\alpha_0 = 0.0607$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

### 1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

- Calcolo della accelerazione corrispondente al moltiplicatore di attivazione

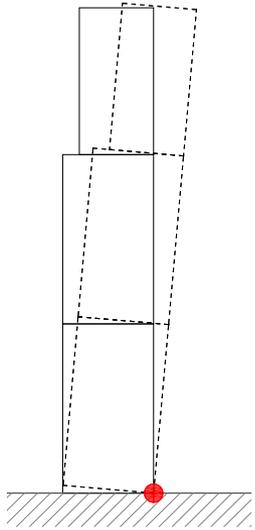
$$a_0 = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC} = a_{Z,SLAt} = 0.58 \text{ m/s}^2 = 0.059 \text{ [g]} \quad z = 0$$

- Calcolo dell'accelerazione al suolo  $a_{g,SLAt}$ , Siamo a  $Z=0$ , **si utilizza lo spettro base**,

$$a_{g,SLAt} = \frac{a_0}{S} = \frac{0.059}{1} = 0.059 \text{ [g]}$$

- da confrontarsi con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  valutata per la probabilità di superamento corrispondente allo stato limite rilevante (non viene specificato quale).

## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



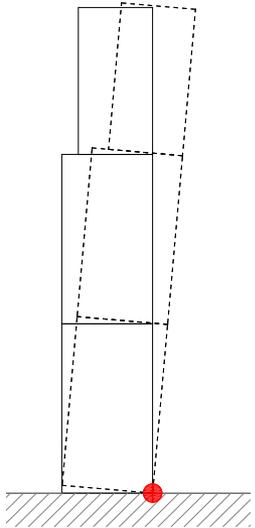
MECCANISMO A TERRA

$$\alpha_0 = 0.0607$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

**2) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento  $q$**

## MECCANISMO A TERRA



$$\alpha_0 = 0.0607$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

## 2) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento $q$

- Calcolo della accelerazione al suolo  $a_{g,SLV}$  come prodotto di  $a_{g,SLAt}$  per  $q$  con  $q=2$ :

$$a_{g,SLV} = a_{g,SLAt} \cdot q = 0.059 \cdot 2 = \mathbf{0.118 [g]} \quad Z = 0$$

- da confrontarsi con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  **allo SLV di domanda = 0.131 [g]**

$$\xi_E = \frac{a_{g,SLV}}{a_{g(SLV)}} = \frac{a_{g,SLV} \text{ capacità}}{a_{g,SLV} \text{ domanda}} = 0.90 \text{ indice di sicurezza}$$

- Da  $a_{g,SLV}$  si calcola il  $T_{SLV} = \mathbf{361}$  anni (tempo di ritorno di capacità,  $T_R, a_g, F_0$  variabili)

- Da cui si calcola il  $T_{INT}$  invertendo la formula  $\frac{T_{INT} \cdot C_U}{T_{SLV}} = -\ln(1-0,1) = 0,105 \quad T_{INT} = \mathbf{38}$  anni

- Da confrontare con la  $V_N = 50$  anni  $\rightarrow \frac{V_N}{T_{INT}} = \frac{50}{38} = \mathbf{1.31}$

la probabilità annua di superamento dello stato limite è un multiplo di quella delle strutture adeguate. Tale multiplo è pari a  $V_N/T_{INT}$

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$

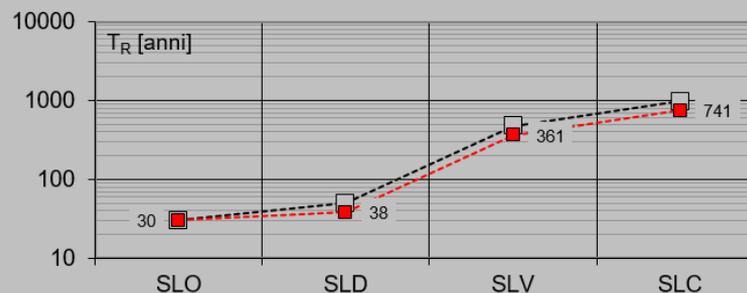
Stati limite ultimi - SLU {

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



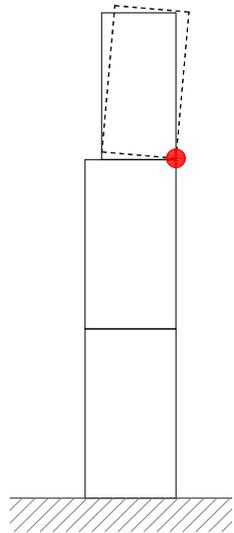
LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO	FASE 1	FASE 2	FASE 3
-------	--------	--------	--------

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,046	2,555	0,253
SLD	38	0,050	2,572	0,260
SLV	361	0,117	2,434	0,299
SLC	741	0,151	2,391	0,307

## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



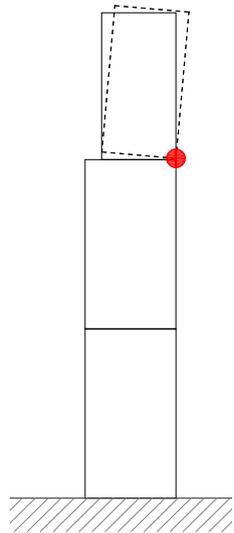
MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.1379$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

**1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)**

## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.1379$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

### 1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

- Calcolo della accelerazione corrispondente al moltiplicatore di attivazione

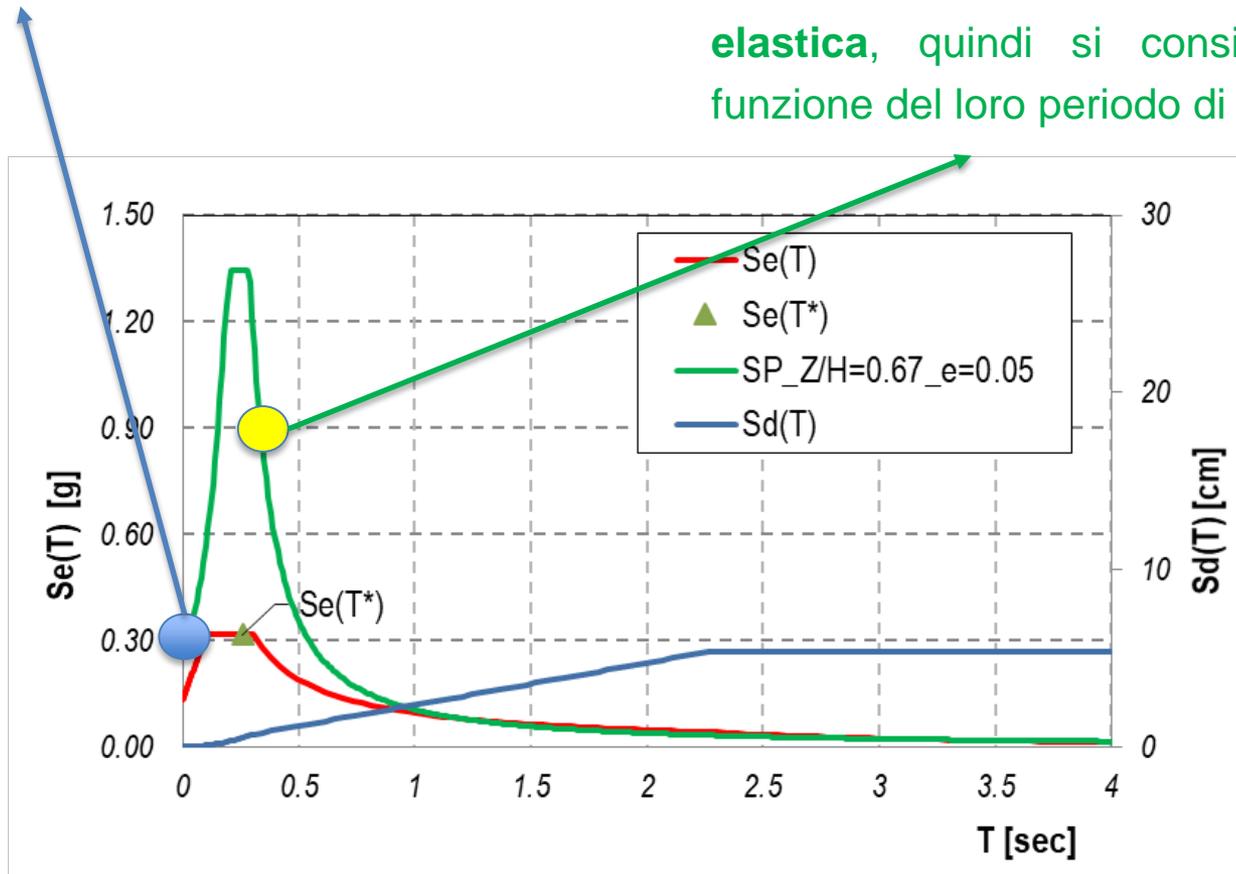
$$a_0 = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC} = a_{Z,SLAt} = 1.115 \frac{m}{s^2} = \mathbf{0.114 [g]} \quad Z = 6 \text{ metri}$$

- Calcolo dell'accelerazione al suolo  $a_{g,SLAt}$ , Siamo a  $Z=6$  m, **si utilizza lo spettro di piano in corrispondenza del  $T=0$ , ovvero il punto di aggancio allo spettro;**

## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani

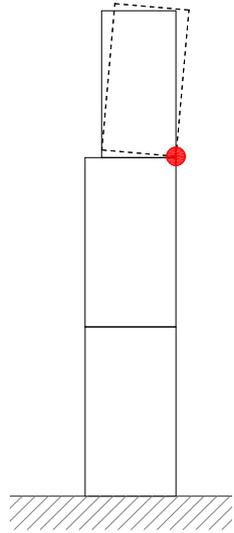
Nel caso di elementi vincolati prima dell'attivazione del meccanismo si utilizza lo spettro di piano in corrispondenza del  $T=0$ , ovvero il punto di aggancio allo spettro;

Nel caso invece di elementi liberi di vibrare (quali parapetti, pinnacoli o merlature, ecc.) è necessario considerare che la loro risposta, prima che si verifichino le condizioni di attivazione del cinematismo, è **dinamica elastica**, quindi si considera lo spettro in funzione del loro periodo di vibrazione



$$T_0 = \kappa \lambda L \sqrt{\frac{W}{Eg}}$$

# ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.1379$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

## 1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

- Considerando una sola forma modale ( $k=1$ ), si ricava  $a_{g,SLAt}$ , invertendo la formula degli spettri di piano,  $\mathbf{a}_{z,k}(\mathbf{z}) = \mathbf{S}_e(T_k, \xi_k) |\gamma_k \psi_k(\mathbf{z})| \sqrt{1 + 0.0004 \xi_k^2}$  in cui  $a_z(z) = a_{z,SLAt} = 0.114$  [g]

$$S_e(T, \xi) = \frac{a_z(z)}{|\gamma \psi(z)| \sqrt{1 + 0.0004 \xi_k^2}} = \frac{0.114}{|1.29 \cdot 0.67| \sqrt{1 + 0.0004(5)^2}} = 0.132 \text{ [g]}$$

- Da cui tramite le formule dello spettro di base ( $T_R, a_g, F_0$  variabili) è possibile calcolarsi l' $a_{g,SLAt}$
- $\mathbf{a}_{g,SLAt} = 0.051$  [g] da confrontarsi con lo  $a_g$  allo stato limite idoneo (non specificato).

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

---

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

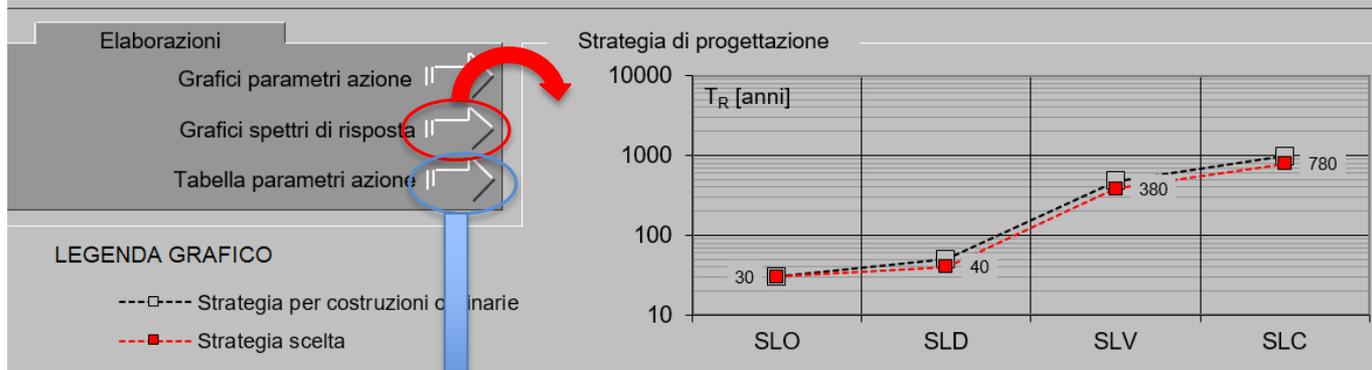
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {

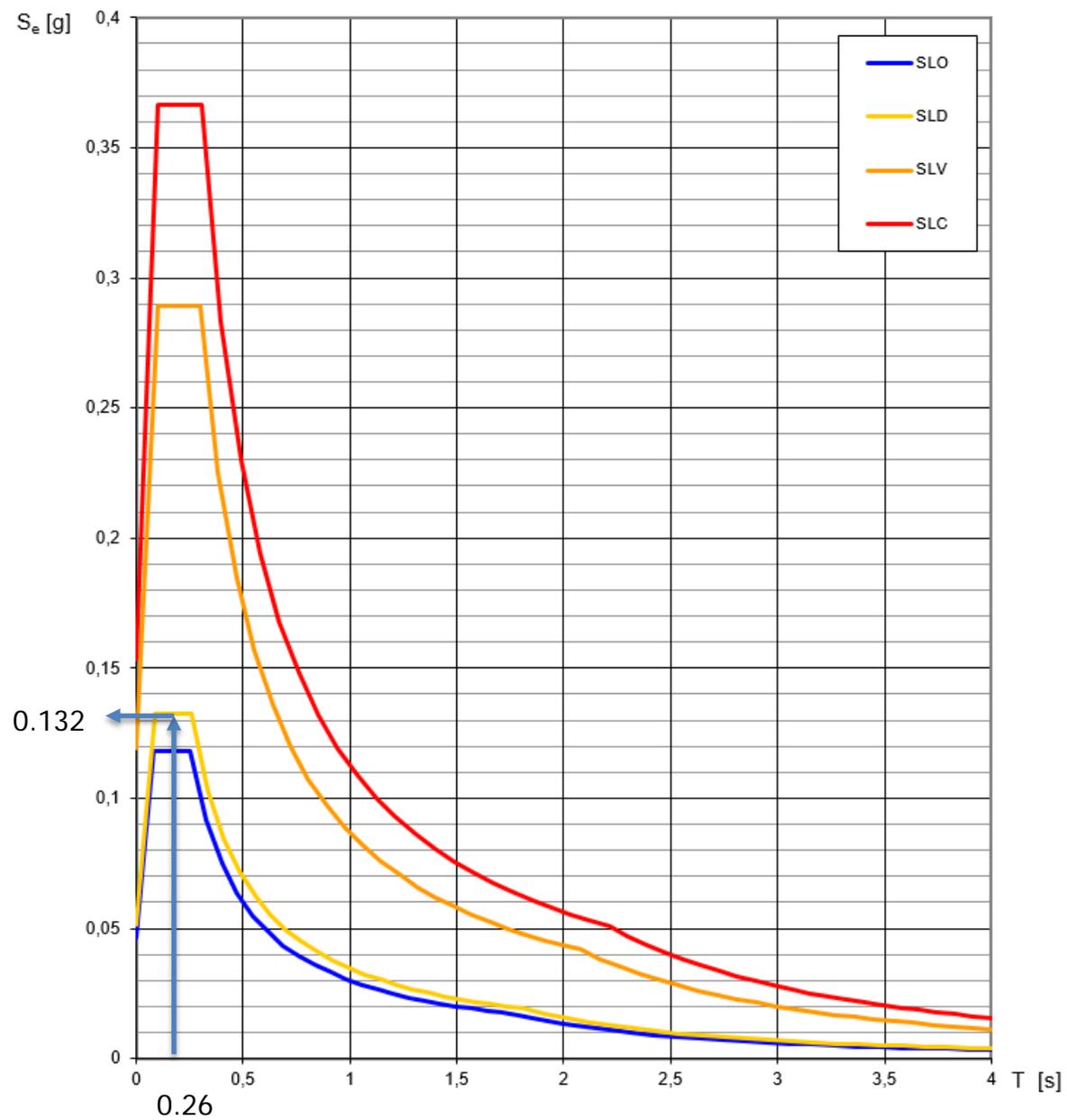
- SLO -  $P_{VR} = 81\%$
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU {

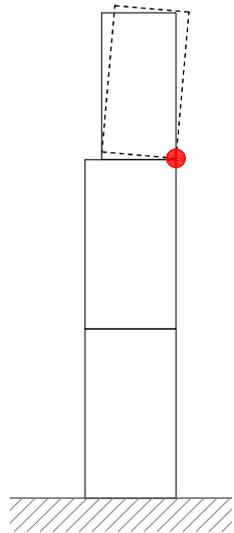
- SLV -  $P_{VR} = 10\%$
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$



INTRO	FASE 1	FASE 2	FASE 3	
SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,046	2,555	0,253
SLD	40	0,051	2,576	0,261
SLV	380	0,119	2,428	0,300
SLC	780	0,153	2,390	0,307



## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



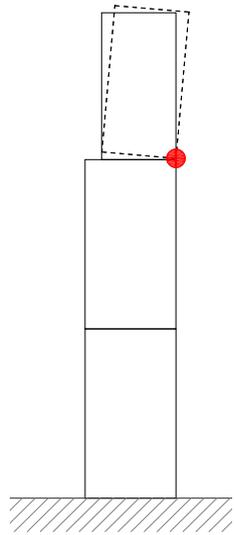
MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.1379$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

**2) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento  $q$**

## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani



### MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.1379$$

la porzione rappresentata dal sistema di corpi rigidi si comporta come **infinitamente rigida** fino all'attivazione del cinematismo

### 2) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento $q$

- Calcolo della accelerazione al suolo  $a_{g,SLV}$  come prodotto di  $a_{g,SLAt}$  per  $q$  con  $q=2$ :

$$a_{g,SLV} = a_{g,SLAt} \cdot q = 0.051 \cdot 2 = \mathbf{0.102 \text{ [g]}}$$

- da confrontarsi con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  allo SLV di domanda = 0.131 [g]

$$\xi_E = \frac{a_{g,SLV}}{a_g(SLV)} = 0.79 \text{ indice di sicurezza}$$

- Da  $a_{g,SLV}$  si calcola il  $T_{SLV} = 255$  anni (tempo di ritorno di capacità)
- Da cui si calcola il  $T_{INT}$  invertendo la formula  $\frac{T_{INT} \cdot C_U}{T_{SLV}} = -\ln(1-0,1) = 0,105$   $T_{INT} = \mathbf{26 \text{ anni}}$
- Da confrontare con la  $V_N = 50$  anni  $\rightarrow \frac{V_N}{T_{INT}} = \frac{50}{26} = \mathbf{1.92}$

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

---

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

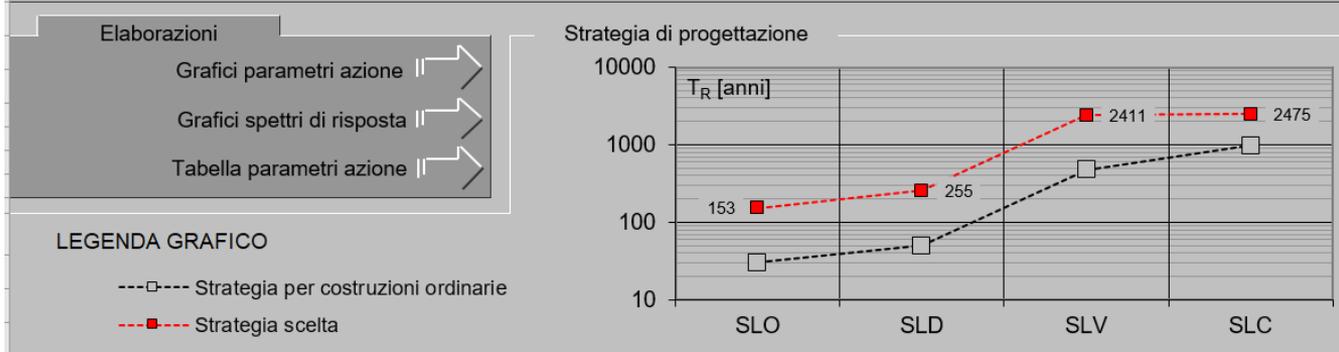
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {

- SLO -  $P_{VR} = 81\%$
- SLD -  $P_{VR} = 63\%$

Stati limite ultimi - SLU {

- SLV -  $P_{VR} = 10\%$
- SLC -  $P_{VR} = 5\%$



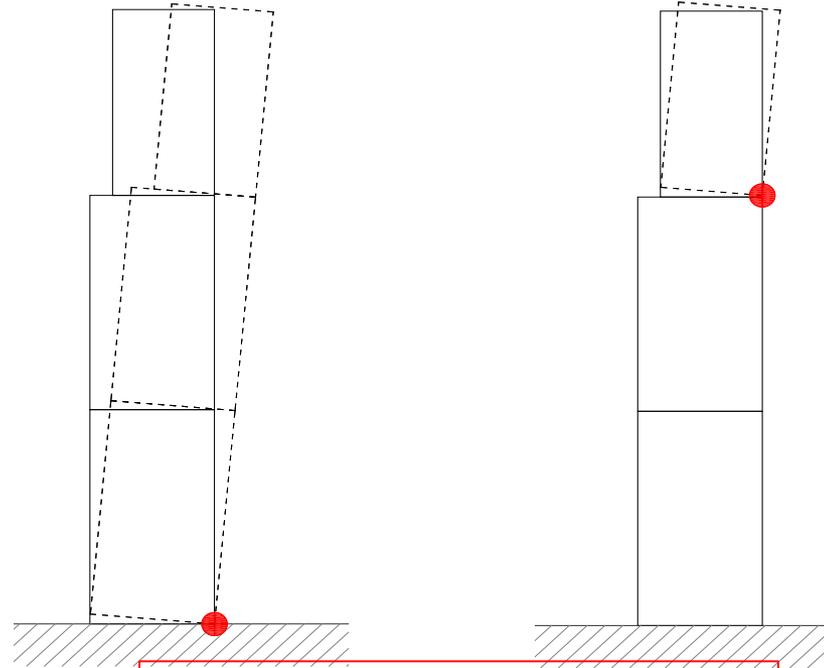
INTRO	FASE 1	FASE 2	FASE 3	
SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	153	0,082	2,588	0,289
SLD	255	0,102	2,481	0,296
SLV	2411	0,216	2,416	0,317
SLC	2475	0,218	2,416	0,317

# CONFRONTO SLV CIRC.2009 – CIRC. 2018

indice di sicurezza  $\xi_E = \frac{a_{g,SLV} \text{capacità}}{a_g(SLV) \text{domanda}}$

MECCANISMO A TERRA

MECCANISMO IN QUOTA



$T_1 = 0,26 \quad \xi_1 = 5\%$

CIRC. 2009	0.90	0.84
<b>CIRC. 2018</b>	<b>0.90</b>	<b>0.79</b>
Variazione%	0	5%

# CONFRONTO SLV CIRC.2009 – CIRC. 2018

$$\text{indice di sicurezza } \xi_E = \frac{a_{g,SLV \text{ capacità}}}{a_{g(SLV) \text{ domanda}}}$$

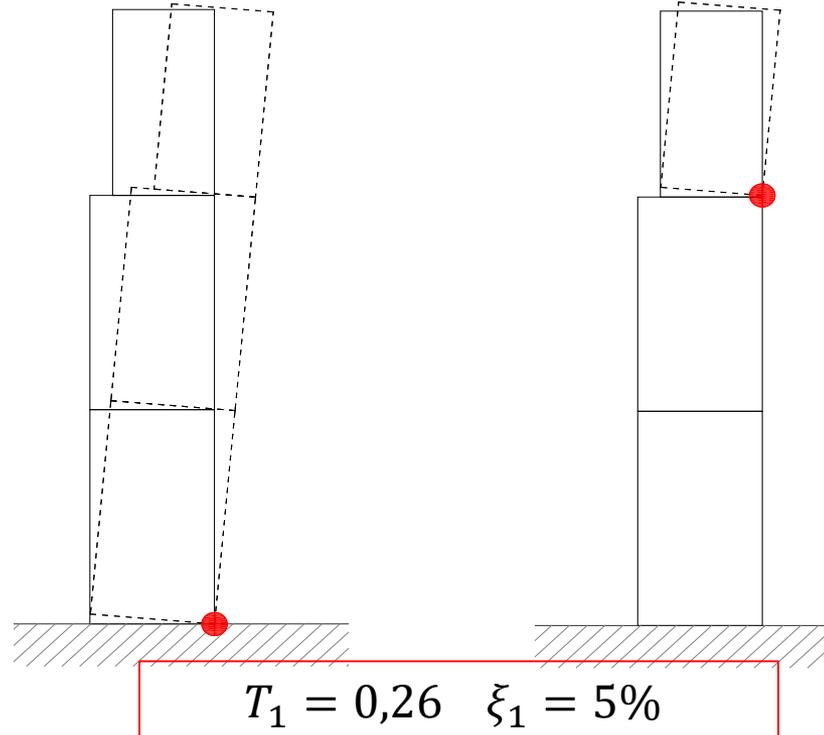
MECCANISMO A TERRA

MECCANISMO IN QUOTA

Indicazioni per tenere in conto del  $\zeta_k T_k$

gli edifici in muratura

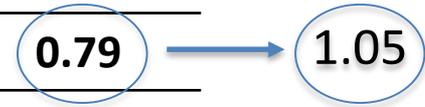
- presentano un incremento del periodo equivalente compreso tra il 50% ed il 100% (75%)
- raggiungono valori di smorzamento viscoso equivalente variabili dal 10% fino al 20% (15%)



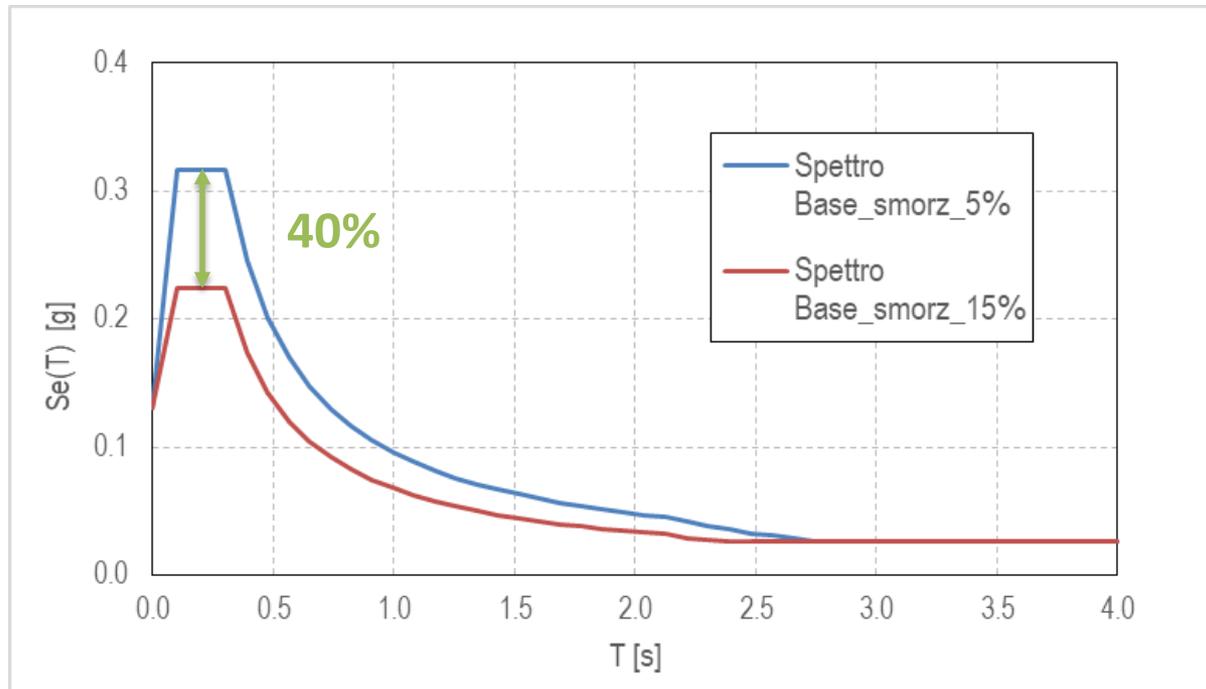
Se smorzamento struttura  $\xi_k = 15\%$

$T=T_1$

CIRC. 2009	0.90	0.84
CIRC. 2018	0.90	0.79
Variazione%	0	5%



## Influenza dello smorzamento della struttura sullo spettro di base



# CONFRONTO SLV CIRC.2009 – CIRC. 2018

$$\text{indice di sicurezza } \xi_E = \frac{a_{g,SLV \text{ capacità}}}{a_{g(SLV) \text{ domanda}}}$$

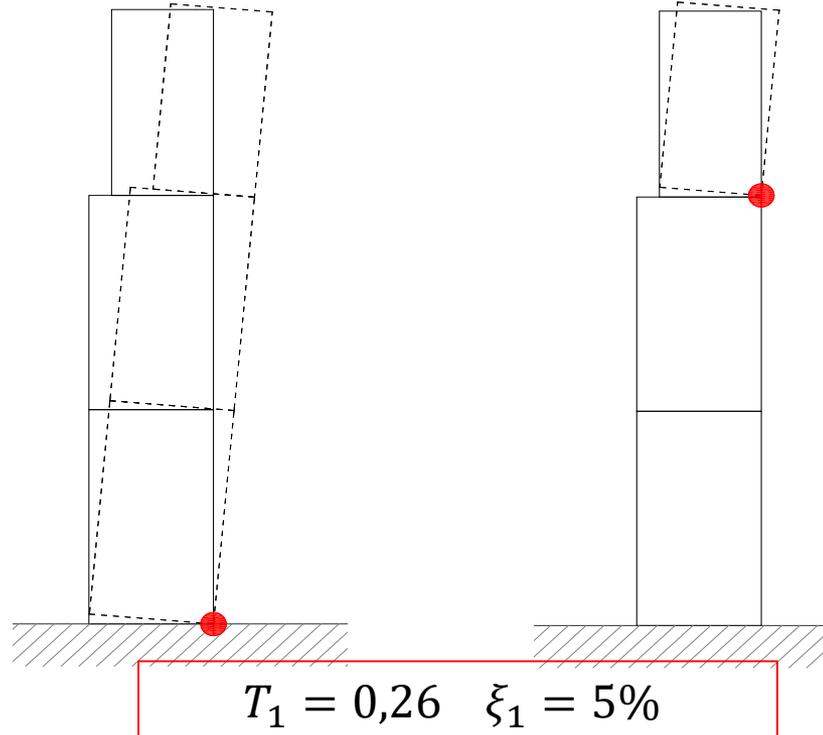
MECCANISMO A TERRA

MECCANISMO IN QUOTA

Indicazioni per tenere in conto del  $\zeta_k T_k$

gli edifici in muratura

- presentano un incremento del periodo equivalente compreso tra il 50% ed il 100% (75%)
- raggiungono valori di smorzamento viscoso equivalente variabili dal 10% fino al 20% (15%)



Smorzamento struttura

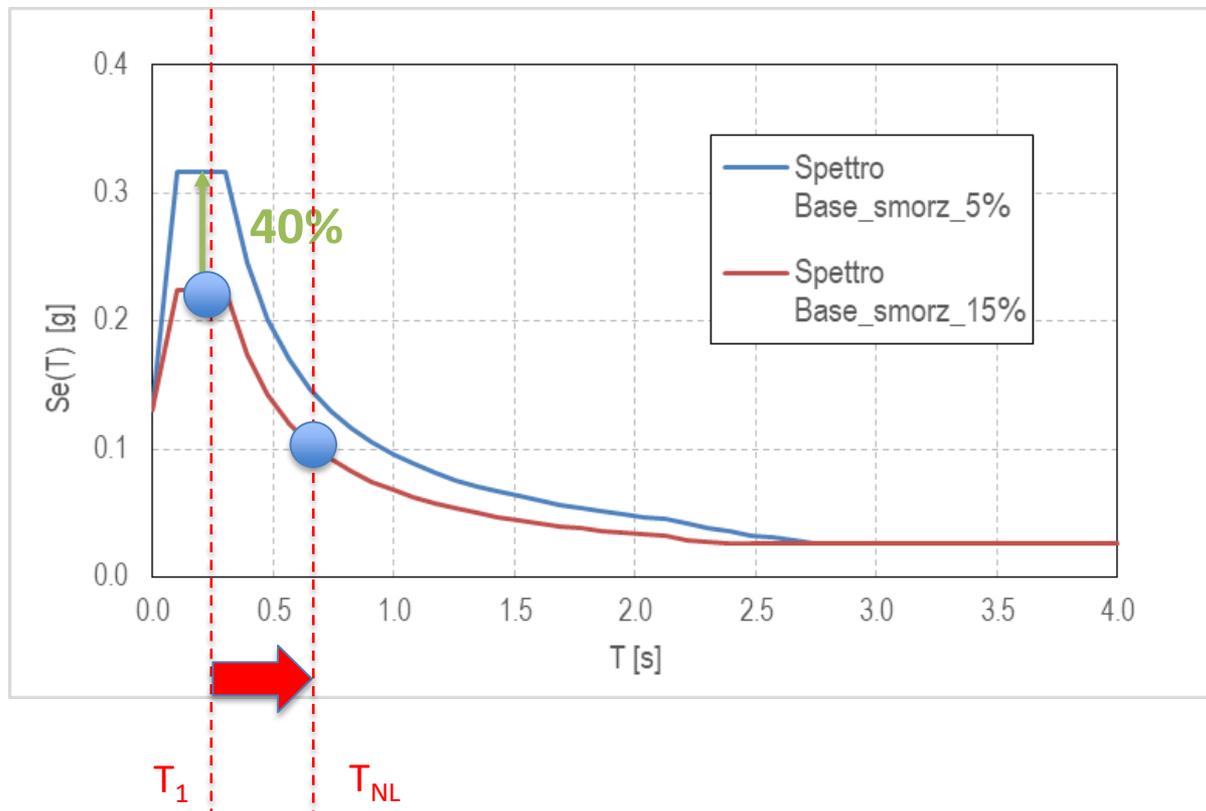
$$\xi_k = 15\%$$

Periodo fondamentale

$$T_1 = 1.75 \cdot 0.26 = 0.46$$

CIRC. 2009	0.90	0.84	$T=T_1$	$T=T_{NL}$
CIRC. 2018	0.90	0.79	1.05	1.67
Variazione%	0	5%		

Influenza dello smorzamento della struttura sullo spettro di base  
e del periodo abbattuto per tener conto della fessurazione in campo non lineare





# MODELLAZIONE A TELAIO EQUIVALENTE: INFLUENZA DELLA NUOVA NORMATIVA NELLE FASI DI ANALISI E NEI RISULTATI

# MODELLAZIONE A TELAIO EQUIVALENTE

**NT08**

**NT18**

Drift - rottura a taglio:

0.4% (SLV)



0.5% (SLC)

Drift - rottura a pressoflessione:

0.6% (SLV)



1.0% (SLC)

# MODELLAZIONE A TELAIO EQUIVALENTE

**NT08**

0.4% (SLV)

0.6% (SLV)

**NT18**

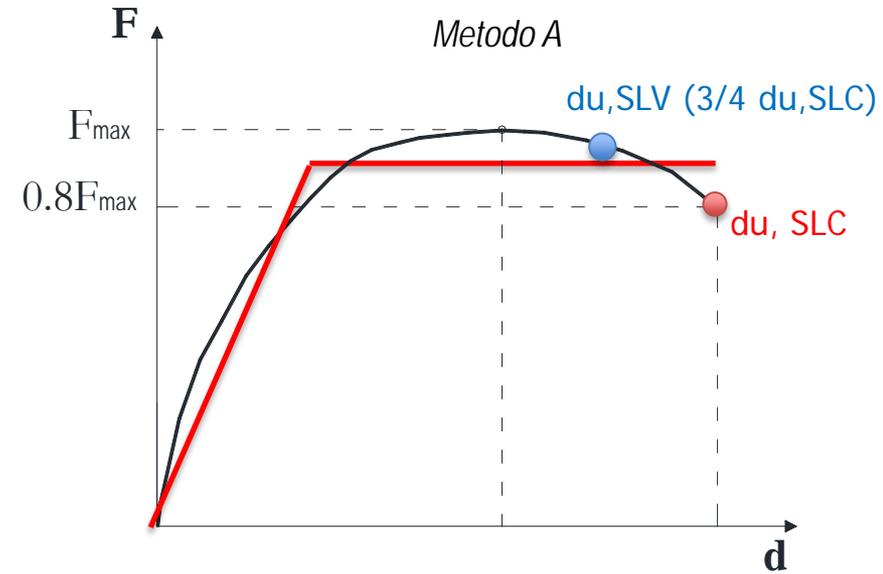
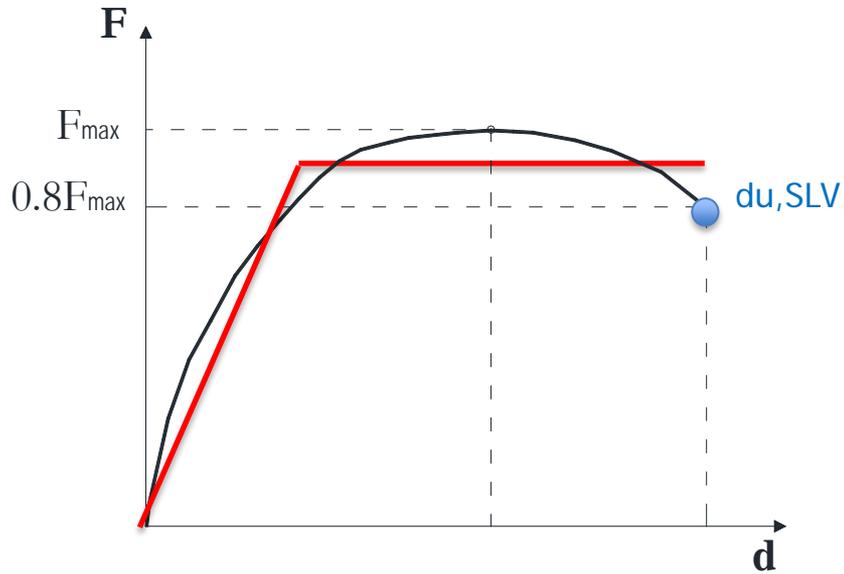
0.5% (SLC)

1.0% (SLC)



Drift - rottura a taglio:

Drift - rottura a pressoflessione:



# MODELLAZIONE A TELAIO EQUIVALENTE

**NT08**

**NT18**

Drift - rottura a taglio:

0.4% (SLV)



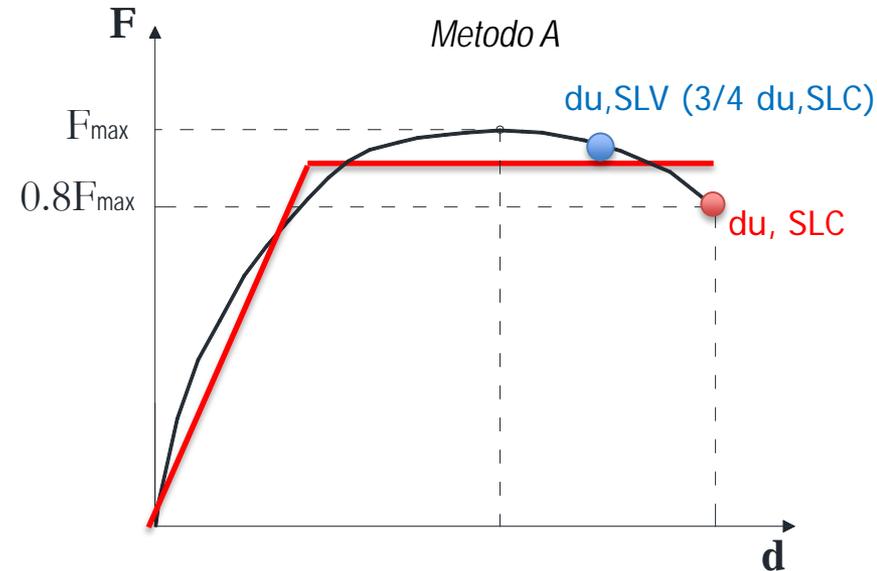
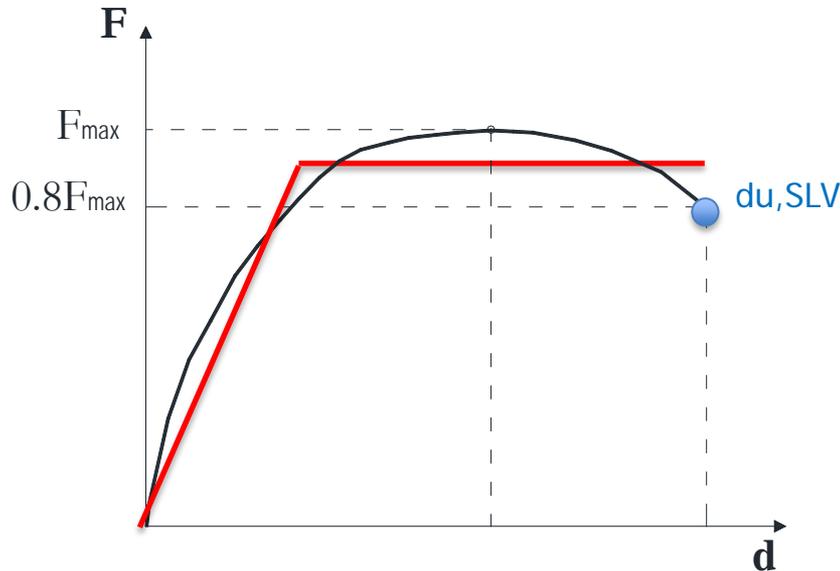
0.5% (SLC)

Drift - rottura a pressoflessione:

0.6% (SLV)



1.0% (SLC)

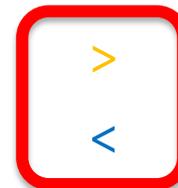


**NT08**

**NT18**

Drift - rottura a taglio:

0.4% (SLV)



0.5%  $\cdot$  3/4 = 0.375% (SLV)

Drift - rottura a pressoflessione:

0.6% (SLV)



1.0%  $\cdot$  3/4 = 0.75% (SLV)

# MODELLAZIONE A TELAIO EQUIVALENTE

**NT08**

**NT18**

Drift - rottura a taglio:

0.4% (SLV)



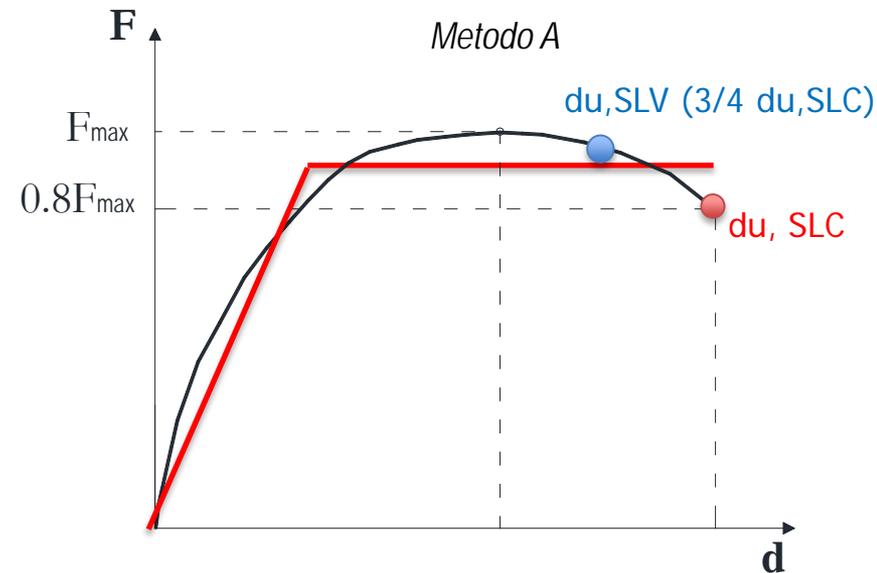
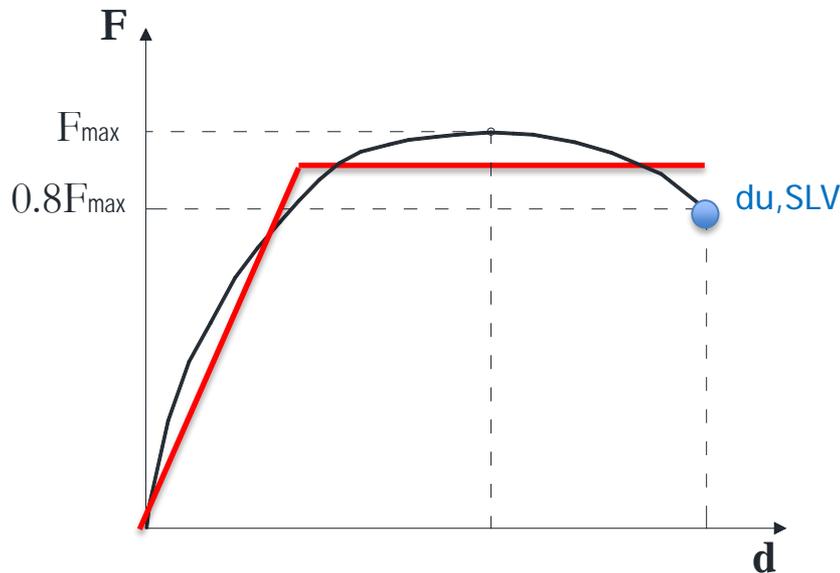
0.5% (SLC)

Drift - rottura a pressoflessione:

0.6% (SLV)



1.0% (SLC)

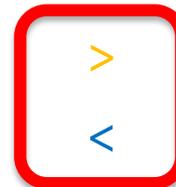


**NT08**

**NT18**

Drift - rottura a taglio:

0.4% (SLV)



0.5%  $\cdot$  3/4 = 0.375% (SLV)

Drift - rottura a pressoflessione:

0.6% (SLV)

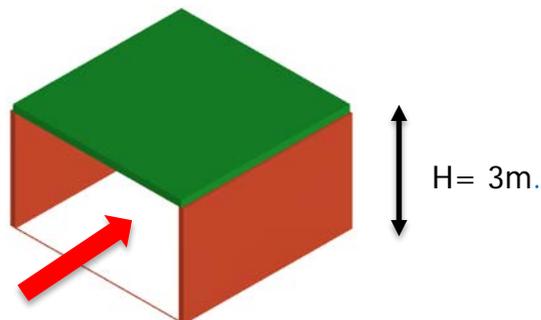


1.0%  $\cdot$  3/4 = 0.75% (SLV)

**RAPPORTI:**

0.6% / 0.4% = 1.5

0.75% / 0.375% = 2.0



Drift - rottura a taglio:

**NT08**  
0.4% (SLV)



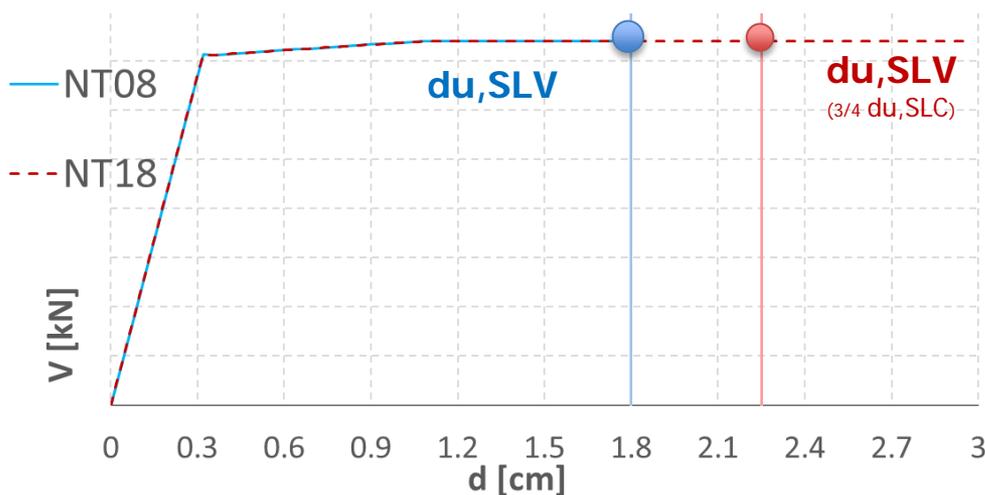
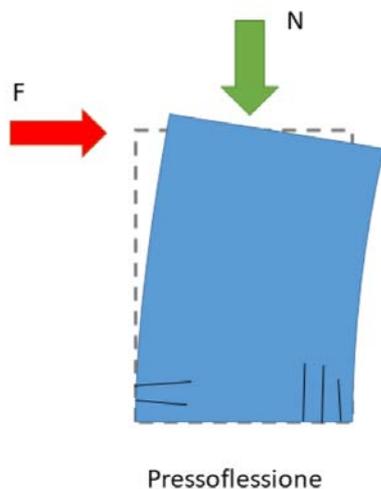
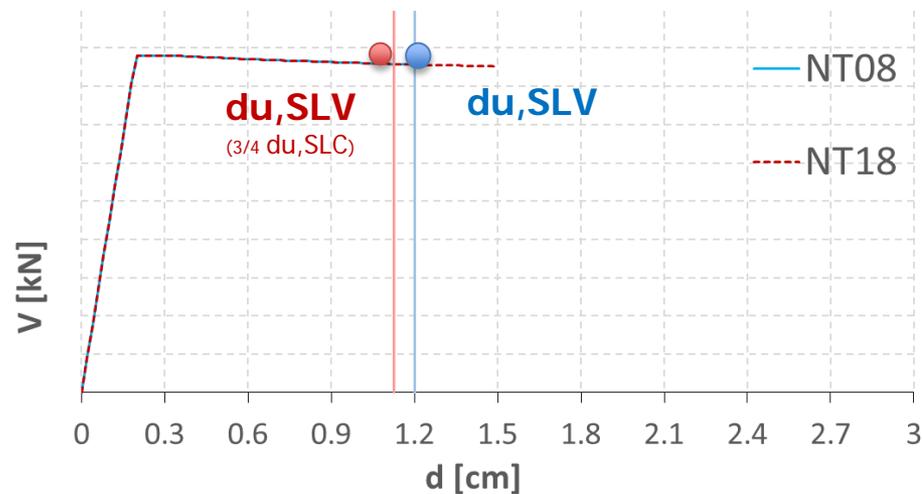
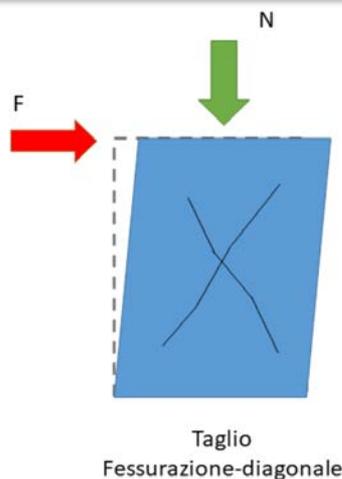
**NT18**  
0.5% (SLC)

Drift - rottura a pressoflessione:

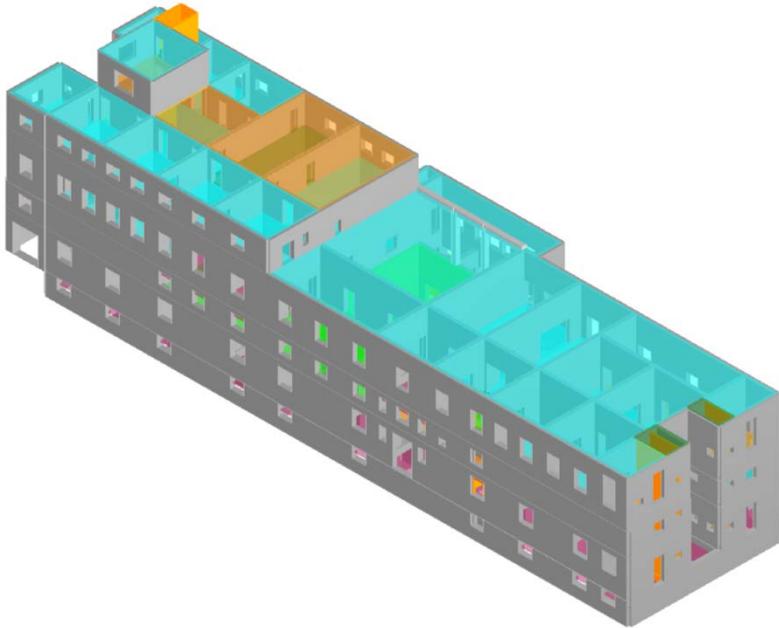
0.6% (SLV)



1.0% (SLC)



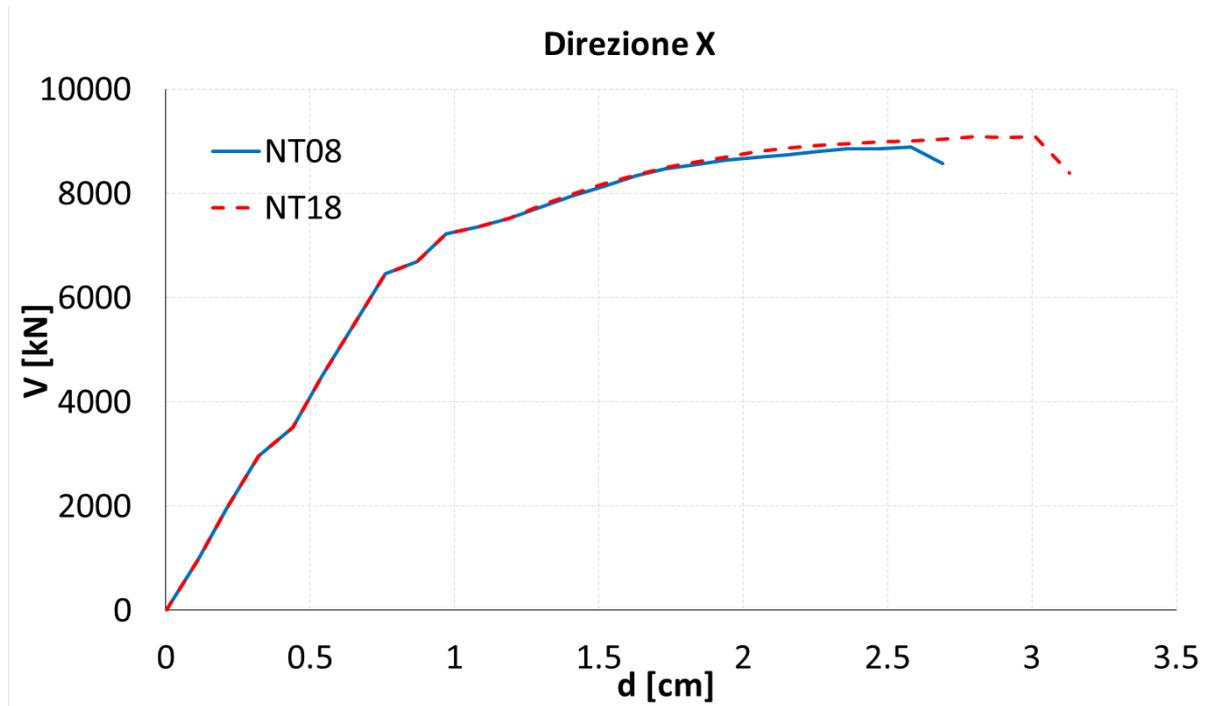
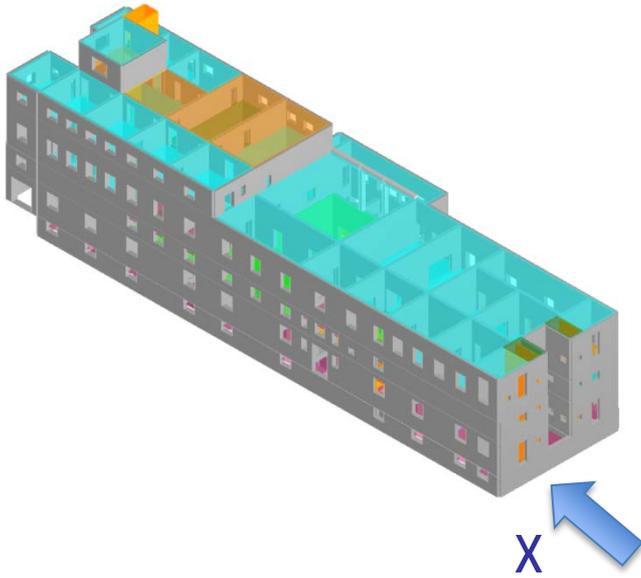
# CASO STUDIO 1 FIRENZE



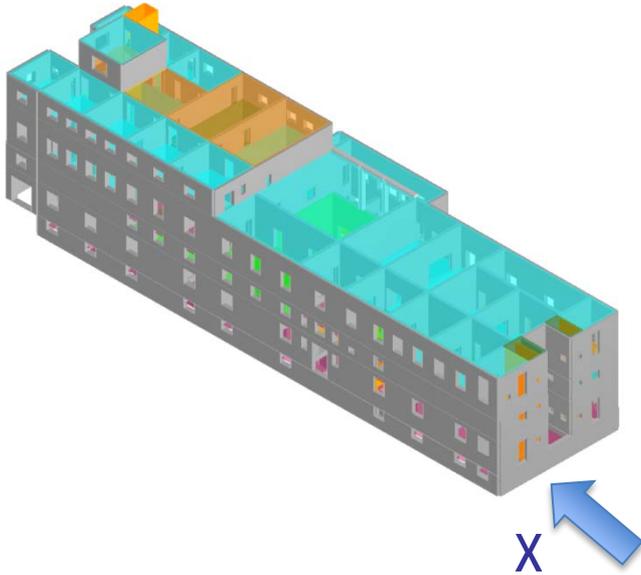
- Edificio storico
- Muratura di pietrame
- Solai flessibili
- 3 livelli fuori terra, ammezzato e piano interrato
- Copertura in legno



# CASO STUDIO 1 FIRENZE



# CASO STUDIO 1 FIRENZE



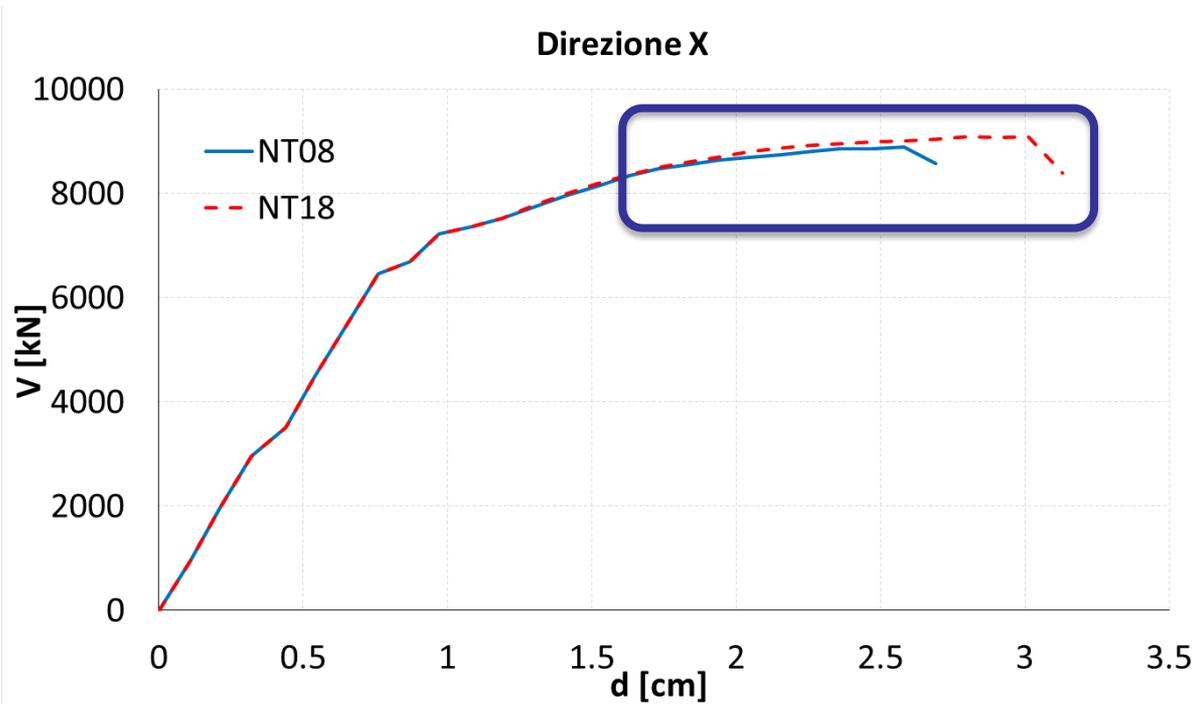
NT08

$$\alpha_{\text{SLV,NT08}} = 0.75$$

NT18

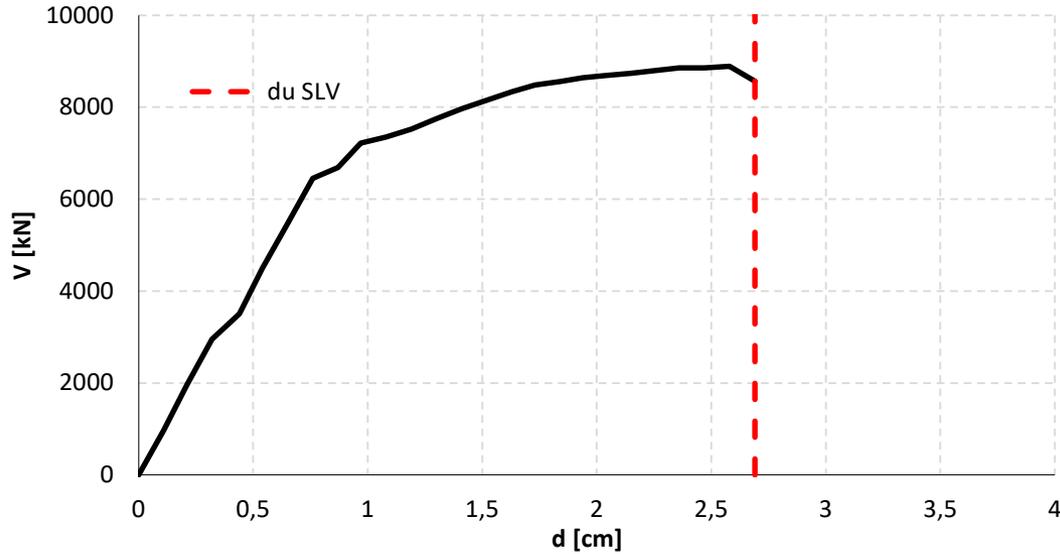
$$\alpha_{\text{SLV,NT18}} = 0.66$$

Variazione  $\alpha_{\text{SLV}} = -12\%$



# CASO STUDIO 1 FIRENZE

Direzione X - NT08



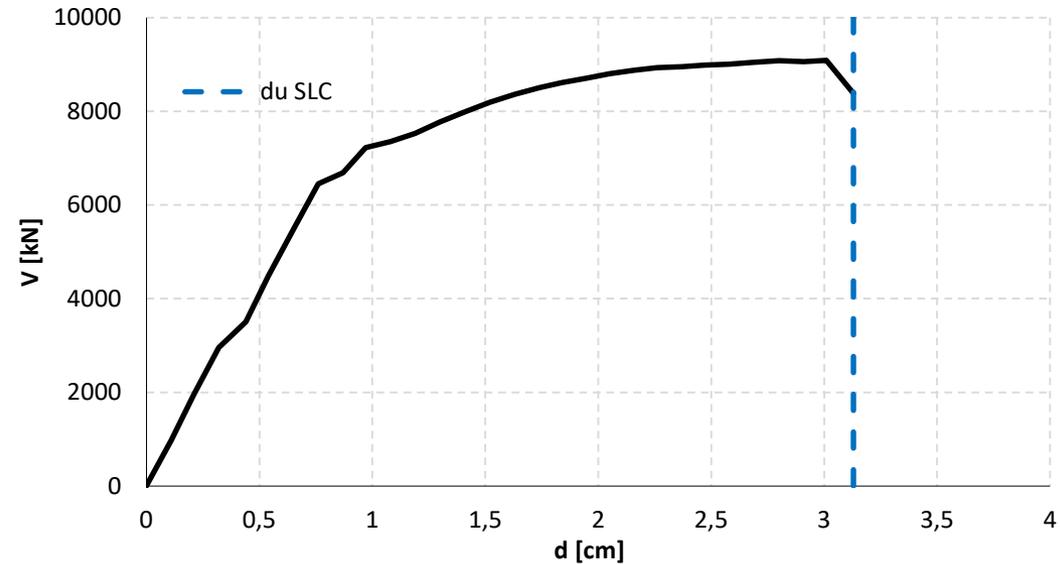
NT08

$$\alpha_{SLV,NT08} = 0.75$$

NT18

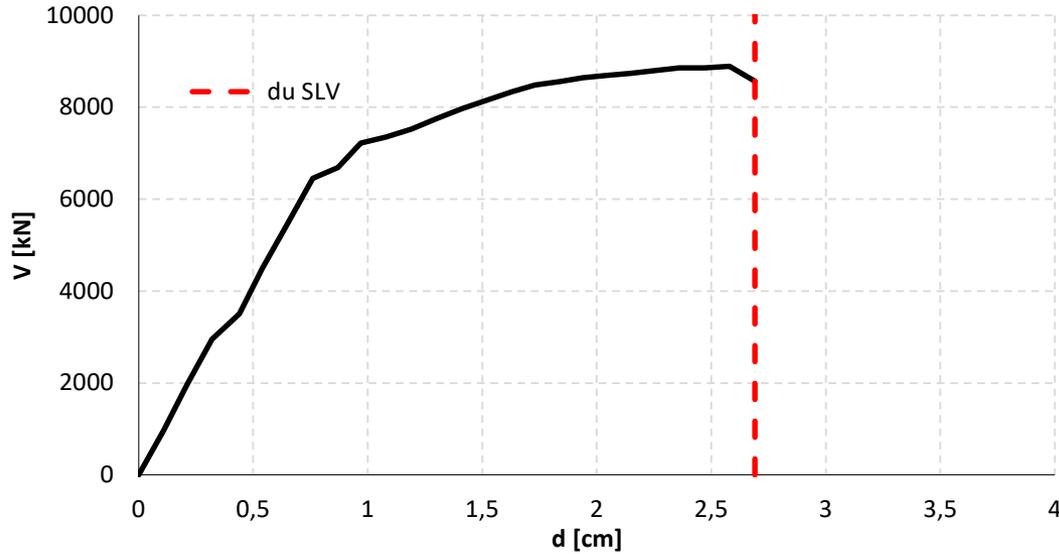
$$\alpha_{SLV,NT18} = 0.66$$

Direzione X - NT18



# CASO STUDIO 1 FIRENZE

Direzione X - NT08



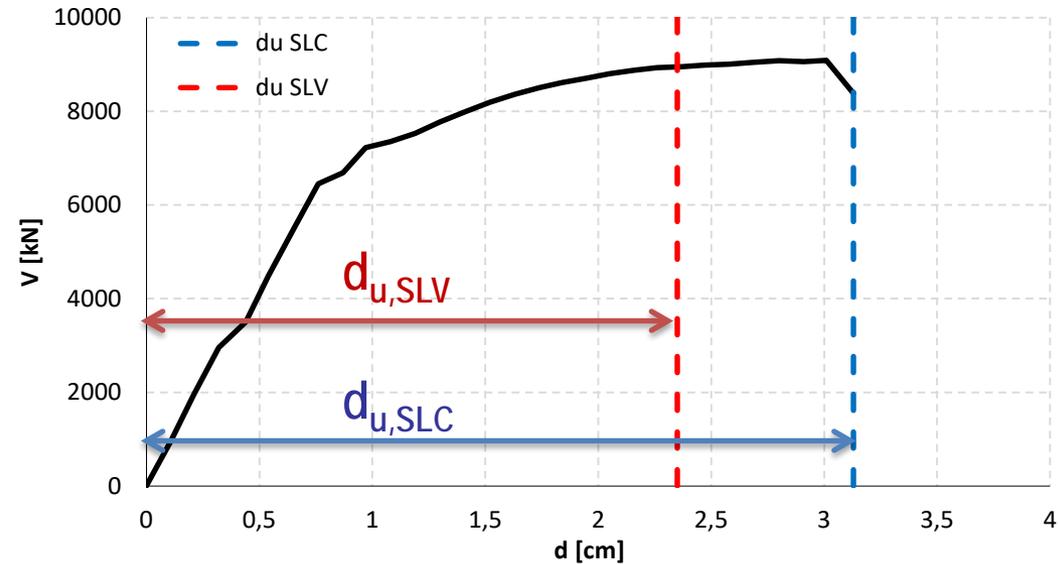
NT08

$$\alpha_{SLV,NT08} = 0.75$$

NT18

$$\alpha_{SLV,NT18} = 0.66$$

Direzione X - NT18



$$d_{u,SLV} = \frac{3}{4} d_{u,SLC}$$

**ANALISI NON LINEARE STATICA**

**METODO DELL'OSCILLATORE EQUIVALENTE – N2 (EC 8, OPCM 3274 E NTC 2008)**

**Sistema bi-lineare equivalente SDOF**

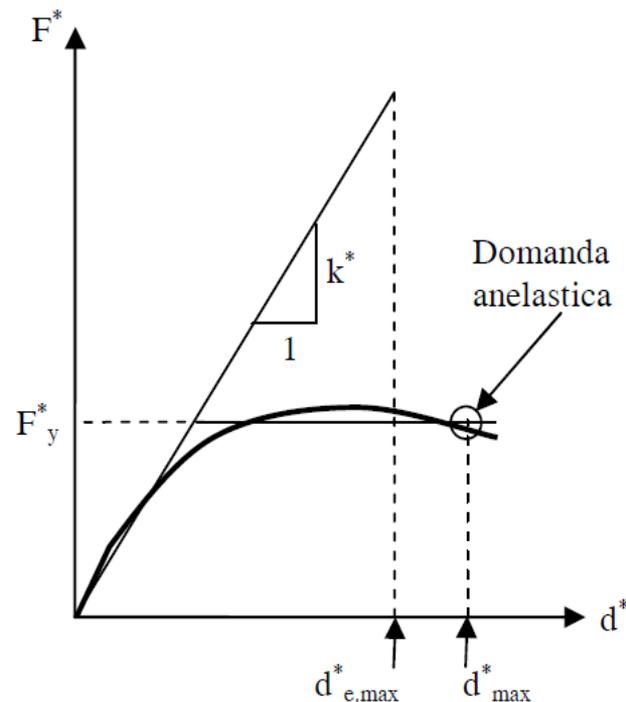
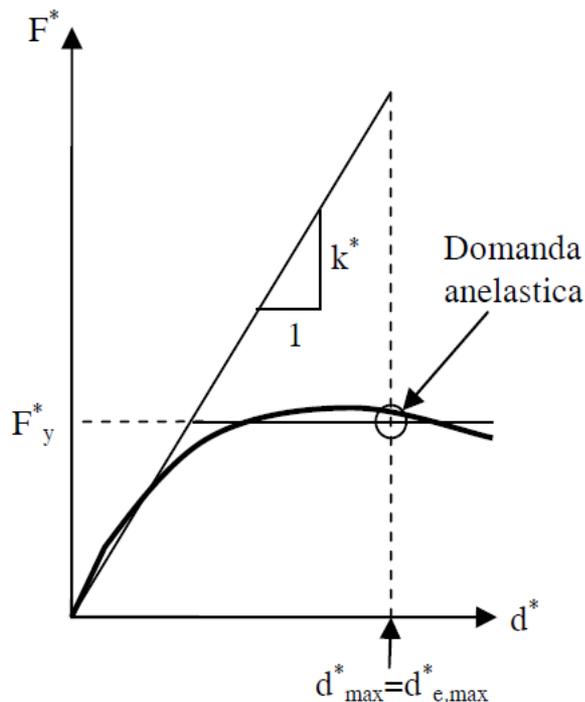


Figura C7.3.2a – Spostamento di riferimento per  $T > T_c$

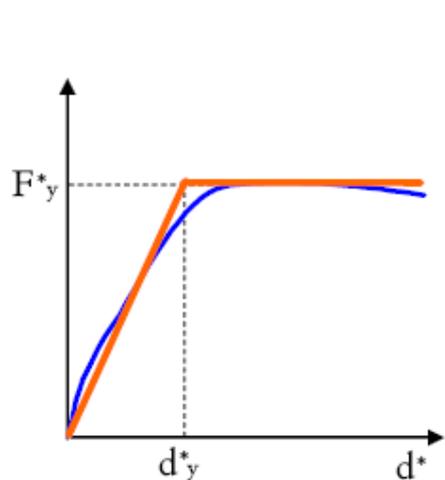
Figura C7.3.2b – Spostamento di riferimento per  $T \leq T_c$

**ANALISI NON LINEARE STATICA**

**METODO DELL'OSCILLATORE EQUIVALENTE – N2 (EC 8, OPCM 3274 E NTC 2008)**

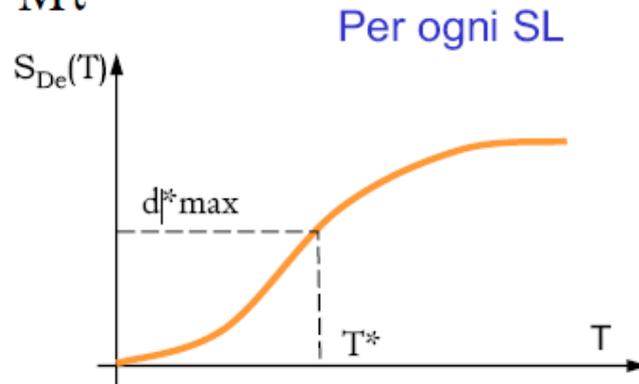
**3 step**

Determinazione della domanda in spostamento.



$$k^* = \frac{F_y^*}{d_y^*} \quad m^* = \Phi^T M \tau$$

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^*}{k^*}}$$



Per ogni SL

Se  $T^* \geq T_c$

$$d_{max}^* = d_{e,max}^* = S_{De}(T^*)$$

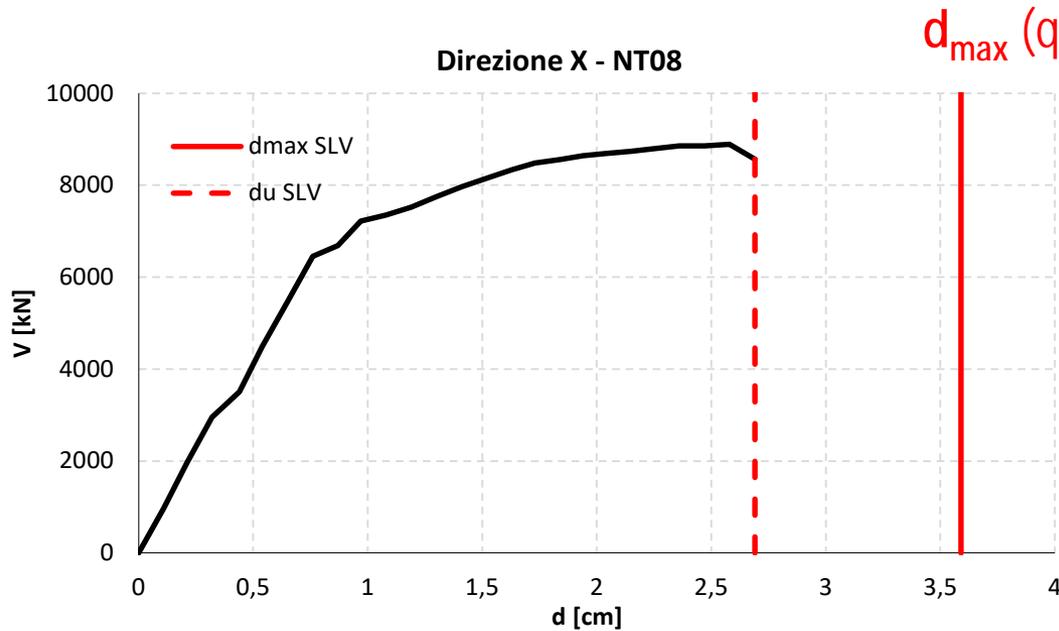
Se  $T^* < T_c$

$$d_{max}^* = \frac{d_{e,max}^*}{q^*} \left[ 1 + (q^* - 1) \frac{T_c}{T^*} \right] \geq d_{e,max}^*$$

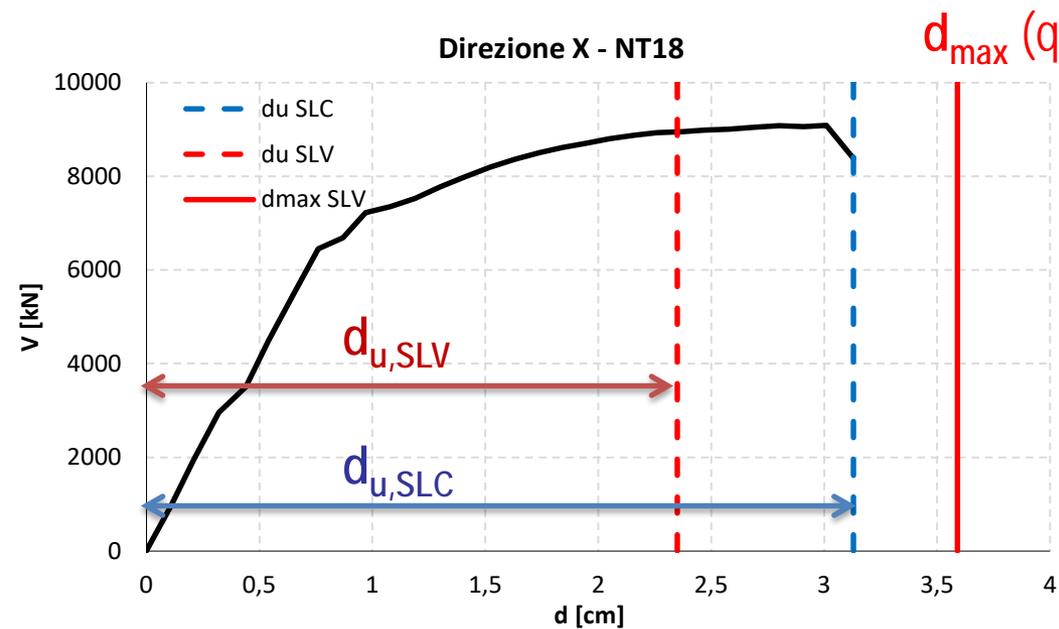
$$q^* = S_e(T^*) m^* / F_y^*$$

Se risulta  $q^* \leq 1$  allora si ha  $d_{max}^* = d_{e,max}^*$ .

# CASO STUDIO 1 FIRENZE



NT08	NT18
$\alpha_{\text{SLV,NT08}} = 0.75$	$\alpha_{\text{SLV,NT18}} = 0.66$

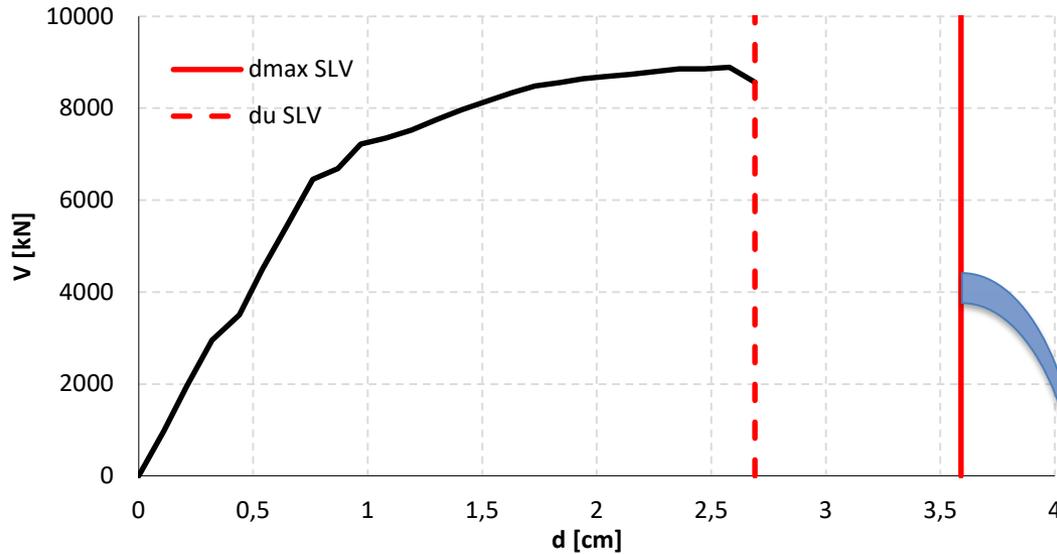


SLV	NT-08	NT-18	
$d_{\max}$	3.59	3.59	[cm]
$d_u$	2.69	2.35	[cm]
$q^*$	3.68	3.60	[-]

$$d_{u,SLV} = \frac{3}{4} d_{u,SLC}$$

# CASO STUDIO 1 FIRENZE

Direzione X - NT08



$d_{\max} (q^* = 3.68)$

NT08

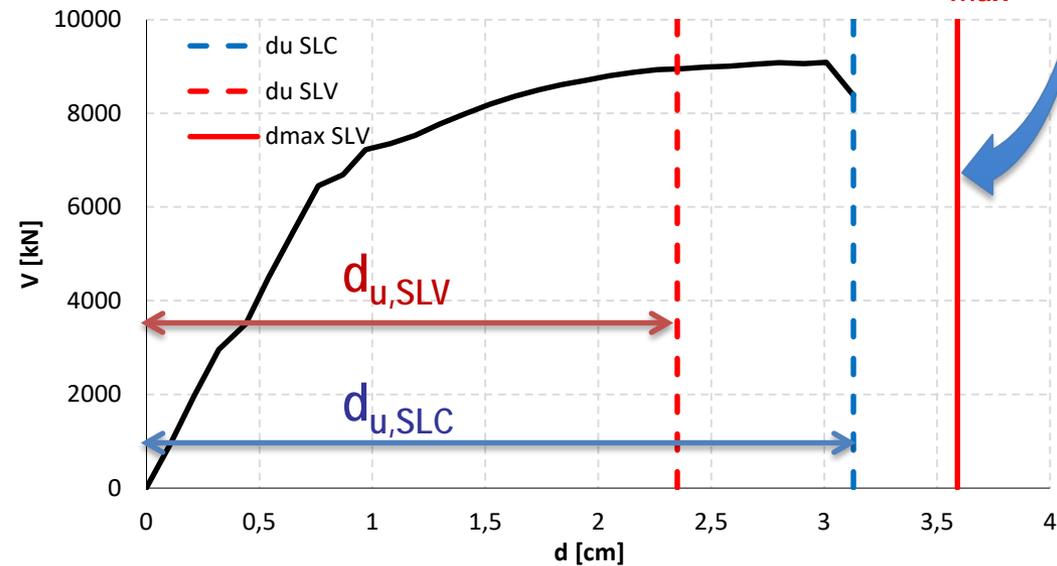
$$\alpha_{\text{SLV,NT08}} = 0.75$$

NT18

$$\alpha_{\text{SLV,NT18}} = 0.66$$

SLV	NT-08	NT-18	
$d_{\max}$	3.59	3.59	[cm]
$d_u$	2.69	2.35	[cm]
$q^*$	3.68	3.60	[-]

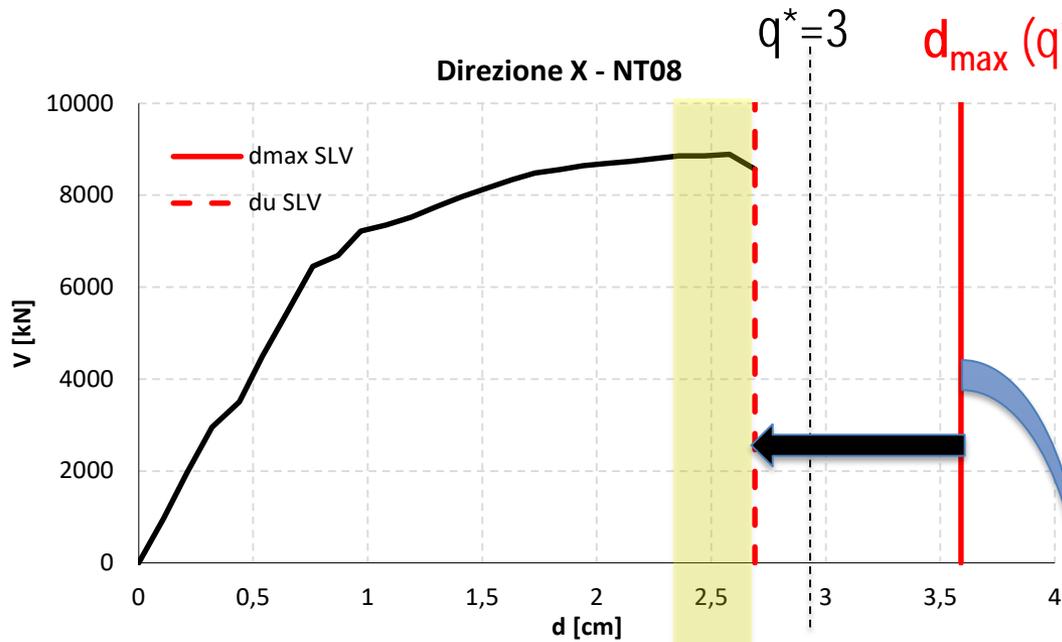
Direzione X - NT18



$d_{\max} (q^* = 3.60)$

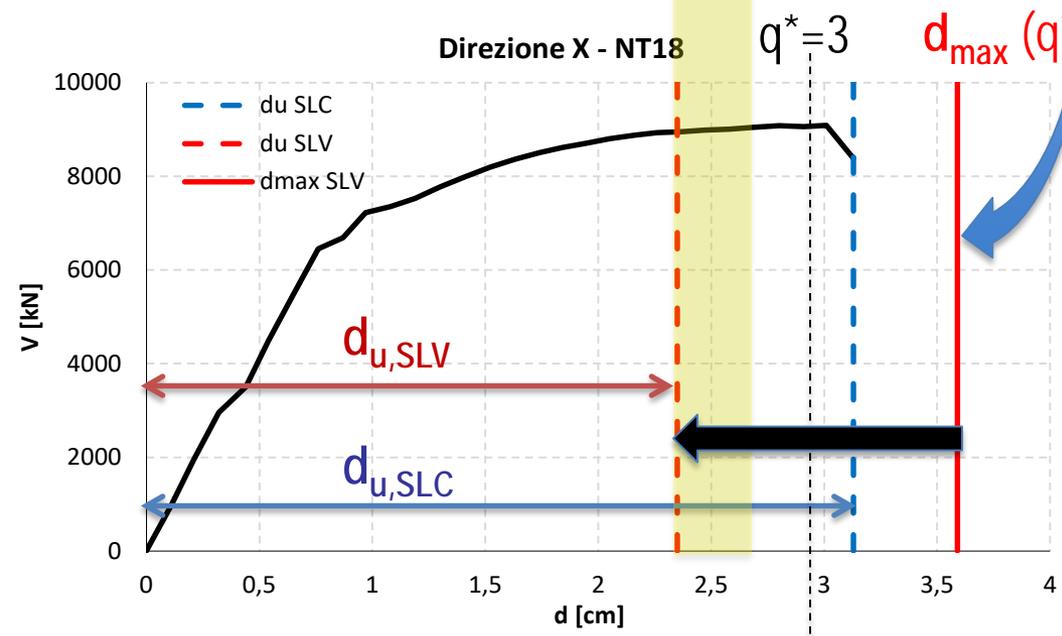
$$d_{u,SLV} = \frac{3}{4} d_{u,SLC}$$

# CASO STUDIO 1 FIRENZE



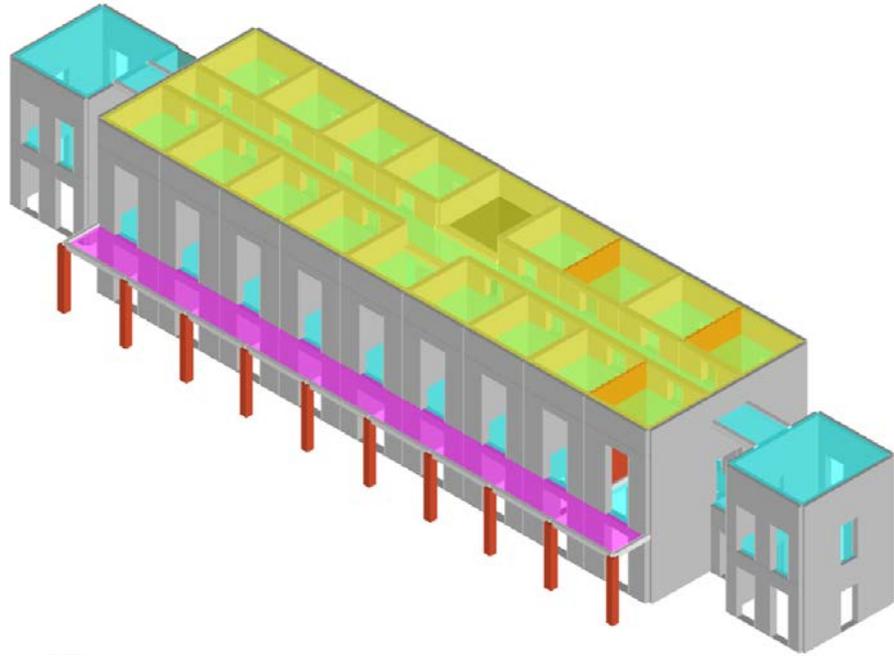
<b>NT08</b>	<b>NT18</b>
$\alpha_{\text{SLV,NT08}} = 0.75$	$\alpha_{\text{SLV,NT18}} = 0.66$

SLV	NT-08	NT-18	
$d_{\max}$	3.59	3.59	[cm]
$d_u$	2.69	2.35	[cm]
$q^*$	3.68	3.60	[-]



$$d_{u,SLV} = \frac{3}{4} d_{u,SLC}$$

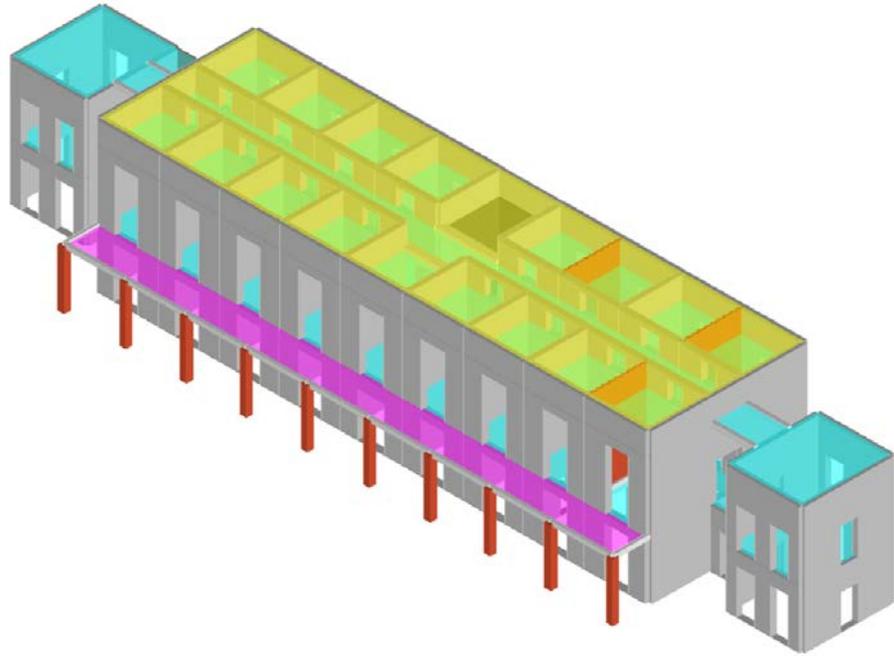
# CASO STUDIO 2 FIRENZE



- Edificio anni 40
- Muratura di pietrame
- Solai rigidi
- 2 livelli + sottotetto
- Copertura in legno



# CASO STUDIO 2 FIRENZE



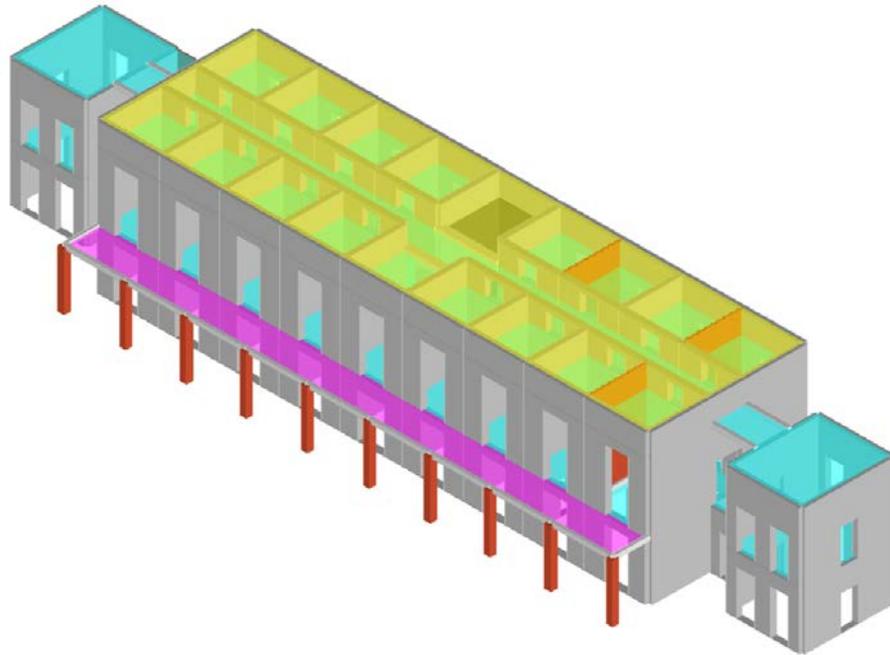
NT08

$$\alpha_{\text{SLV,NT08}} = 0.68$$

NT18

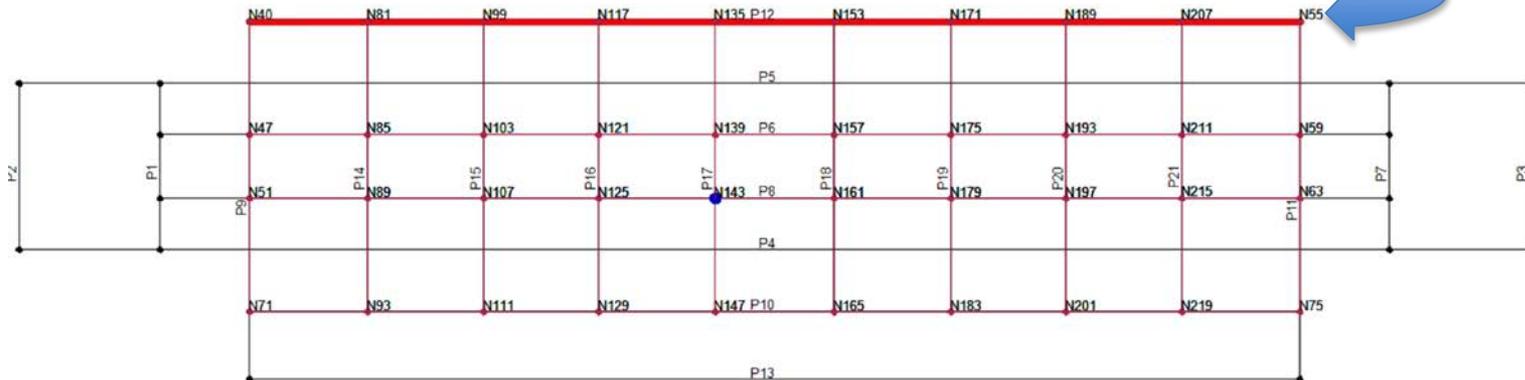
$$\alpha_{\text{SLV,NT18}} = 0.84$$

# CASO STUDIO 2 FIRENZE

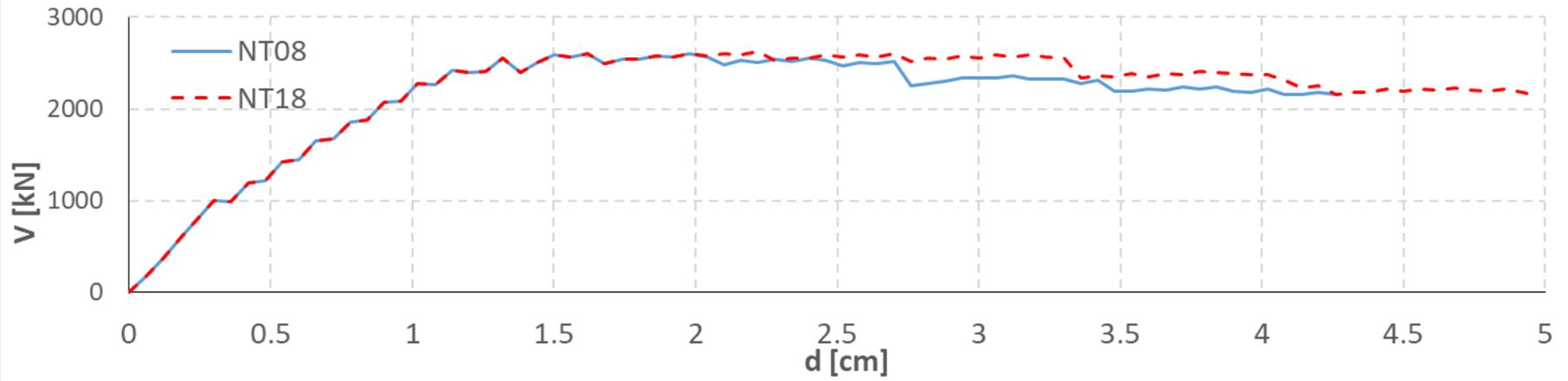


<b>NT08</b>	<b>NT18</b>
$\alpha_{SLV,NT08} = 0.68$	$\alpha_{SLV,NT18} = 0.84$

Analisi del quadro fessurativo di una parete rappresentativa

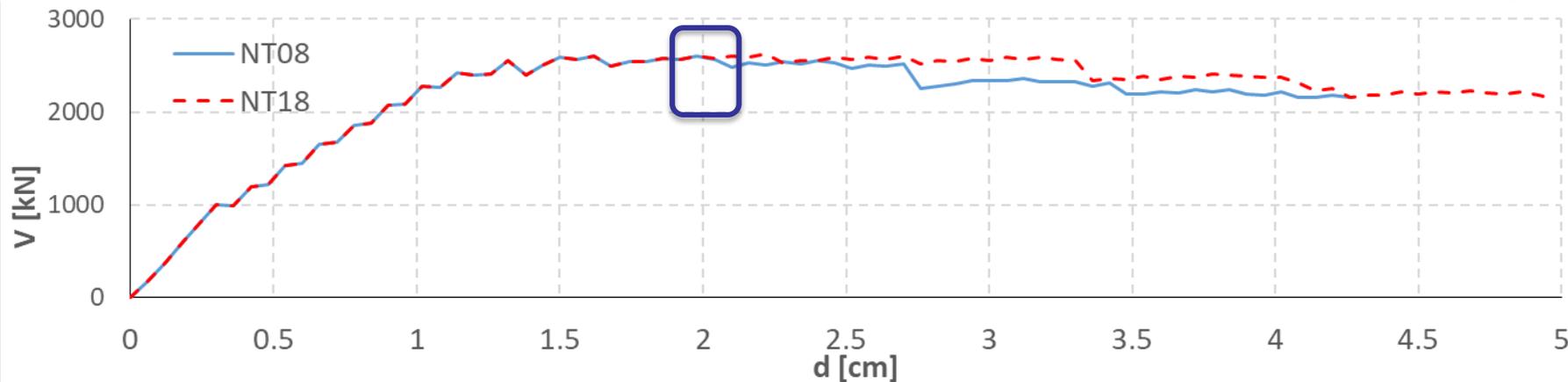


# CASO STUDIO 2 FIRENZE



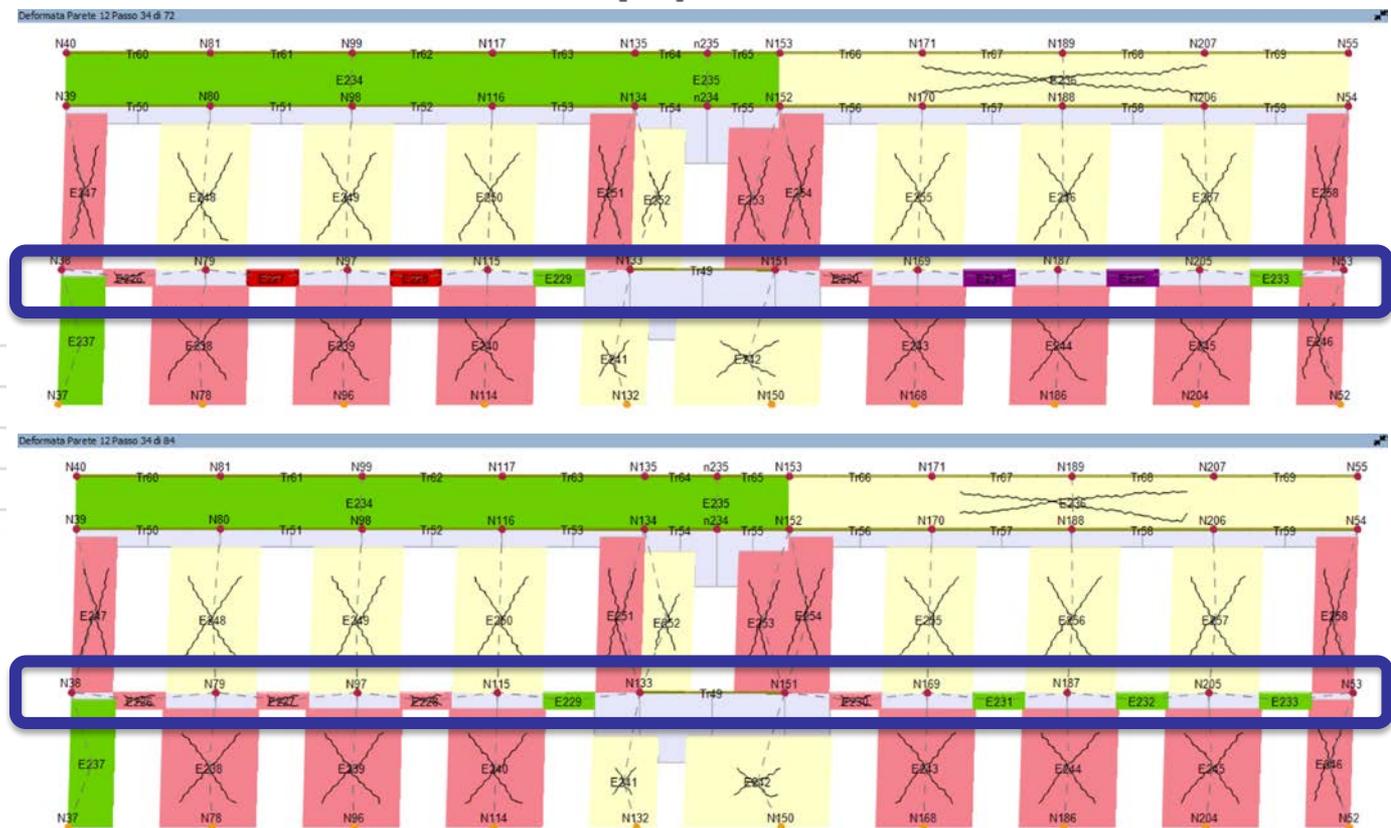
# CASO STUDIO 2 FIRENZE

## STEP 1 - Divergenza delle curve di capacità



NT08 →

- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione



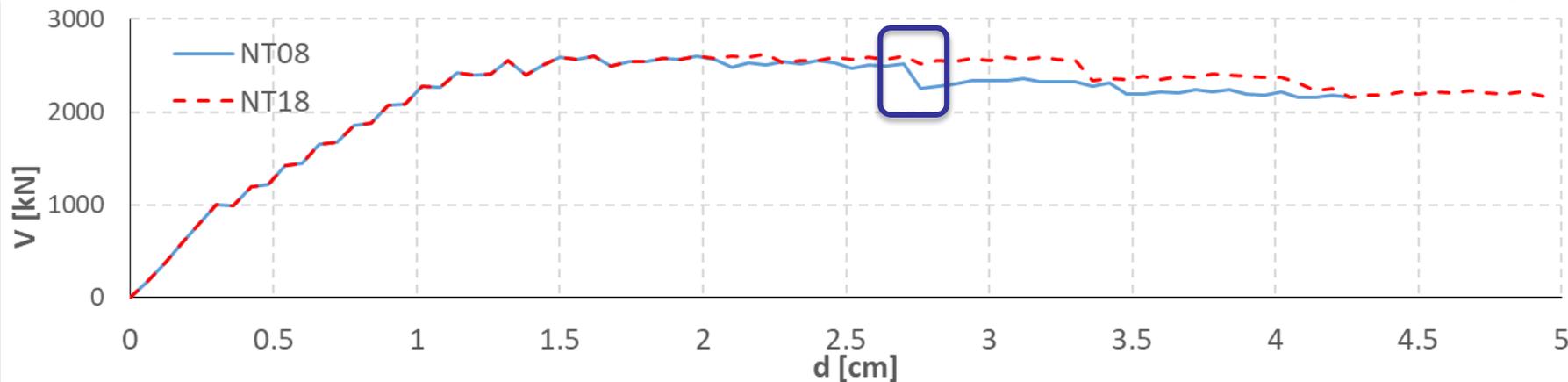
Rottura fasce

NT18 →

Fase plastica fasce

# CASO STUDIO 2 FIRENZE

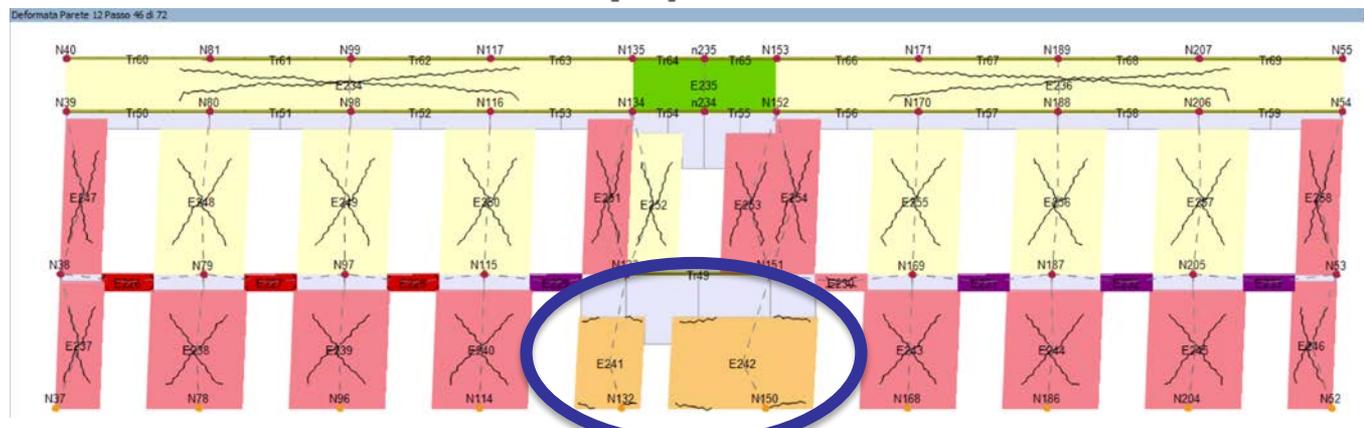
## STEP 2 – Rottura primo maschio NT08



NT08

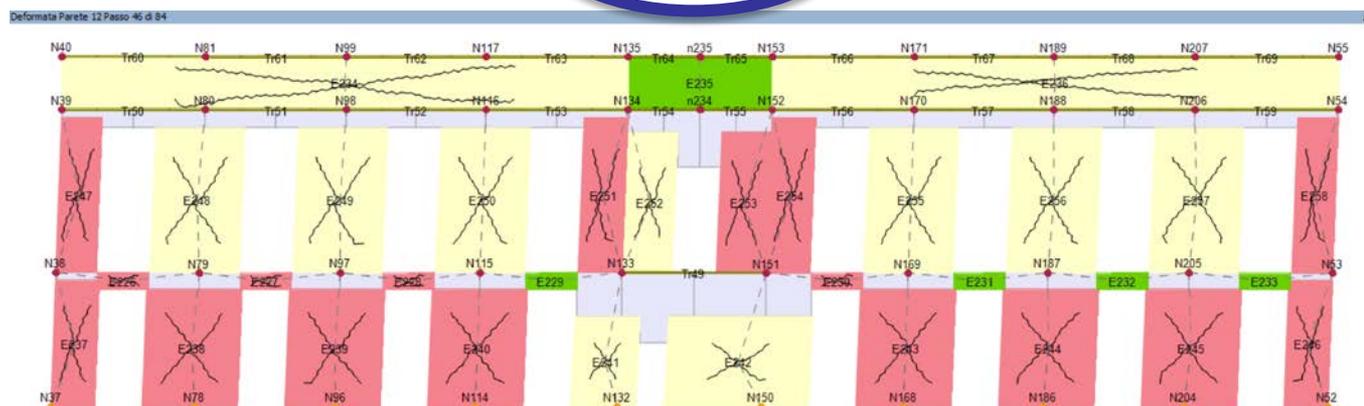


- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione



Rottura maschi

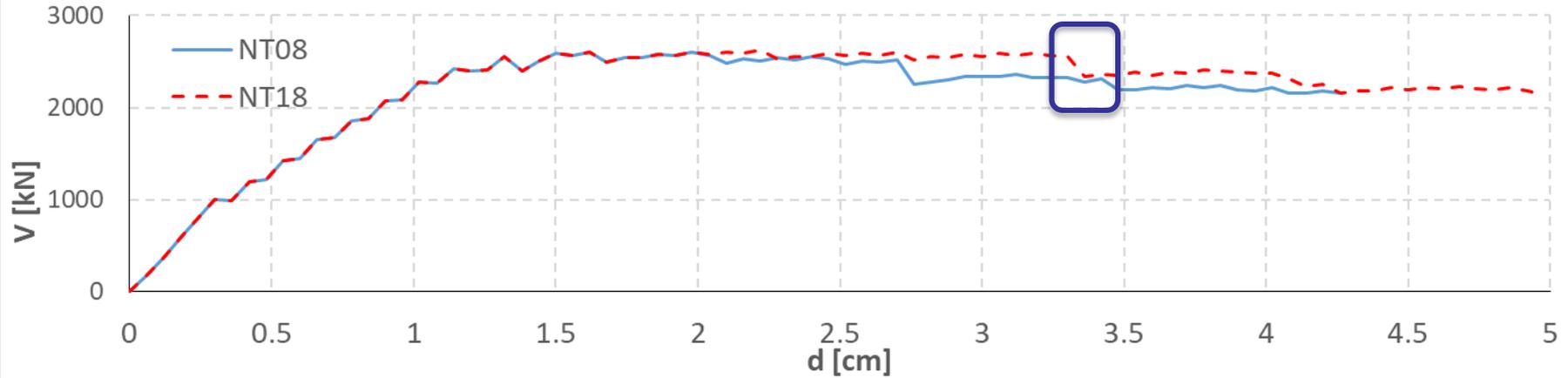
NT18



Maschi in fase plastica

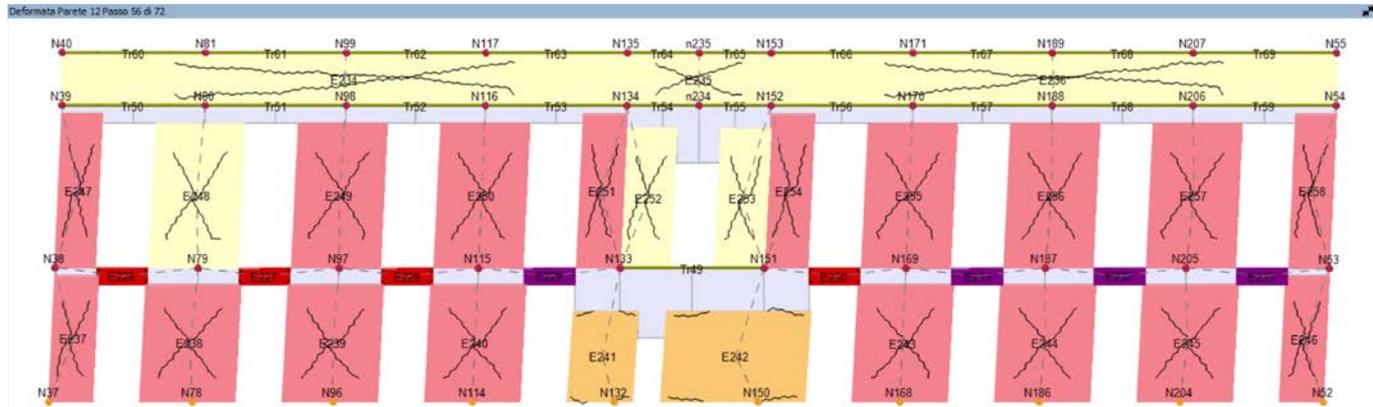
# CASO STUDIO 2 FIRENZE

## STEP 3 – Rottura primo maschio NT18

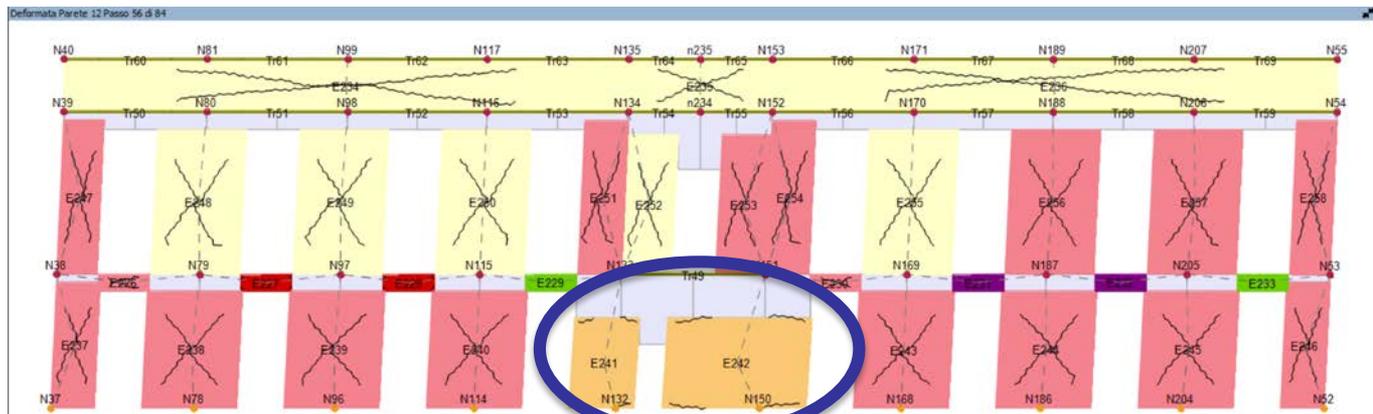


NT08 →

- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione



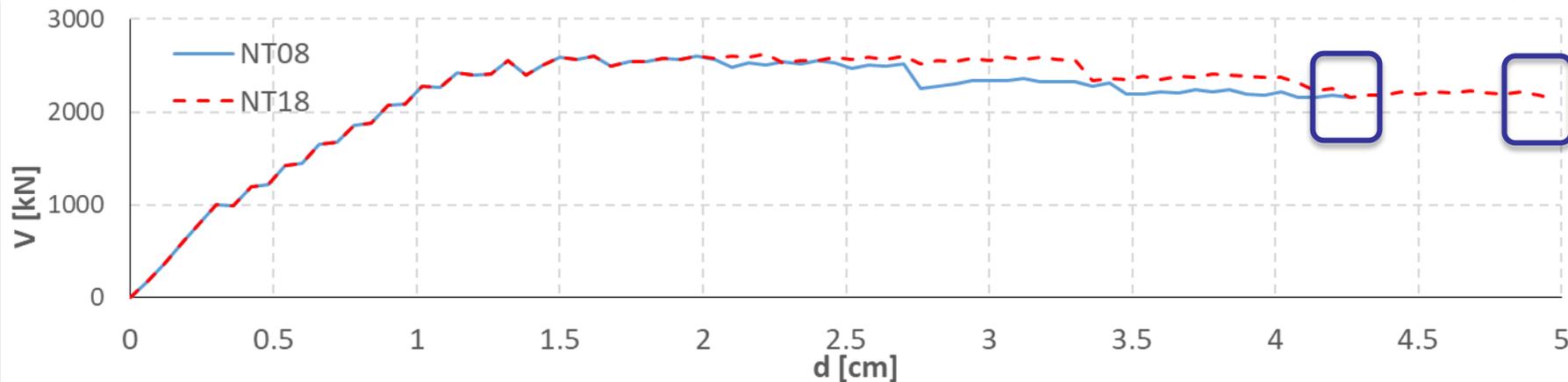
NT18 →



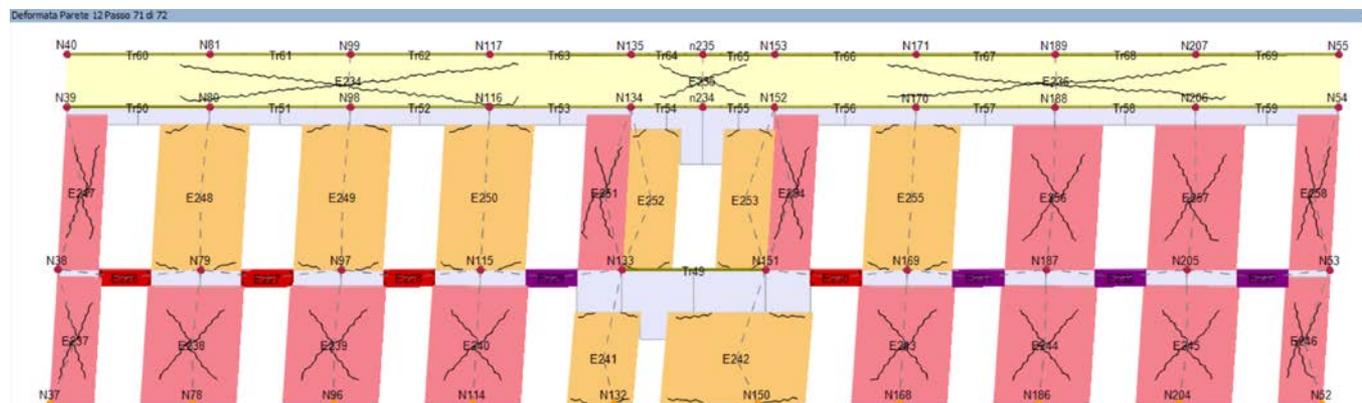
Rottura  
maschi

# CASO STUDIO 2 FIRENZE

## STEP 4 – Du NT08 e NT18

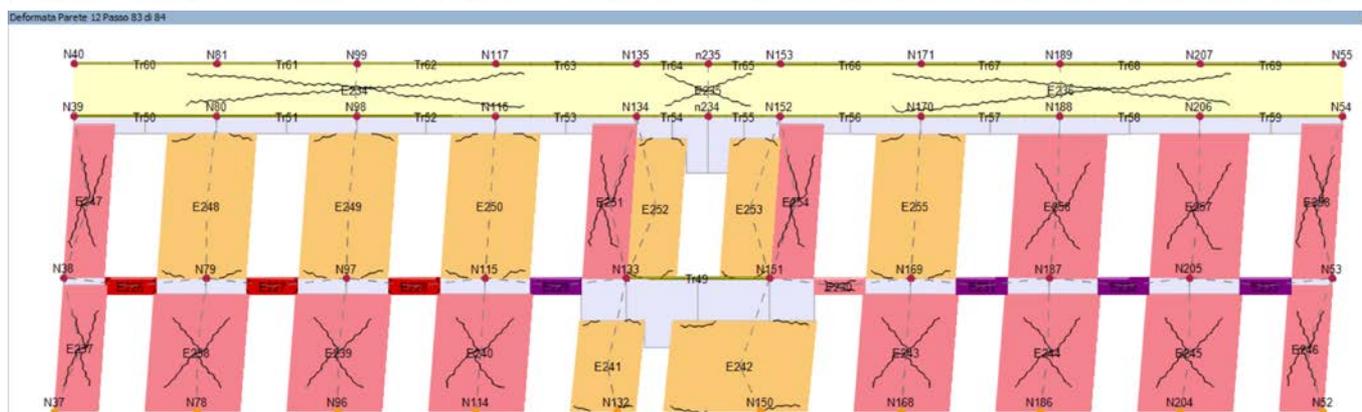


NT08



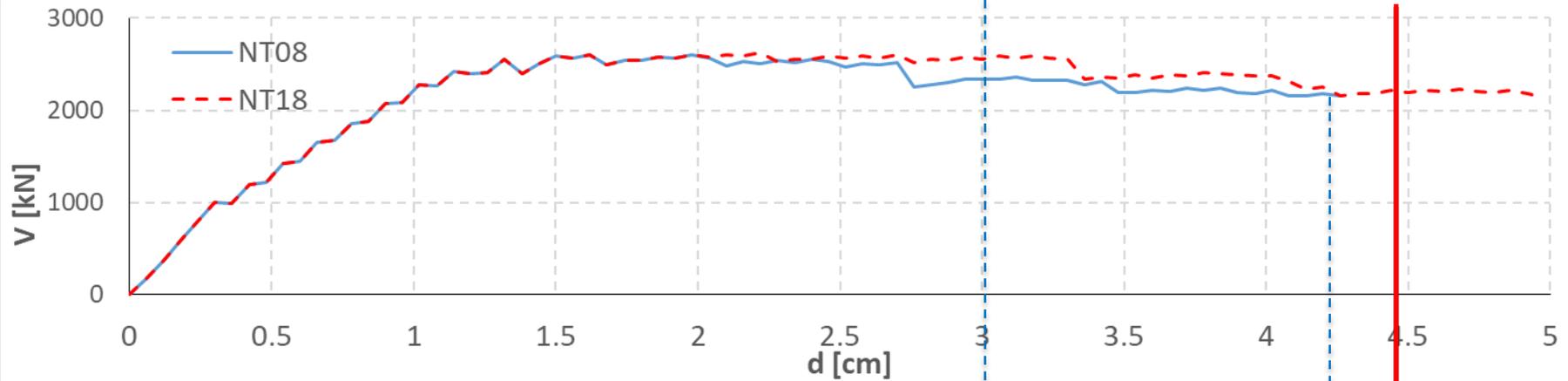
- Integro
- Plastico per taglio
- Rottura per taglio
- Plastico presso flessione
- Rottura presso flessione
- Rottura per compressione

NT18



# CASO STUDIO 2 FIRENZE

## STEP 4 – Du NT08 e NT18



NT08

$$\alpha_{SLV,NT08} = 0.68$$

$q^* = 3$

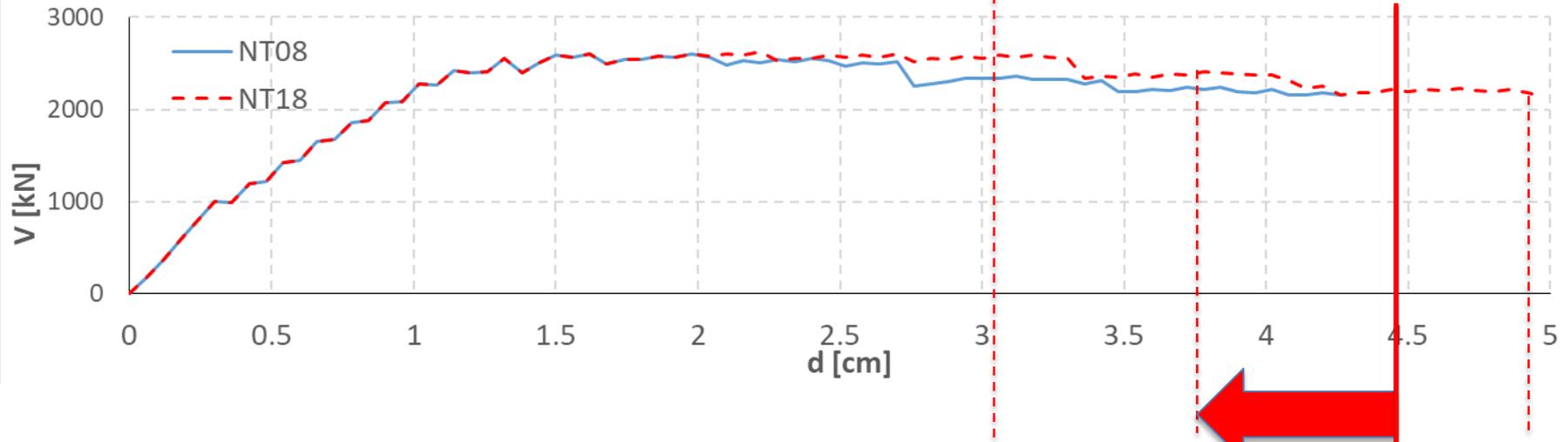
$d_{u,SLV}$

$d_{max} (q^* = 4.41)$

SLV	NT-08	NT-18	
$d_{max}$	4.46	4.46	[cm]
$d_u$	4.26	3.74	[cm]
$q^*$	4.41	4.33	[-]

# CASO STUDIO 2 FIRENZE

## STEP 4 – Du NT08 e NT18



**NT18**  
 $\alpha_{SLV,NT18} = 0.84$

$q^* = 3$

$d_{u,SLV}$

$q^* = 3.7$

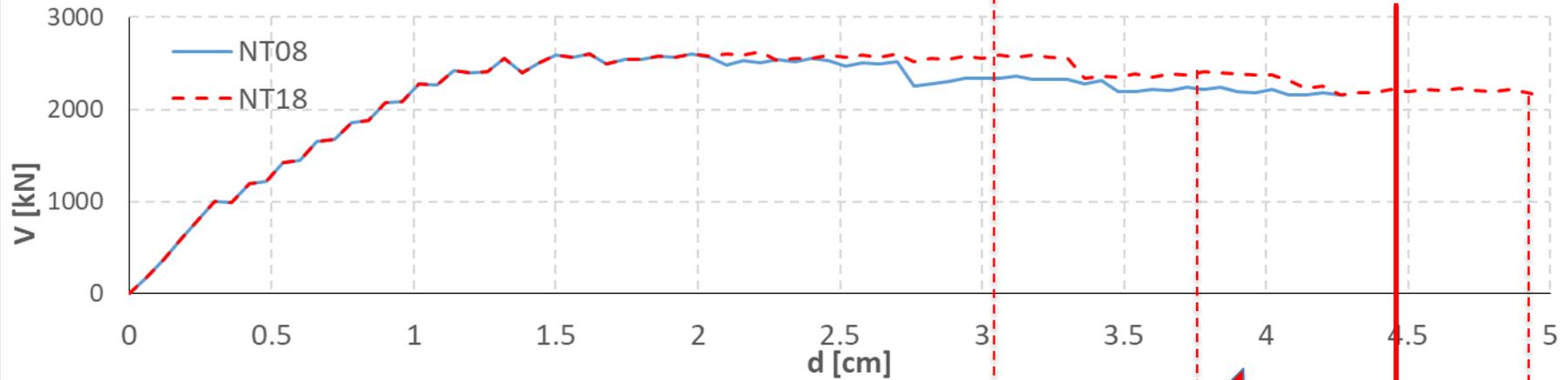
$d_{u,SLC}$

$d_{max} (q^* = 4.33)$

SLV	NT-08	NT-18	
$d_{max}$	4.46	4.46	[cm]
$d_u$	4.26	3.74	[cm]
$q^*$	4.41	4.33	[-]

# CASO STUDIO 2 FIRENZE

## STEP 4 – Du NT08 e NT18



**NT18**  
 $\alpha_{SLV,NT18} = 0.84$

$q^* = 3$

$d_{u,SLV}$

$q^* = 3.7$

$d_{u,SLC}$

**NOTA: lo spostamento di verifica assunto allo SLV ha un fattore  $q^* > 3.0$**

$d_{max} (q^* = 4.33)$

## NT08

### 7.8.1.6 VERIFICHE DI SICUREZZA

[...] In ogni caso, per le costruzioni in muratura ordinaria, e per le costruzioni in muratura armata in cui non si sia applicato il criterio di gerarchia delle resistenze, nelle quali il rapporto tra il taglio totale agente sulla base del sistema equivalente ad un grado di libertà calcolato dallo spettro di risposta elastico e il taglio alla base resistente del sistema equivalente ad un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare ecceda il valore 3.0, la verifica di sicurezza deve ritenersi non soddisfatta.

## NT18

### 7.8.1.6 VERIFICHE DI SICUREZZA

[...] In ogni caso, sia per le costruzioni in muratura ordinaria sia per le costruzioni in muratura armata senza progettazione in capacità, la verifica di sicurezza non è soddisfatta qualora il rapporto tra taglio totale agente alla base del sistema equivalente a un grado di libertà, calcolato con lo spettro di risposta elastico, e taglio alla base resistente del sistema equivalente a un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare, ecceda il valore 4.0.

## NT18

### 7.8.1.6 VERIFICHE DI SICUREZZA

[...] In ogni caso, sia per le costruzioni in muratura ordinaria sia per le costruzioni in muratura armata senza progettazione in capacità, la verifica di sicurezza non è soddisfatta qualora il rapporto tra taglio totale agente alla base del sistema equivalente a un grado di libertà, calcolato con lo spettro di risposta elastico, e taglio alla base resistente del sistema equivalente a un grado di libertà ottenuto dall'analisi non lineare, ecceda il valore 4.0.

## Bozza Circolare

### C7.8.1.6 VERIFICHE DI SICUREZZA

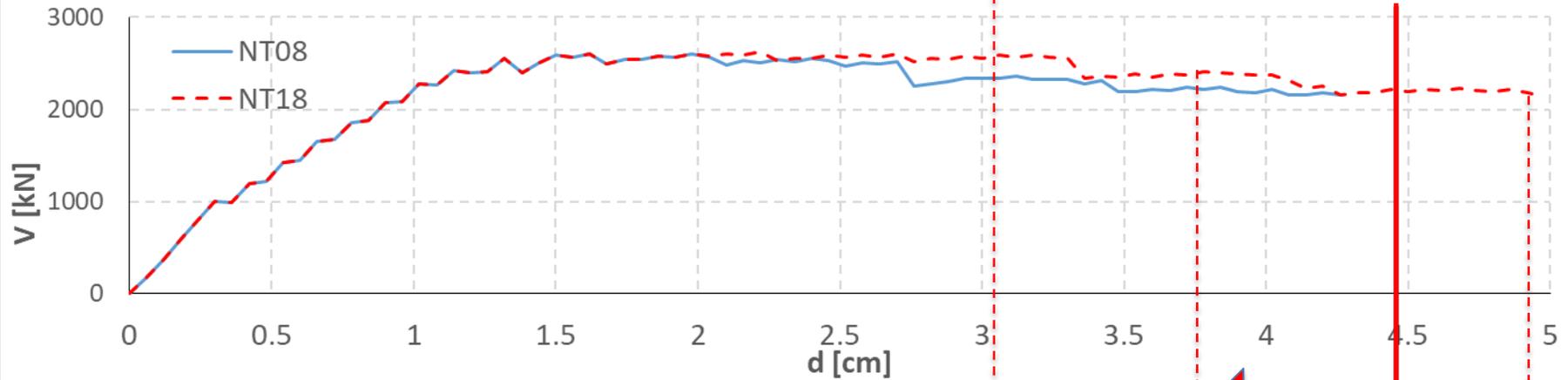
[...] La domanda di spostamento può essere valutata sul sistema bilineare equivalente attraverso le espressioni indicate nel § C.7.3.4.2. Per lo SLC vale inoltre il requisito  $q^* \leq 4$ , ovvero la capacità di spostamento del sistema allo SLC non potrà mai eccedere lo spostamento corrispondente al valore  $q^*=4$  per tutte le tipologie di muratura (ordinaria, armata, confinata). **Si raccomanda** inoltre che la capacità di spostamento del sistema allo SLV non ecceda lo spostamento corrispondente al valore  $q^*=3$  per tutte le tipologie di muratura (ordinaria, armata, confinata).

### C8.7.1.3.1 EDIFICI SINGOLI

[...] La domanda di spostamento, da confrontarsi con le suddette capacità di spostamento ai diversi stati limite, può essere valutata sul sistema bilineare equivalente attraverso le espressioni indicate nel § C.7.3.4.2, valide sia per la risposta in campo non lineare (SLV, con  $q^* \leq 3$ , e SLC, con  $q^* \leq 4$ ) che in campo lineare equivalente (SLO e SLD).

# CASO STUDIO 2 FIRENZE

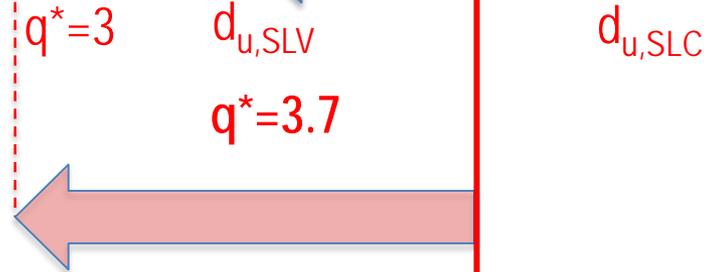
## STEP 4 – Du NT08 e NT18



**NT18**

$\alpha_{SLV,NT18} = 0.84$  ( $q^* = 3.7$ )

$\alpha_{SLV,NT18} = 0.68$  ( $q^* = 3.0$ )



**NOTA: lo spostamento di verifica assunto allo SLV ha un fattore  $q^* > 3.0$**

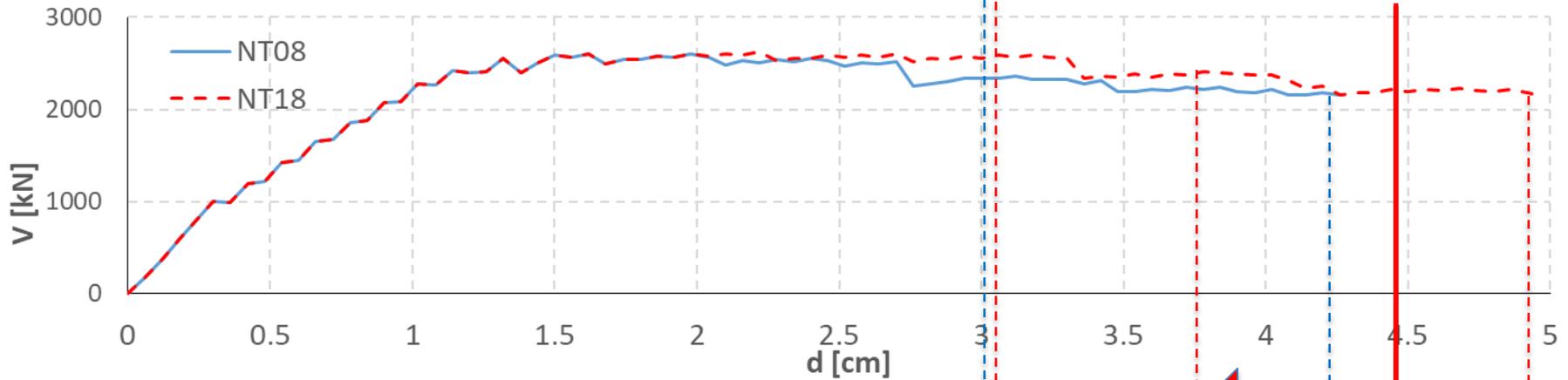
$d_{max}$  ( $q^* = 4.33$ )

SE SI CONSIDERASSE LA LIMITAZIONE  $q^* < 3.0$ :

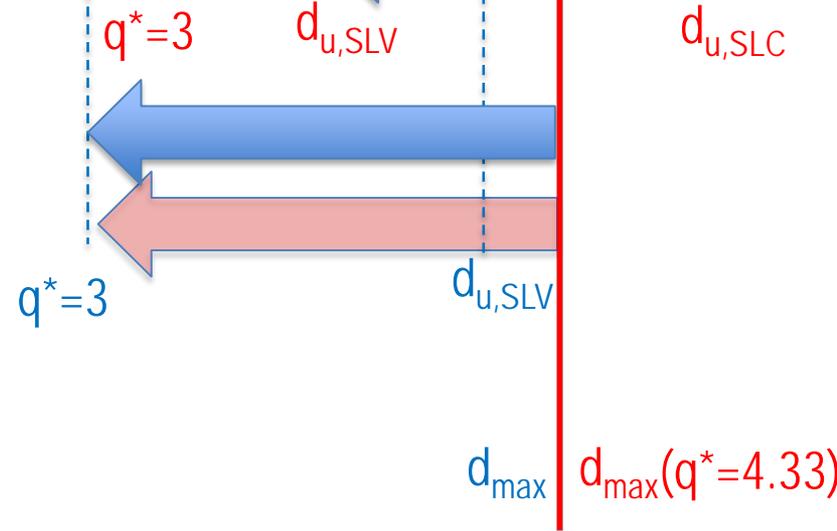
$$\alpha_{SLV,NT18} = 0.68$$

# CASO STUDIO 2 FIRENZE

## STEP 4 – Du NT08 e NT18



NT08	NT18
$\alpha_{SLV,NT08} = 0.68$	$\alpha_{SLV,NT18} = 0.84$ ( $q^* = 3.7$ )
	$\alpha_{SLV,NT18} = 0.68$ ( $q^* = 3.0$ )



# MODELLAZIONE A TELAIO EQUIVALENTE

## CONCLUSIONI

- ❑ Variazione drift dei meccanismi di rottura nel piano dei singoli maschi
- ❑ Variazione di definizione degli Stati limite sulla curva pushover (SLC, SLV, SLD, SLO)
- ❑ Curve pushover con possibili variazioni nella zona post-elastica
- ❑ Limitazione  $q^* < 3.0$  raccomandata nel DM 2018 ma non cogente
- ❑ Confronto indicatori di sicurezza DM 2008 / DM 2018:  
Con i casi studio analizzati non è possibile affermare a priori se esiste un trend generalizzato di variazione sull'esito della verifica

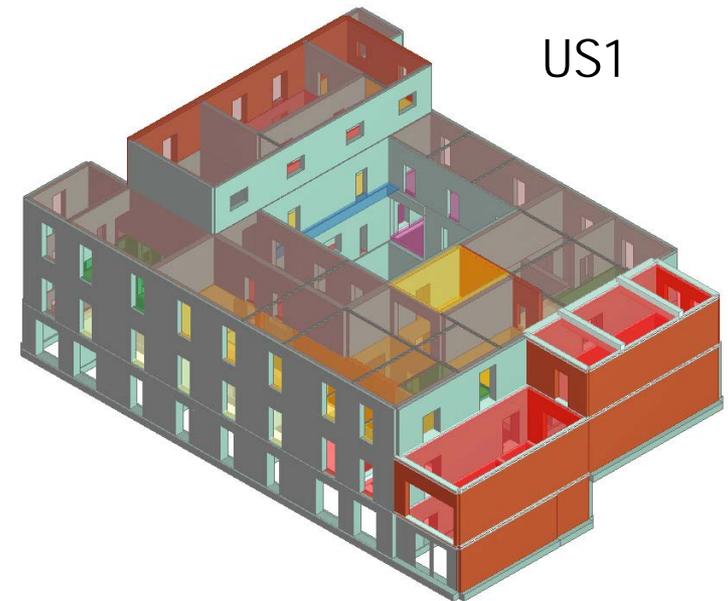
## CASO STUDIO REALE

- Processo di conoscenza
- Stato attuale: meccanismi locali
- Stato attuale: meccanismi globali
- Stato di progetto: interventi previsti e livello di sicurezza raggiunto

## CASO STUDIO REALE

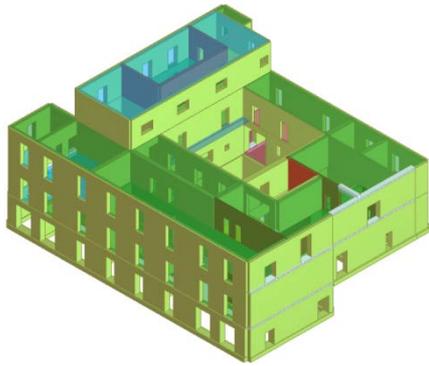
- Processo di conoscenza
- Stato attuale: meccanismi locali
- Stato attuale: meccanismi globali
- Stato di progetto: interventi previsti e livello di sicurezza raggiunto

- Complesso costituito da 3 unità strutturali in muratura di diverse epoche
- US1 edificio storico

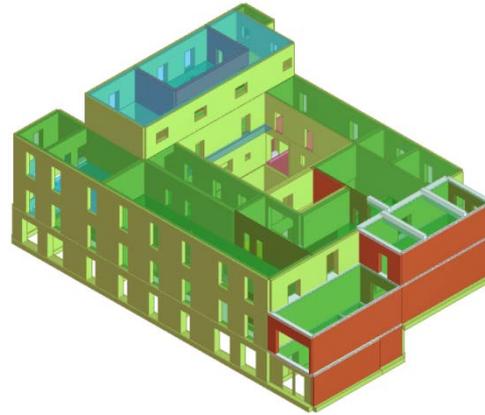


## MODELLAZIONE EFFETTI DI INTERAZIONE

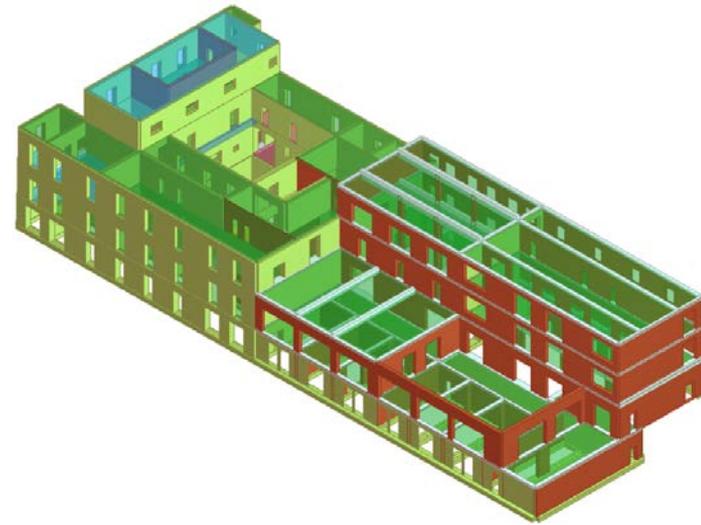
- Contributo di massa
- Contributo di rigidezza
- Contributo all'evoluzione della plasticizzazione dei sistemi resistenti



US1



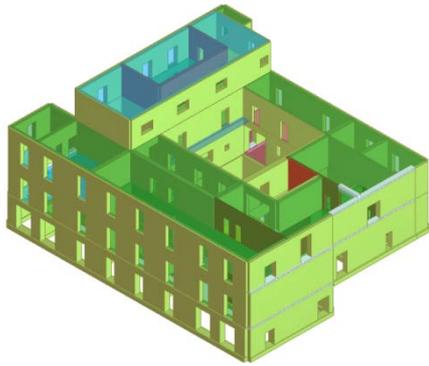
US1-2



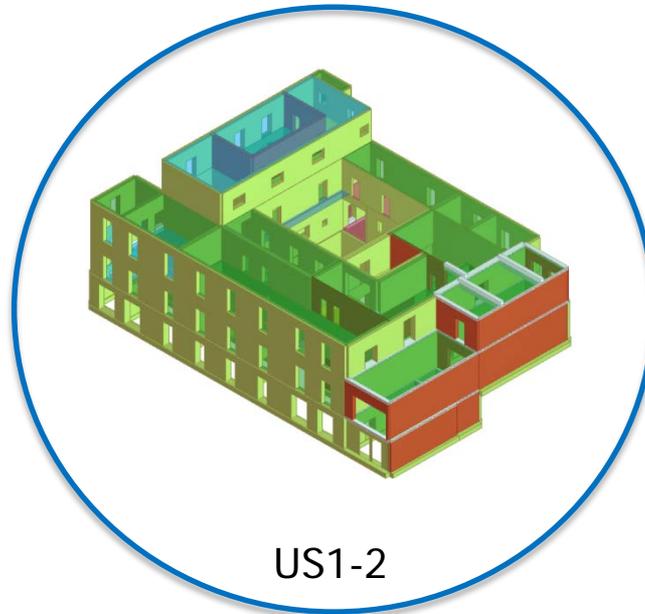
US1+US2

## MODELLAZIONE EFFETTI DI INTERAZIONE

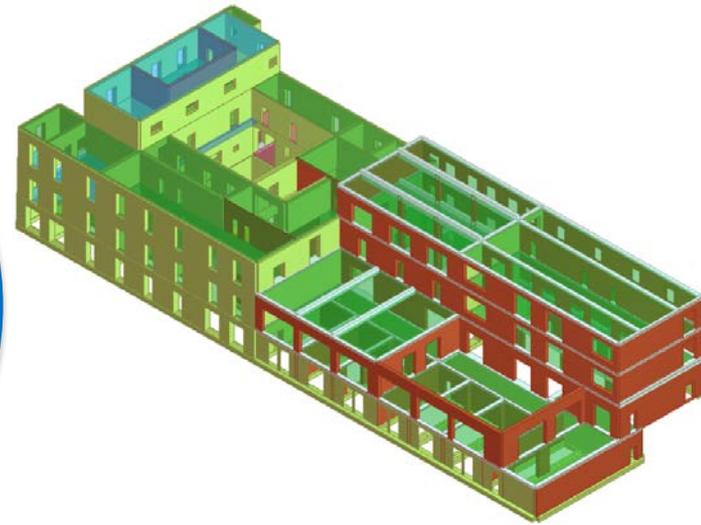
- Contributo di massa
- Contributo di rigidezza
- Contributo all'evoluzione della plasticizzazione dei sistemi resistenti



US1



US1-2



US1+US2

**US1-2 MODELLO FINALE**  
US1 + campata di solaio dell'unità adiacente

# PROCESSO DI CONOSCENZA



Caratteristiche  
US1

4 piani

pianta a corte

dimensioni in pianta 35 m x 27 m

elementi verticali in pietrame

solai di varia tipologia (legno, putrelle e tavelloni, c.a., volte..)

copertura a padiglione in legno

# PROCESSO DI CONOSCENZA

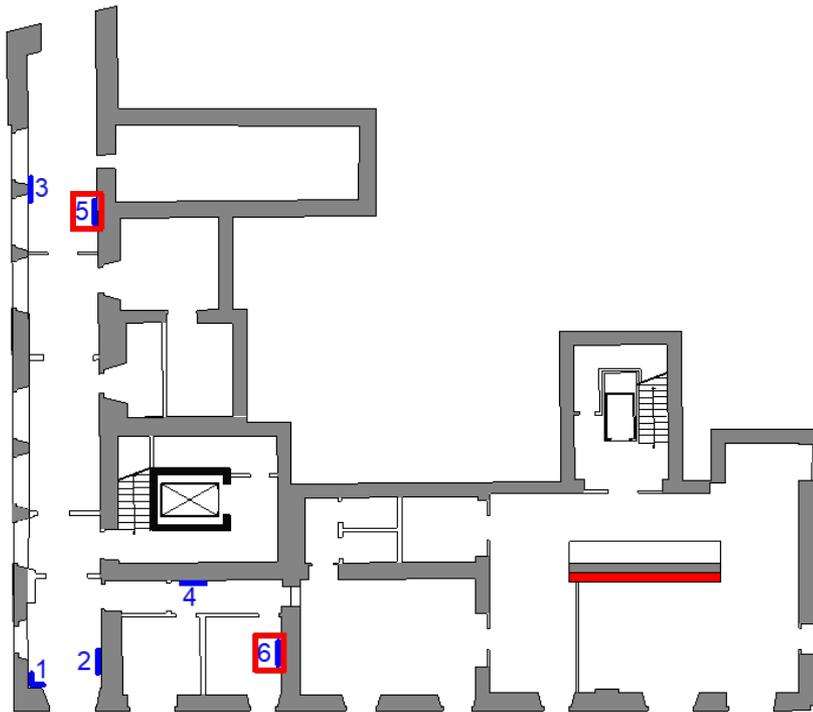
## INDAGINI SVOLTE

- 30 saggi
- 6 carotaggi
- 3 martinetti piatti (doppi e singoli)
- 4 prove DRMS
- 6 analisi chimiche della malta
- 2 prove di tiro su catene

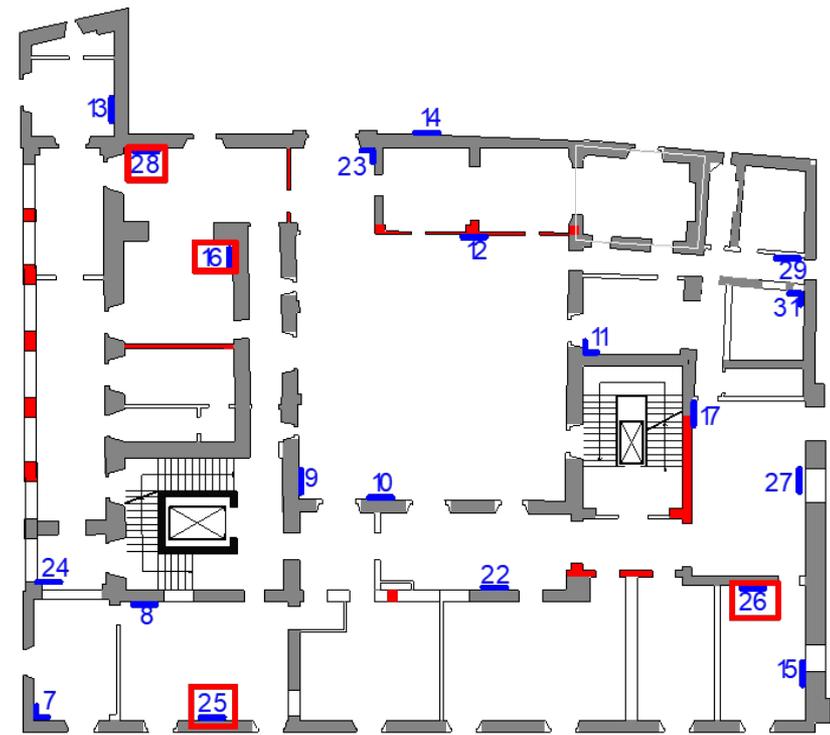
# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## STRUTTURE VERTICALI

- MURATURA DI PIETREME
- MURATURA DI MATTONI PIENI
- SETTO IN C.A.
- SAGGIO
- CAROTAGGIO



Piano terra

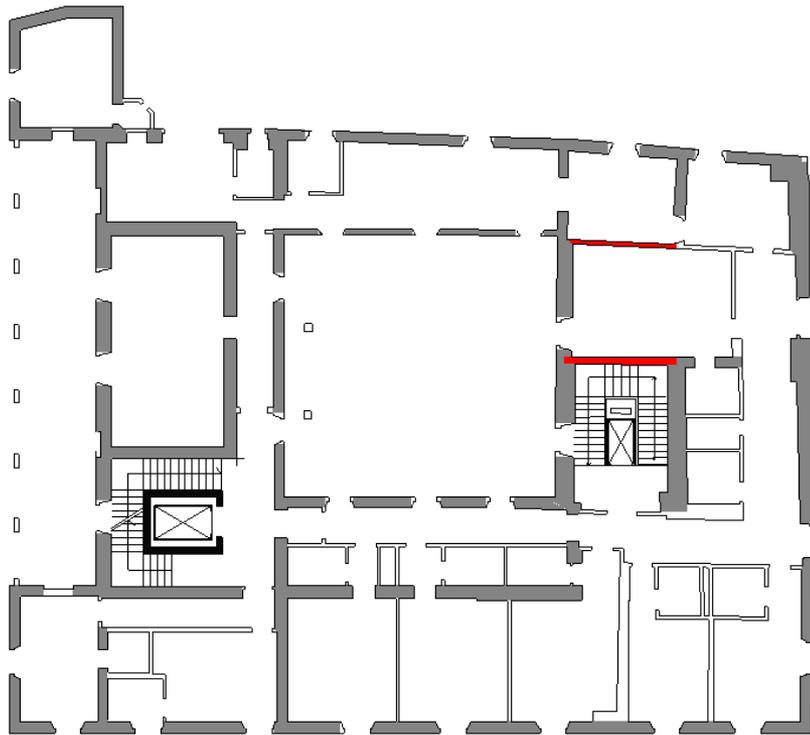


Piano primo

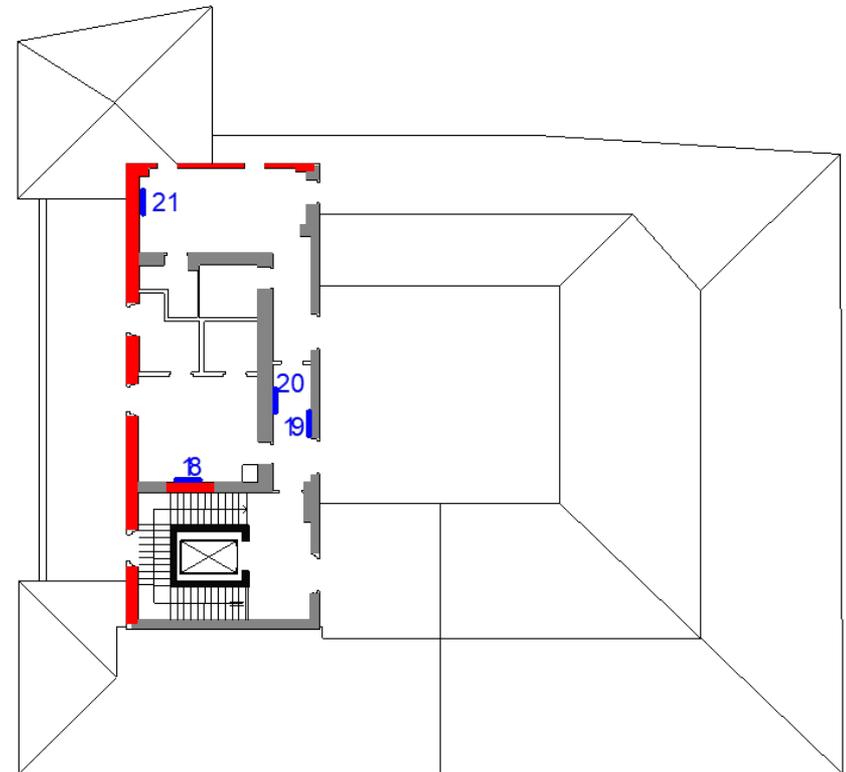
# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## STRUTTURE VERTICALI

- MURATURA DI PIETREME
- MURATURA DI MATTONI PIENI
- SETTO IN C.A.
- SAGGIO
- CAROTAGGIO



Piano secondo



Piano terzo

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## SAGGI



# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## SAGGI



# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## CAROTAGGI



**ASSENZA DI SACCO INTERNO SCIOLTO**

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## CAROTAGGI

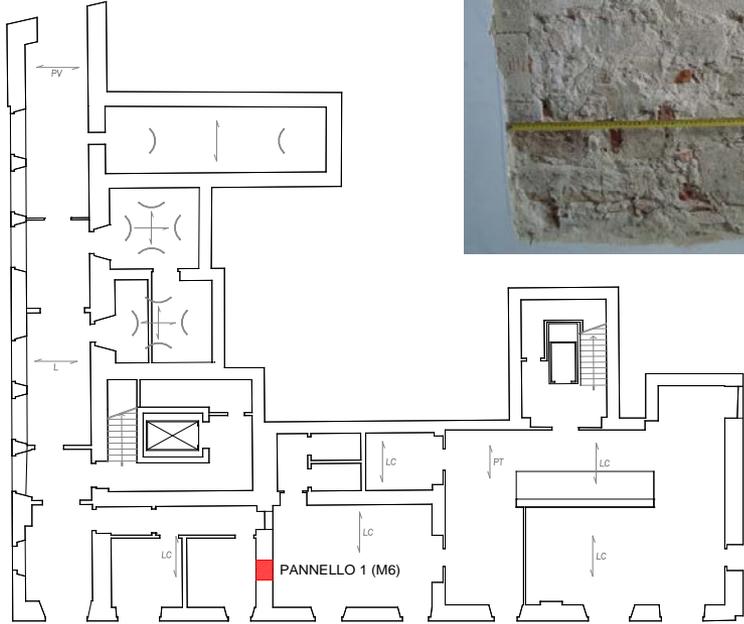


**ASSENZA DI SACCO INTERNO SCIOLTO**

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

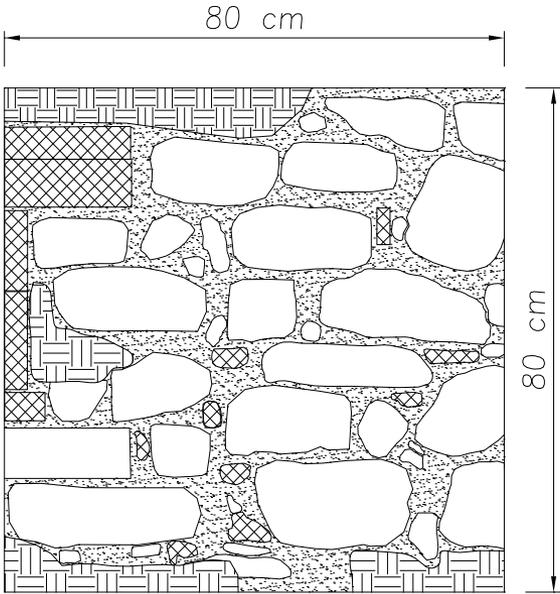
## SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA - IQM

PARTE PRIMA	
COLLOCAZIONE ED IDENTIFICAZIONE DELLA MURATURA	
1.1 NUMERO SCHEDA QUALITÀ MURARIA <b>090</b>	1.13 COORDINATE N <b>4845647.04</b> E <b>679156.85</b> m
1.2 DENOMINAZIONE PANNELLO <b>PANNELLO 1 (M6)-090</b>	1.14 PIANTA E/O PROSPETTO INDICAZIONE DELLA POSIZIONE DEL PANNELLO
1.3 REGIONE <b>TOSCANA</b>	PROV. <b>FI</b>
	Comune <b>FIRENZE</b>
1.4 DATA RILIEVO (COINCIDENTE CON LA DATA DELLA PROVA) <b>20/03/2015</b>	
1.5 LABORATORIO DI PROVA <b>SIGMA S.R.L.</b>	
1.6 CATEGORIA DI MURATURA	
ABACO Regione Toscana <b>B<sub>A</sub></b>	TAB. C8A.2.1 + TAB. C8A.2.2 Circ. Min.617/2009 <b>III 1</b>
1.7 N° PIANI EDIFICIO (fuori terra) <b>4</b> fuori terra	
1.8 PIANO a CUI SI TROVA IL PANNELLO <b>1</b> fuori terra	
1.9 ETÀ DELLA COSTRUZIONE	
DA <b>1600</b>	A <b>1700</b>
1.10 TIPO DI EDIFICIO <b>Ed. ordinario pubblico</b>	
1.11 PROVA IN SITO O LABORATORIO <b>PROVA IN SITU</b>	
1.12 TIPO DI PROVA	
<b>MP-d</b>	<b>CAR</b>
<b>DRMS</b>	<b>A<sub>M</sub></b>
OSSERVAZIONI	

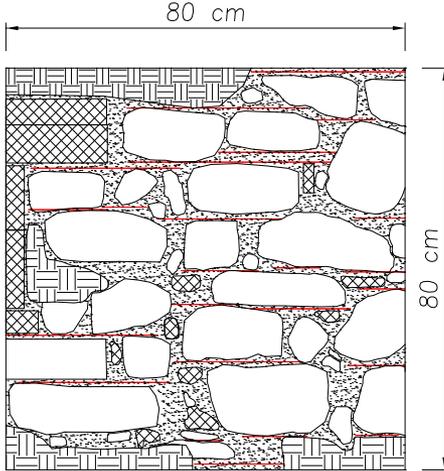
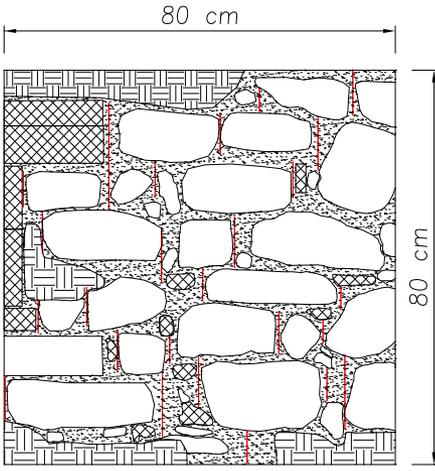
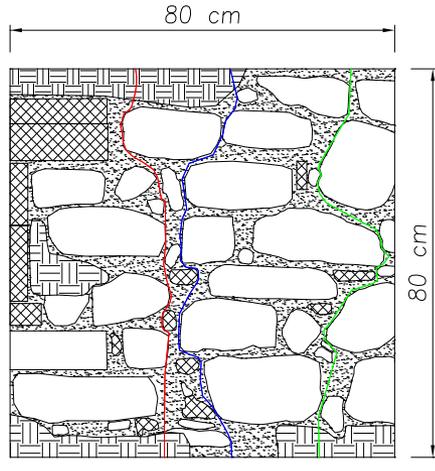
# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA - IQM

PARTE SECONDA RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA															
<p>2. TESSITURA DEL PARAMENTO</p> <p>FOTOGRAFIA DEL PARAMENTO</p> 	<p>RESTITUZIONE GRAFICA DEL PARAMENTO</p>  <p style="text-align: center;">80 cm</p> <p style="text-align: right;">80 cm</p>														
<p><b>LEGENDA</b></p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">○</td> <td>PIETRE</td> <td style="text-align: center;">▨</td> <td>MATTONI</td> <td style="text-align: center;">●</td> <td>MALTA</td> <td style="text-align: center;">■</td> <td>VUOTI</td> <td style="text-align: center;">▤</td> <td>INTONACO</td> <td style="text-align: center;">⊞</td> <td>VEGETAZIONE</td> <td style="text-align: center;">▩</td> <td>CALCESTRUZZO</td> </tr> </table>		○	PIETRE	▨	MATTONI	●	MALTA	■	VUOTI	▤	INTONACO	⊞	VEGETAZIONE	▩	CALCESTRUZZO
○	PIETRE	▨	MATTONI	●	MALTA	■	VUOTI	▤	INTONACO	⊞	VEGETAZIONE	▩	CALCESTRUZZO		

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA - IQM

PARTE SECONDA RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA		
<b>2. TESSITURA DEL PARAMENTO</b>		
<b>ORIZZONTALITÀ DEI FILARI</b>	<b>SFALSAMENTO DEI GIUNTI</b>	<b>INGRANAMENTO SUL PIANO ESTERNO</b>
Schema grafico	Schema grafico	Schema grafico
 <p>80 cm</p> <p>80 cm</p>	 <p>80 cm</p> <p>80 cm</p>	 <p>80 cm</p> <p>80 cm</p>
VALORE DI LTM: 109 cm INGRANAMENTO: BASSISSIMO VULNERABILITÀ: LV1 - VUL. ELEVATA		

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA - IQM

RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA		
<b>3. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DEL PARAMENTO</b>		
<b>3.1 ELEMENTI</b>		
<b>3.1.1 TIPO DI ELEMENTO</b>	<b>3.1.5a FORMA DEGLI EL.</b>	<b>3.1.5b FORMA/REGOLARITÀ DEGLI EL.</b>
<input checked="" type="checkbox"/> ARENARIA <input type="checkbox"/> CALCAREA <input type="checkbox"/> TRAVERTINO <input type="checkbox"/> TUFO <input type="checkbox"/> MATTONI COTTI <input type="checkbox"/> MATTONI CRUDI <input type="checkbox"/> CLS <input type="checkbox"/> MASSELLI <input type="checkbox"/> ALTRO	<input type="checkbox"/> CIOTTOLI <input checked="" type="checkbox"/> BLOCCHI ERRATICI <input type="checkbox"/> LASTRE <input checked="" type="checkbox"/> BOZZE <input type="checkbox"/> BLOCCHI ARTIFICIALI <input type="checkbox"/> CONCI <input type="checkbox"/> BLOCCHI SQUADRATI	<input type="checkbox"/> NON RISPETTATO (F.EL. NR) <input checked="" type="checkbox"/> PARZIALMENTE RISPETTATO (F.EL PR) <input type="checkbox"/> RISPETTATO (R.EL. R)
<b>PUNTEGGIO</b>		
VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE
1.5	1	1
<b>3.1.2 PROVENIENZA</b>	<b>3.1.6a DIMENSIONE EL.</b>	<b>3.1.6b DIMENSIONE DEGLI EL.</b>
<input type="checkbox"/> SCAVO LOCALE <input checked="" type="checkbox"/> GRETO DEL FIUME <input checked="" type="checkbox"/> CAVA <input type="checkbox"/> PRODOTTO ARTIFICIALE <input type="checkbox"/> ALTRO	<input checked="" type="checkbox"/> PICCOLA <20 cm <input checked="" type="checkbox"/> MEDIA 20-40 cm <input type="checkbox"/> GRANDE >40 cm	<input type="checkbox"/> NON RISPETTATO (D.EL. NR) <input checked="" type="checkbox"/> PARZIAL. RISPETTATO (D.EL. PR) <input type="checkbox"/> RISPETTATO (D.EL. R)
<b>PUNTEGGIO</b>		
VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE
0.5	0.5	0.5
<b>3.1.3 LAVORAZIONE</b>		<b>3.1.7 QUALITÀ/RESISTENZA DEGLI EL.</b>
<input type="checkbox"/> ASSENTE <input checked="" type="checkbox"/> APPENA SBOZZATA <input type="checkbox"/> BLOCCO NATURALE SQUADRATO <input type="checkbox"/> BLOCCO ARTIFICIALE SQUADRATO		<input type="checkbox"/> NON RISPETTATA <input type="checkbox"/> PARZIALMENTE RISPETTATA <input checked="" type="checkbox"/> RISPETTATA
<b>PUNTEGGIO</b>		
VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE
1	1	1
<b>3.1.4 STATO DI CONSERVAZIONE</b>		
<input type="checkbox"/> BUONO <input checked="" type="checkbox"/> DISCRETO <input type="checkbox"/> CATTIVO <input type="checkbox"/> PESSIMO		

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA - IQM

PARTE SECONDA												
RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA												
<b>3. CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI DEL PARAMENTO</b>												
<b>3.2 MALTA</b>												
<b>3.2.1 FUNZIONE</b>		<b>3.2.6 FORMA AGGREGATO</b>										
<input checked="" type="checkbox"/>	ALLETTAMENTO	<input checked="" type="checkbox"/>	ARROTONDATA									
<input type="checkbox"/>	STILATURA	<input type="checkbox"/>	SPIGOLOSA									
<input type="checkbox"/>	RIEMPIMENTO											
<b>3.2.2 CONSISTENZA</b>		<b>3.2.7a REGOLARITÀ GIUNTI DI MALTA</b>										
<input type="checkbox"/>	INCOERENTE	<input type="checkbox"/>	NON REGOLARI									
<input checked="" type="checkbox"/>	FRIABILE	<input checked="" type="checkbox"/>	PARZIALMENTE REGOLARI									
<input type="checkbox"/>	COMPATTA	<input type="checkbox"/>	REGOLARI									
<input type="checkbox"/>	TENACE											
<input type="checkbox"/>	ALTRO											
<b>3.2.3 COLORE MALTA</b>		<b>3.2.7 QUALITÀ DELLA MALTA</b>										
BRUNO CHIARO		<input type="checkbox"/>	NON RISPETTATO									
		<input checked="" type="checkbox"/>	PARZIALMENTE RISPETTATO									
		<input type="checkbox"/>	RISPETTATO									
<b>3.2.4 COLORE AGGREGATO</b>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>VERTICALE</th> <th>ORTOGONALE</th> <th>COMPLANARE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">0.5</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>		PUNTEGGIO			VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE	0.5	0.5	1
PUNTEGGIO												
VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE										
0.5	0.5	1										
GRIGIO    BIANCASTRO												
BRUNO												
<b>3.2.5 TIPO DI AGGREGATO</b>												
<input checked="" type="checkbox"/>	SABBIA											
<input checked="" type="checkbox"/>	GHIAIA											
<input checked="" type="checkbox"/>	GHIAIETTO											

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA - IQM

PARTE TERZA CONCLUSIONI			
OSSERVAZIONI QUALITATIVE			
Discreto stato di conservazione del pannello, senza fessurazioni ma con rimaneggiamenti.			
PARAMETRO	AZIONI VERTICALI	AZIONI ORTOGONALI	AZIONI COMPLANARI
INDICE DI QUALITÀ	3.50	3.00	3.00
CATEGORIA	B	C	C
CARATTERISTICHE MECCANICHE MEDIE CONCLUSIONI			
PARAMETRO	MINIMO	MASSIMO	MEDIO
$f_m$ [N/cm <sup>2</sup> ]	204.66	338.54	271.85
$\tau_0$ [N/cm <sup>2</sup> ]	3.62	5.50	4.56
$E_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	1007.41	1454.93	1231.59

## ➤ ABACO DELLE MURATURE DELLA REGIONE TOSCANA

The screenshot displays a website interface for the 'ABACO DELLE MURATURE DELLA REGIONE TOSCANA'. The header includes the logos of the University of Florence, DICEA, and the Regione Toscana. Navigation links for 'Metodo', 'Ricerca', and 'Contatti' are visible in the top right. The main content area features a grid of images: a large photo of a masonry wall under test with a blue table and a laptop; a close-up of a wall with a diagonal steel rod and handwritten labels 'D1' and 'D2'; a vertical view of a masonry wall with a steel reinforcement cage; a smaller photo of a masonry wall with a steel rod; a photo of a masonry wall with a steel rod and a pressure gauge; a photo of a masonry wall with a steel rod and a pressure gauge; a photo of a masonry wall with a steel rod and a pressure gauge; a photo of a masonry wall with a steel rod and a pressure gauge; a photo of a masonry wall with a steel rod and a pressure gauge; and a photo of a masonry wall with a steel rod and a pressure gauge. The bottom navigation bar contains three buttons: 'METODO', 'RICERCA', and 'CONTATTI'.

# 1

*Declinare le categorie nazionali a livello regionale*

*Difficoltà di inquadrare* nell'ambito delle categorie di muratura PRECOSTITUITE, descritte in normativa a livello qualitativo, le murature in pietrame riscontrate negli edifici "reali" che possono essere caratterizzate da materiali eterogenei e da molteplici tecniche costruttive.



# 2

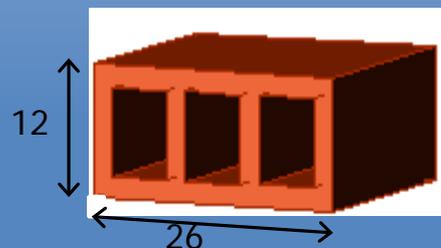
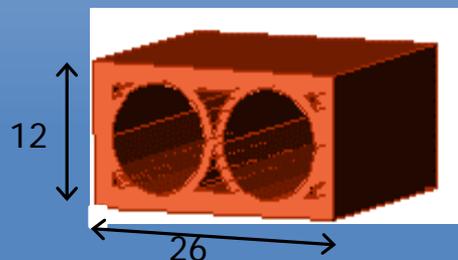
*In contesti regionali o in zone territoriali omogenee*, è possibile identificare murature che non rientrano in nessuna delle categorie elencate a livello nazionale per cui non sono note le caratteristiche meccaniche.

## *MURATURE PARTICOLARI*

LEGATE

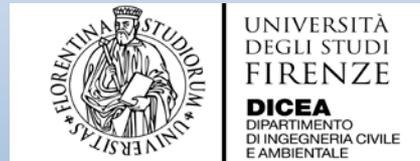
Tecniche tradizionali

Materiali locali



Sperimentazione ad hoc

## COLLABORAZIONE SCIENTIFICA TRA IL DICEA ED IL SETTORE SISMICA RT



1. *Raccolta* di prove sperimentali disponibili eseguite in Regione Toscana in situ
2. *Catalogazione e descrizione qualitativa* delle murature tramite compilazione di Scheda Di Qualità Muraria
3. *Interpretazione dei risultati delle prove sperimentali*  
(metodologia di prova standardizzata: strumentazione, misurazioni ed elaborazione dei risultati) → ReLUIIS 2009 e successive modificazioni (2016).



DESCRIZIONE QUALITATIVA DELLE MURATURE E  
RISULTATI OTTENUTI CONFRONTABILI TRA LORO

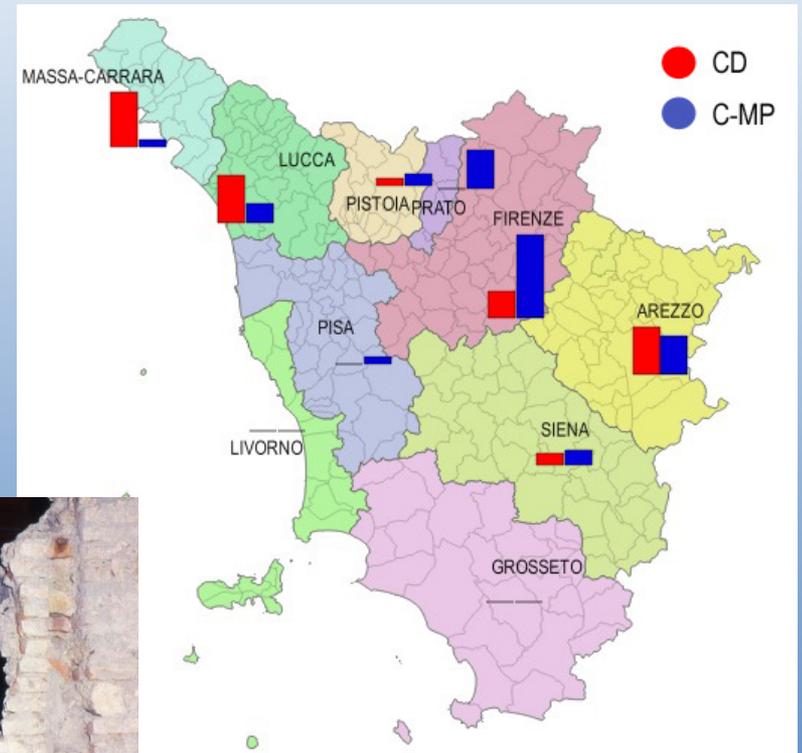
## DATABASE DI RIFERIMENTO

N° 50 COMPRESSIONE DIAGONALE

N° 55 MARTINETTI PIATTI DOPPI

N° 5 PROVE DI COMPRESSIONE SEMPLICE

(15 MPD sono in fase di lavorazione)



# Abaco delle Murature

## Caratterizzazione qualitativa delle murature

### Descrizione Murature

Componenti



IQM



Foto



## Prove sperimentali

### Sulla muratura

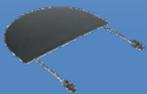
Compressioni diagonali (CD)



Carote (CAR)



Martinetti Piatti (MP)



Compressioni semplici (C)



### Sul singolo elemento

Analisi malta ( $A_M$ )



DRMS



Compressione e blocco ( $C_B$ )



# Abaco delle Murature

**Caratterizzazione qualitativa delle murature**

**Descrizione Murature**

**Componenti** 

**IQM** 

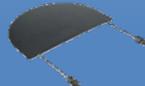
**Foto** 

## Prove sperimentali

### Sulla muratura

Compressioni diagonali (CD) 

Carote (CAR) 

Martinetti Piatti (MP) 

Compressioni semplici (C) 

### Sul singolo elemento

Analisi malta ( $A_M$ ) 

DRMS 

Compressione e blocco ( $C_B$ ) 

# SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA

## Caratterizzazione qualitativa: SCHEDA DI QUALITÀ MURARIA

- Caratterizzazione completa della muratura e dei componenti nel paramento e nella sezione
- Strumento per facilitare la catalogazione della tipologia di muratura entro quelle previste dalla Circ.617/2009
- Binda, Borri, Cardani, Doglioni - ReLUIS 2005-2008 → UNIFI 2017
- Stima delle caratteristiche meccaniche attraverso l'IQM (Borri et al., 2015)

### PARTE PRIMA:

INFORMAZIONI GENERALI  
PANNELLO E TIPO DI  
MURATURA

- collocazione
- tipologia di muratura
- N° piani
- età di costruzione
- tipo di edificio
- tipo di prova...

### PARTE SECONDA:

RILIEVO DELLA TESSITURA  
MURARIA

PARAMENTO MURARIO

- restituzione grafica
- caratterizzazione elementi
- caratterizzazione malta

SEZIONE MURARIA

- restituzione grafica
- caratterizzazione elementi
- caratterizzazione malta

### PARTE TERZA:

VALUTAZIONE  
INDICE QUALITÀ MURARIA

STIMA CARATTERISTICHE  
MECCANICHE  
(tramite valutazione IQM)  
Tab. C8A.2.1 e C8A.2.2

$f_m$  [N/cm<sup>2</sup>]  
 $\tau_o$  [N/cm<sup>2</sup>]  
 $E_m$  [N/mm<sup>2</sup>]

# Abaco delle Murature

Caratterizzazione qualitativa delle murature

Descrizione Murature

Componenti



IQM



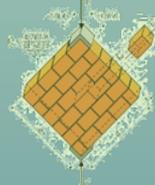
Foto



Prove sperimentali

Sulla muratura

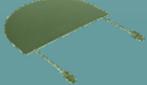
Compressioni diagonali (CD)



Carote (CAR)



Martinetti Piatti (MP)



Compressioni semplici (C)



Sul singolo elemento

Analisi malta ( $A_M$ )



DRMS



Compressione e blocco ( $C_B$ )



# PROVE SPERIMENTALI



Compressioni  
diagonali (CD)



Compressioni  
SEMPLICE (C)



MARTINETTO  
PIATTO



# PROVE SPERIMENTALI SU COMPONENTI

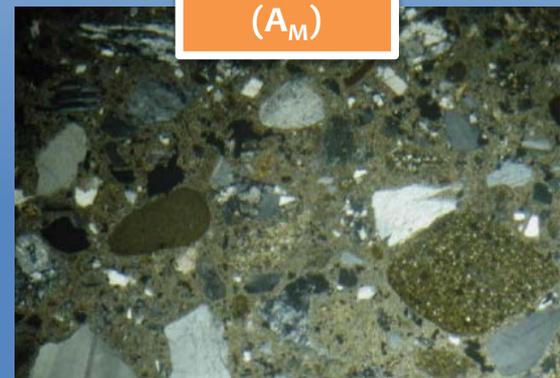
Compressione  
blocco ( $C_B$ )

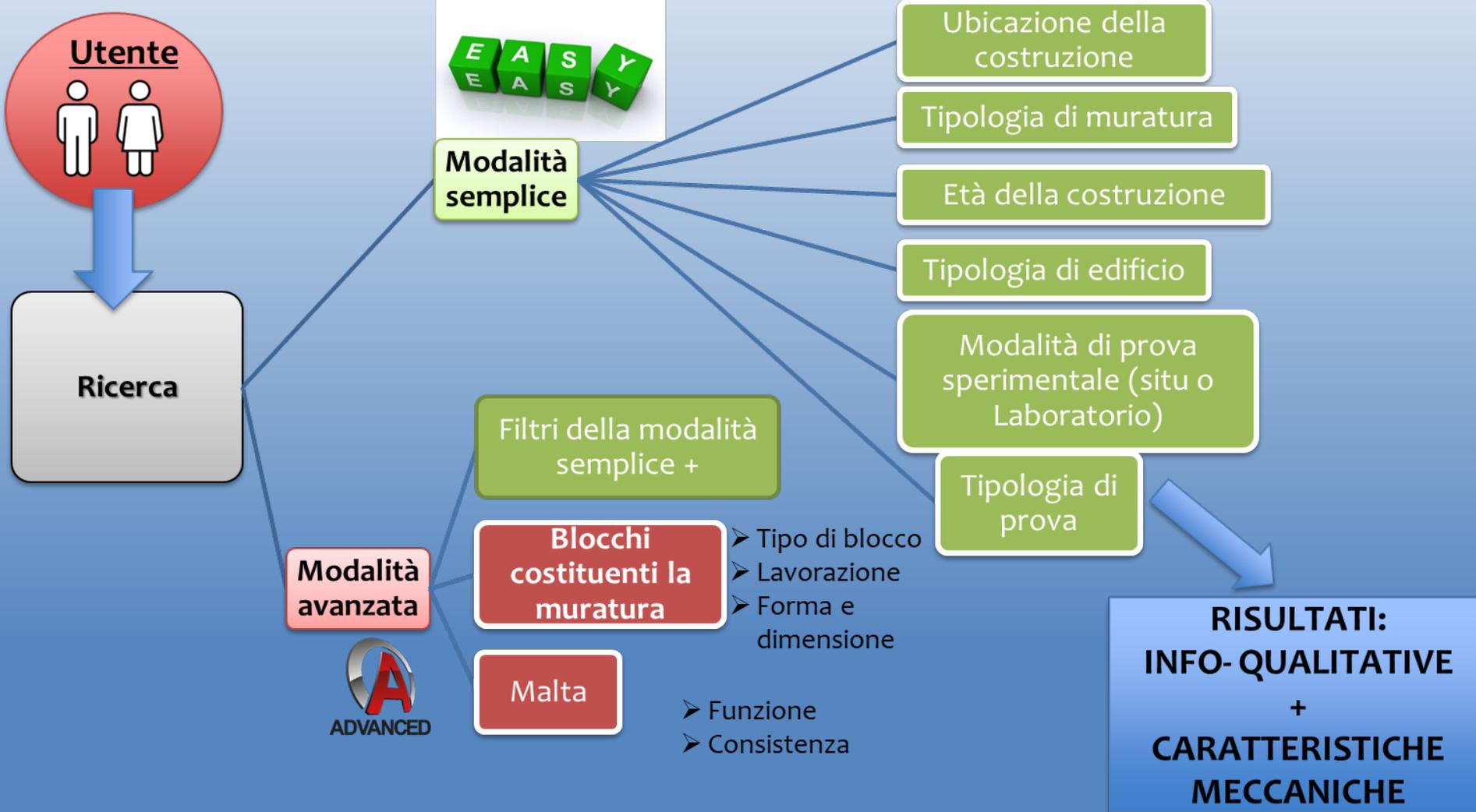


DRMS



Analisi malta  
( $A_M$ )



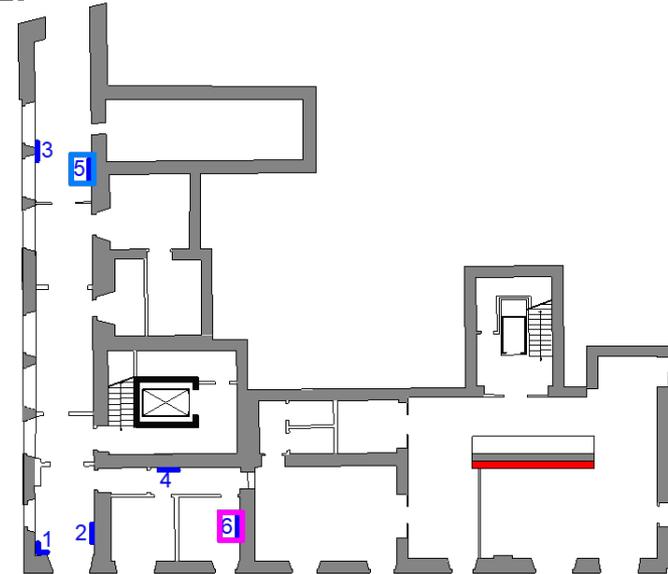


# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

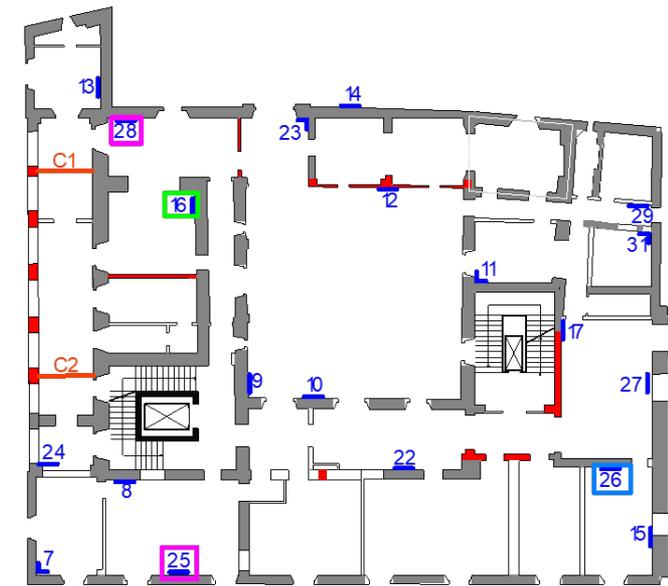
- MARTINETTO PIATTO - DRMS - ANALISI CHIMICA
- DRMS - ANALISI CHIMICA
- ANALISI CHIMICA
- TIRO CATENA



Piano terra



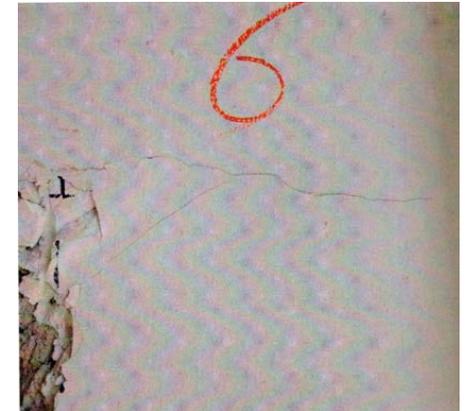
Piano primo



# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

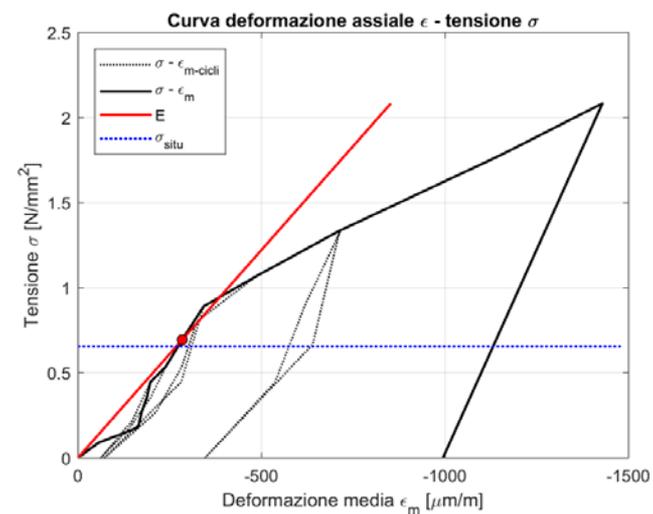
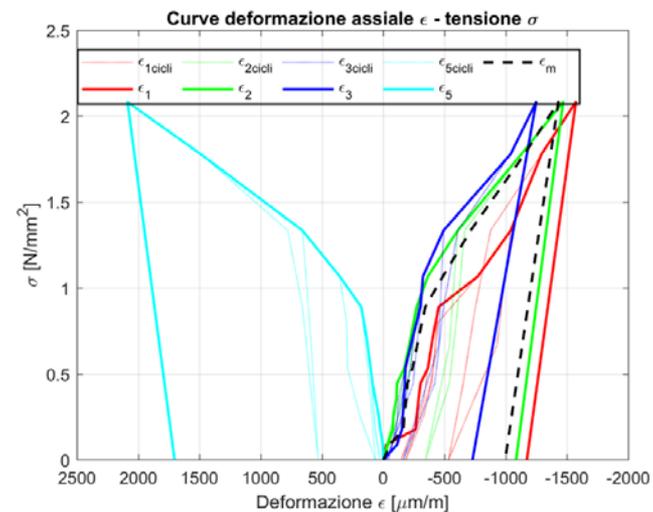
## MARTINETTI PIATTI

IDENTIFICAZIONE PROVA		
1.1	NUMERO SCHEDA QUALITÀ MURARIA	090
1.2	DENOMINAZIONE PANNELLO	PANNELLO 1 (M6)-090
1.3	LOCALIZZAZIONE	
	Regione	TOSCANA
	Provincia	FI
	Comune	FIRENZE
1.4	DATA RILIEVO/PROVA	20/03/2015
1.5	LABORATORIO DI PROVA	SIGMA S.R.L.
1.6	CATEGORIA MURATURA:	
	categoria Abaco Regione Toscana	B <sub>A</sub>
	categoria D.M. 2008 - Tab. C8A.2.1	III
	coefficiente Tab. C8A.2.2	1
	coefficiente Tab. C8A.2.2	
1.7	N.° PIANI EDIFICIO (fuori terra)	4
1.8	PIANO A CUI SI TROVA IL PANNELLO	1
1.9	ETÀ DELLA COSTRUZIONE	
	da	1600
	a	1700
1.10	TIPO DI EDIFICIO	Ed. ordinario pubblico
1.11	PROVA IN SITU O LABORATORIO	PROVA IN SITU
1.12	CODICE PROVA (tipo di prova)	MP-d
1.13	ACQUISIZIONE DATI: manuale/automatica	manuale
	PROVA MONOTONA/CICLICA	ciclica, 4 cicli
	OSSERVAZIONI	



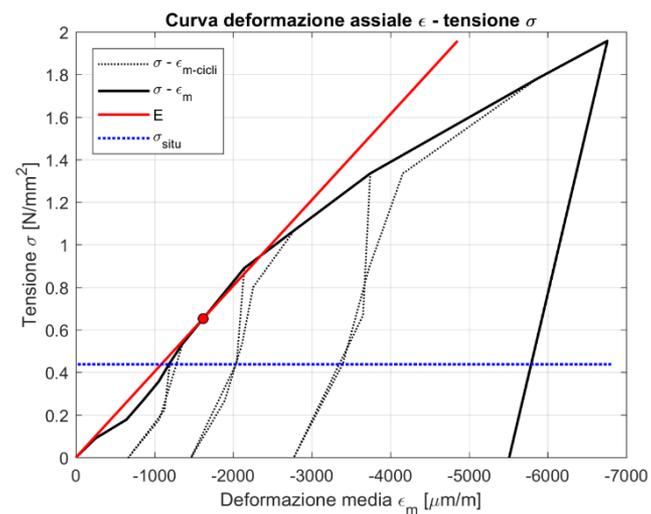
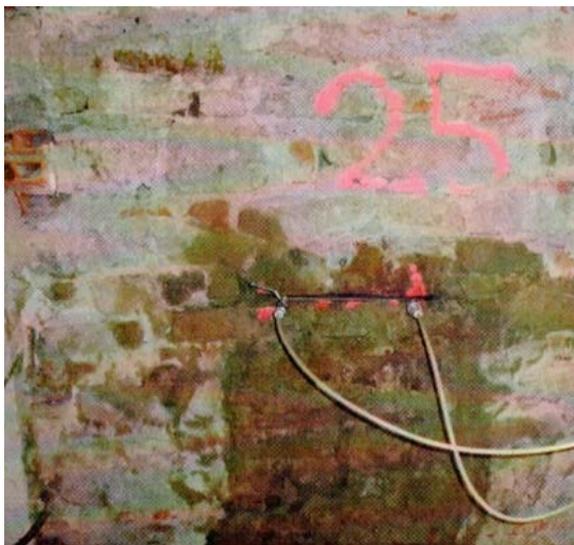
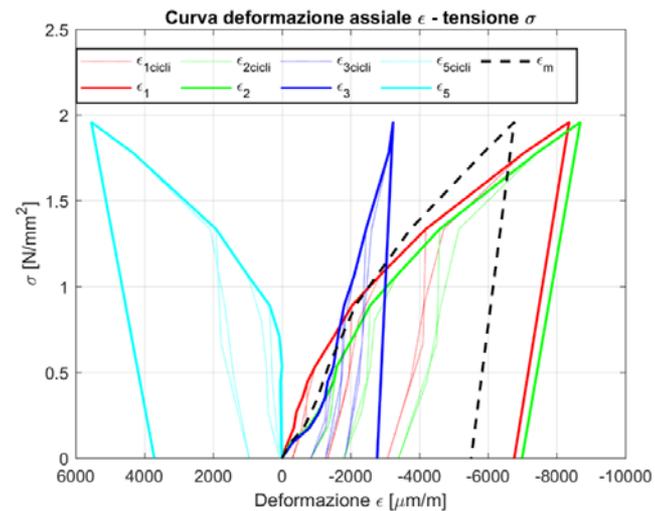
# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## MARTINETTI PIATTI - MP1



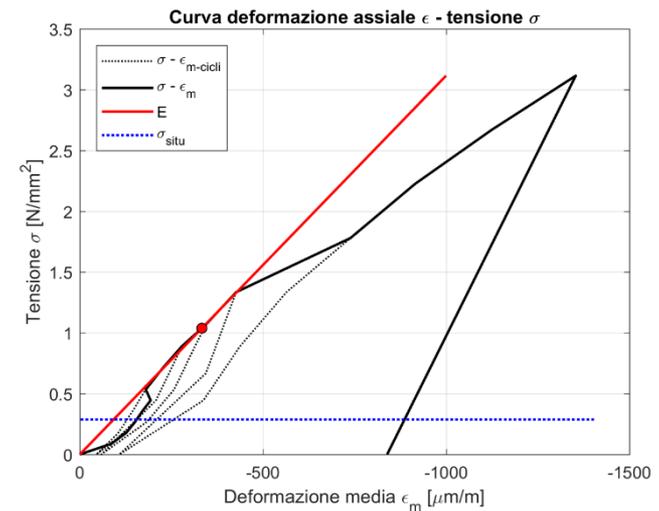
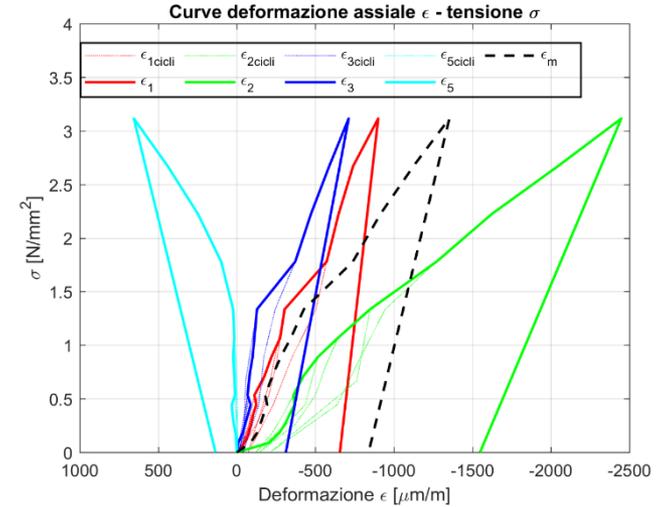
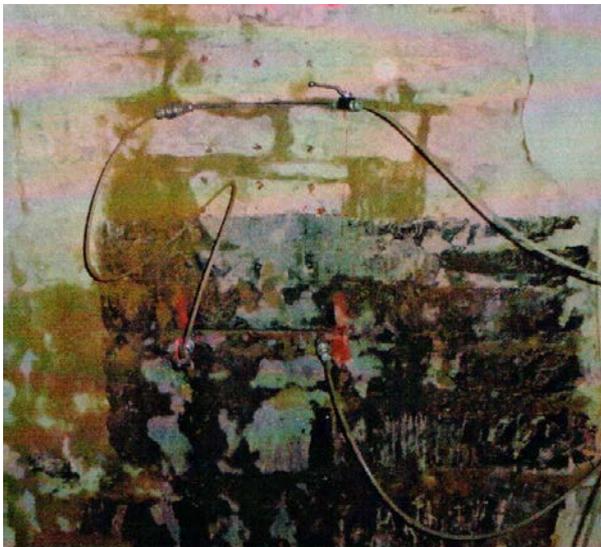
# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## MARTINETTI PIATTI – MP2



# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## MARTINETTI PIATTI – MP3



# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## MARTINETTI PIATTI

MP	E [N/mm <sup>2</sup> ]
1	2442
2	403
3	3117

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## MARTINETTI PIATTI

MP	E [N/mm <sup>2</sup> ]
1	2442
2	403
3	3117

Risultati eterogenei



Muratura non omogenea

I categoria  
muratura in pietrame disordinata  
(ciottoli, pietre erratiche e irregolari)

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## DRMS

RISULTATI DELLA PROVA			
RESISTENZA ALLA PERFORAZIONE DETERMINATA			
Numero di fori		33	
$X_{1,n} - X_{2,n}$	✓	5-35	mm
DR	✓	3.22	N
$DR_{moda}$			N
$DR_{mediana}$	✓	2.67	N
$DR_{max}$	✓	8.68	N
$DR_{min}$	✓	0.01	N
$DR_{dev. stand.}$	✓	2.13	N
Coefficiente di variazione DR		66%	
CARATTERISTICHE MECCANICHE STIMATE			
Resistenza a compressione	✓	2.5	5.0 N/mm <sup>2</sup>
OSSERVAZIONI E DESCRIZIONE DELLA MALTA			
Malta con caratteristiche meccaniche di media-discreta qualità.			



## Classi di resistenza malta [MPa]

SCADENTE	MEDIA	BUONA	OTTIMA
0-2.5	2.5-5.0	5.0-7.5	>7.5

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## ANALISI CHIMICA DELLA MALTA

ASPETTO MACROSCOPICO
Colore del legante: bruno chiaro; colore dell'aggregato: granuli bruni, grigi e bianchi.
FOTO DEL CAMPIONE


### CONSIDERAZIONI GENERALI

Il campione è riferibile a malte antiche, in cui come legante si è utilizzata **calce aerea**.

L'aggregato è di provenienza locale, da sedimenti fluviali, con granuli mediamente arrotondati. Nella frazione grossolana dell'aggregato si trovano frammenti di arenarie, sia riferibili alla Pietra Serena (arenarie a matrice argillosa) che alla Pietraforte (arenarie a grana fine a matrice argilloso-calcitica), frammenti di calcari micritici (riferibili alla Pietra Alberese), frammenti di serpentinite (riferibili alle formazioni ofiolitiche). Nella frazione fine prevalgono ovviamente i granuli costituiti da singoli cristalli (quarzo, feldspati, calcite spatica).

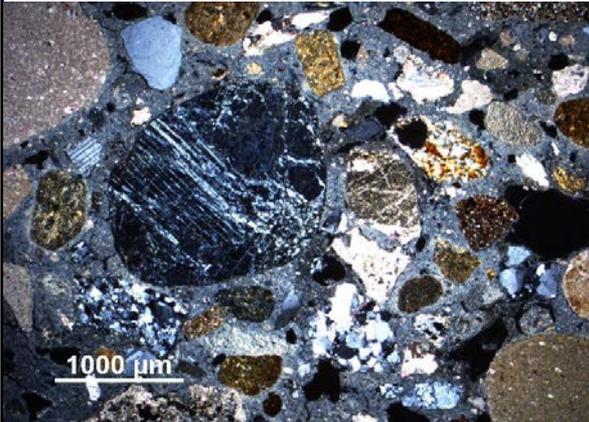
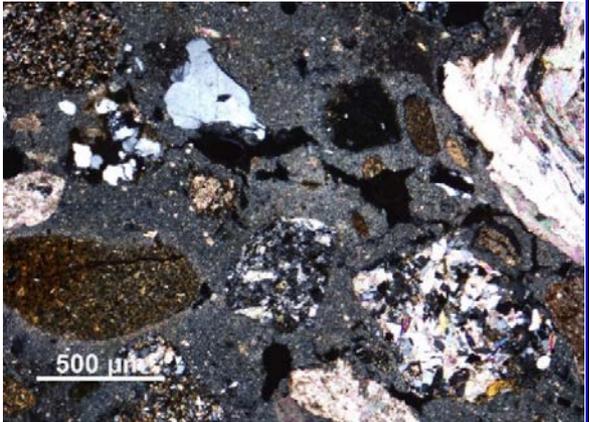
Riguardo alla distribuzione granulometrica dell'aggregato, l'impasto ha distribuzione bimodale. L'assenza di resti di cottura indicherebbe una attenta depurazione della calce spenta (grassello). In alternativa si potrebbe pensare all'utilizzo di calce idrata in polvere. In questo caso le malte sarebbero di età più recente.

Gli impasti sono sempre ben amalgamati e generalmente magri (Legante/Aggregato di circa 1/3).

La porosità visibile (macroporosità) è di forma irregolare e a volte sono presenti leggere fessurazioni dovute a fenomeni di ritiro.

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## ANALISI CHIMICA DELLA MALTA

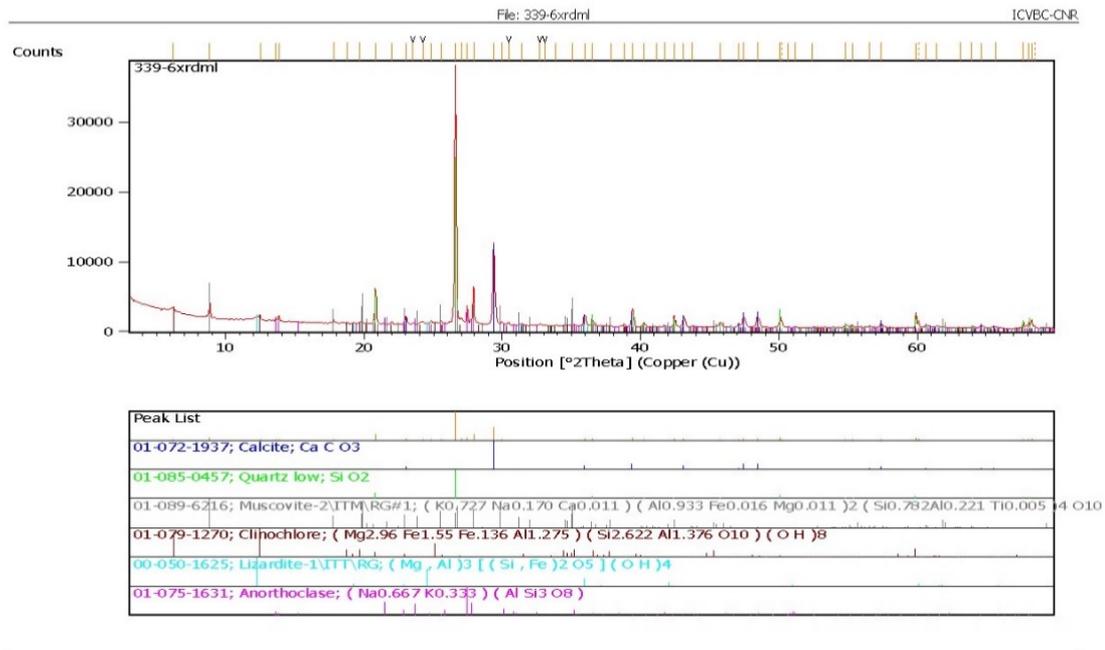
ASPETTO MICROSCOPICO		
Legante	<i>Quantità</i>	Legante/Aggregato circa 1/3
	<i>Aspetto</i>	omogeneo micritico
	<i>Composizione</i>	calce aerea
Aggregato	<i>Distribuzione</i>	omogeneamente distribuito
	<i>Forma dei granuli</i>	subarrotondata
	<i>Granulometria</i>	bimodale (classe prevalente 400-800 µm, secondaria 1,5-3 mm)
	<i>Composizione</i>	frammenti di calcari micritici, sparitici, serpentiniti, arenarie, siltiti, granuli di quarzo
Grumi	assenti	
Pori	di forma irregolare e fessurazioni	
FOTO DEL CAMPIONE IN SEZIONE SOTTILE		FOTO DEL CAMPIONE IN SEZIONE SOTTILE
microscopio Zeiss AXIO Scope.A1		microscopio Zeiss AXIO Scope.A1
		

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## ANALISI CHIMICA DELLA MALTA

### COMPOSIZIONE MINERALOGICA

#### DIFFRATTOMETRIA A RAGGI X



L'analisi mineralogica è in accordo con le osservazioni petrografiche. In particolare i seguenti minerali sono riferibili all'aggregato **quarzo, feldspati (anortoclasi), muscovite e clinocloro** (nei frammenti di rocce arenacee e siltitiche), calcite (nei frammenti di rocce carbonatiche e nei frammenti di arenaria), lizardite (nei frammenti di rocce serpentinitiche). La calcite è presente anche nel legante come unico componente (in quanto le caratteristiche microscopiche indicano che questo è costituito da calce aerea).

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

## INDAGINI SVOLTE

- ❑ 30 saggi
- ❑ 6 carotaggi
- ❑ 3 martinetti piatti (doppi e singoli)
- ❑ 4 prove DRMS
- ❑ 6 analisi chimiche della malta



LC2  
FC=1.2

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE VERTICALI

MURATURA IN PIETrame DISORDINATA (CIOTTOLI, PIETRE ERRATICHE E IRREGOLARI)			Valore	u. m.
a)	Resistenza media a compressione della muratura	$f_m$	140	N/cm <sup>2</sup>
b)	Resistenza media a taglio della muratura	$\tau_0$	2.6	N/cm <sup>2</sup>
c)	Modulo di elasticità normale	E	870	N/mm <sup>2</sup>
d)	Modulo di elasticità tangenziale medio	G	290	N/mm <sup>2</sup>
e)	Peso specifico	w	19	kN/m <sup>3</sup>

MURATURA IN MATTONI PIENI E MALTA DI CALCE			Valore	u. m.
a)	Resistenza media a compressione della muratura	$f_m$	266.67	N/cm <sup>2</sup>
b)	Resistenza media a taglio della muratura	$\tau_0$	6.33	N/cm <sup>2</sup>
c)	Modulo di elasticità normale	E	1'500	N/mm <sup>2</sup>
d)	Modulo di elasticità tangenziale medio	G	500	N/mm <sup>2</sup>
e)	Peso specifico	w	18	kN/m <sup>3</sup>

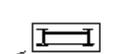
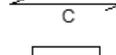
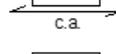
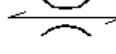
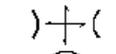
Tipologia di muratura	Analisi	$f_d$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_d$ [N/cm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	w [kN/m <sup>3</sup> ]
MURATURA IN PIETrame DISORDINATA (CIOTTOLI, PIETRE ERRATICHE E IRREGOLARI)	Carichi gravitazionali	38.89	0.72	870	290	19
	Analisi statica non lineare	116.67	2.17			

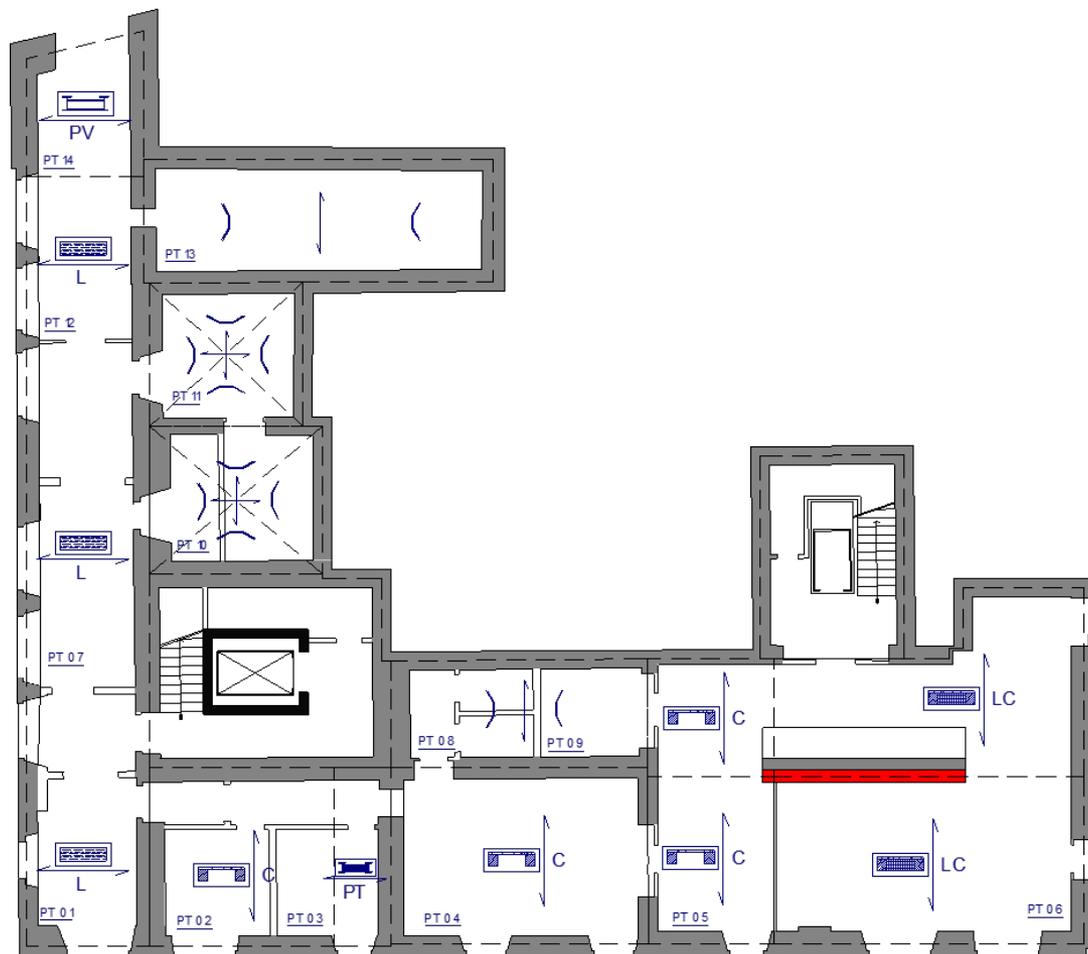
Tipologia di muratura	Analisi	$f_d$ [N/cm <sup>2</sup> ]	$\tau_d$ [N/cm <sup>2</sup> ]	E [N/mm <sup>2</sup> ]	G [N/mm <sup>2</sup> ]	w [kN/m <sup>3</sup> ]
MURATURA IN MATTONI PIENI E MALTA DI CALCE	Carichi gravitazionali	88.89	2.11	1500	500	18
	Analisi statica non lineare	266.67	6.33			

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE ORIZZONTALI

## TIPOLOGIA ORIZZONTAMENTI

\* a copertura del piano indicato

	Solaio in legno
L	
	Solaio in putrelle e tavelloni
PT	
	Solaio in putrelle e voltine
PV	
	Solaio in latero - cemento
LC	
	Solaio in c.a. gettato in opera
C	
	Solaio con soletta in c.a.
c.a.	
	Solaio in laterizio armato
LA	
	Volta a botte
	Volta a crociera
	Volta a vela

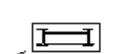
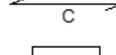
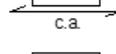
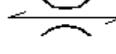
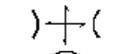


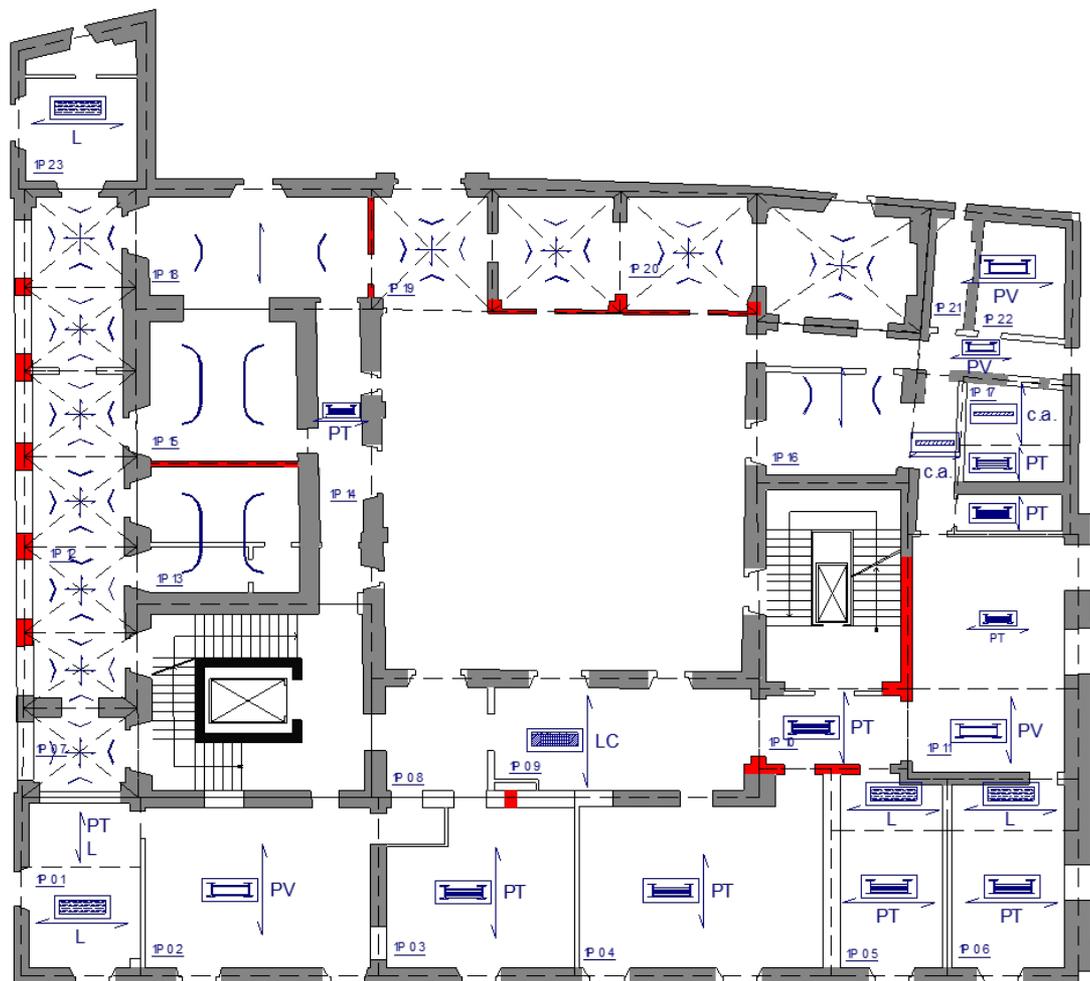
Piano terra

# PROCESSO DI CONOSCENZA - STRUTTURE ORIZZONTALI

## TIPOLOGIA ORIZZONTAMENTI

\* a copertura del piano indicato

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
|   | Solaio in legno                 |
|   | Solaio in putrelle e tavelloni  |
|   | Solaio in putrelle e voltine    |
|   | Solaio in latero - cemento      |
|   | Solaio in c.a. gettato in opera |
|   | Solaio con soletta in c.a.      |
|   | Solaio in laterizio armato      |
|   | Volta a botte                   |
|   | Volta a crociera                |
|  | Volta a vela                    |

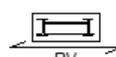
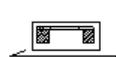
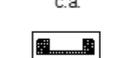


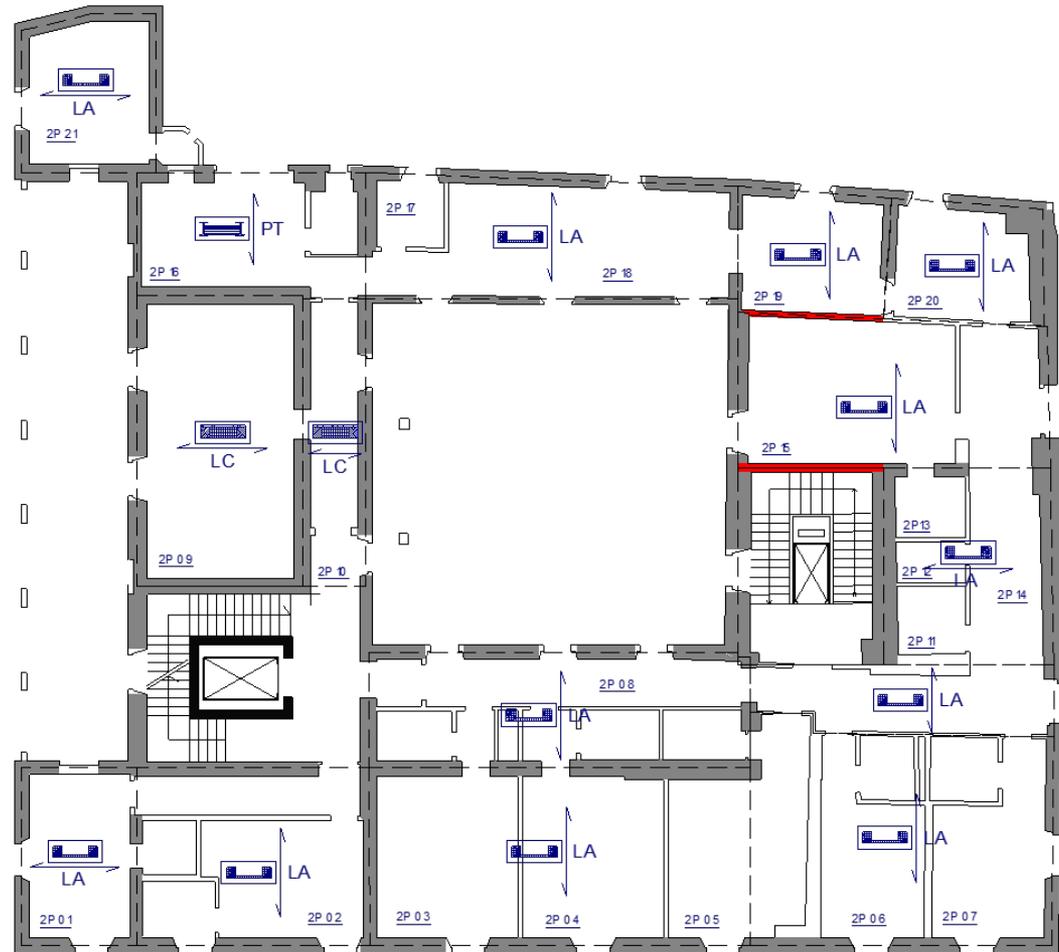
Piano primo

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE ORIZZONTALI

## TIPOLOGIA ORIZZONTAMENTI

\* a copertura del piano indicato

-  Solaio in legno
-  Solaio in putrelle e tavelloni
-  Solaio in putrelle e voltine
-  Solaio in latero - cemento
-  Solaio in c.a. gettato in opera
-  Solaio con soletta in c.a.
-  Solaio in laterizio armato
-  Volta a botte
-  Volta a crociera
-  Volta a vela

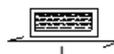
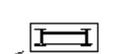
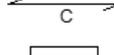
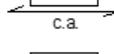
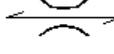
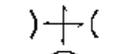
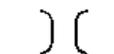


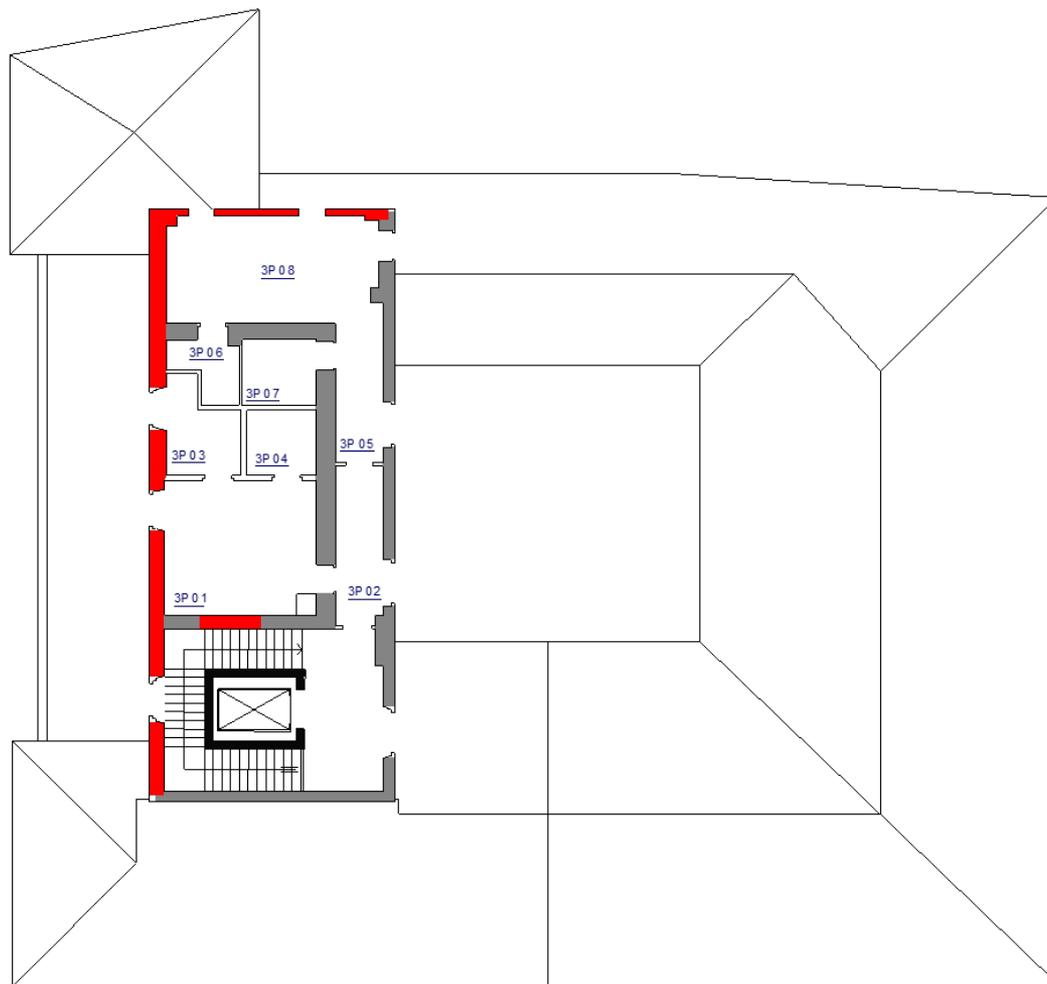
Piano secondo

# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE ORIZZONTALI

## TIPOLOGIA ORIZZONTAMENTI

\* a copertura del piano indicato

	Solaio in legno
L	
	Solaio in putrelle e tavelloni
PT	
	Solaio in putrelle e voltine
PV	
	Solaio in latero - cemento
LC	
	Solaio in c.a. gettato in opera
C	
	Solaio con soletta in c.a.
c.a.	
	Solaio in laterizio armato
LA	
	Volta a botte
	Volta a crociera
	Volta a vela
	



Piano terzo

## PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE ORIZZONTALI

Solai in legno



Solai in latero  
cemento



## PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE ORIZZONTALI

Solai in putrelle e  
tavelloni



Solai in putrelle  
e voltine



# PROCESSO DI CONOSCENZA – STRUTTURE ORIZZONTALI

Volte a botte



Volte a crociera

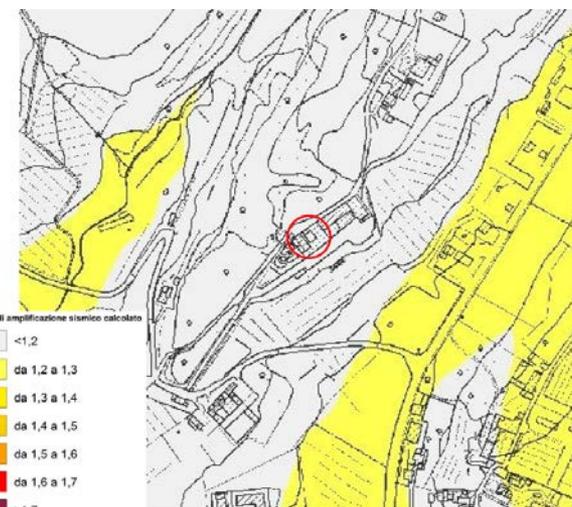


# PROCESSO DI CONOSCENZA - SOTTOSUOLO

## INDAGINI SVOLTE

☐ 1 prova MASW

☐ 4 prove penetrometriche



Estratto da cartografia del P.S. 2010 del Comune di Firenze.  
Fattore di amplificazione sismica calcolato.



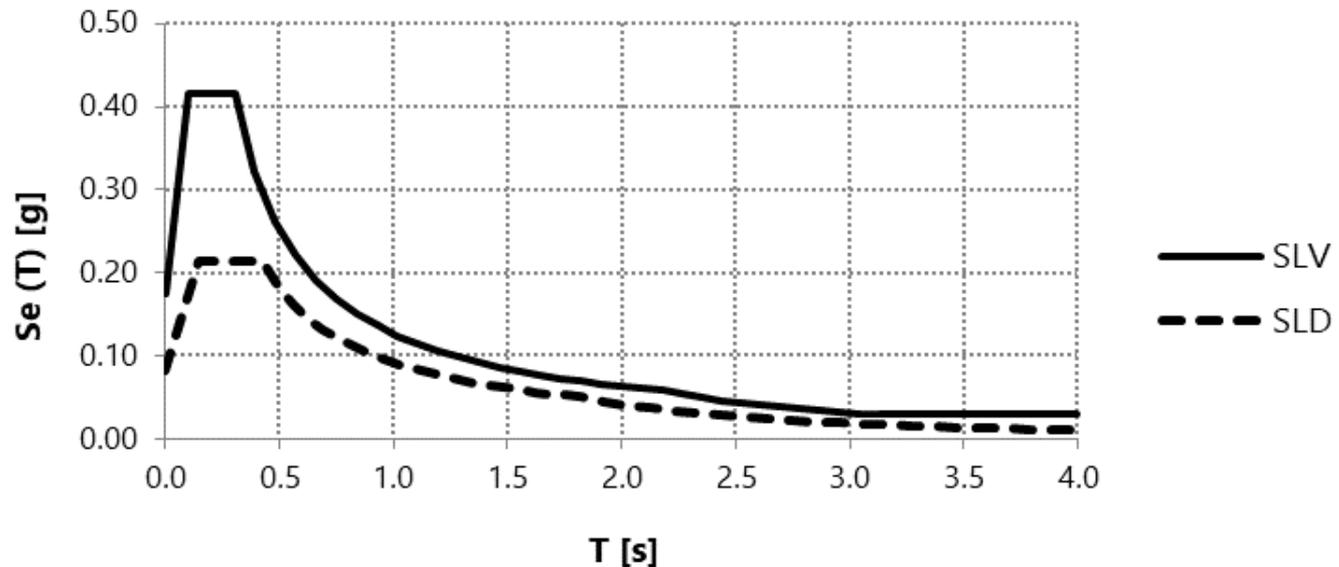
Categoria di suolo A  
Categoria topografica T2

## CASO STUDIO REALE

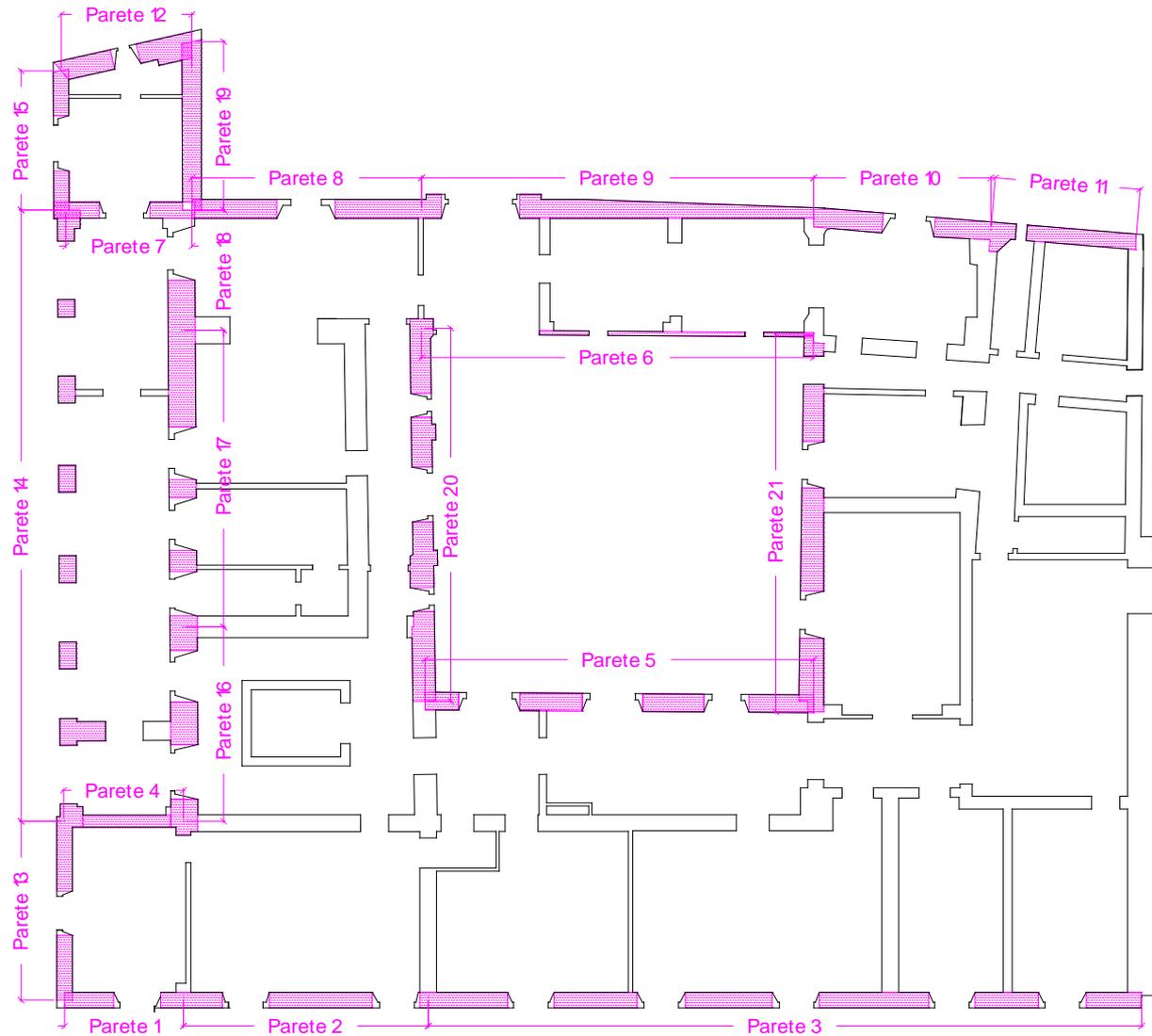
- Processo di conoscenza
- Stato attuale: meccanismi locali
- Stato attuale: meccanismi globali
- Stato di progetto: interventi previsti e livello di sicurezza raggiunto

## NTC 2008 – Spettro base

- FIRENZE
- TR = 712 ( $V_N=50$  anni,  $C_U=1.5$ )
- Terreno = A
- Categoria = T2
  - $a_g = 0.145$  [g]
  - $T_C = 0.303$  sec
  - $F_0 = 2.388$



# Cinematismi attivabili e rappresentativi del comportamento di tutto l'edificio

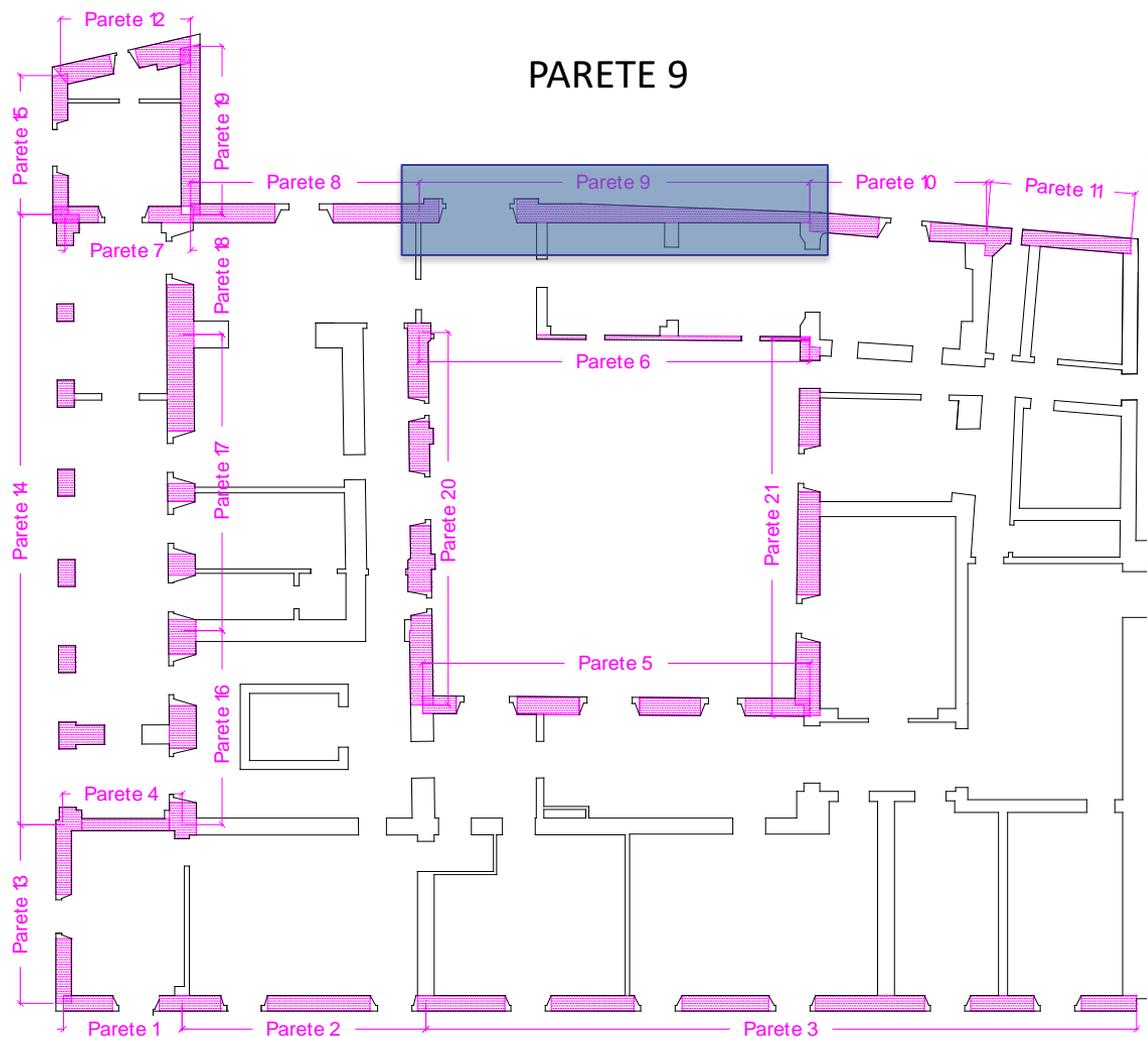


# NTC 2008 - Minimo fattore di sicurezza

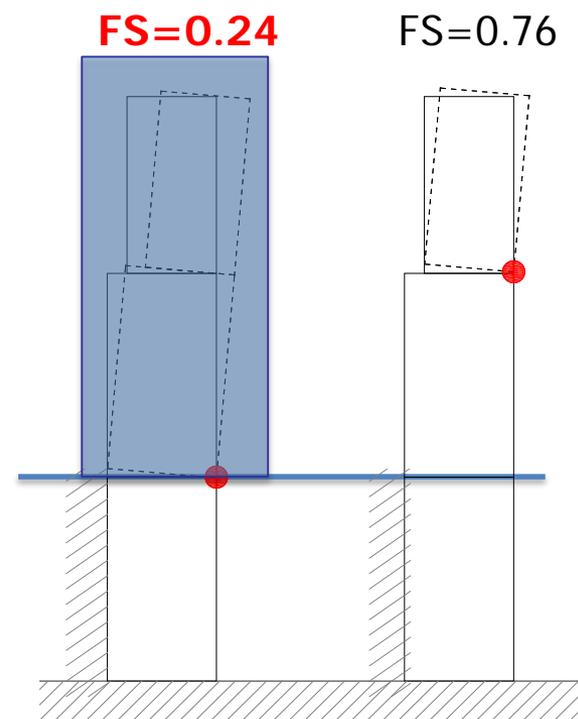
## PARETE 9

Minimo fattore di sicurezza

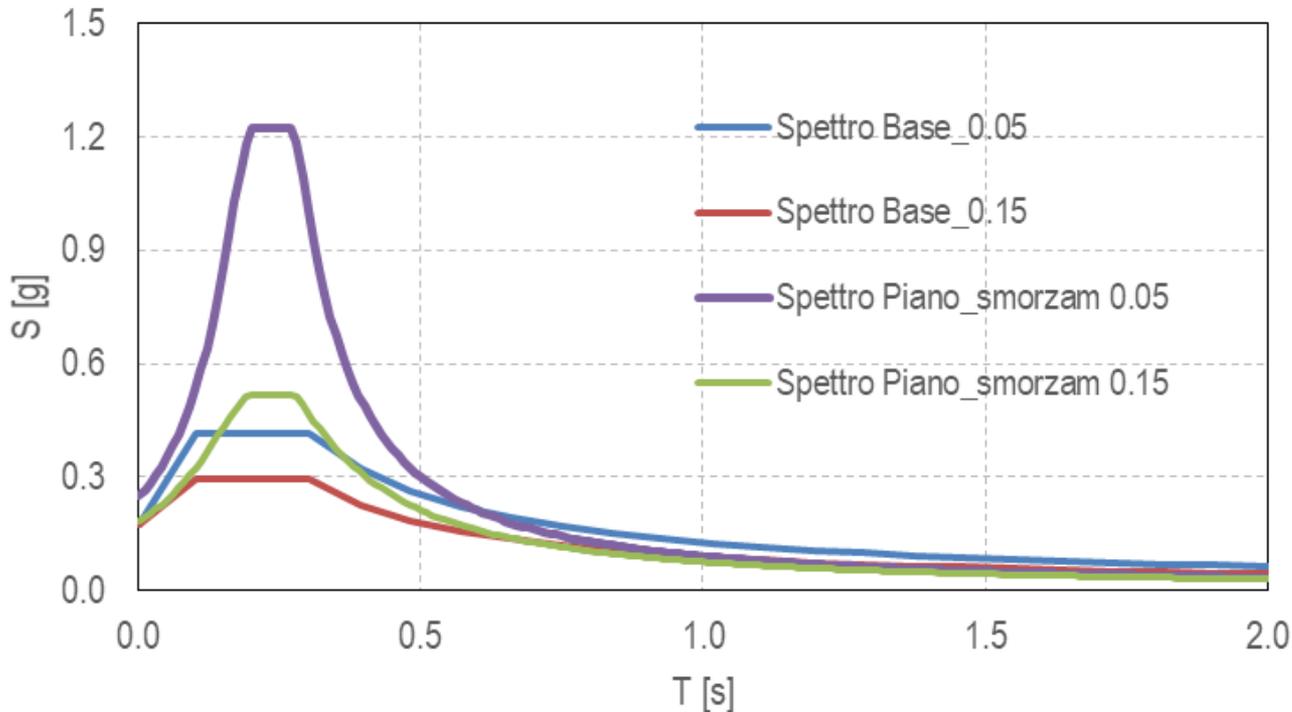
Ribaltamento parete due piani



$$FS = \frac{a_{g,SLV} \text{capacità}}{a_g(SLV) \text{domanda}}$$



## NTC 2018 - Spettro di piano per il meccanismo 9



2 piani

H = 8.6 metri

Z = 4.2 metri  
(primo piano)

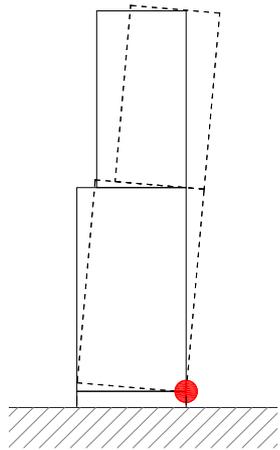
k=1

Si considera una sola  
forma modale

Smorzamento struttura e  
meccanismo 0.05/0.15

n	2	numero piani
$\gamma_1$	1.20	coeff partecipaz modale k esimo modo di vibrare della costruzione
a	0.8	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
b	1.1	coeff che definiscono l'intervallo di amplificazione massima dello spettro di piano
$\xi$ [%]	0.05	smorzamento viscoso equivalente dell'elemento non strutturale
$\psi_k(z)$	0.67	collocato il meccanismo locale da verificare
$\xi_k$ [%]	<b>0.05</b>	<b>smorzamento viscoso equivalente della struttura</b>

## PARETE 9 – Formazione cerniera piano terra



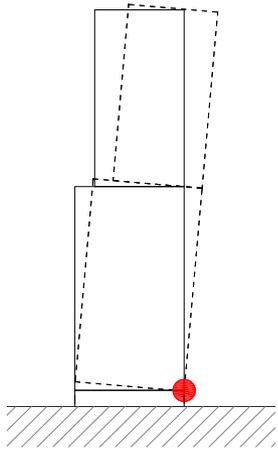
MECCANISMO A TERRA

$$\alpha_0 = 0.020$$

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{Py,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{PQ,k}}$$

**1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)**

## PARETE 9 – Formazione cerniera piano terra



MECCANISMO A TERRA

$$\alpha_0 = 0.020$$

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{P_y,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{PQ_x,k}}$$

### 1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

- Calcolo della accelerazione corrispondente al moltiplicatore di attivazione

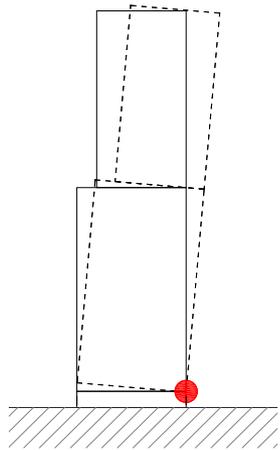
$$a_0 = \frac{\alpha_0 g}{e^*_{FC}} = a_{Z,SLAt} = 0.021 [g] \quad z = 0$$

- Calcolo dell'accelerazione al suolo  $a_{g,SLAt}$ , Siamo a  $Z=0$ , **si utilizza lo spettro base**,

$$a_{g,SLAt} = \frac{a_0}{S} = \frac{0.021}{1.2} = 0.0175 [g]$$

- da confrontarsi con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  valutata per la probabilità di superamento corrispondente allo stato limite rilevante (non viene specificato quale).

## PARETE 9 – Formazione cerniera piano terra



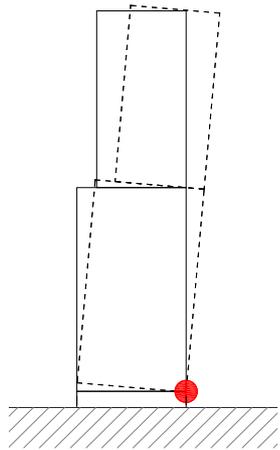
MECCANISMO A TERRA

$$\alpha_0 = 0.020$$

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{Py,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{PQ,k}}$$

1) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento  $q$

## PARETE 9 – Formazione cerniera piano terra



MECCANISMO A TERRA

$$\alpha_0 = 0.020$$

$$\alpha_0 = \frac{\sum_{k=1}^N P_k \delta_{Py,k} - \sum_{k=1}^m F_k \delta_{F,k} + L_i}{\sum_{k=1}^N (P_k + Q_k) \delta_{PQ,k}}$$

### 1) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento q

- Calcolo della accelerazione al suolo  $a_{g,SLV}$  come prodotto di  $a_{g,SLAt}$  per q con q=2:

$$a_{g,SLV} = a_{g,SLAt} \cdot q = 0.0175 \cdot 2 = \mathbf{0.0351 [g]} \quad Z = 0$$

- da confrontarsi con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  allo SLV di domanda = **0.145 [g]**

$$\xi_E = \frac{a_{g,SLV}}{a_{g(SLV)}} = \frac{a_{g,SLV} \text{ capacità}}{a_{g,SLV} \text{ domanda}} = 0.24 \text{ indice di sicurezza}$$

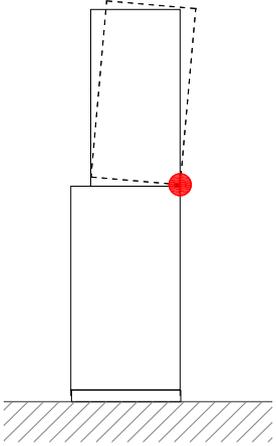
- Da  $a_{g,SLV}$  si calcola il  $T_{SLV} = < \mathbf{30}$  anni (tempo di ritorno di capacità,  $T_R, a_g, F_0$  variabili)
- Da cui si calcola il  $T_{INT}$  invertendo la formula  $\frac{T_{INT} \cdot C_U}{T_{SLV}} = -\ln(1-0,1) = 0,105 \quad T_{INT} = \mathbf{2.1}$  anni

- Da confrontare con la  $V_N = 50$  anni  $\rightarrow \frac{V_N}{T_{INT}} = \frac{50}{2.1} = \mathbf{23.8}$

## PARETE 9 – Formazione cerniera in quota

MECCANISMO IN QUOTA

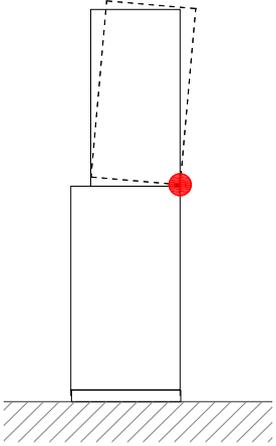
$$\alpha_0 = 0.106$$



**1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)**

## MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.106$$



### 1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

- Calcolo della accelerazione corrispondente al moltiplicatore di attivazione

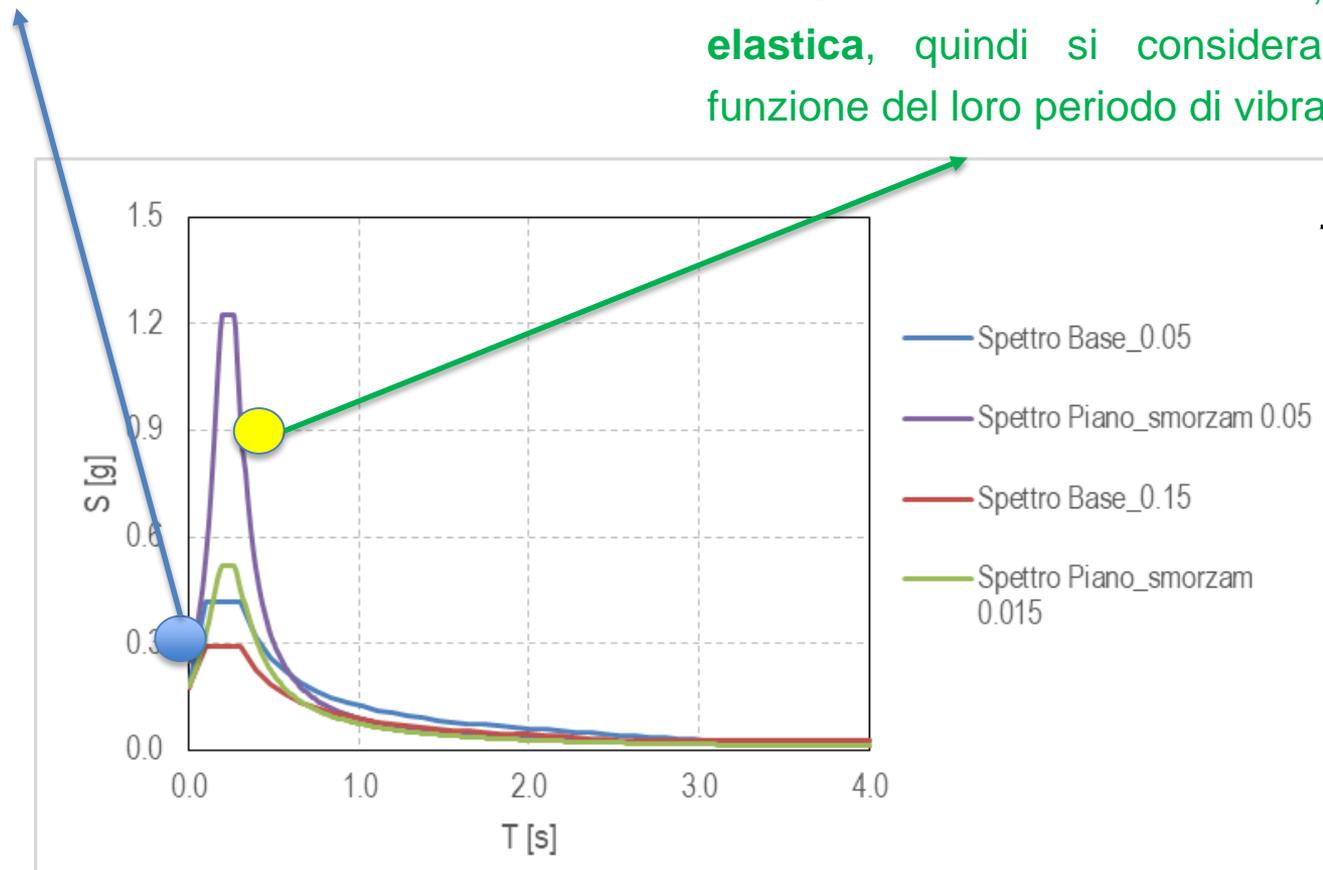
$$a_0 = \frac{\alpha_0 g}{e^* FC} = a_{Z,SLAt} = \mathbf{0.094 [g]} \quad Z = 4.24 \text{ metri}$$

- Calcolo dell'accelerazione al suolo  $a_{g,SLAt}$ , Siamo a  $Z=4.24$  m, **si utilizza lo spettro di piano in corrispondenza del  $T=0$ , ovvero il punto di aggancio allo spettro;**

## ESEMPIO, formazione della cerniera a tutti i piani

Nel caso di elementi vincolati prima dell'attivazione del meccanismo si utilizza lo spettro di piano in corrispondenza del  $T=0$ , ovvero il punto di aggancio allo spettro;

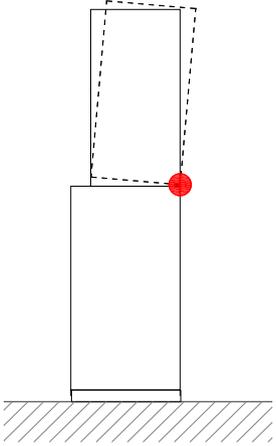
Nel caso invece di elementi liberi di vibrare (quali parapetti, pinnacoli o merlature, ecc.) è necessario considerare che la loro risposta, prima che si verifichino le condizioni di attivazione del cinematismo, è **dinamica elastica**, quindi si considera lo spettro in funzione del loro periodo di vibrazione



$$T_0 = \kappa \lambda L \sqrt{\frac{W}{Eg}}$$

## MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.106$$



### 1) Verifica dello Stato Limite di Attivazione del meccanismo (SLAt)

- Considerando una sola forma modale ( $k=1$ ), si ricava  $a_{g,SLAt}$ , invertendo la formula degli spettri di piano,  $\mathbf{a}_{z,k}(z) = \mathbf{S}_e(T_k, \xi_k) |\gamma_k \psi_k(z)| \sqrt{1 + 0.0004 \xi_k^2}$  in cui  $a_z(z) = a_{z,SLAt} = 0.094$  [g]

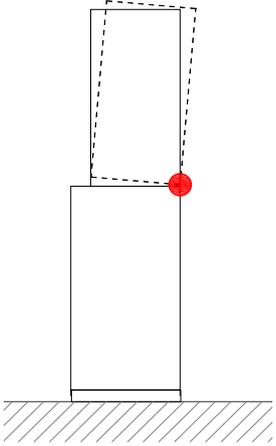
$$S_e(T, \xi) = \frac{a_z(z)}{|\gamma \psi(z)| \sqrt{1 + 0.0004 \xi^2}} = \frac{0.094}{|1.29 \cdot 0.67| \sqrt{1 + 0.0004(5)^2}} = 0.158 \text{ [g]}$$

- Da cui tramite le formule dello spettro di base ( $T_R, a_g, F_0$  variabili) è possibile calcolarsi l'  
 $a_{g,SLAt}$
- $\mathbf{a}_{g,SLAt} = 0.051$  [g] da confrontarsi con lo  $a_g$  allo stato limite idoneo (non specificato).

## PARETE 9 – Formazione cerniera in quota

MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.106$$

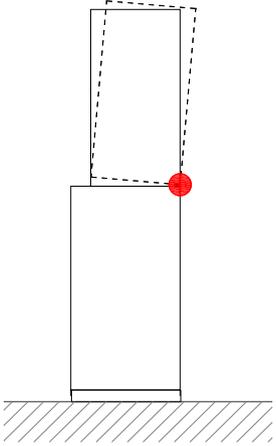


2) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento  $q$

## PARETE 9 – Formazione cerniera in quota

### MECCANISMO IN QUOTA

$$\alpha_0 = 0.106$$



### 2) Verifica semplificata dello SLV con fattore di comportamento q

- Calcolo della accelerazione al suolo  $a_{g,SLV}$  come prodotto di  $a_{g,SLAt}$  per q con q=2:

$$a_{g,SLV} = a_{g,SLAt} \cdot q = 0.051 \cdot 2 = \mathbf{0.103 \text{ [g]}}$$

- da confrontarsi con l'accelerazione di riferimento al suolo  $a_g$  allo SLV di domanda = 0.145 [g]

$$\xi_E = \frac{a_{g,SLV}}{a_g(SLV)} = 0.71 \text{ indice di sicurezza}$$

- Da  $a_{g,SLV}$  si calcola il  $T_{SLV} = \mathbf{186}$  anni (tempo di ritorno di capacità)
- Da cui si calcola il  $T_{INT}$  invertendo la formula  $\frac{T_{INT} \cdot C_U}{T_{SLV}} = -\ln(1-0,1) = 0,105$   $T_{INT} = \mathbf{13}$  anni
- Da confrontare con la  $V_N = 50$  anni  $\rightarrow \frac{V_N}{T_{INT}} = \frac{50}{13} = \mathbf{3.84}$

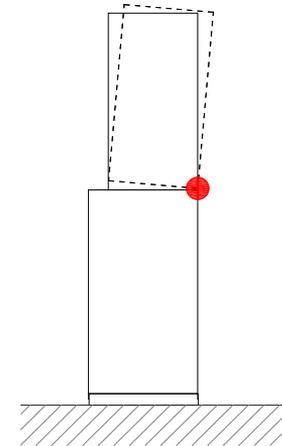
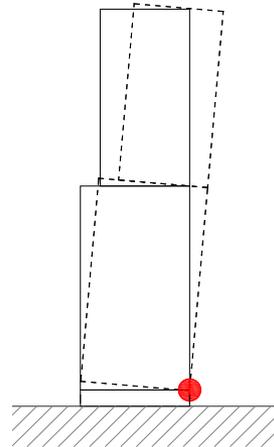
# CONFRONTO CIRC.2009 – CIRC. 2018

$$\text{indice di sicurezza } \xi_E = \frac{a_{g,SLV} \text{ capacità}}{a_{g(SLV)} \text{ domanda}}$$

MECCANISMO A TERRA

MECCANISMO IN QUOTA

Smorzamento  
struttura e  
meccanismo 0.05



CIRC. 2009	0.24	0.76
CIRC. 2018	0.24	0.71
variazione	0	7%

LA CAPACITÀ DELL'EDIFICIO NON CAMBIA. POICHÉ DIPENDE DAL  
MECCANISMO A TERRA

## CASO STUDIO REALE

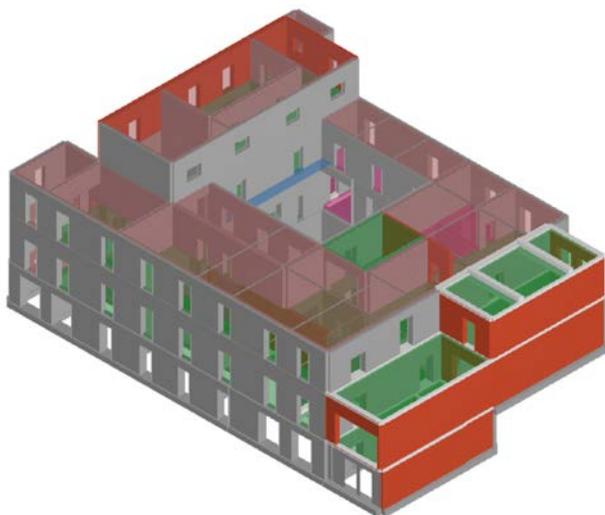
- Processo di conoscenza
- Stato attuale: meccanismi locali
- **Stato attuale: meccanismi globali**
- Stato di progetto: interventi previsti e livello di sicurezza raggiunto

NT08

$$\alpha_{SLV,NT08}=0.86$$

NT18

$$\alpha_{SLV,NT18}=0.81$$



N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	$\alpha$ SLV
1	+X	Uniforme	0	1.29	1.64	1.93	1.27
2	+X	Forze statiche	0	1.46	1.74	2.14	1.19
3	-X	Uniforme	0	1.25	1.72	2.06	1.38
4	-X	Forze statiche	0	1.68	1.79	1.75	1.07
5	+Y	Uniforme	0	1.11	1.17	1.53	1.05
6	+Y	Forze statiche	0	1.26	1.18	1.74	0.93
7	-Y	Uniforme	0	1.14	1.30	1.57	1.14
8	-Y	Forze statiche	0	1.29	1.33	1.79	1.03
9	+X	Uniforme	154	1.24	1.56	2.12	1.26
10	+X	Uniforme	-154	1.30	1.95	1.86	1.50
11	+X	Forze statiche	154	1.47	2.17	2.36	1.27
12	+X	Forze statiche	-154	1.51	1.93	1.96	1.28
13	-X	Uniforme	154	1.26	1.77	2.10	1.41
14	-X	Uniforme	-154	1.49	1.92	1.51	1.29
15	-X	Forze statiche	154	1.43	1.87	2.32	1.29
16	-X	Forze statiche	-154	1.71	2.01	1.74	1.18
17	+Y	Uniforme	201	1.12	1.50	1.50	1.33
18	+Y	Uniforme	-201	1.09	1.07	1.64	0.98
19	+Y	Forze statiche	201	1.28	1.57	1.72	1.23
20	+Y	Forze statiche	-201	1.24	1.07	1.88	0.86
21	-Y	Uniforme	201	1.13	1.56	1.57	1.38
22	-Y	Uniforme	-201	1.13	1.19	1.67	1.05
23	-Y	Forze statiche	201	1.30	1.57	1.67	1.21
24	-Y	Forze statiche	-201	1.27	1.24	2.00	0.98

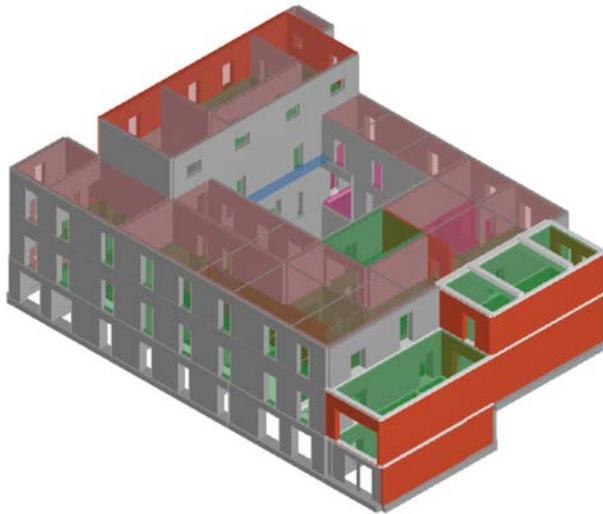
Analisi dimensionante per DM 2008 in direzione trasversale (Y)

NT08

$$\alpha_{SLV,NT08}=0.86$$

NT18

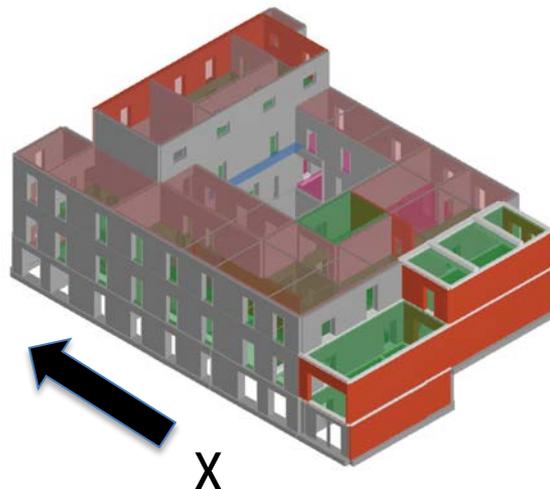
$$\alpha_{SLV,NT18}=0.81$$



N.	Dir. sisma	Carico sismico	Ecc. [cm]	Dmax SLC [cm]	Du SLC [cm]	q* SLC	Dmax SLV [cm]	Du SLV [cm]	q* SLV	$\alpha$ SLC	$\alpha$ SLV
1	+X	Uniforme	0	1.67	1.97	1.89	1.28	1.48	1.89	1.18	1.15
2	+X	Forze statiche	0	1.90	2.08	2.03	1.46	1.56	2.03	1.10	1.07
3	-X	Uniforme	0	1.62	2.24	2.02	1.25	1.68	2.02	1.379	1.345
4	-X	Forze statiche	0	2.20	2.10	1.72	1.69	1.58	1.72	0.95	0.93
5	+Y	Uniforme	0	1.45	1.34	1.50	1.11	1.01	1.50	0.93	0.91
6	+Y	Forze statiche	0	1.64	1.40	1.72	1.26	1.05	1.72	0.85	0.83
7	-Y	Uniforme	0	1.49	1.47	1.53	1.14	1.10	1.53	0.99	0.97
8	-Y	Forze statiche	0	1.68	1.54	1.75	1.29	1.16	1.75	0.92	0.90
9	+X	Uniforme	154	1.64	2.21	2.06	1.26	1.65	2.06	1.35	1.32
10	+X	Uniforme	-154	1.73	2.24	1.73	1.33	1.68	1.73	1.29	1.26
11	+X	Forze statiche	154	1.91	2.65	2.24	1.47	1.99	2.24	1.38	1.34
12	+X	Forze statiche	-154	1.96	2.39	1.92	1.51	1.80	1.92	1.22	1.19
13	-X	Uniforme	154	1.64	2.09	2.02	1.26	1.57	2.02	1.28	1.25
14	-X	Uniforme	-154	1.94	2.21	1.49	1.49	1.66	1.49	1.14	1.11
15	-X	Forze statiche	154	1.86	2.44	2.30	1.43	1.83	2.30	1.31	1.28
16	-X	Forze statiche	-154	2.25	2.35	1.68	1.73	1.76	1.68	1.05	1.02
17	+Y	Uniforme	201	1.46	1.75	1.45	1.12	1.31	1.45	1.20	1.17
18	+Y	Uniforme	-201	1.41	1.28	1.64	1.09	0.96	1.64	0.91	0.88
19	+Y	Forze statiche	201	1.66	1.94	1.71	1.28	1.46	1.71	1.17	1.14
20	+Y	Forze statiche	-201	1.61	1.34	1.95	1.24	1.01	1.95	0.83	0.81
21	-Y	Uniforme	201	1.47	1.82	1.54	1.13	1.36	1.54	1.24	1.21
22	-Y	Uniforme	-201	1.51	1.34	1.56	1.16	1.00	1.56	0.89	0.87
23	-Y	Forze statiche	201	1.72	1.75	1.59	1.32	1.31	1.59	1.02	0.99
24	-Y	Forze statiche	-201	1.66	1.37	1.90	1.27	1.03	1.90	0.83	0.81

Analisi dimensionante per DM 2018 in direzione trasversale (Y)

Coefficienti di sicurezza minori in linea generale e maggior numero di verifiche non soddisfatte.



NT08

NT18

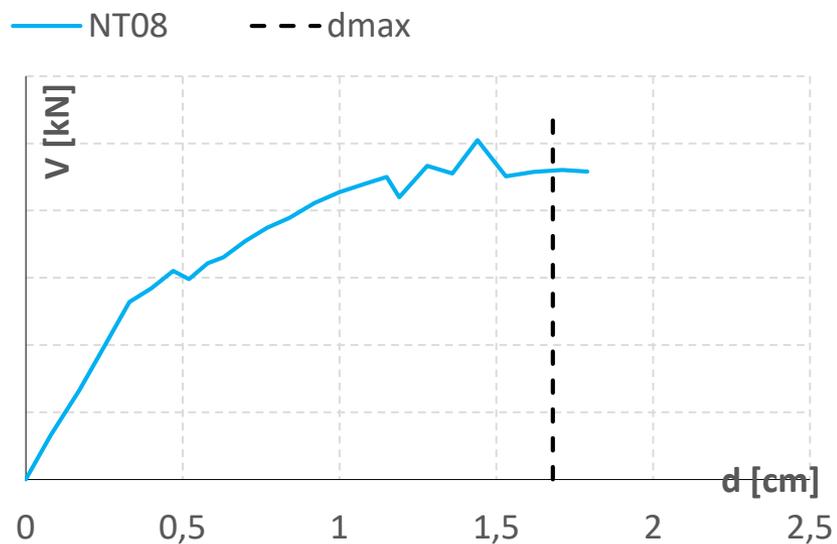
X:

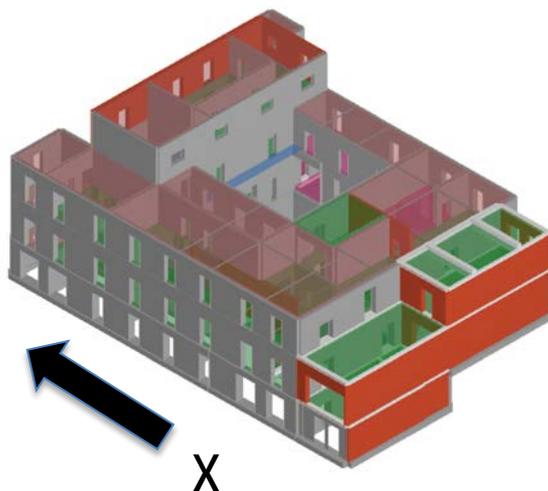
$$\alpha_{SLV,NT08}=1.07$$

$$\alpha_{SLV,NT18}=0.93$$

NT08

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
4	-X	Forze statiche	0	-	1.68	1.75	1.79	1.07





NT08

NT18

X:

$$\alpha_{SLV,NT08}=1.07$$

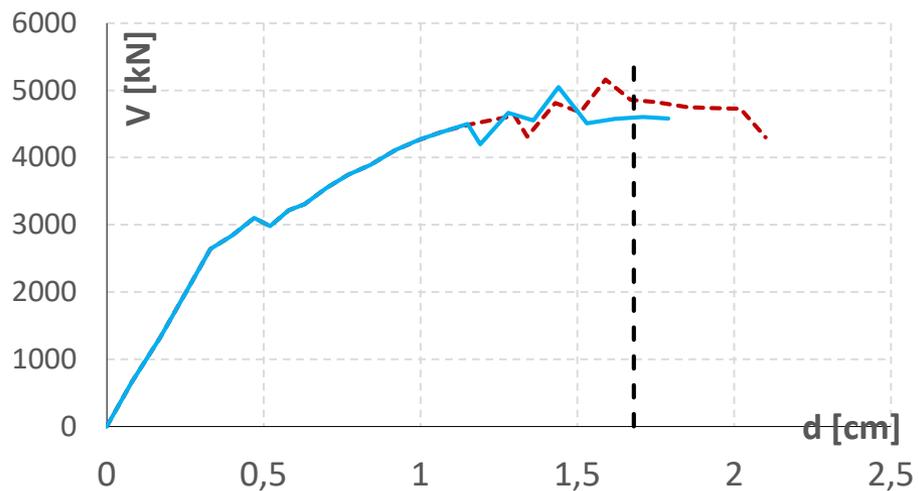
$$\alpha_{SLV,NT18}=0.93$$

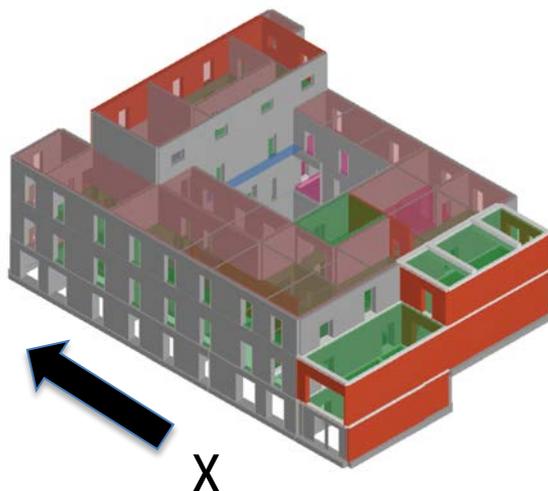
NT08

NT18

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
4	-X	Forze statiche	0	-	1.68	1.75	1.79	1.07
4	-X	Forze statiche	0	2.10	1.69	1.72	1.58	0.93

--- NT18    — NT08    - - - dmax





X

NT08

NT18

X:

$$\alpha_{SLV,NT08}=1.07$$

$$\alpha_{SLV,NT18}=0.93$$

NT08

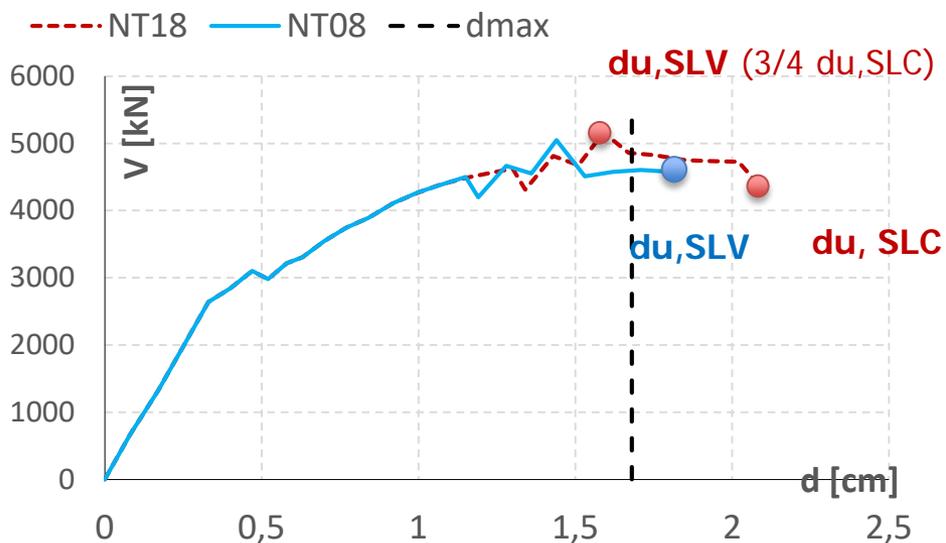
NT18

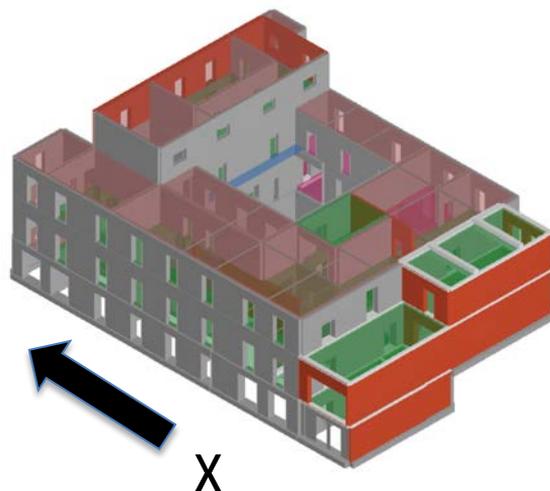
N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
4	-X	Forze statiche	0	-	1.68	1.75	1.79	1.07
4	-X	Forze statiche	0	2.10	1.69	1.72	1.58	0.93

$\Delta\%$

-12%

-13%





NT08

NT18

X:

$$\alpha_{SLV,NT08}=1.07$$

$$\alpha_{SLV,NT18}=0.93$$

NT08

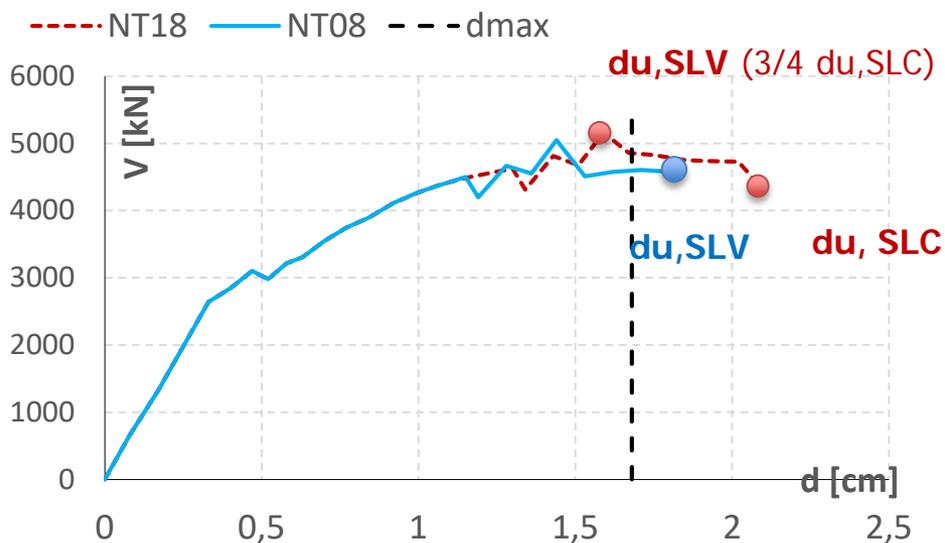
NT18

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
4	-X	Forze statiche	0	-	1.68	1.75	1.79	1.07
4	-X	Forze statiche	0	2.10	1.69	1.72	1.58	0.93

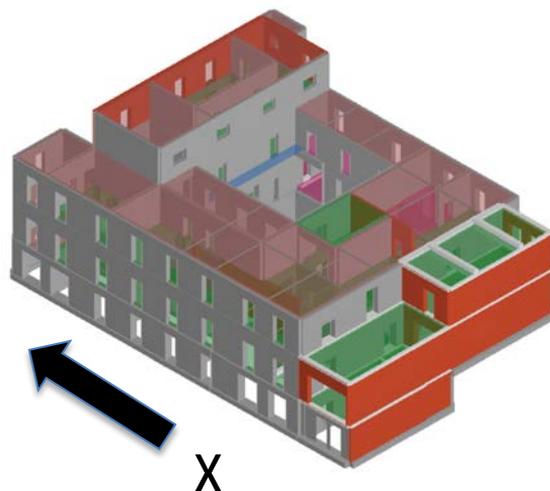
$\Delta\%$

-12%

-13%



In direzione longitudinale (analisi non dimensionanti) il FS minimo si ottiene dalla medesima analisi (proporzionale alle forze statiche in assenza di eccentricità accidentali).



NT08

NT18

X:

$$\alpha_{SLV,NT08}=1.07$$

$$\alpha_{SLV,NT18}=0.93$$

NT08

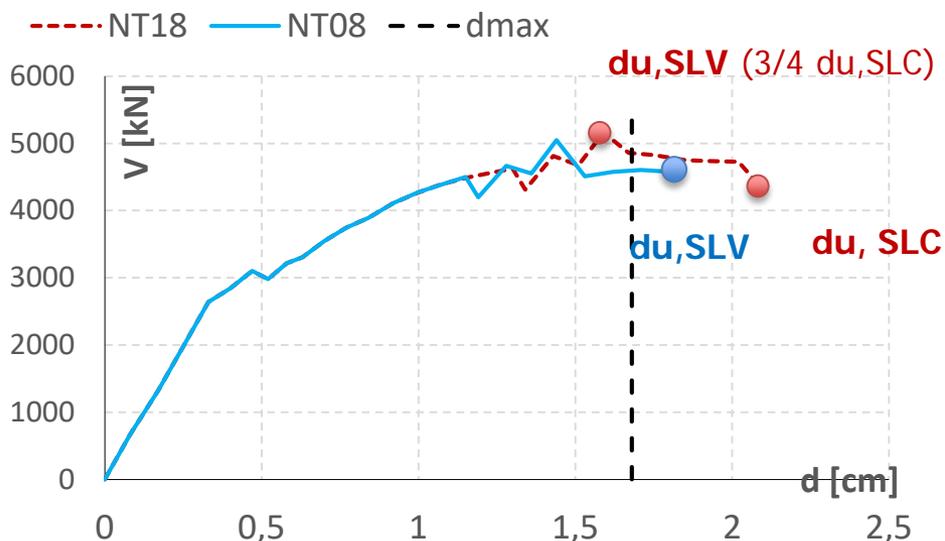
NT18

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
4	-X	Forze statiche	0	-	1.68	1.75	1.79	1.07
4	-X	Forze statiche	0	2.10	1.69	1.72	1.58	0.93

$\Delta\%$

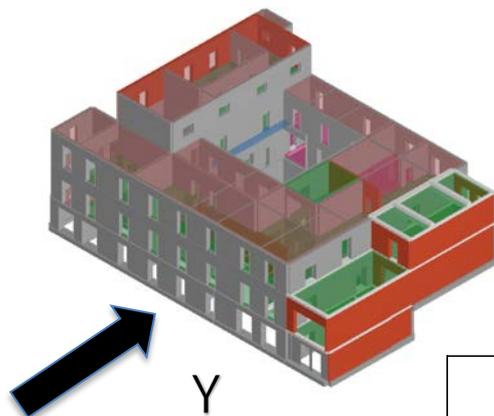
-12%

-13%



In direzione longitudinale (analisi non dimensionanti) il FS minimo si ottiene dalla medesima analisi (proporzionale alle forze statiche in assenza di eccentricità accidentali).

La riduzione del FS da DM2008 a DM2018 fa da discriminante per l'esito della verifica.



NT08

NT08

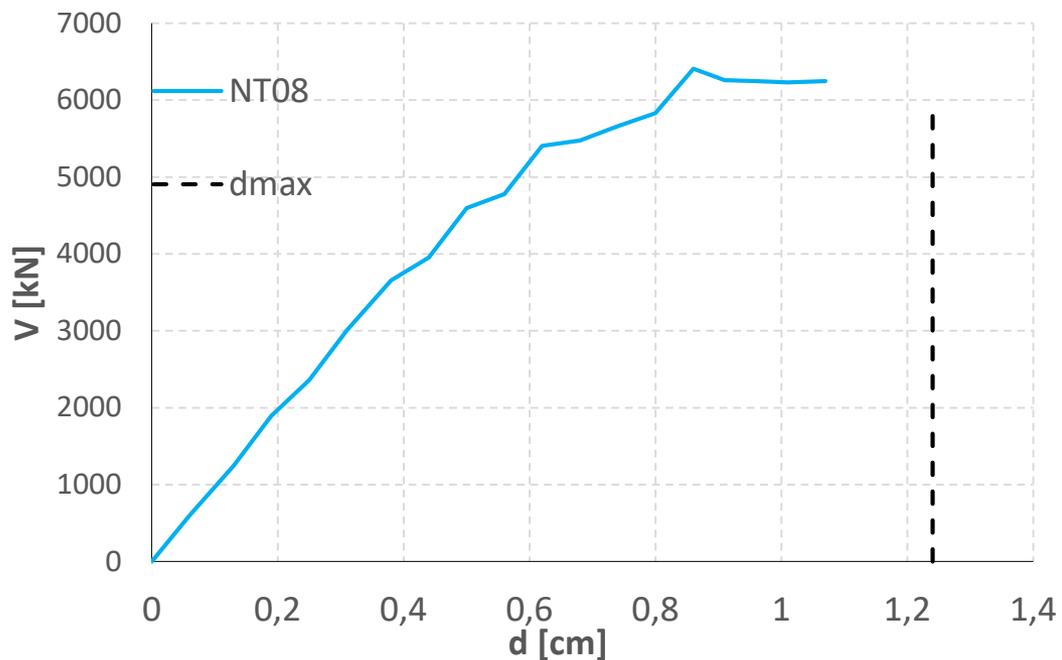
Y:  $\alpha_{SLV,NT08}=0.86$

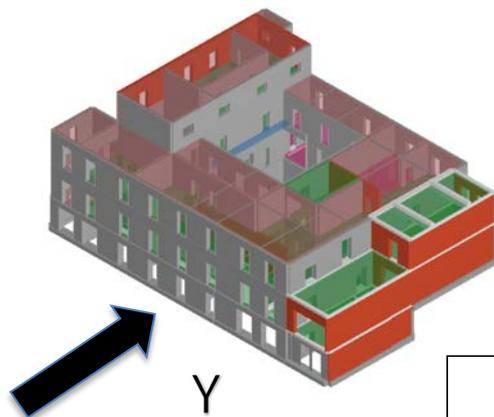
NT18

$\alpha_{SLV,NT18}=0.81$

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
20	+Y	Forze statiche	-201	-	1.24	1.88	1.07	0.86

Y : Analisi 20





NT08

NT18

Y:

$$\alpha_{SLV,NT08} = 0.86$$

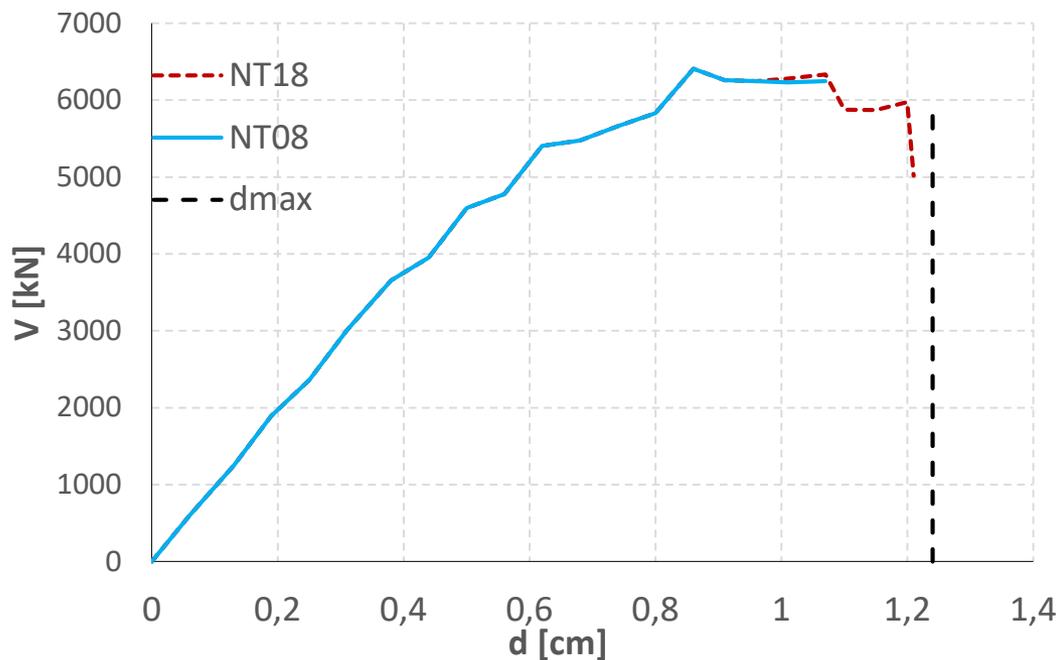
$$\alpha_{SLV,NT18} = 0.81$$

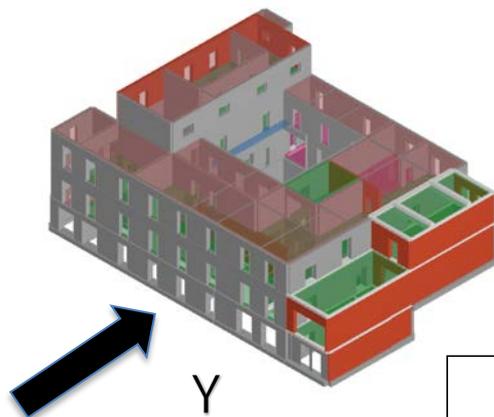
NT08

NT18

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
20	+Y	Forze statiche	-201	-	1.24	1.88	1.07	0.86
20.00	+Y	Forze statiche	-200.57	1.22	1.24	1.95	1.01	0.81

Y : Analisi 20





NT08

NT18

Y:

$$\alpha_{SLV,NT08} = 0.86$$

$$\alpha_{SLV,NT18} = 0.81$$

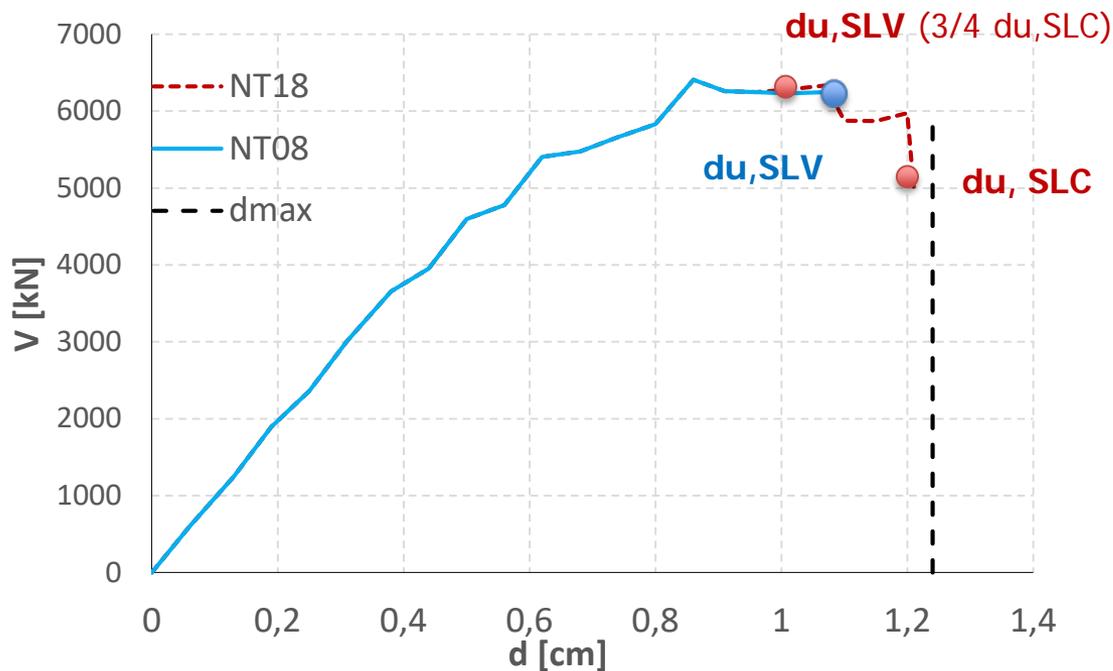
NT08

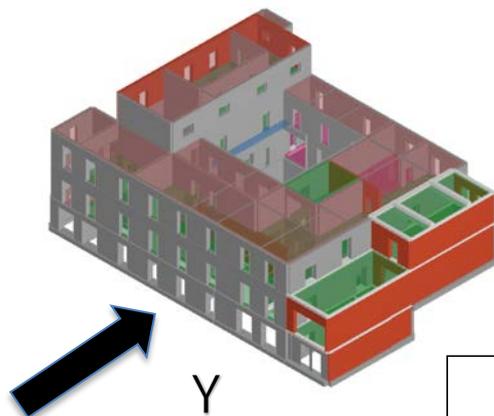
NT18

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
20	+Y	Forze statiche	-201	-	1.24	1.88	1.07	0.86
20.00	+Y	Forze statiche	-200.57	1.22	1.24	1.95	1.01	0.81

$\Delta\%$	-6%	-6%
------------	-----	-----

Y : Analisi 20





NT08

NT18

Y:

$$\alpha_{SLV,NT08} = 0.86$$

$$\alpha_{SLV,NT18} = 0.81$$

NT08

NT18

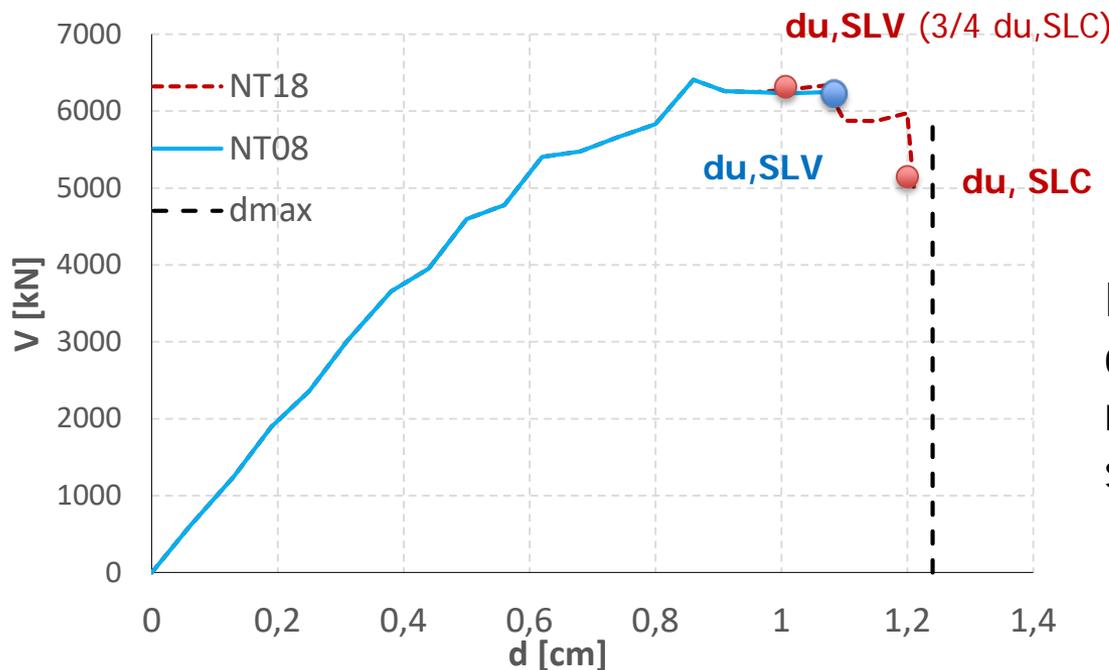
N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
20	+Y	Forze statiche	-201	-	1.24	1.88	1.07	0.86
20.00	+Y	Forze statiche	-200.57	1.22	1.24	1.95	1.01	0.81

$\Delta\%$

-6%

-6%

Y : Analisi 20



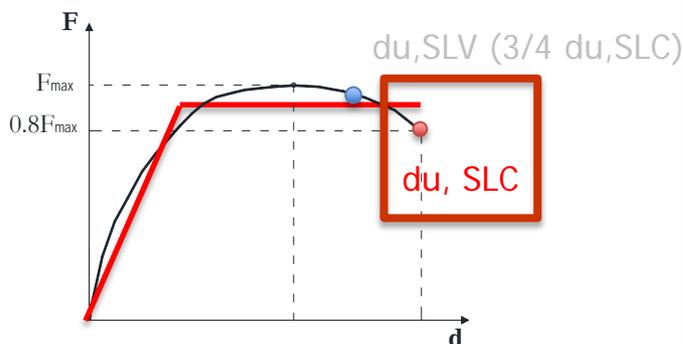
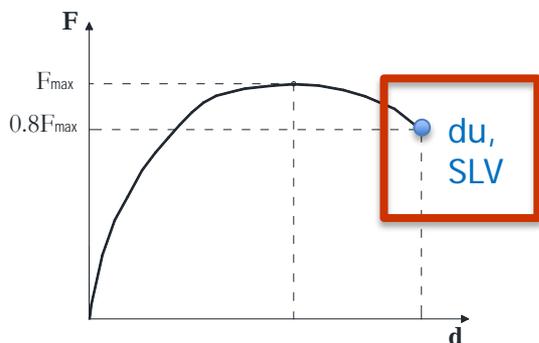
In direzione trasversale (analisi dimensionanti) il FS minimo si ottiene dalla medesima analisi (proporzionale alle forze statiche con eccentricità accidentali).

## Spostamento ultimo curva pushover

NT08                      NT18

Drift - rottura a taglio:      0.4% (SLV)    0.5% (SLC)

Drift - rottura a pressoflessione: 0.6% (SLV)    1.0% (SLC)



N.	du SLV (NT08) [cm]	du SLC (NT18) [cm]	$\Delta\%$
1	1.64	1.97	20%
2	1.74	2.08	20%
3	1.72	2.24	30%
4	1.79	2.10	17%
5	1.17	1.34	15%
6	1.18	1.40	19%
7	1.30	1.47	13%
8	1.33	1.54	16%
9	1.56	2.21	42%
10	1.95	2.24	15%
11	2.17	2.65	22%
12	1.93	2.39	24%
13	1.77	2.09	18%
14	1.92	2.21	15%
15	1.87	2.44	30%
16	2.01	2.35	17%
17	1.50	1.75	17%
18	1.07	1.28	20%
19	1.57	1.94	24%
20	1.07	1.34	25%
21	1.56	1.82	17%
22	1.19	1.34	13%
23	1.57	1.75	11%
24	1.24	1.37	10%

Min	10%
Max	42%
Media	20%

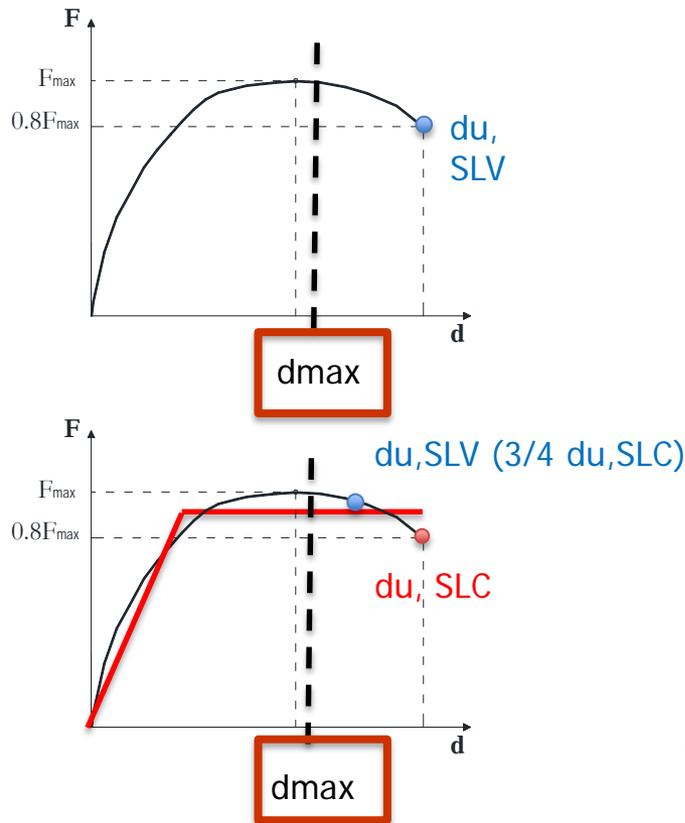


Spostamento finale analisi (SLV DM2008, SLC DM2018) risulta **sempre maggiore** per il DM2018.  
(Drift ultimi meccanismi di taglio e pressoflessione singoli macro-elementi sempre maggiori per definizione)



# Domanda di spostamento

**NT08**      **NT18**  
 Drift - rottura a taglio:      0.4% (SLV)    0.5% (SLC)  
 Drift - rottura a pressoflessione: 0.6% (SLV)    1.0% (SLC)



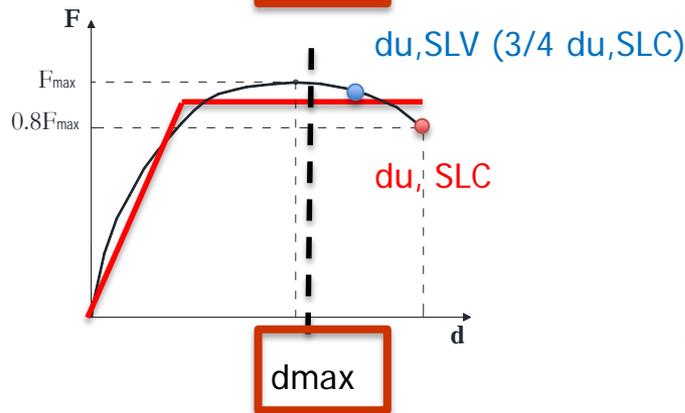
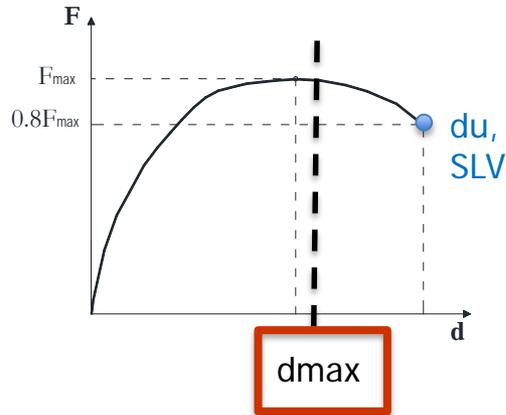
N.	dmax SLV (NT08) [cm]	dmax SLV (NT18) [cm]	$\Delta\%$
1	1.29	1.28	-1%
2	1.46	1.46	0%
3	1.25	1.25	0%
4	1.68	1.69	1%
5	1.11	1.11	0%
6	1.26	1.26	0%
7	1.14	1.14	0%
8	1.29	1.29	0%
9	1.24	1.26	2%
10	1.30	1.33	2%
11	1.47	1.47	0%
12	1.51	1.51	0%
13	1.26	1.26	0%
14	1.49	1.49	0%
15	1.43	1.43	0%
16	1.71	1.73	1%
17	1.12	1.12	0%
18	1.09	1.09	0%
19	1.28	1.28	0%
20	1.24	1.24	0%
21	1.13	1.13	0%
22	1.13	1.16	3%
23	1.30	1.32	2%
24	1.27	1.27	0%

Min	-1%
Max	3%
Media	0%

Spostamento di domanda non varia significativamente tra le due normative.  
 (Tratto elastico della bilineare non cambia significativamente – fase elastica dei maschi)

## $q^*$ (slv)

Drift - rottura a taglio:      **NT08**      **NT18**  
    0.4% (SLV)    0.5% (SLC)  
 Drift - rottura a pressoflessione: 0.6% (SLV)    1.0% (SLC)



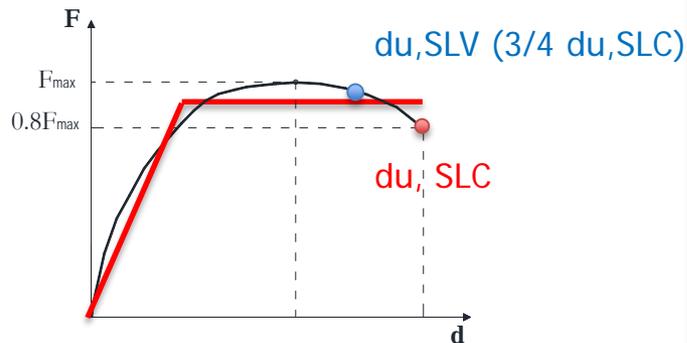
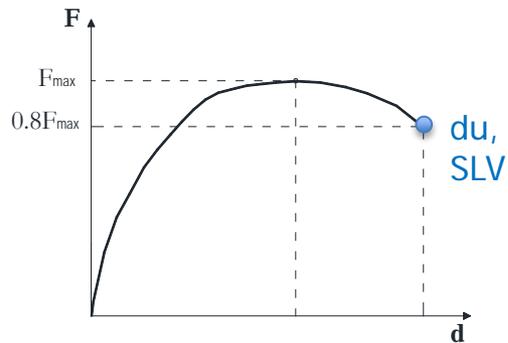
N.	$q^*$ (SLV) (NT08)	$q^*$ (SLV) (NT18)	$\Delta\%$
1	1.93	1.89	-2%
2	2.14	2.03	-5%
3	2.06	2.02	-2%
4	1.75	1.72	-2%
5	1.53	1.5	-2%
6	1.74	1.72	-1%
7	1.57	1.53	-3%
8	1.79	1.75	-2%
9	2.12	2.06	-3%
10	1.86	1.73	-7%
11	2.36	2.24	-5%
12	1.96	1.92	-2%
13	2.1	2.02	-4%
14	1.51	1.49	-1%
15	2.32	2.3	-1%
16	1.74	1.68	-3%
17	1.5	1.45	-3%
18	1.64	1.64	0%
19	1.72	1.71	-1%
20	1.88	1.95	4%
21	1.57	1.54	-2%
22	1.67	1.56	-7%
23	1.67	1.59	-5%
24	2	1.9	-5%

Min	-7%
Max	4%
Media	-3%

$q^*$  (di domanda) non varia significativamente tra le due normative.  
 (Tratto elastico della bilineare non cambia significativamente – fase elastica dei maschi)

## $\alpha$ PGA (slv)

Drift - rottura a taglio:      **NT08**      **NT18**  
    0.4% (SLV)    0.5% (SLC)  
 Drift - rottura a pressoflessione: 0.6% (SLV)    1.0% (SLC)



N.	$\alpha$ PGA (SLV) (NT08)	$\alpha$ PGA (SLV) (NT18)	$\Delta\%$
1	1.27	1.15	-10%
2	1.19	1.07	-10%
3	1.38	1.35	-3%
4	1.07	0.93	-13%
5	1.05	0.91	-14%
6	0.93	0.83	-11%
7	1.14	0.97	-15%
8	1.03	0.90	-13%
9	1.26	1.32	5%
10	1.50	1.26	-16%
11	1.27	1.34	6%
12	1.28	1.19	-7%
13	1.41	1.25	-11%
14	1.29	1.11	-14%
15	1.29	1.28	-1%
16	1.18	1.02	-13%
17	1.33	1.17	-12%
18	0.98	0.88	-10%
19	1.23	1.14	-8%
20	0.86	0.81	-6%
21	1.38	1.21	-13%
22	1.05	0.87	-17%
23	1.21	0.99	-18%
24	0.98	0.81	-18%

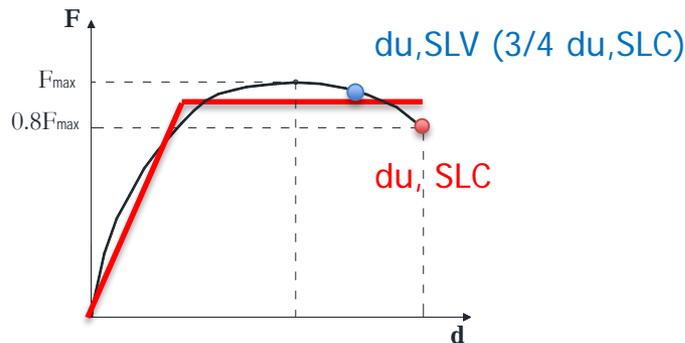
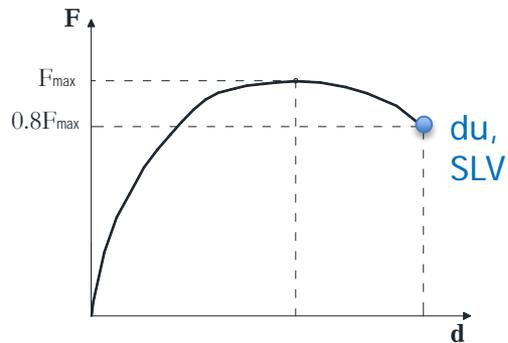
Min	-18%
Max	6%
Media	-10%



Indice di sicurezza risulta *tendenzialmente maggiore* per il DM2008.

## $\alpha$ PGA (slv)

Drift - rottura a taglio:      **NT08**      **NT18**  
    0.4% (SLV)    0.5% (SLC)  
 Drift - rottura a pressoflessione: 0.6% (SLV)    1.0% (SLC)



N.	$\alpha$ PGA (SLV) (NT08)	$\alpha$ PGA (SLV) (NT18)	$\Delta\%$
1	1.27	1.15	-10%
2	1.19	1.07	-10%
3	1.38	1.35	-3%
4	1.07	0.93	-13%
5	1.05	0.91	-14%
6	0.93	0.83	-11%
7	1.14	0.97	-15%
8	1.03	0.90	-13%
9	1.26	1.32	5%
10	1.50	1.26	-16%
11	1.27	1.34	6%
12	1.28	1.19	-7%
13	1.41	1.25	-11%
14	1.29	1.11	-14%
15	1.29	1.28	-1%
16	1.18	1.02	-13%
17	1.33	1.17	-12%
18	0.98	0.88	-10%
19	1.23	1.14	-8%
20	0.86	0.81	-6%
21	1.38	1.21	-13%
22	1.05	0.87	-17%
23	1.21	0.99	-18%
24	0.98	0.81	-18%

Casi con  $\alpha_{PGA}$   
DM 2018  
maggiori  
rispetto a quelli  
del DM 2008

Min	-18%
Max	6%
Media	-10%

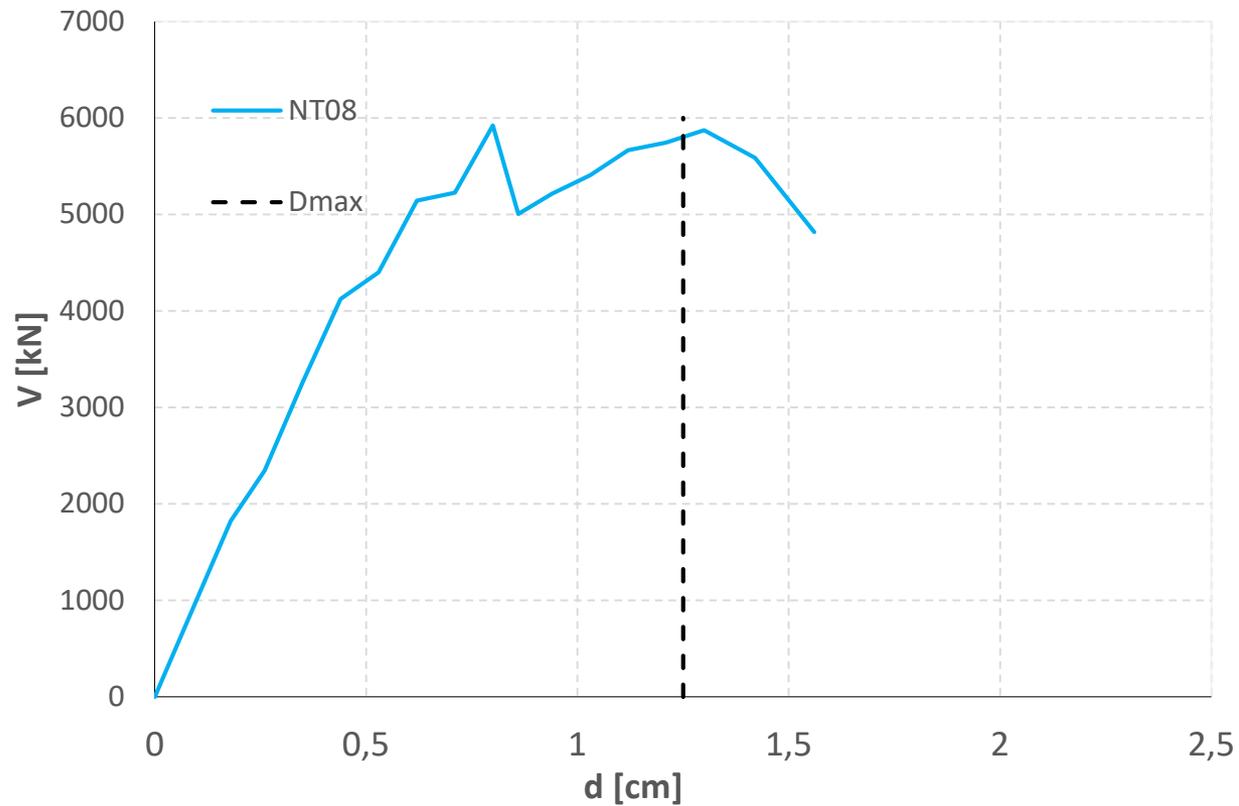


Indice di sicurezza risulta *tendenzialmente maggiore* per il DM2008.

## Direzione x: Analisi 9

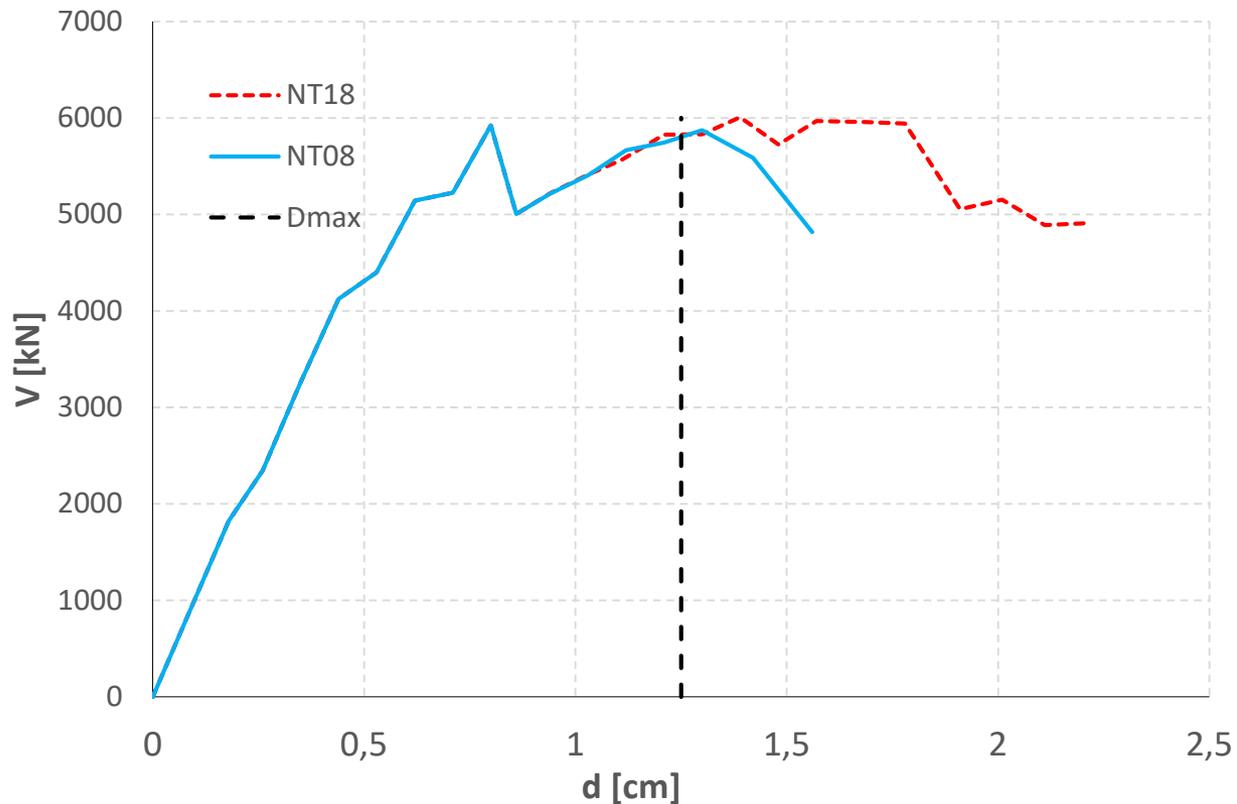
NT08

N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
9	+X	Uniforme	154.38	-	1.24	2.12	1.56	1.26



## Direzione x: Analisi 9

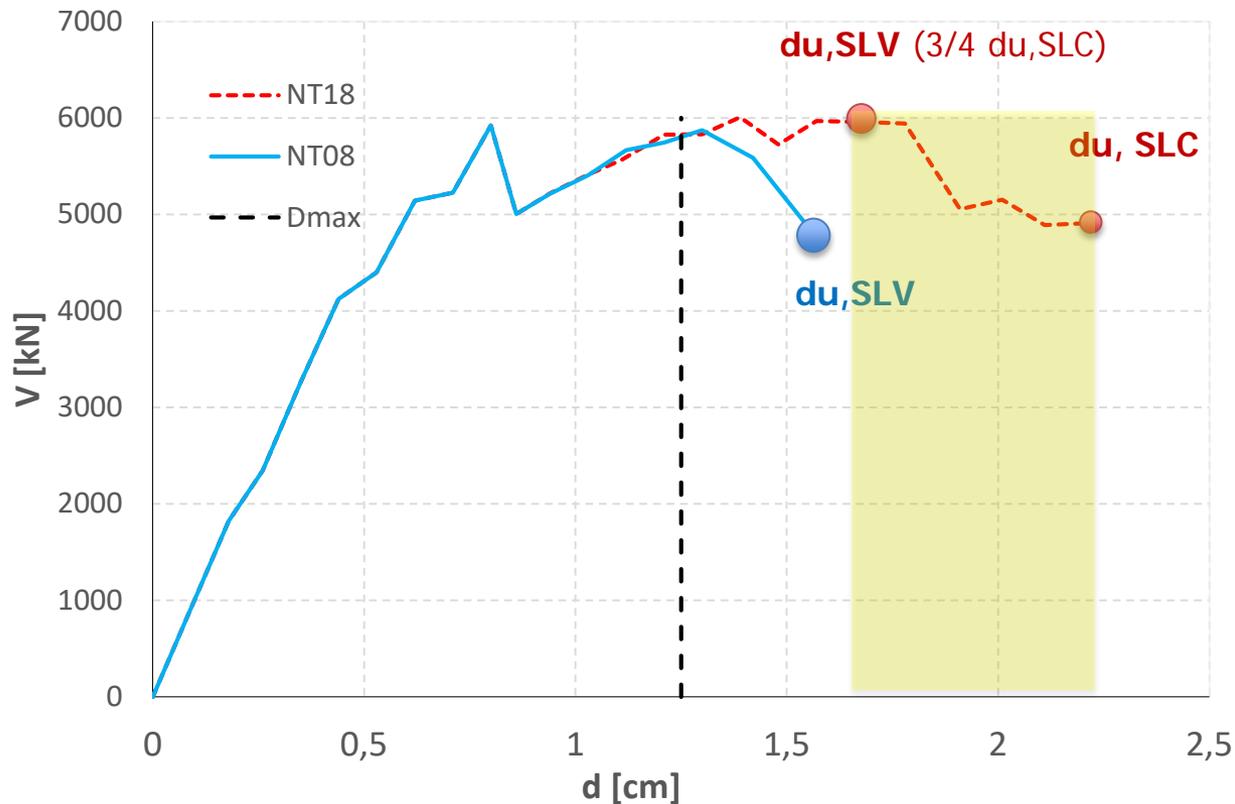
	N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
NT08	9	+X	Uniforme	154.38	-	1.24	2.12	1.56	1.26
NT18	9	+X	Uniforme	154.38	2.21	1.26	2.06	1.65	1.32



## Direzione x: Analisi 9

	N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
NT08	9	+X	Uniforme	154.38	-	1.24	2.12	1.56	1.26
NT18	9	+X	Uniforme	154.38	2.21	1.26	2.06	1.65	1.32

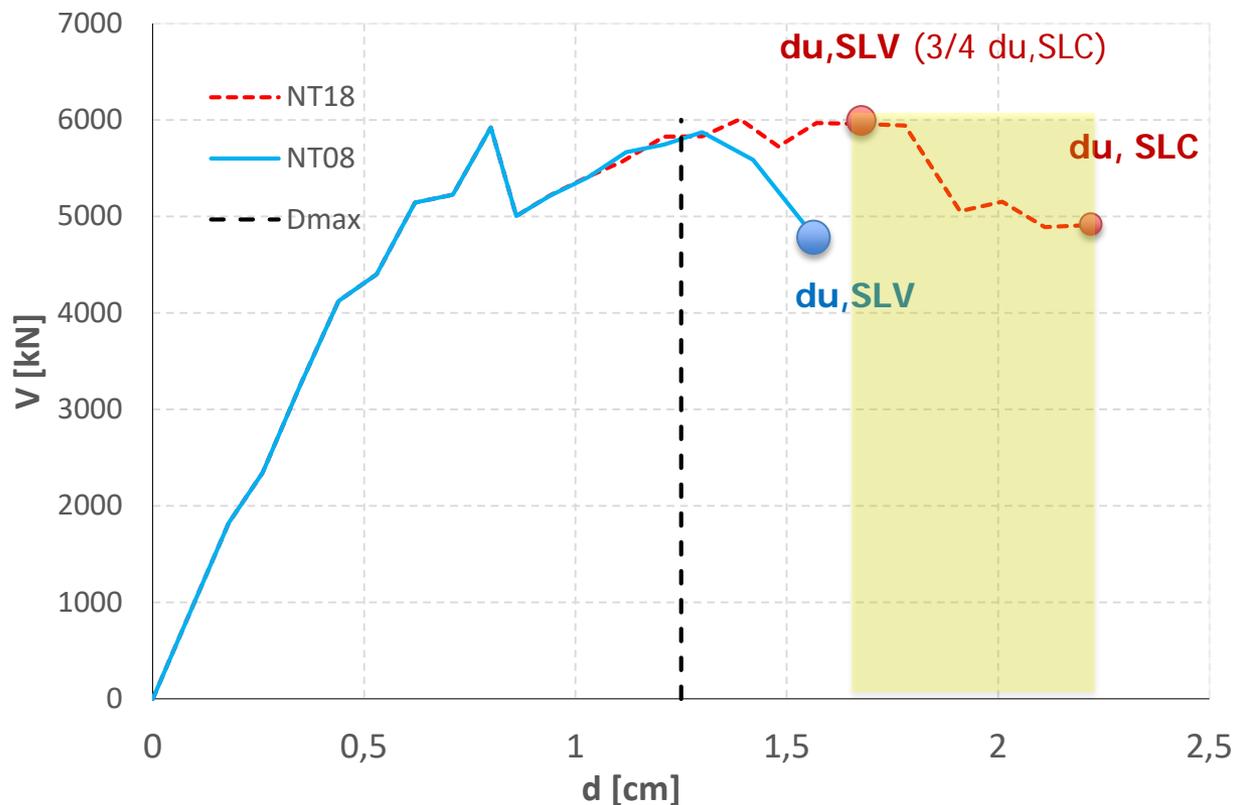
$\Delta\%$	6%	5%
------------	----	----



## Direzione x: Analisi 9

	N.	Dir. sisma	Carico sismico	Eccentricità [cm]	Du SLC [cm]	Dmax SLV [cm]	q* SLV	Du SLV [cm]	$\alpha$ SLV
NT08	9	+X	Uniforme	154.38	-	1.24	2.12	1.56	1.26
NT18	9	+X	Uniforme	154.38	2.21	1.26	2.06	1.65	1.32

$\Delta\%$	6%	5%
------------	----	----



L'analisi 9 rappresenta un esempio in cui passando da NT08 a NT18 si può ottenere un incremento di  $\alpha$ PGA.

## CASO STUDIO REALE

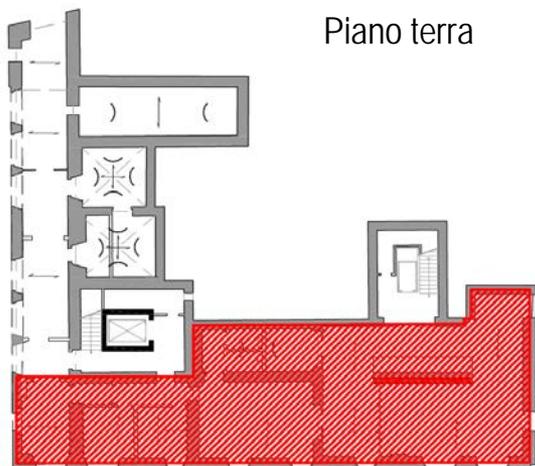
- Processo di conoscenza
- Stato attuale: meccanismi locali
- Stato attuale: meccanismi globali
- Stato di progetto: interventi previsti e livello di sicurezza raggiunto

## PREMESSA

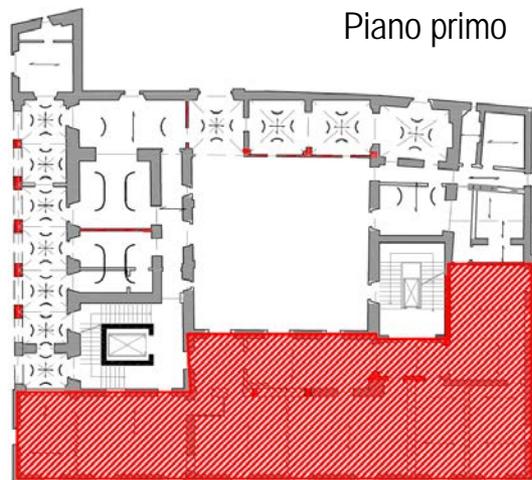
- INTERVENTI DIVISI A LOTTI (per questioni logistiche)
- PRESENZA DI LOCALIZZATI INTERVENTI DI RINFORZO PARETI
- SISTEMATICA PRESENZA DI INTERVENTI DI RINFORZO SOLAI E VOLTE, CON INSERIMENTO DI INCATENAMENTI
  
- **FILOSOFIA GENERALE DI INTERVENTO: INIBIZIONE DI TUTTI I MECCANISMI LOCALI**

# INTERVENTI

Piano terra



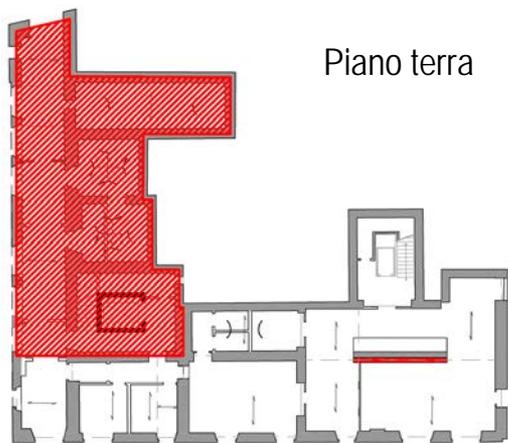
Piano primo



Lotto 1

- Consolidamento murature
- Consolidamento orizzontamenti
- Sostituzione solai
- Cordolature e catene

Piano terra



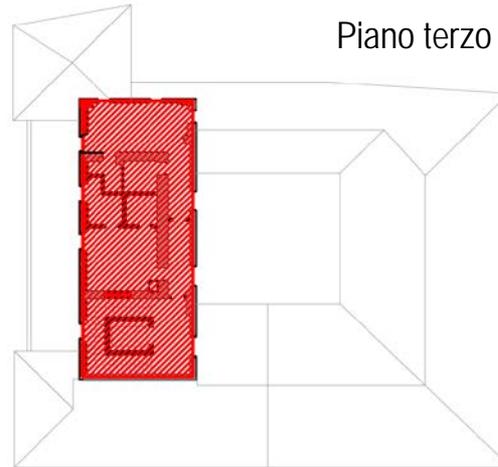
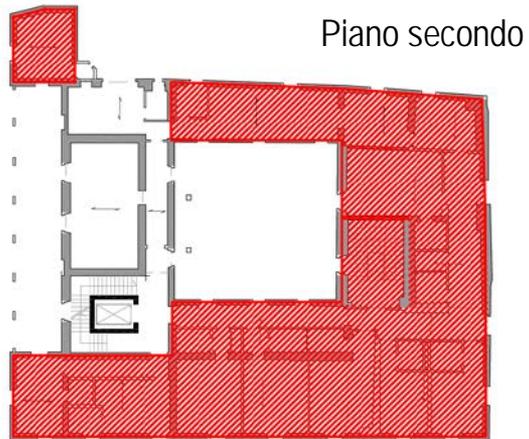
Piano primo



Lotto 2

- Consolidamento murature
- Consolidamento orizzontamenti
- Sostituzione solai
- Cordolature e catene

# INTERVENTI



Lotto 3

- Consolidamento copertura
- Sostituzione copertura
- Cordolature e catene

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

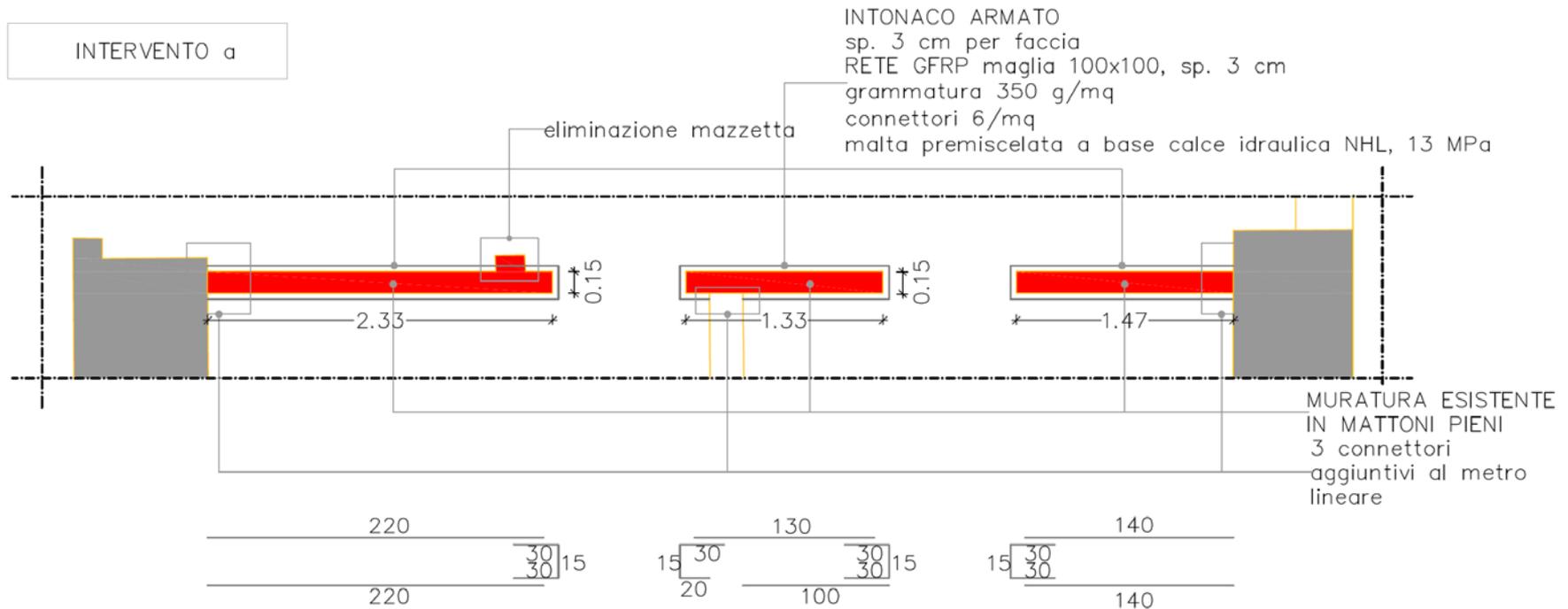
### CONSOLIDAMENTO STRUTTURE MURARIE

- realizzazione di intonaco armato

#### STRUTTURE VERTICALI

■ MURATURA DI PIETREME

■ MURATURA DI MATTONI PIENI



Intervento su limitate porzioni di parete per carichi gravitazionali, tale da non alterare significativamente la risposta globale dell'edificio

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

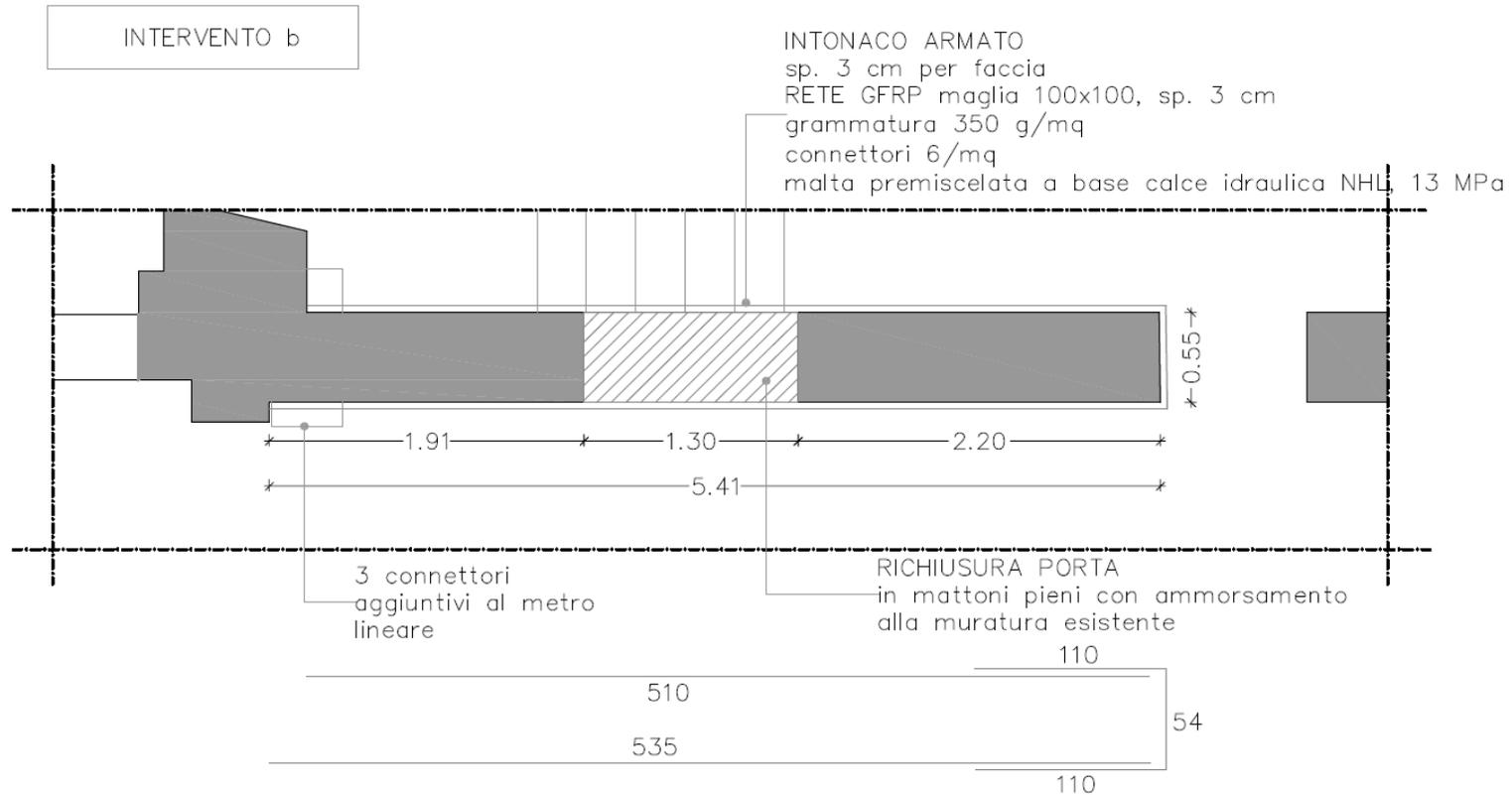
### CONSOLIDAMENTO STRUTTURE MURARIE

➤ richiusura di porte

#### STRUTTURE VERTICALI

■ MURATURA DI PIETREME

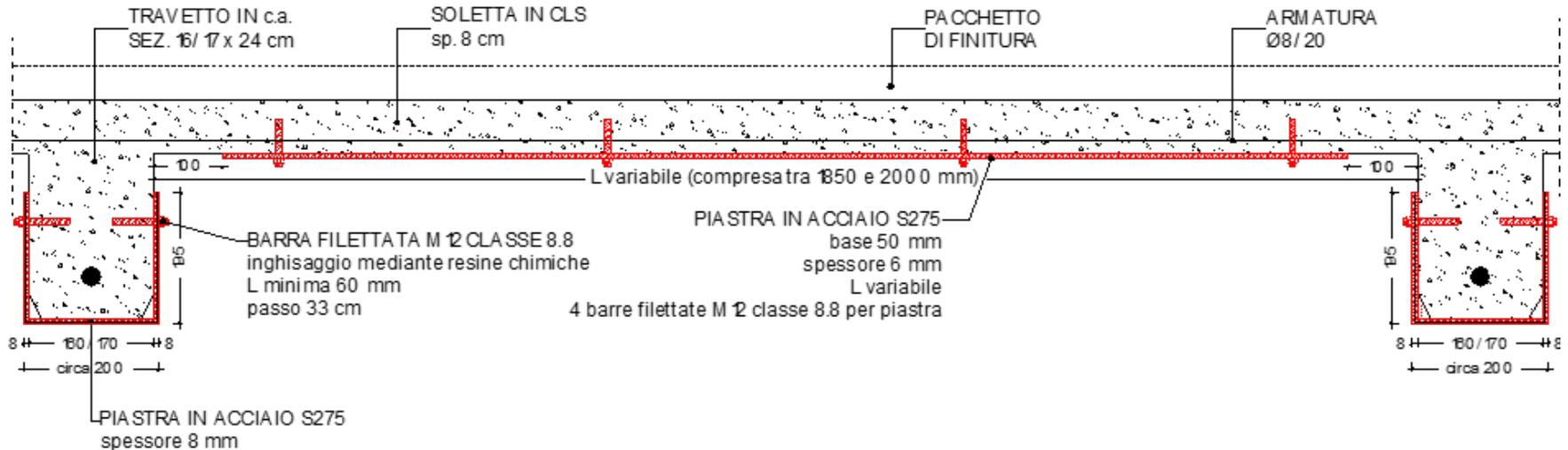
■ MURATURA DI MATTONI PIENI



Intervento su limitate porzioni di parete per carichi gravitazionali, tale da non alterare significativamente la risposta globale dell'edificio

## INTERVENTI - LOTTO 1+2 CONSOLIDAMENTO SOLAI

- disposizione di piastre in acciaio all'intradosso



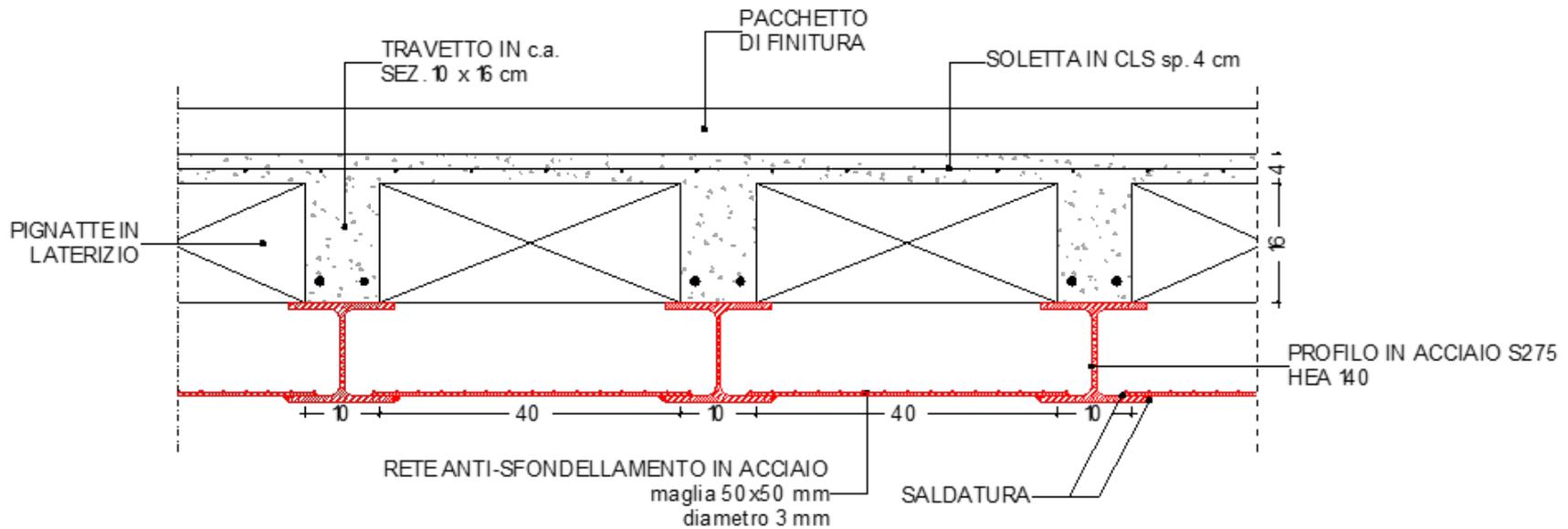
Solaio realizzato con travetti e soletta in c.a. gettati in opera.  
Rinforzo con piastre metalliche sia per i travetti che per la soletta.

# CASO STUDIO 3 FIRENZE

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

### CONSOLIDAMENTO SOLAI

- Rinforzo solaio con predisposizione di sistema anti-sfondellamento



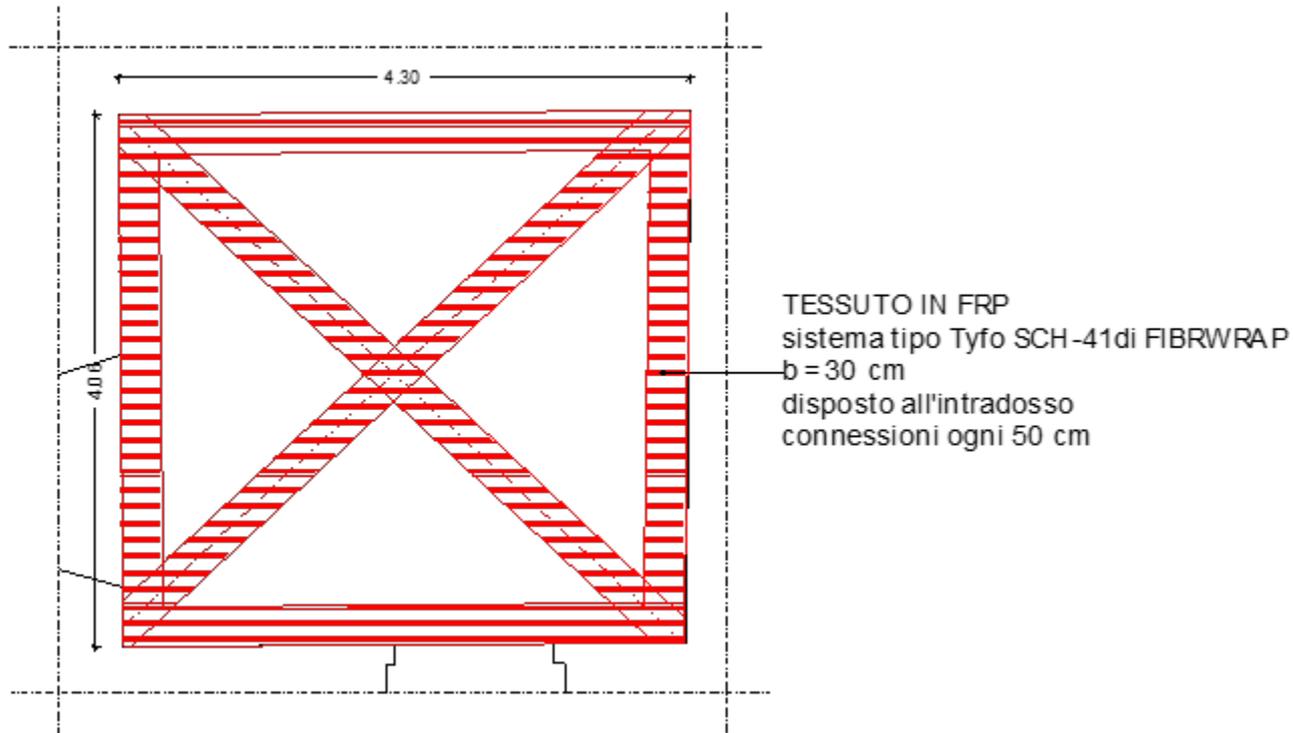
Solaio in latero-cemento.

Posa in opera di rinforzo metallico con sistema di reti anti-sfondellamento per le pignatte.

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

### CONSOLIDAMENTO VOLTE

- applicazione all'intradosso degli archi diagonali di tessuto in FRP



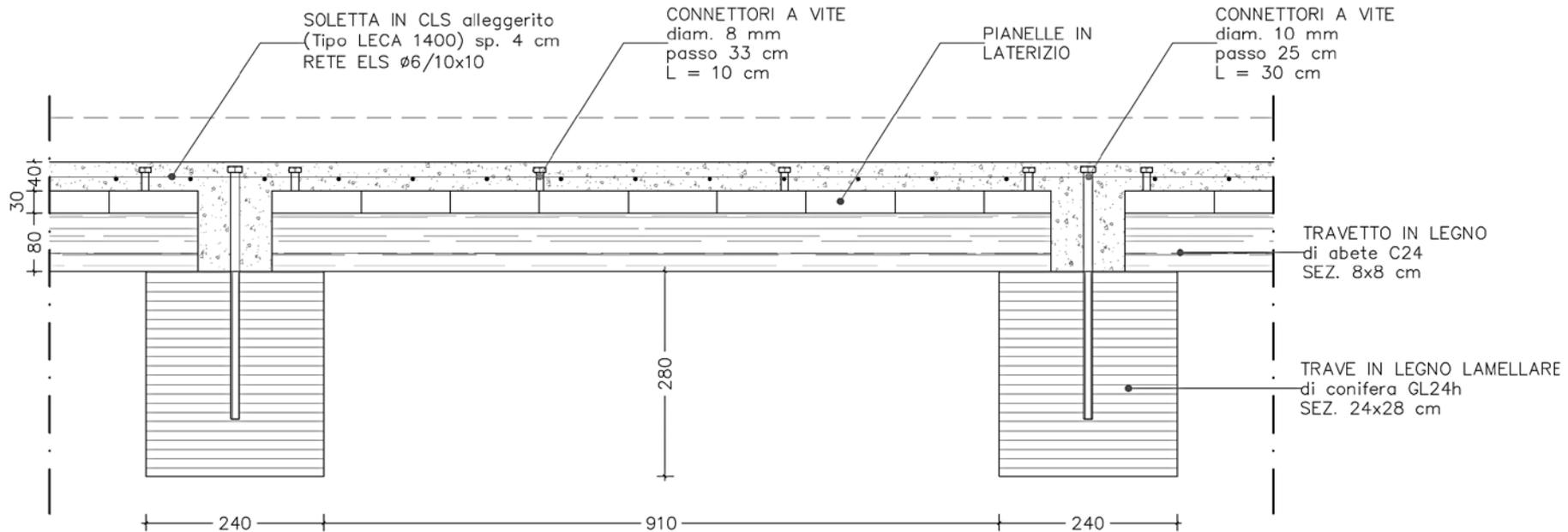
Volte in muratura

Posa in opera di rinforzo intradossale in FRP.

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

### SOSTITUZIONE SOLAI

- solai in legno lamellare a doppia orditura con pianelle in laterizio e soletta in cls alleggerito



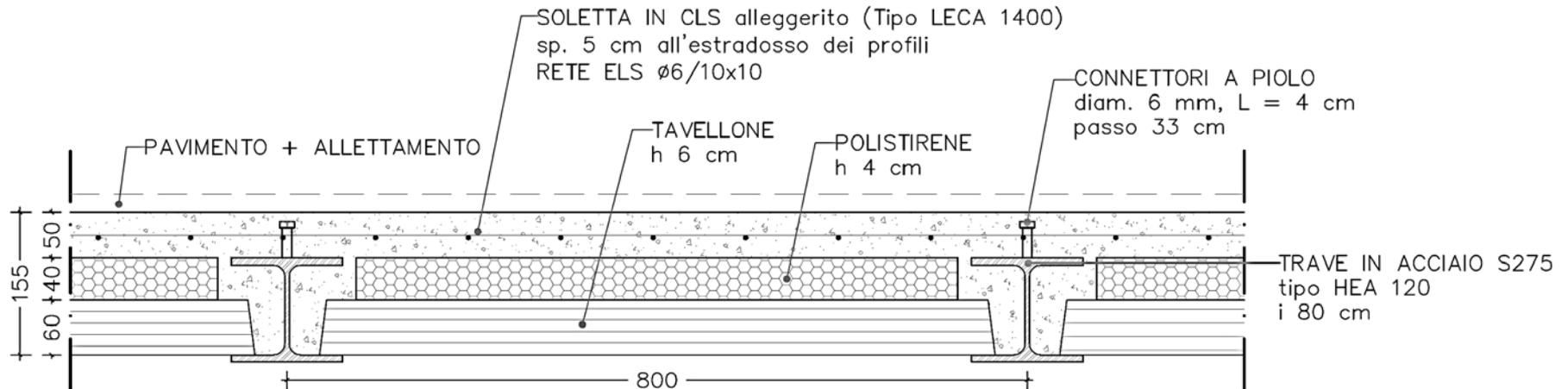
Nuovi solai lignei.

Realizzazione mediante sezioni in legno lamellare, con soletta in c.a. collaborante tramite connettori.

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

### SOSTITUZIONE SOLAI

- solai in putrelle in acciaio con tavelloni in laterizio e soletta in cls alleggerito



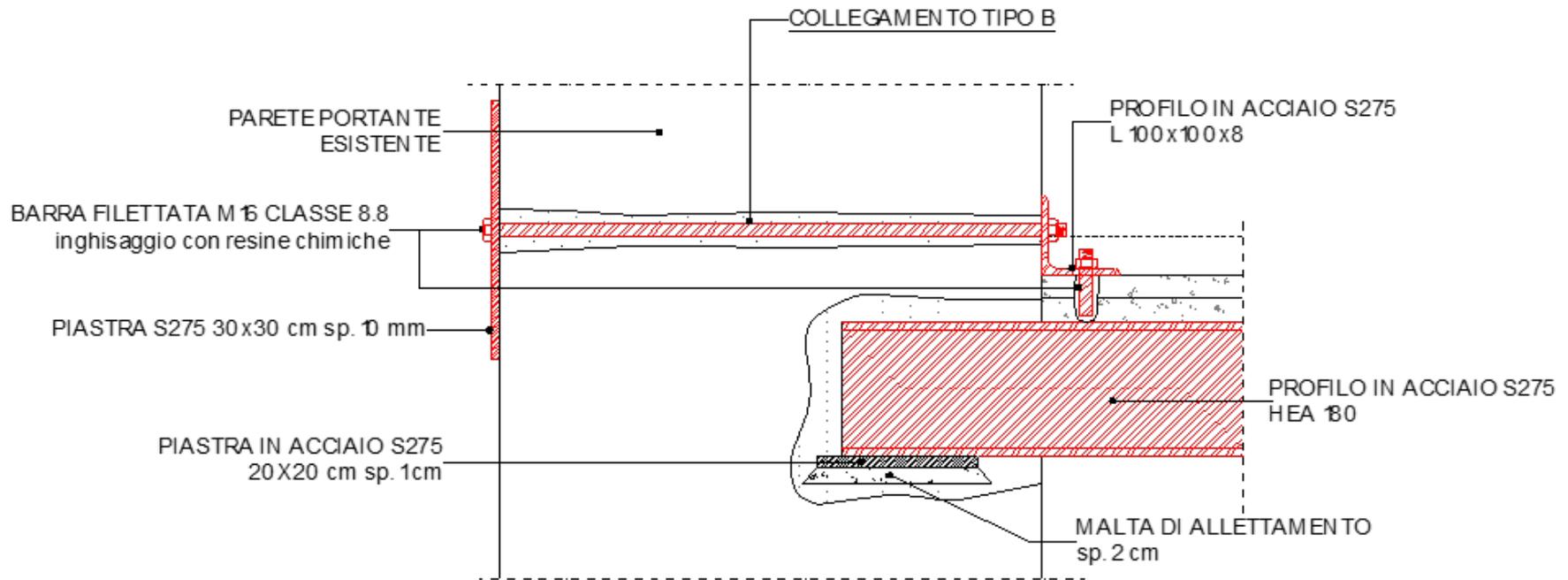
Nuovi solai in acciaio e laterizio.

Realizzazione mediante sezioni HEA, con soletta in c.a. collaborante tramite connettori.

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

### CORDOLATURE

- profili in acciaio disposti sul perimetro all'estradosso del solaio



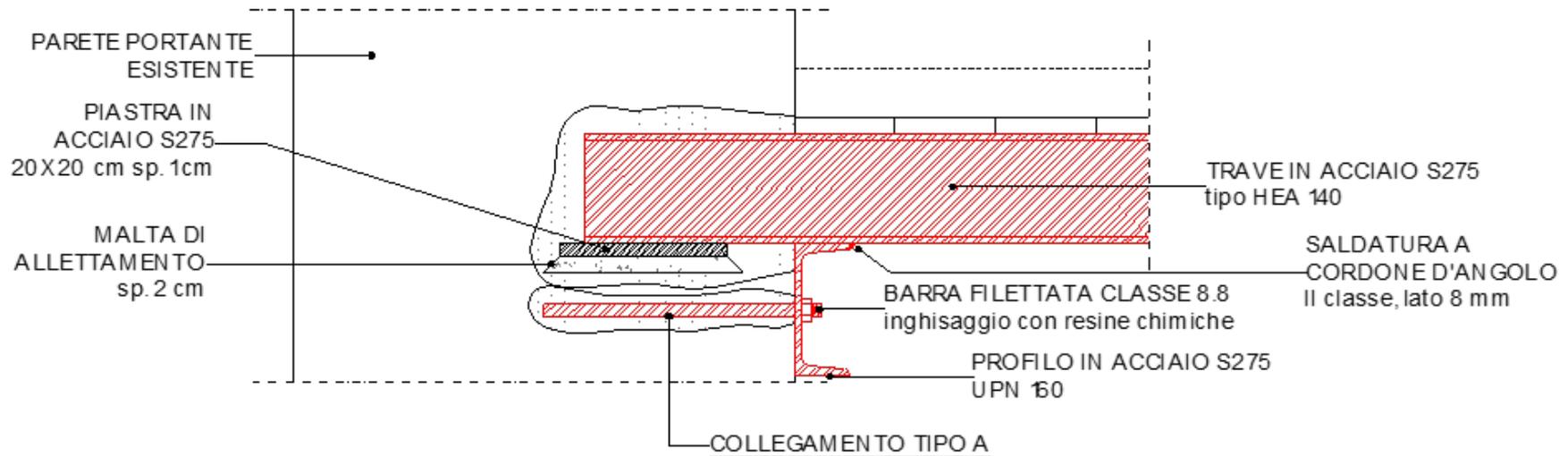
Cordolature metalliche estradosali.

Connessione alla soletta in c.a. ed incatenamento su pareti perimetrali.

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

### CORDOLATURE

- profili in acciaio disposti sul perimetro all'intradosso del solaio



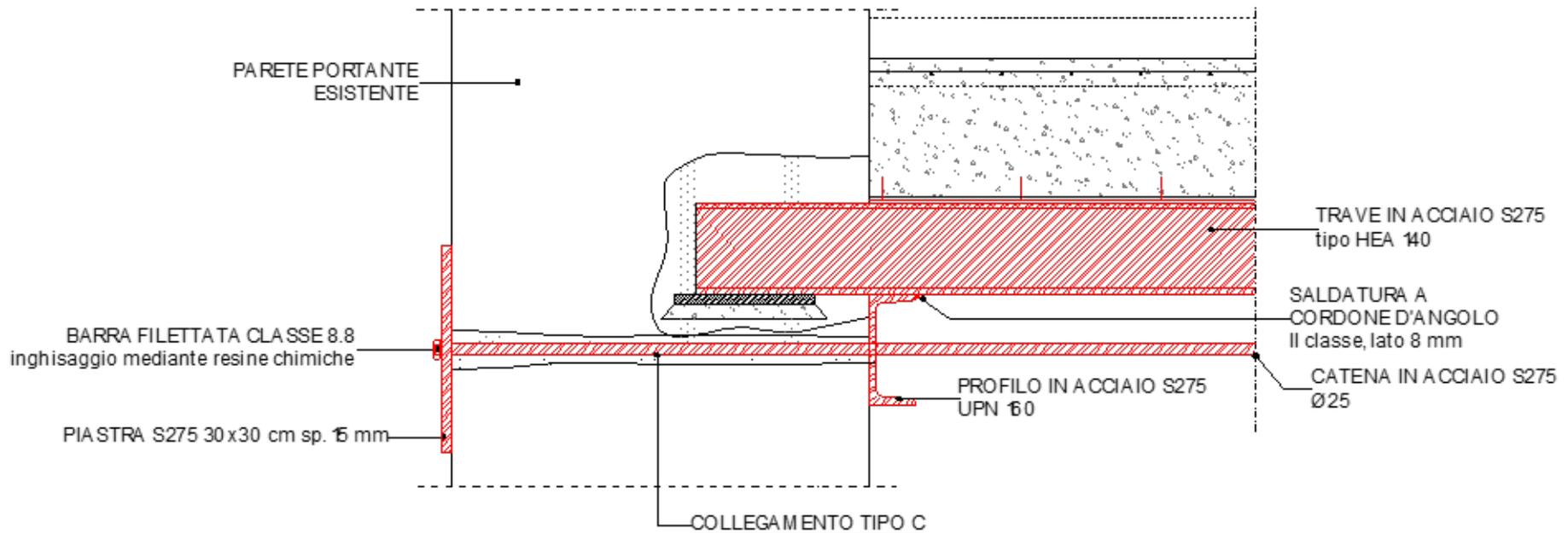
Cordolature metalliche intradossali.

Connessione al profilo metallico e inghisaggio alla muratura perimetrale.

## INTERVENTI - LOTTO 1+2

### CATENE

- elementi a sezione circolare in acciaio disposti all'intradosso del solaio

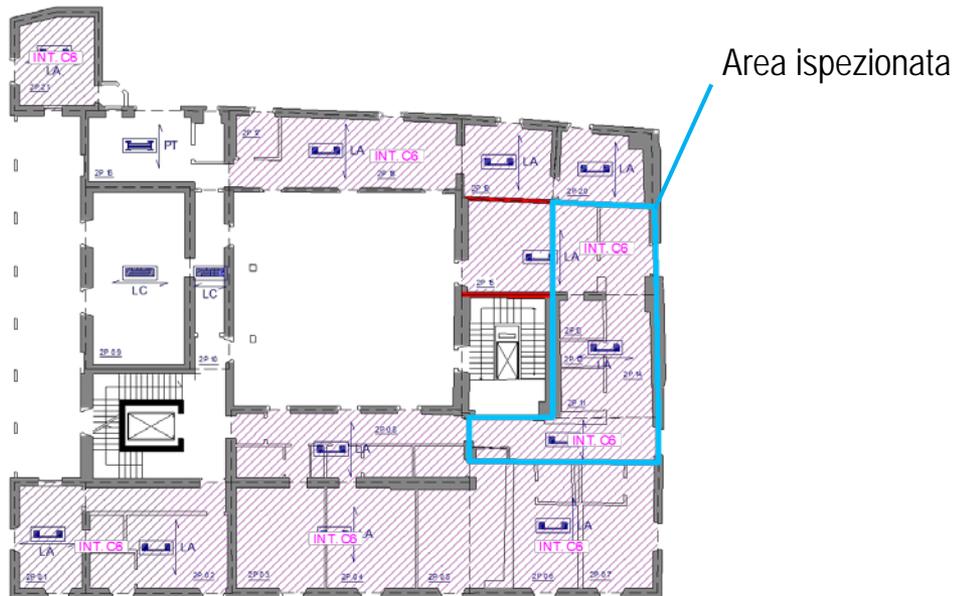


Cordolature metalliche intradossali.

Connessione al profilo metallico e posa in opera di catena metallica ancorata esternamente con piastra.

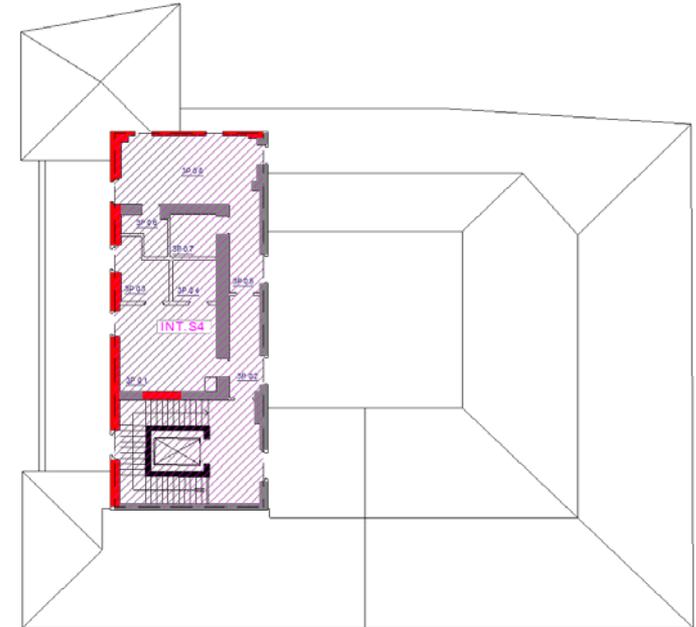
## INTERVENTI - LOTTO 3

### CONSOLIDAMENTO E SOSTITUZIONE COPERTURA



Piano secondo

Consolidamento copertura



Piano terzo

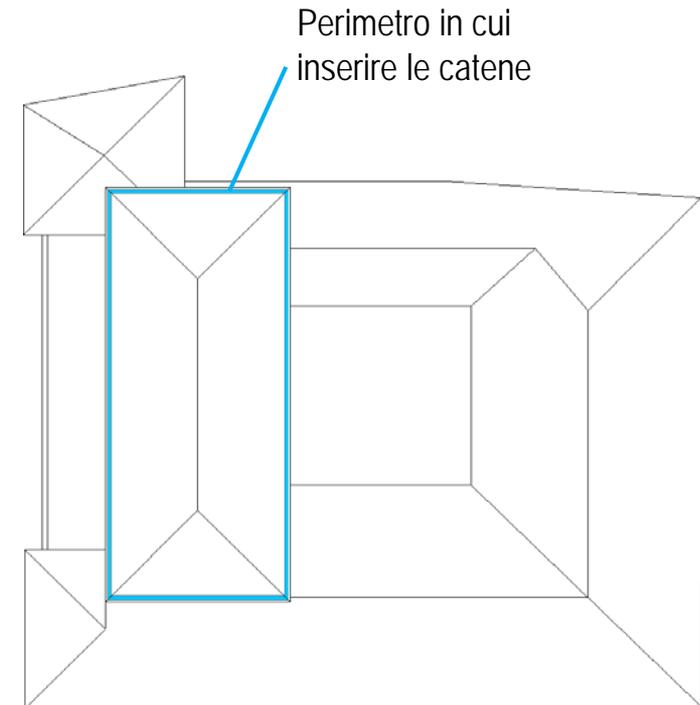
Sostituzione copertura

Consolidamento e sostituzione di copertura lignea.

## INTERVENTI – LOTTO 3 CORDOLATURE E CATENE



Piano secondo



Piano terzo

Planimetrie chiave con individuazione di cordolature e incatenamenti metallici.

# RESOCONTO FASE DI PROGETTO

## STATO ATTUALE

NORMATIVA	FS MECCANISMI LOCALI	FS ANALISI GLOBALE
DM 2008 + CIRC. 2009	0.24	0.86
DM 2018 (+CIRC 2018)	0.24	0.81

## STATO PROGETTO

NORMATIVA	FS MECCANISMI LOCALI	FS ANALISI GLOBALE
DM 2008 + CIRC. 2009	>1.0	0.87
DM 2018 (+CIRC 2018)	>1.0	0.81

## RESOCONTO FASE DI PROGETTO

- INIBIZIONE DI TUTTI I CINEMATISMI LOCALI (FS>1.0)
- MODIFICA NON SIGNIFICATIVA DEL COMPORTAMENTO GLOBALE

### STATO ATTUALE

NORMATIVA	FS MECCANISMI LOCALI	FS ANALISI GLOBALE
DM 2008 + CIRC. 2009	0.24	0.86
DM 2018 (+CIRC 2018)	0.24	0.81

### STATO PROGETTO

NORMATIVA	FS MECCANISMI LOCALI	FS ANALISI GLOBALE
DM 2008 + CIRC. 2009	>1.0	0.87
DM 2018 (+CIRC 2018)	>1.0	0.81

## RESOCONTO FASE DI PROGETTO

- INIBIZIONE DI TUTTI I CINEMATISMI LOCALI (FS>1.0)
- MODIFICA NON SIGNIFICATIVA DEL COMPORTAMENTO GLOBALE

### STATO ATTUALE

NORMATIVA	FS MECCANISMI LOCALI	FS ANALISI GLOBALE
DM 2008 + CIRC. 2009	0.24	0.86
DM 2018 (+CIRC 2018)	0.24	0.81

### STATO PROGETTO

NORMATIVA	FS MECCANISMI LOCALI	FS ANALISI GLOBALE
DM 2008 + CIRC. 2009	>1.0	0.87
DM 2018 (+CIRC 2018)	>1.0	0.81

**ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PRATO**

**CORSO DI AGGIORNAMENTO SULLE NTC 2018**

---

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE**

---

**Prof. Ing. A. Vignoli**

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Università degli Studi di Firenze

*Prato, 18 Giugno 2018*