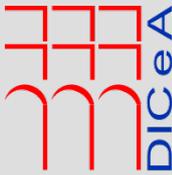




Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale  
*Università degli Studi di Firenze*



---

**Ordine degli Ingegneri della Provincia di Pistoia**  
**Corso di**  
**Analisi e Interventi Strutturali su Edifici in**  
**Muratura secondo le NTC 2008**

**Caratterizzazione meccanica delle murature**  
**(seconda parte)**

**Pistoia, Palazzo Vescovile, 28 settembre 2012**

**Prof. Ing. Andrea Vignoli**

**Ordinario di Scienza delle Costruzioni**

**docente di:**

**Dinamica delle strutture e Ingegneria sismica**

---

# COSTRUZIONI IN MURATURA NUOVE

# Determinazione dei parametri meccanici della muratura: resistenza a compressione $f_k$

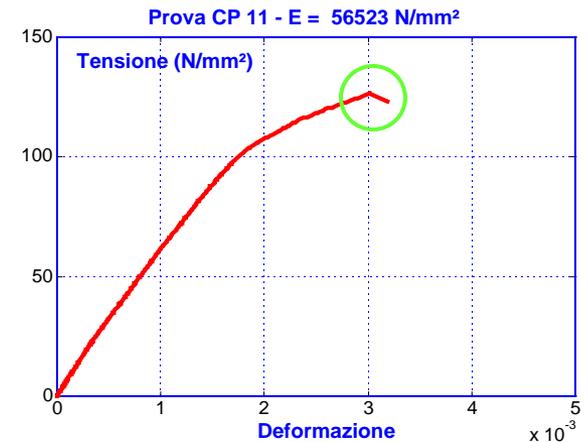
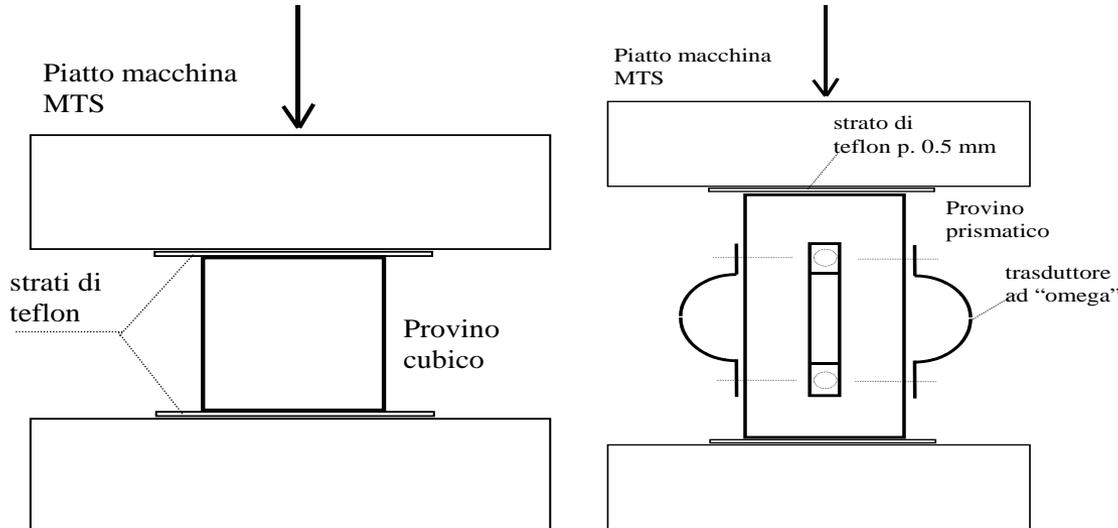
La resistenza dei componenti e della muratura si può determinare con prove sperimentali, le cui modalità di esecuzione sono contenute nel Decreto.

NTC 2008

## Prove per la determinazione delle caratteristiche meccaniche della malta

n. 3 provini prismatici 40 x 40 x 160 mm da sottoporre a flessione, e quindi a compressione sulle 6 metà risultanti.

## Prove per la determinazione della resistenza dei blocchi artificiali o naturali



# Determinazione dei parametri meccanici della muratura: resistenza a compressione $f_k$

Determinazione sperimentale della resistenza a compressione degli elementi artificiali e naturali.

NTC 2008

## Determinazione sperimentale della resistenza a compressione degli elementi resistenti artificiali e naturali

Controllo di accettazione in cantiere sarà effettuato su uno o più campioni costituiti ognuno da **tre elementi** da sottoporre a prova di compressione. Per ogni campione siano  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  la resistenza a compressione dei tre elementi con:

$$f_1 < f_2 < f_3$$

il controllo si considera positivo se risultano verificate entrambe le disuguaglianze:

$$(f_1 + f_2 + f_3)/3 \geq 1.20 f_{bk}$$

$$f_1 \geq 0.90 f_{bk}$$

# Determinazione dei parametri meccanici della muratura: resistenza a compressione $f_k$

Resistenza a compressione della muratura con prove sperimentali dirette su muretti o in situ

NTC 2008

In mancanza di determinazione sperimentale, potranno assumersi nei calcoli i seguenti valori dei moduli di elasticità:

modulo di elasticità normale secante  $E$ :  $E = 1000 f_k$   
modulo di elasticità tangenziale secante  $G$ :  $G = 0.4 E$

## Resistenza a compressione della muratura

La resistenza caratteristica a compressione si determina su  $n$  muretti, seguendo sia per la confezione che per la prova le modalità indicate nel seguente paragrafo. La resistenza caratteristica è data dalla relazione:

$$f_k = f_m - k s$$

dove:  $f_m$  = resistenza media;  
 $s$  = stima dello scarto;  
 $k$  = coefficiente in tabella.

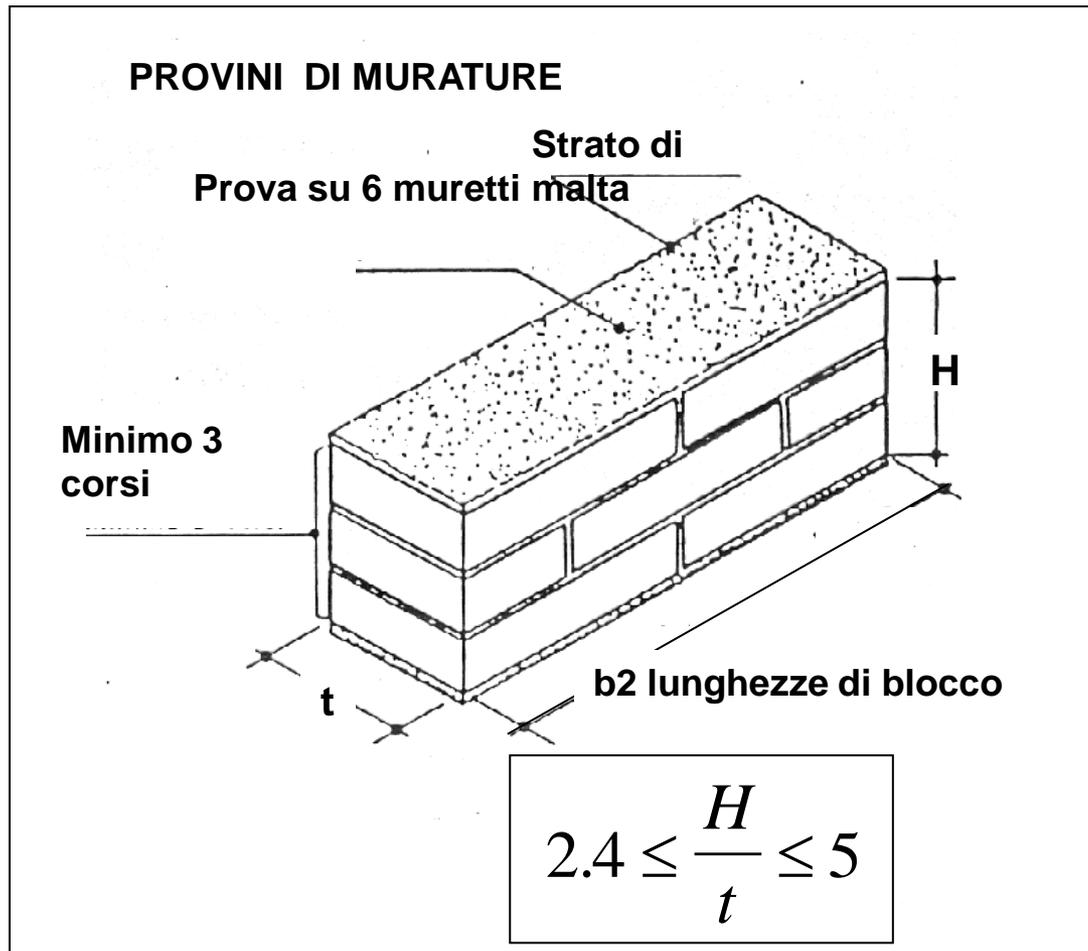
<b>n</b>	6,00	8,00	10,0	12,0	20,0
<b>k</b>	2,33	2,19	2,10	2,05	1,93

# Determinazione dei parametri meccanici della muratura: resistenza a compressione $f_k$

Resistenza a compressione della muratura con prove sperimentali  
dirette su muretti o in situ

NTC 2008

## Caratteristiche dei provini



**La determinazione della resistenza caratteristica deve essere completata con la verifica dei materiali, da condursi come segue.**

**Malta: n. 3 provini prismatici 40 x 40 x 160 mm da sottoporre a flessione, e quindi a compressione sulle 6 metà risultanti.**

**Elementi resistenti: n. 10 elementi da sottoporre a compressione con direzione del carico normale al letto di posa.**

# Determinazione dei parametri meccanici della muratura: resistenza caratteristica a taglio $f_{vk0}$

**Resistenza a taglio mediante determinazione  
diretta sperimentale.**

**NTC 2008**

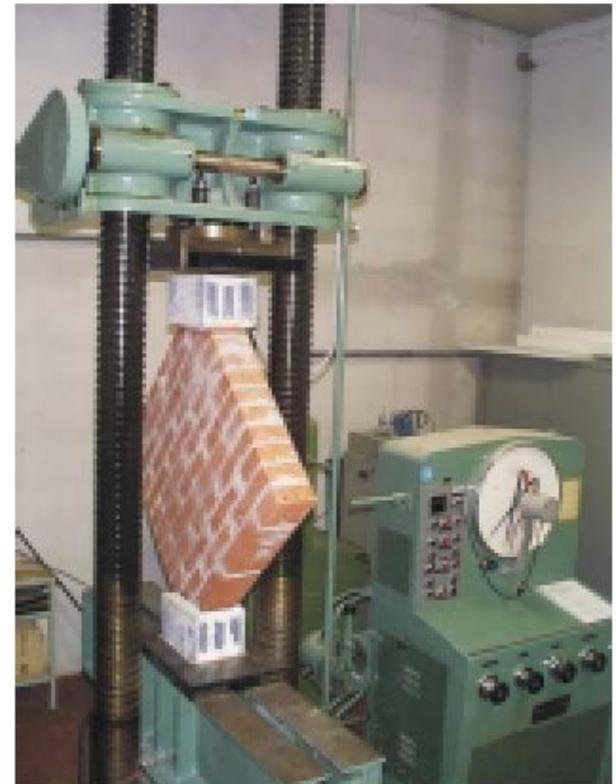
**Si procede con diversi tipi di prova:**

- 1) Compressione diagonale su muretti in laboratorio o in situ.**
- 2) Prova di taglio diretto (schema di Sheppard)**
- 3) Prova di taglio con compressione verticale imposta.**

**Il DM fa riferimento alla prova di compressione diagonale di laboratorio.**

**La determinazione della resistenza al taglio  $f_{vk0}$  della muratura deve essere effettuata mediante prove di compressione diagonale su muretti. Le prove saranno effettuate su almeno 6 provini. La resistenza caratteristica  $f_{vk0}$  sarà dedotta dalla resistenza media ottenuta  $f_{vm}$  mediante la:**

$$f_{vk0} = 0.7 f_{vm}$$



Nel § 11.10.3.2.1 delle NTC vengono poi indicati i criteri per la determinazione sperimentale della resistenza caratteristica a taglio  $f_{vk0}$  della muratura, che deve avvenire mediante prove su  $n$  campioni ( $n \geq 6$ ) seguendo, sia per la confezione che per la prova, le modalità indicate nella norma UNI EN 1052-3:2007 [fig. 4].

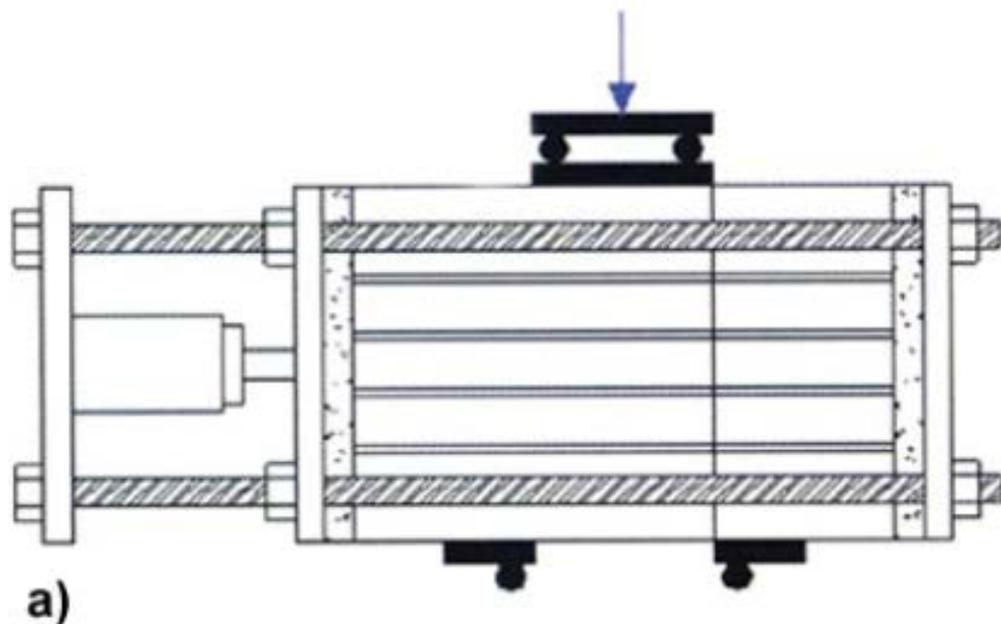
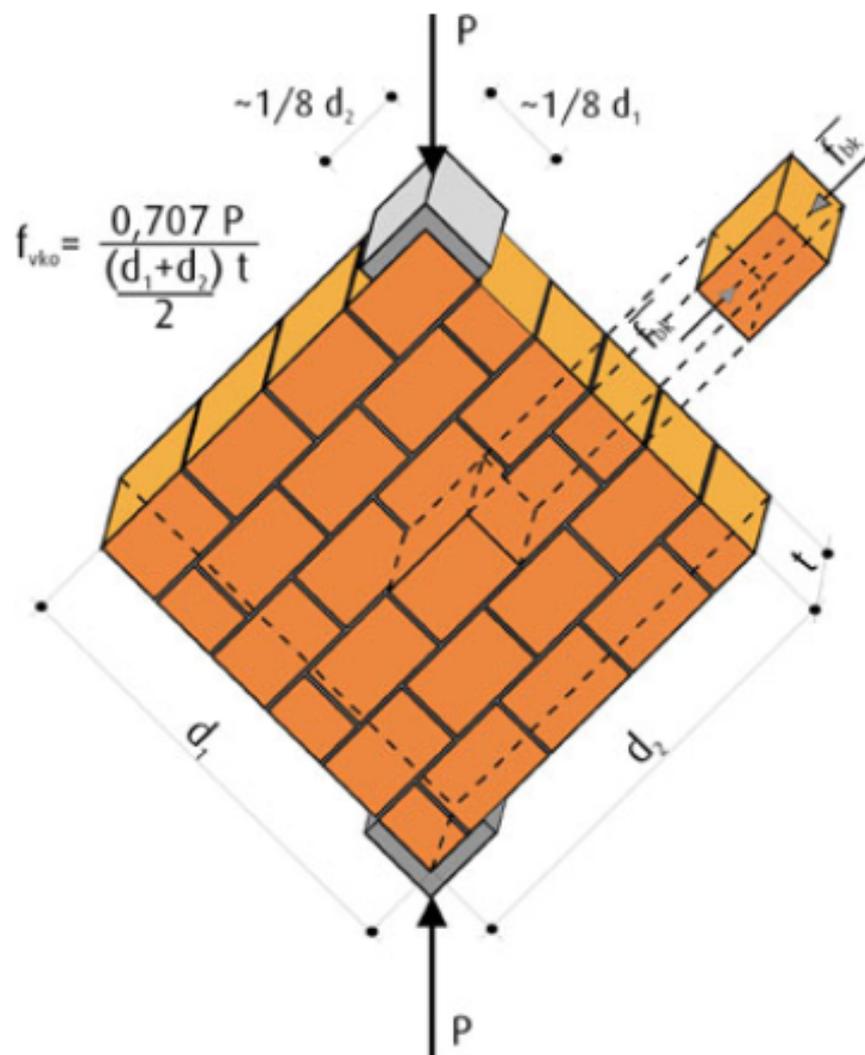


Fig. 4 - Prove di scorrimento a taglio secondo la UNI EN 1052-3: schema (a) e configurazione di prova (b).



Per quanto concerne le prove sperimentali a taglio su muretti svolte ai sensi del previgente D.M. 20/11/1987, se eseguite con riferimento agli standard di prova di comprovata validità citati nelle NTC, esse si possono ritenere valide anche ai sensi delle nuove norme tecniche, a parità di materiali (blocchi e malta) impiegati.

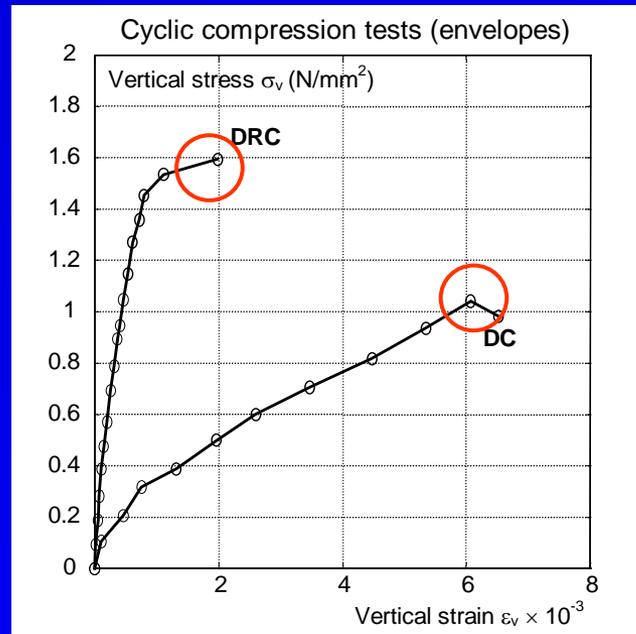
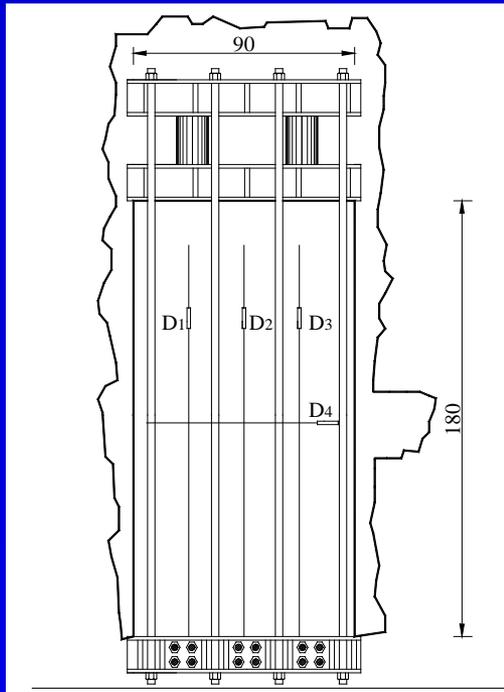
**ATTENZIONE** - In generale, per la natura stessa della prova diagonale, è opportuno diffidare da eventuali risultati che diano valori di  $f_{vko}$  superiori a quelli desumibili da tabelle; questo è spesso indice di una prova che potrebbe essere stata condotta con modalità non adeguate o non del tutto conformi alla letteratura tecnica scientifica in materia [fig. 6], e come tale non rappresentativa della resistenza a taglio in assenza di carico verticale che essa vuole riprodurre.

Fig. 6 - Schema di prova diagonale secondo ASTM E519-02. Il mancato rispetto dei requisiti di prova ivi indicati, anche in termini geometrici, può portare a risultati non rappresentativi e non attendibili.

# COSTRUZIONI IN MURATURA ESISTENTI

# Determinazione dei parametri meccanici della muratura: resistenza a compressione $f_k$

Per le murature esistenti l'unico metodo attendibile per la determinazione della resistenza a compressione della muratura è quello di eseguire con prove sperimentali dirette situ su pannelli murari ricavati da pareti con opportuni tagli.



# Determinazione dei parametri meccanici della muratura: resistenza caratteristica a taglio $f_{vk0}$

Resistenza a taglio mediante determinazione diretta sperimentale.

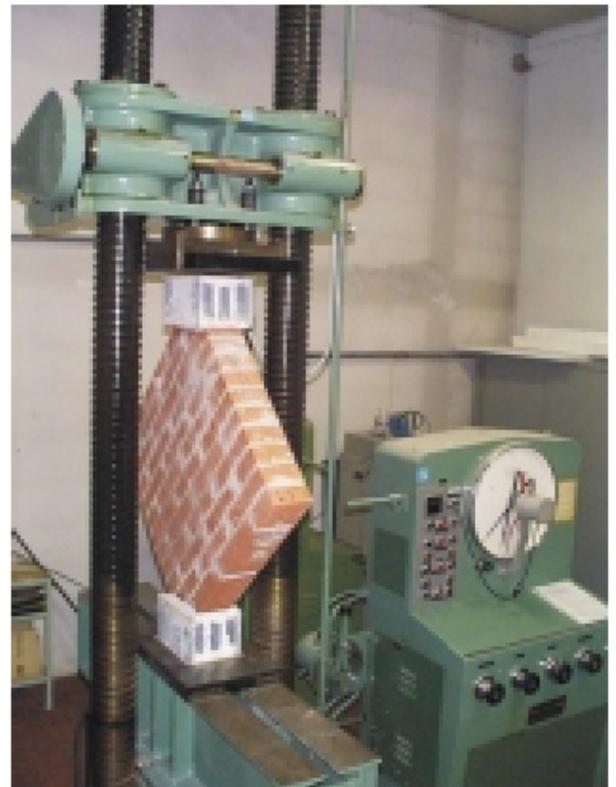
Si procede con diversi tipi di prova:

- 1) Compressione diagonale su muretti in laboratorio o in situ
- 2) Prova di taglio diretto (schema di Sheppard)
- 3) Prova di taglio con compressione verticale imposta.

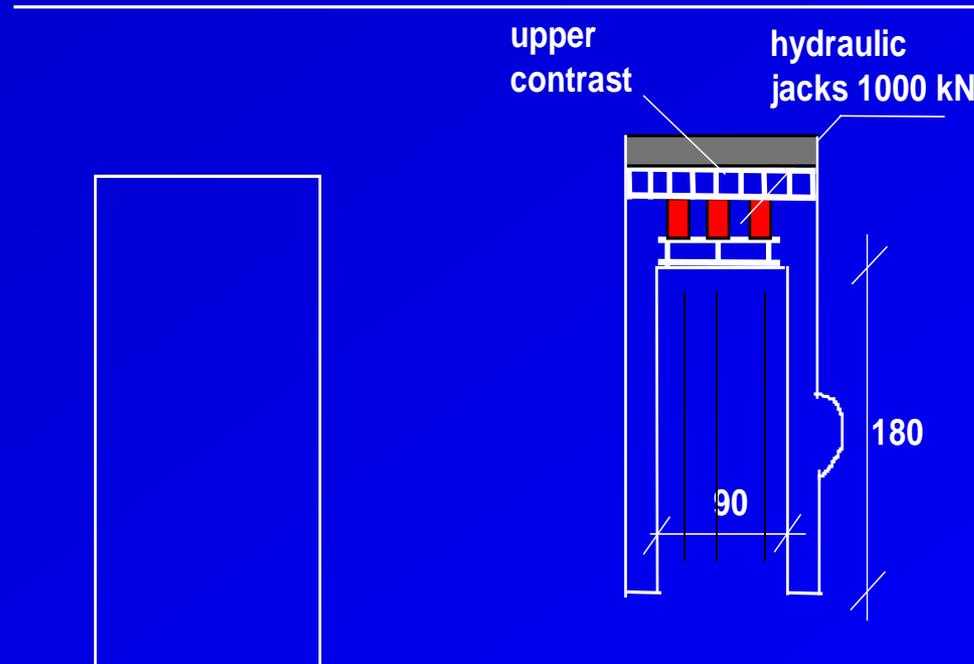
Il DM fa riferimento alla prova di compressione diagonale di laboratorio.

La determinazione della resistenza al taglio  $f_{vk0}$  della muratura deve essere effettuata mediante prove di compressione diagonale su muretti. Le prove saranno effettuate su almeno 6 provini. La resistenza caratteristica  $f_{vk0}$  sarà dedotta dalla resistenza media ottenuta  $f_{vm}$  mediante la:

$$f_{vk0} = 0.7 f_{vm}$$



# Prova di compressione in situ

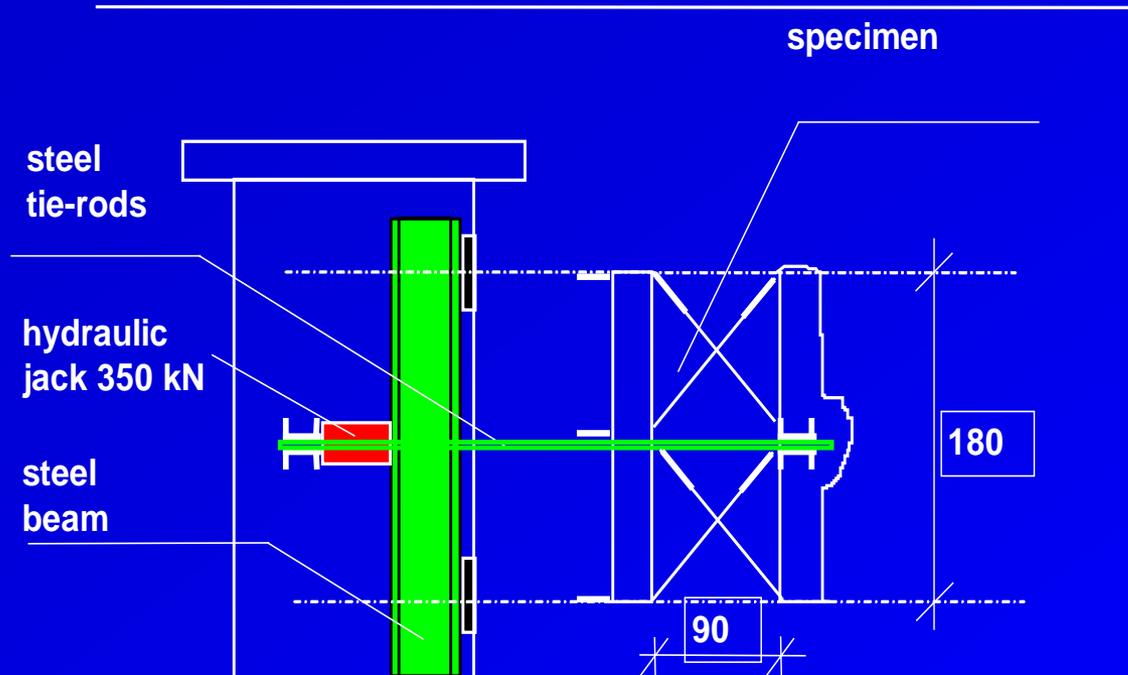


Tipico setup della prova. Questa è la versione con il contrasto fornito dalla parete superiore.

**Vantaggi:** *semplicità di esecuzione.*

**Svantaggi:** *durante la prova è possibile danneggiare la parete superiore.*

## Prova di taglio in situ (Sheppard anni '80)

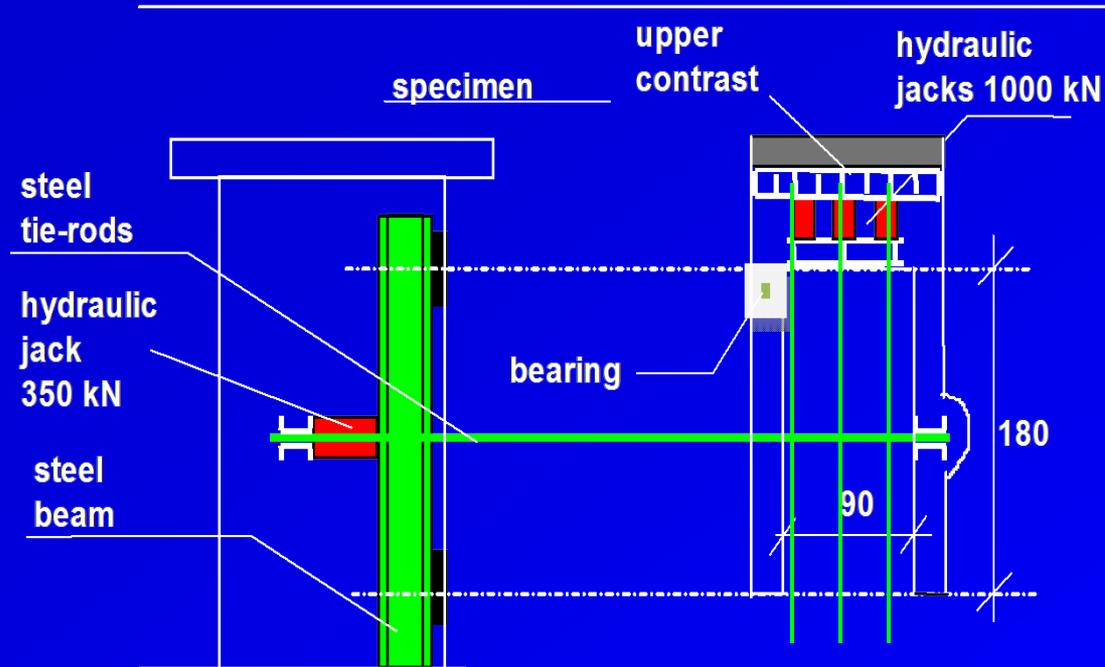


Tipico setup della prova

**Vantaggi:** *semplicità di esecuzione, solo un attuatore.*

**Svantaggi:** *durante la prova la tensione verticale è incognita  
la prova è possibile solo se la pressione verticale  
media sul pannello è alta.*

# Prova di taglio-compressione in situ



Tipico setup della prova. Il ritegno superiore in colore bianco è un attuatore per la misura della reazione orizzontale in sommità.

## **Vantaggi:**

*lo schema può essere usato anche nei casi in cui la tensione verticale di confinamento è bassa*

*la tensione verticale è nota durante la prova*

*lo schema si può impiegare anche per la compressione.*

## **Svantaggi:**

*Sono necessari più attuatori idraulici*

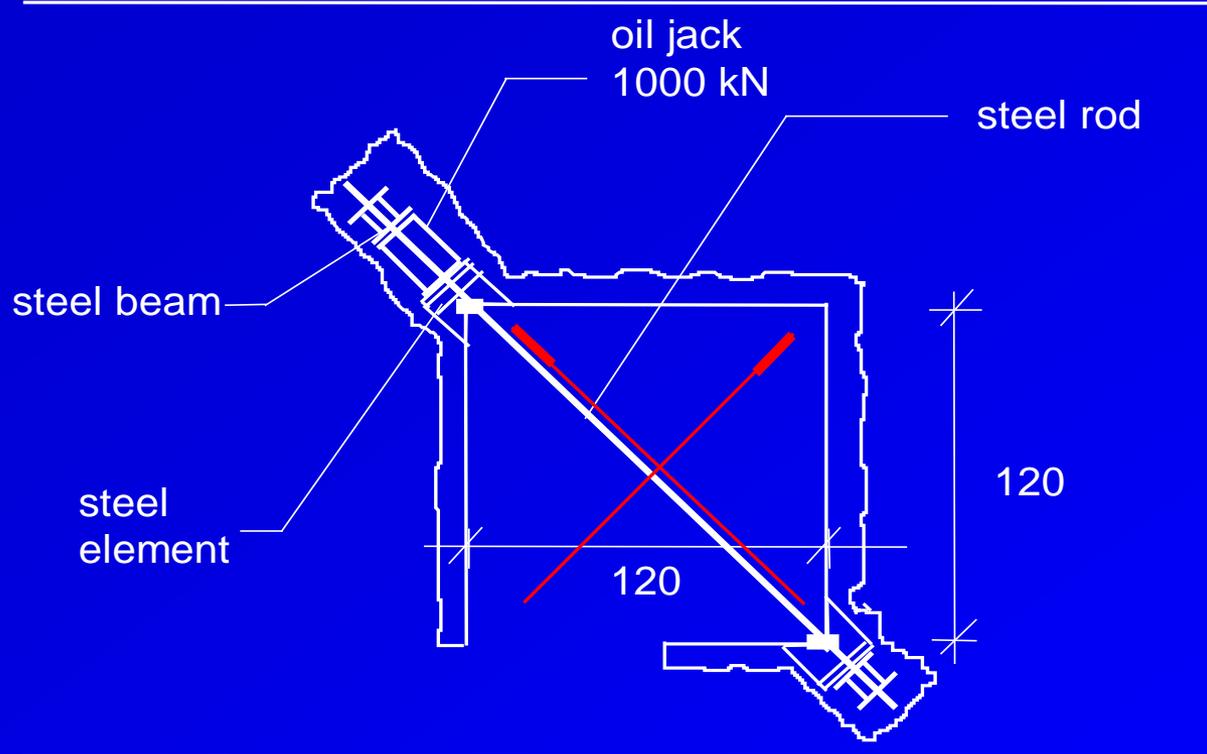
*l'esecuzione della prova è complessa*

*è difficile la predizione del comportamento*

*della parte superiore del pannello durante la prova*

*l'interpretazione dei risultati non è sempre agevole.*

# Prova di compressione diagonale in situ



Tipico setup della prova. Si nota la maggiore semplicità di questo schema rispetto al precedente.

**Vantaggi:** semplicità di esecuzione, solo un attuatore.

**Svantaggi:** necessità di sostenere il pannello nella posizione di prova particolare cura per non disturbare il pannello.

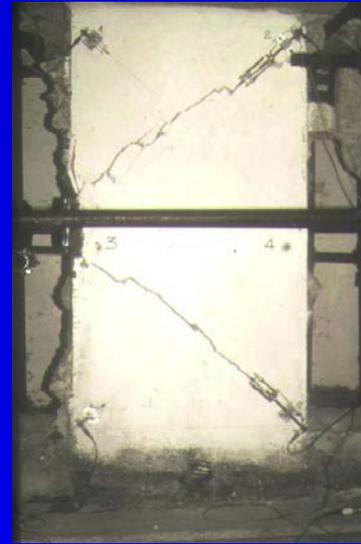
# Esperienze degli Autori



A



B



C



D

## 1992 (Convenzioni di Ricerca Prof. Andrea Chiarugi):

3 prove di compressione in situ e 4 prove di taglio-compressione in situ nel Monastero di S. Orsola a Firenze, A e B

3 prove di taglio in situ (Sheppard) in un edificio da demolire, a Firenze, C

2 prove di taglio in situ (Sheppard) a Pontremoli in Lunigiana, D

# Esperienze degli Autori



**1999:**

6 prove di compressione in situ, 12 prove di compressione diagonale in situ e 6 prove di taglio-compressione in situ in edifici di edilizia rurale in Umbria (in collaborazione con Perugia, Prof. A. Borri). La metodologia di preparazione dei pannelli è simile alla precedente campagna sperimentale

## Esperienze degli Autori



**1997-1998:**

9 prove di compressione in situ, 6 prove di compressione diagonale in situ e 7 prove di taglio-compressione in situ in edifici di edilizia rurale della Garfagnana e della Lunigiana

Nella foto è visibile il Palazzo comunale di Pieve Fosciana

# Esperienze degli Autori



**1997-1998:**

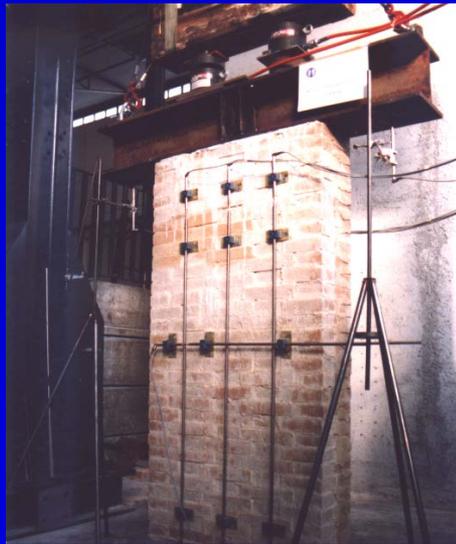
Sono visibili alcune tessiture e sezioni tipiche di questi pannelli



# Esperienze degli Autori

2004

9 prove di compressione diagonale in situ su pannelli di edifici in Toscana (Lucca, Arezzo)



2000 e anni successivi

Prove su grandi pannelli in muratura di laterizio in laboratorio (Perugia, Prof. A. Borri) con procedure analoghe a quelle utilizzate in situ

# Esperienze degli Autori



**1997-1998:**

**Alcuni metodi per il taglio dei pannelli: sega circolare o filo diamantato.  
I due metodi hanno vantaggi e svantaggi reciproci**

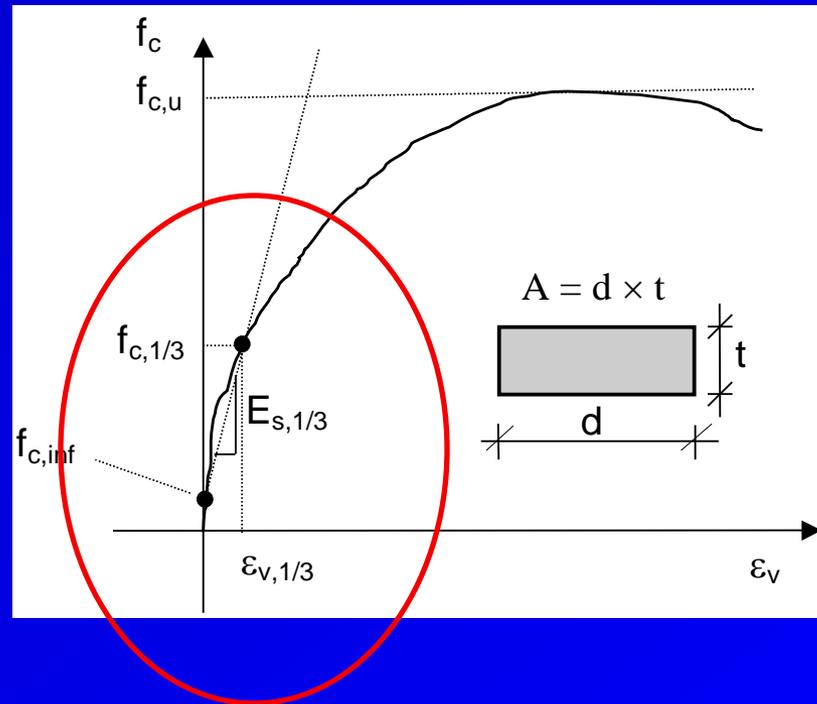
## Esperienze degli Autori



1990:

7 prove di compressione diagonale di laboratorio su murature ricostruite con materiali provenienti da demolizioni di costruzioni tipiche dell'edilizia fiorentina

# Prova di compressione monotona a collasso



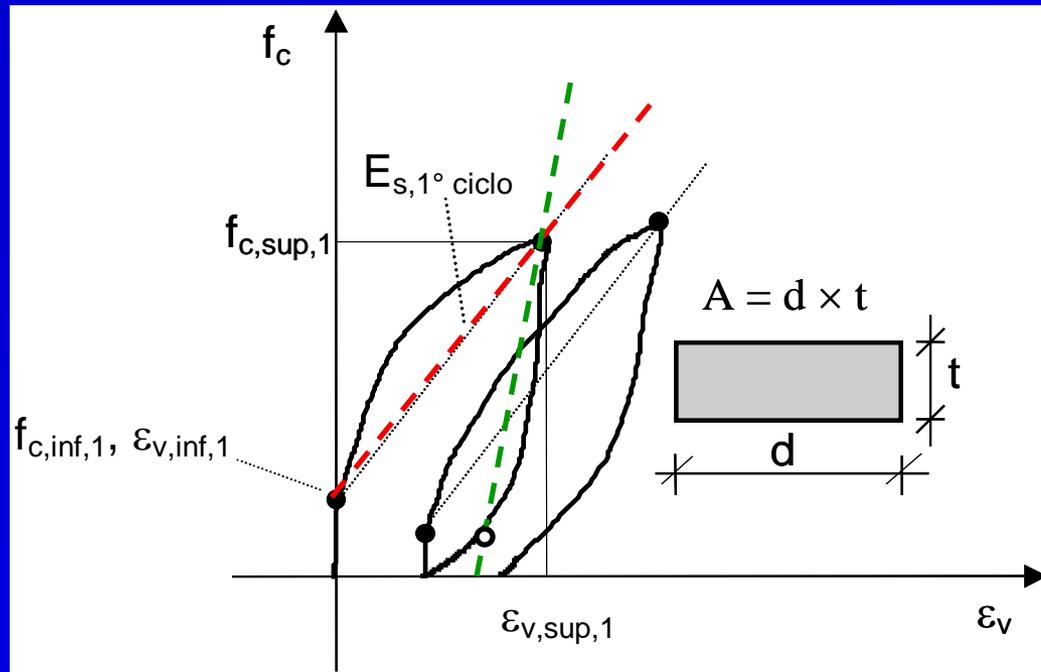
## Interpretazione

Calcolo della  $f_k$  dal risultato della singola prova

Calcolo del modulo elastico  $E$  (secante a 1/3)

$$E_{s,1/3} = \frac{f_{c,1/3} - f_{c,inf}}{\epsilon_{v,1/3}} \quad f_{c,u} = \frac{F_{max}}{A}$$

# Prova di compressione ciclica (solo modulo)



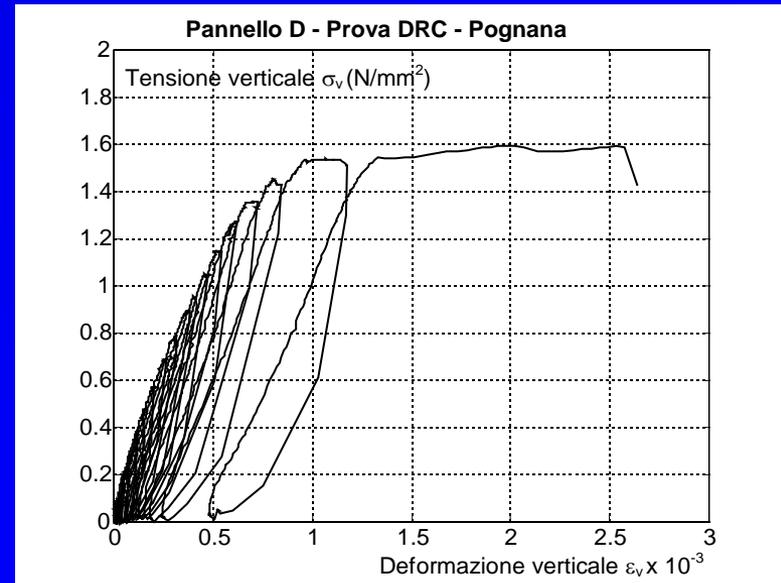
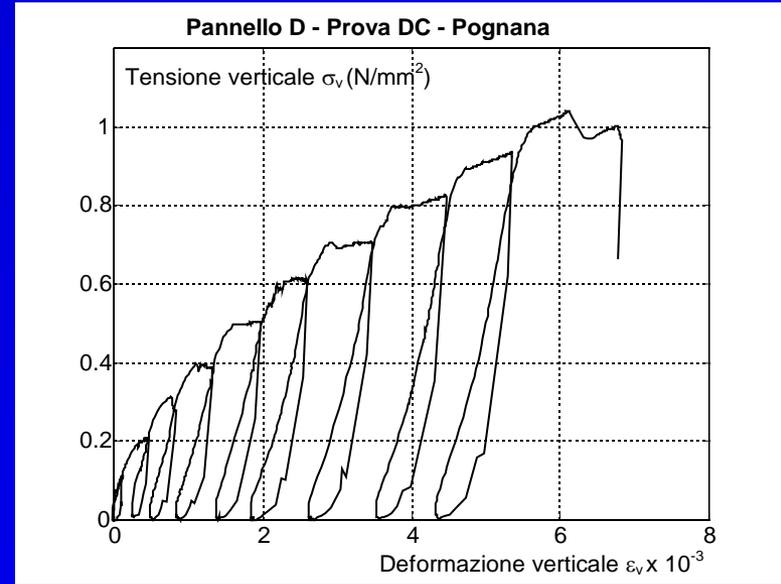
## Interpretazione

Calcolo del modulo elastico  $E$  del ciclo (ramo di carico)

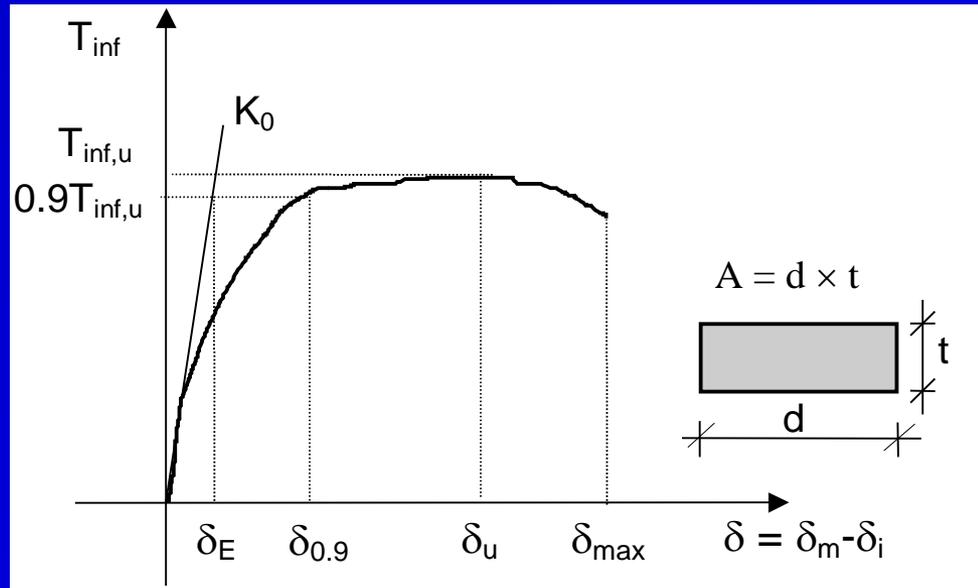
Livelli di carico linearmente crescenti

$$E_s = \frac{f_{c,sup} - f_{c,inf}}{\varepsilon_{v,sup} - \varepsilon_{v,inf}}$$

# Prova di compressione: esempi



# Prove di taglio e di taglio-compressione



$$\sigma_0 = \frac{P_v}{A}$$

$$T_{inf,u} = \frac{F_u}{2}$$

$$\tau_u = \frac{F_u}{2A}$$

$$T_{inf,u} = F_u - R_{sup,u}$$

$$\tau_u = \frac{T_{inf,u}}{A}$$

$$\sigma_I = \sigma_0 \left[ -\frac{1}{2} + \sqrt{\left( b \frac{\tau_u}{\sigma_0} \right)^2 + \frac{1}{4}} \right]$$

$$\tau_k = \frac{\sigma_I}{b}$$

## Interpretazione

Velocità di applicazione del carico (NTC: il carico deve essere applicato con una velocità di circa 0.5 MPa ogni 20 secondi)

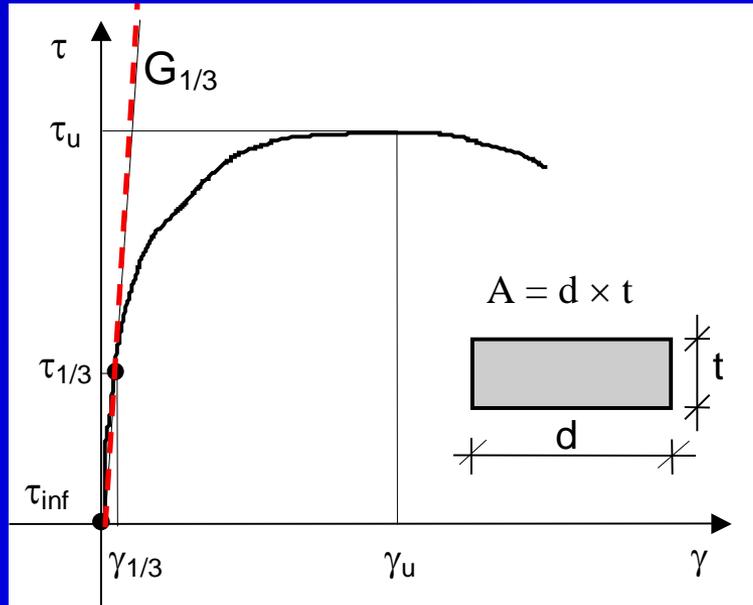
La prova fornisce la resistenza a taglio

Modello di calcolo di  $\tau_k$  (valore di b ?)

Definizione del livello di tensione e del metodo per il calcolo di G (1/3)

$$\frac{1}{K_0} = \frac{\delta_E}{0.9T_{iu}} = \frac{1.2h_{inf}}{GA} \left[ 1 + \frac{G}{1.2E} \left( \frac{h_{inf}}{d} \right)^2 \right]$$

# Prova di compressione diagonale

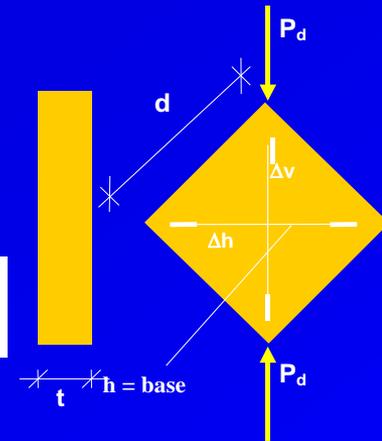


$$\gamma = |\varepsilon_c| + \varepsilon_t$$

$$\tau_u = \frac{P_{d,u}}{A\sqrt{2}}$$

$$\sigma_I = \frac{P_{d,u}}{2A}$$

$$G_{1/3} = \frac{\tau_{1/3} - \tau_{inf}}{\gamma_{1/3}}$$



## Interpretazione

Velocità di applicazione del carico (NTC: il carico deve essere applicato con una velocità di circa 0.5 MPa ogni 20 secondi)

La prova fornisce la resistenza a trazione e la resistenza a taglio in assenza di sforzo normale

Livello di tensione per il calcolo di G

## Parametri meccanici più significativi

Resistenza caratteristica a compressione	→	$f_k$
Resistenza caratteristica a taglio in assenza di compressione	→	$f_{vk0}$ o $\tau_0$
Modulo elastico longitudinale	→	E
Modulo elastico tangenziale	→	G

I parametri elencati sono riferiti a murature esistenti o ricostruite in laboratorio, caratterizzate dall'assenza di una tessitura regolare; per le murature nuove e per quelle con tessitura regolare, oltre ad essi, sono da determinare anche altri parametri quali, ad esempio, la coesione e l'attrito tra blocco e malta.

NOTA: i parametri su elencati sono anche quelli di più immediato utilizzo per le verifiche e utilizzati nella normativa.

# DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO

Occorre distinguere gli edifici nuovi da quelli esistenti ed anche le combinazioni per soli carichi verticali e vento e la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni.

## EDIFICI NUOVI

Una volta determinati i valori caratteristici della resistenza a compressione  $f_k$  e della resistenza a taglio  $f_{vk0}$  si passa al calcolo dei corrispondenti valori di calcolo  $f_d$  e  $f_{vd}$  da utilizzare nelle verifiche agli stati limite.

Per la verifica nei confronti dei carichi verticali e del vento il D.M. 1987 prescrive di adottare un **coefficiente parziale di sicurezza pari a 3**, mentre per la verifica in condizioni sismiche **NTC prescrive un coefficiente parziale di sicurezza pari a 2**.

**Condizioni non  
sismiche**



$$f_d = \frac{f_k}{3}$$

**Condizioni sismiche**



$$f_d = \frac{f_k}{2}$$

# DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO

## EDIFICI ESISTENTI

Per la verifica nei confronti dei carichi verticali e del vento in accordo al D.M. 1987 si adotta ancora un coefficiente parziale di sicurezza pari a 3, mentre per la verifica in condizioni sismiche l'NTC prescrive un coefficiente parziale di sicurezza pari a 2 ed introduce un Fattore di Confidenza (FC) in funzione del livello di conoscenza.

**Condizioni non sismiche**



$$f_d = \frac{f_k}{3}$$



$$f_d = \frac{f_m}{2 \cdot 1,35} = \frac{f_m}{2,7}$$

➤ LC1



$$f_d = \frac{f_m}{2 \cdot 1,2} = \frac{f_m}{2,4}$$

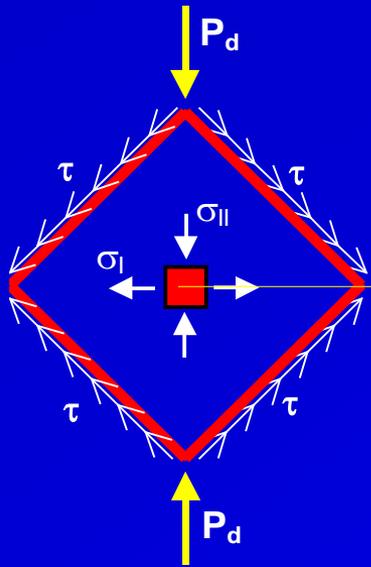
➤ LC2



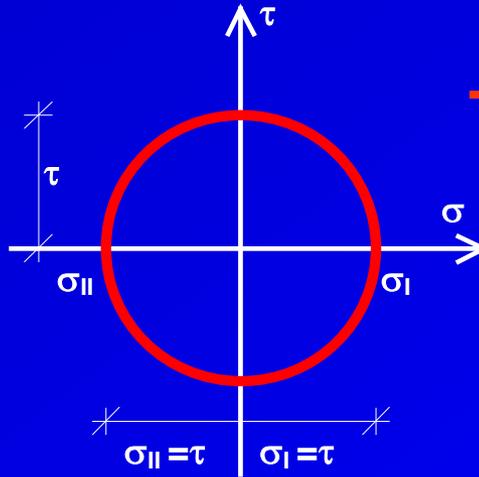
$$f_d = \frac{f_m}{2 \cdot 1} = \frac{f_m}{2}$$

➤ LC3

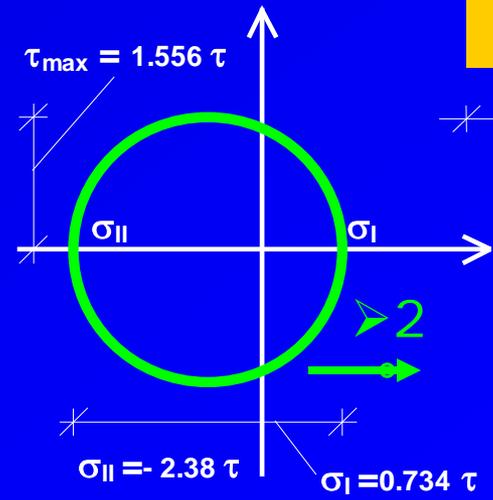
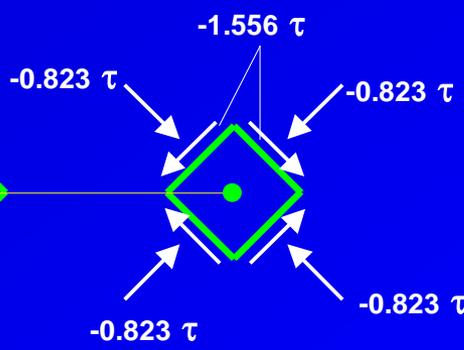
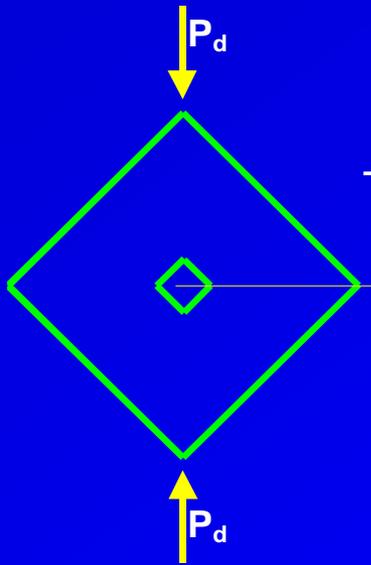
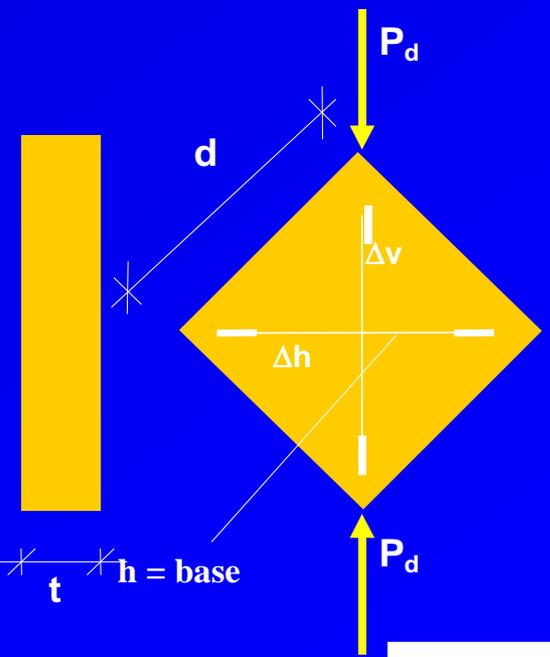
# Prova di compressione diagonale



$$\tau_u = \frac{P_{d,u}}{A\sqrt{2}}$$



$$\tau_u = \sigma_I = \tau_k = \frac{P_{d,u}}{A\sqrt{2}}$$



$$\sigma_I = \frac{P_{d,u}}{2A}$$

$$\tau_k = \frac{\sigma_I}{1,5}$$

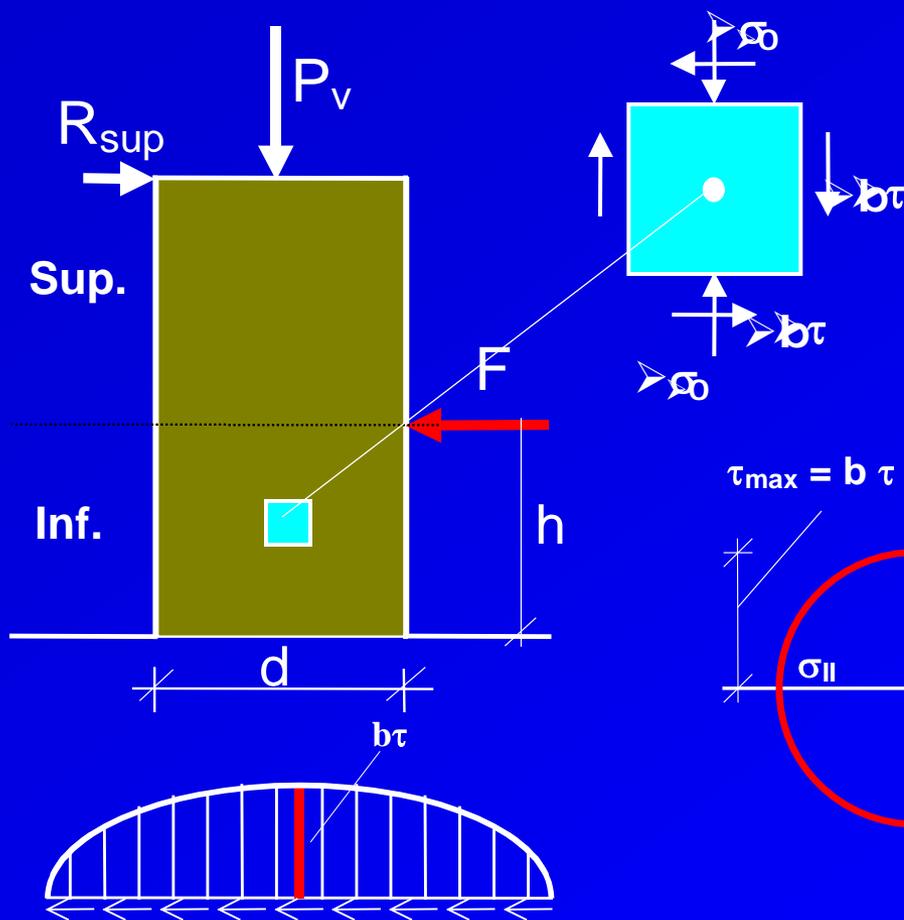
# Prove di taglio e di taglio-compressione

Criterio di *Turnsek-Cacovic*: rottura per taglio con fessurazione diagonale al centro del pannello per  $\sigma_I = f_{wt}$

$$\sigma_0 = \frac{P_v}{A}$$

$$T_{inf,u} = F_u - R_{sup,u}$$

$$\tau_u = \frac{T_{inf,u}}{A}$$



$$\sigma_I = \sigma_0 \left[ -\frac{1}{2} + \sqrt{\left( b \frac{\tau_u}{\sigma_0} \right)^2 + \frac{1}{4}} \right]$$

$$\tau_k = \frac{\sigma_I}{b}$$

$$\tau_u = \tau_k \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{b \tau_k}}$$

(metodo POR,  $b=1.5$ )

Nel caso di muratura irregolare o caratterizzata da blocchi non particolarmente resistenti, la resistenza a taglio di calcolo per azioni nel piano di un pannello in muratura potrà essere calcolata con la relazione seguente:

$$V_t = 1 \cdot t \frac{1.5\tau_{0d}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{1.5\tau_{0d}}} = 1 \cdot t \frac{f_{td}}{b} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_{td}}} \quad (8.7.1.1)$$

dove:

- $l$  è la lunghezza del pannello
- $t$  è lo spessore del pannello
- $\sigma_0$  è la tensione normale media, riferita all'area totale della sezione (=  $P/lt$ , con  $P$  forza assiale agente, positiva se di compressione)
- $f_{td}$  e  $\tau_{0d}$  sono, rispettivamente, i valori di calcolo della resistenza a trazione per fessurazione diagonale e della corrispondente resistenza a taglio di riferimento della muratura ( $f_t = 1.5 \tau_0$ ); nel caso in cui tale parametro sia desunto da prove di compressione diagonale, la resistenza a trazione per fessurazione diagonale  $f_t$  si assume pari al carico diagonale di rottura diviso per due volte la sezione media del pannello sperimentato valutata come  $t(l+h)/2$ , con  $t$ ,  $l$  e  $h$  rispettivamente spessore, base, altezza del pannello.
- $b$  è un coefficiente correttivo legato alla distribuzione degli sforzi sulla sezione, dipendente dalla snellezza della parete. Si può assumere  $b = h/l$ , comunque non superiore a 1,5 e non inferiore a 1, dove  $h$  è l'altezza del pannello.

## ANALISI DELLE PROVE A TAGLIO



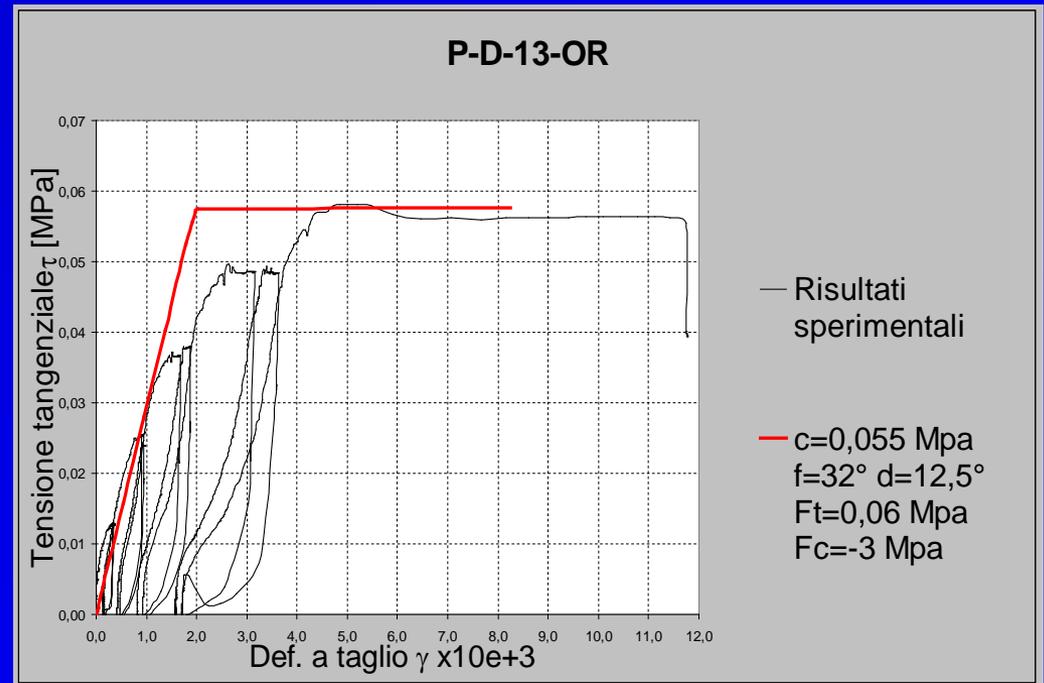
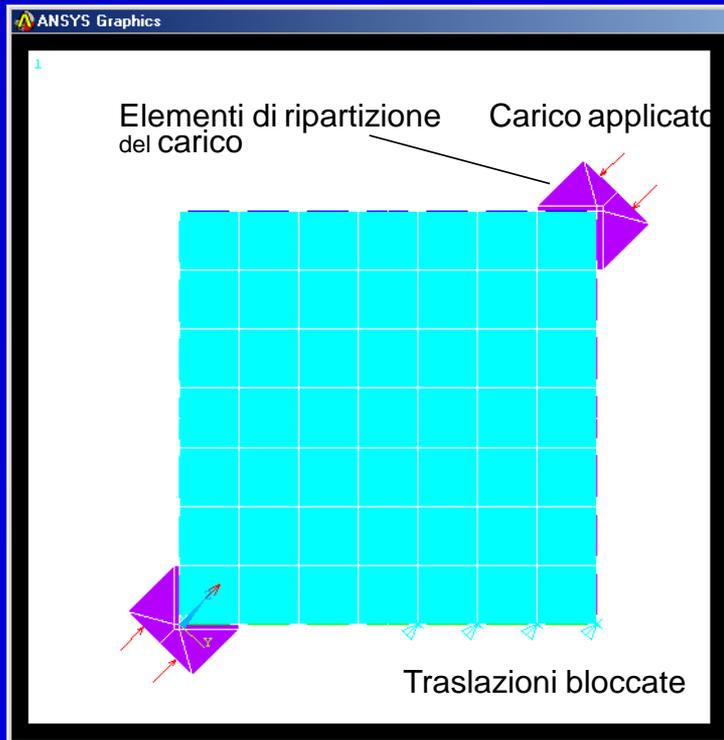
• **Analizzare alcuni metodi di prova per la determinazione della resistenza a compressione ed a taglio delle murature**



**Discutere circa l'interpretazione dei risultati delle prove stesse per ottenere i valori caratteristici delle resistenze**

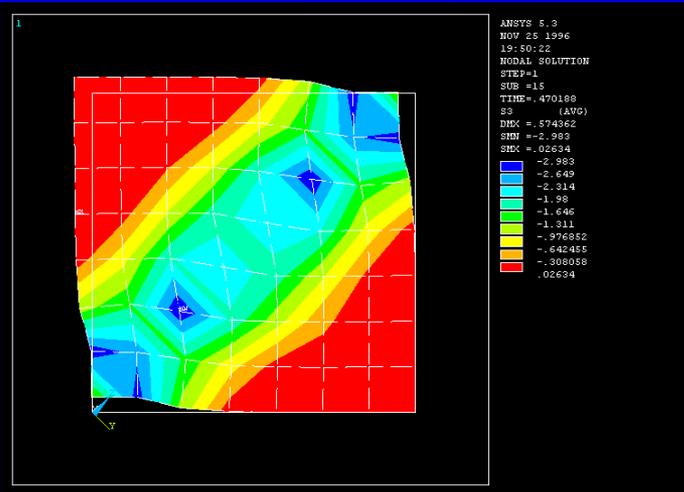
Data la grande varietà delle tipologie murarie e delle procedure di prova, qui si intende discutere delle prove su pannelli di pareti esistenti o pannelli di muratura ricostruita in laboratorio a rappresentare tipiche tessiture di costruzioni storiche.

# Analisi delle prove di taglio in campo non lineare (Ansys)

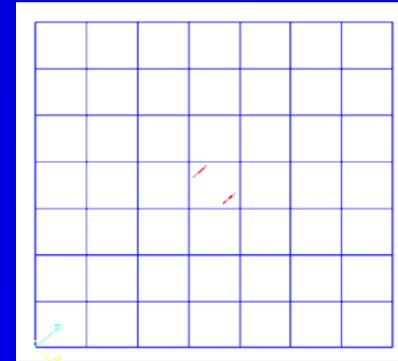


Prova di compressione diagonale

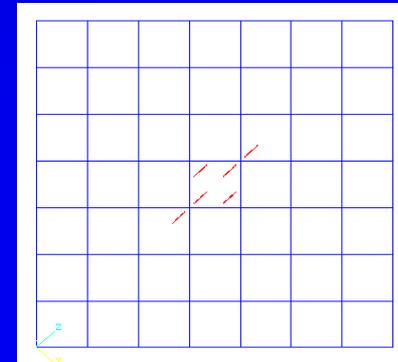
# Analisi delle prove di taglio in campo non lineare (Ansys)



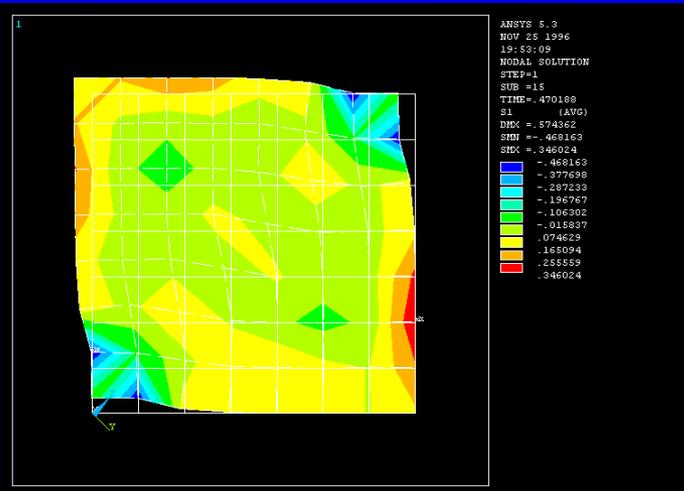
Tensioni principali di compressione



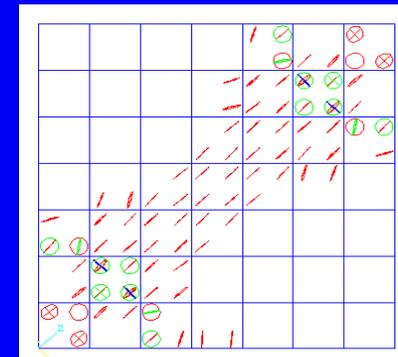
$P_d = 46.5 \text{ kN}$



$P_d = 46.9 \text{ kN}$

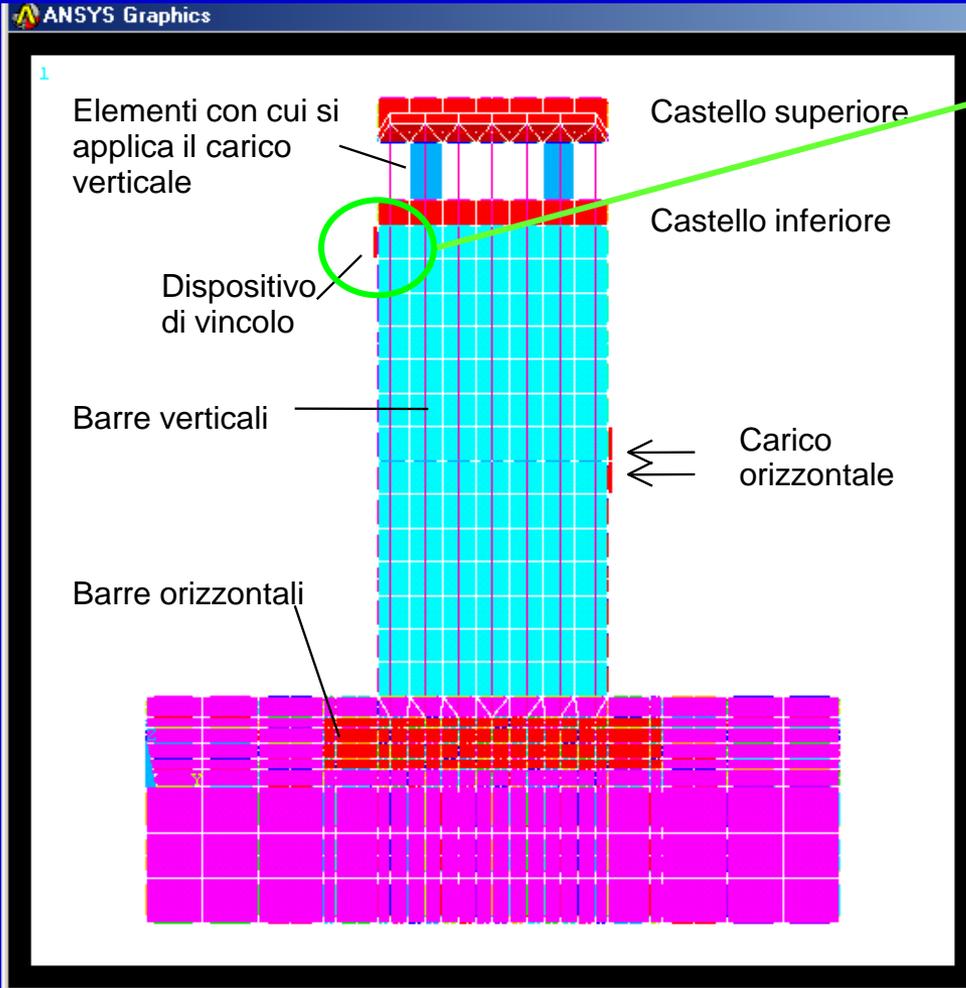


Tensioni principali di trazione



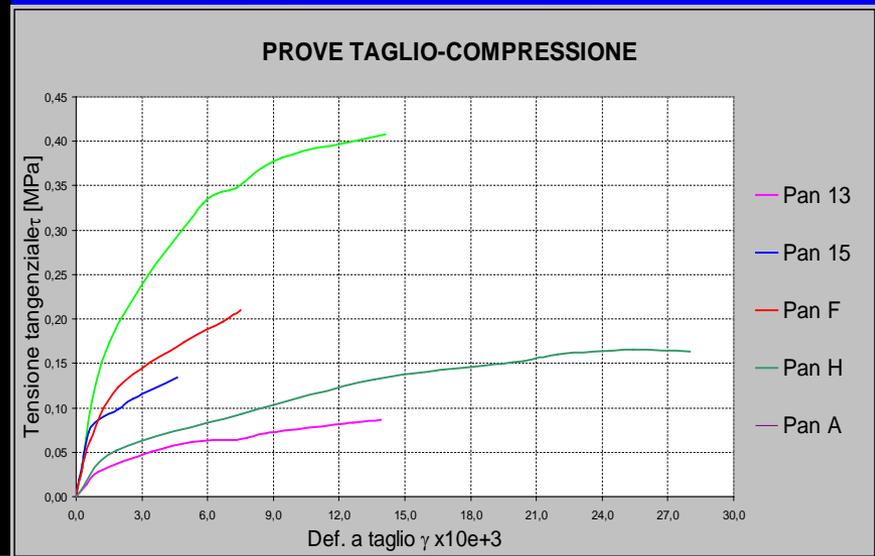
$P_{du} = 47.1 \text{ kN}$   
 $\gamma = 8.23 \text{ ‰}$

# Analisi delle prove di taglio in campo non lineare (Ansys)



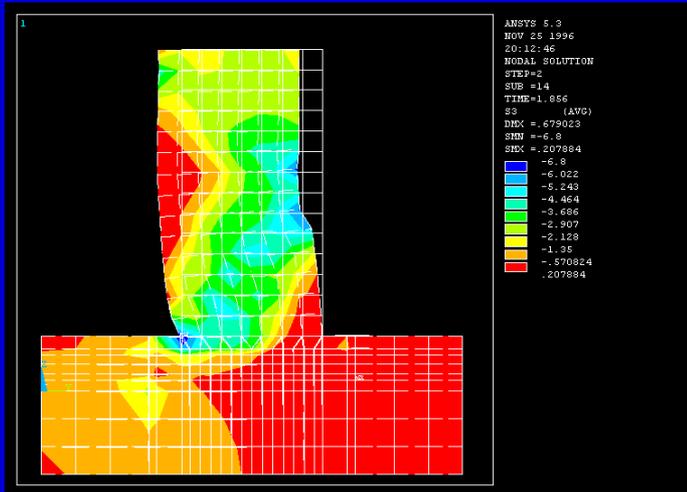
Appoggio cedevole elasticamente

$$K_t = \frac{R_s}{\delta_s}$$

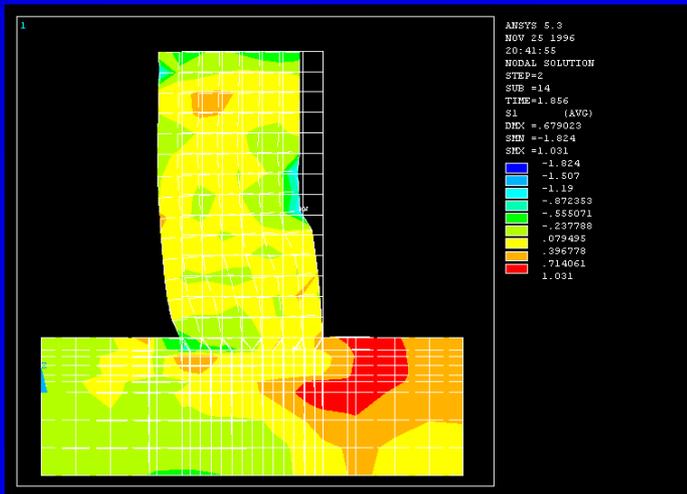


Prova di taglio-compressione

# Analisi delle prove di taglio in campo non lineare (Ansys)

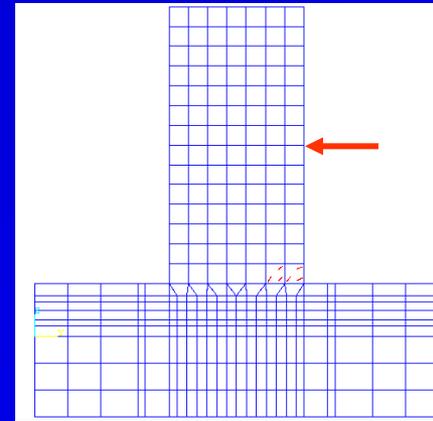


Tensioni principali di compressione

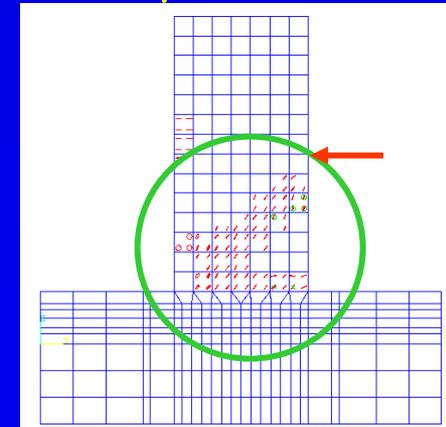


Tensioni principali di compressione

**P = 40 kN**

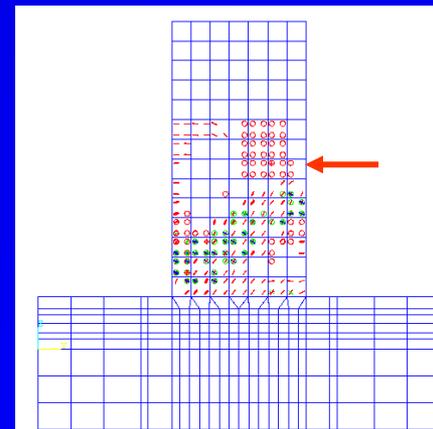


**P = 60 kN**  
 $\gamma = 2.75 \text{ ‰}$

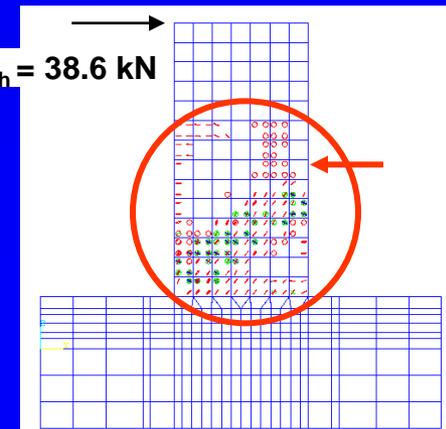


**P<sub>u</sub> = 94 kN**  
 $\gamma = 7.0 \text{ ‰}$

**P = 90 kN**



**R<sub>h</sub> = 38.6 kN**

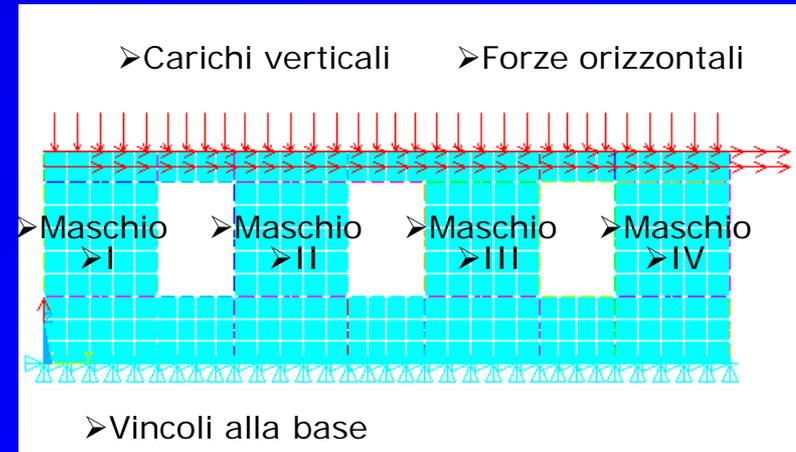
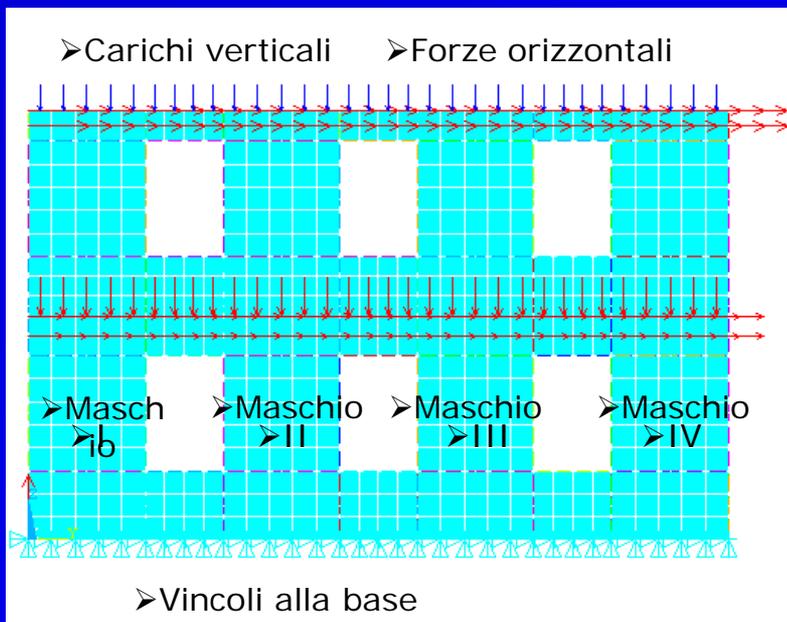


**Si osserva una diversa evoluzione del quadro fessurativo che, nella prova PTC, è connessa ad un incremento di carico oltre il livello corrispondente al danno osservato a collasso nella prova PCD**

# Analisi di pareti piane in campo non lineare (Ansys)

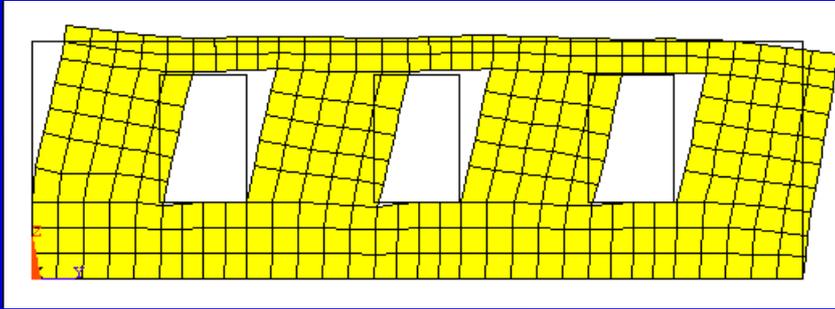
Sono state modellate agli elementi finiti 2 pareti piane con aperture (4 maschi per piano)

- Parametri costitutivi: Prova PT-15-OR
- Dimensioni maschi: 150 x 150 x 50 cm
- Condizioni di vincolo: DIAFF e LIBB
- Forze laterali: Analisi statica equivalente.

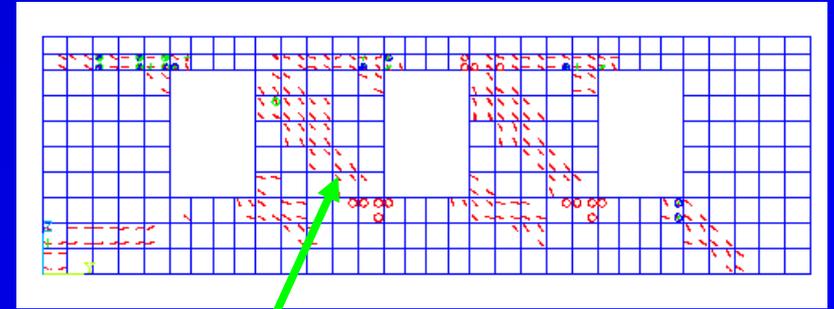


# Analisi di pareti piane in campo non lineare (Ansys)

## Schema resistente tipo "LIBB"

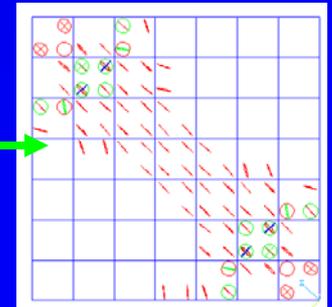


Deformata all'ultimo passo di carico

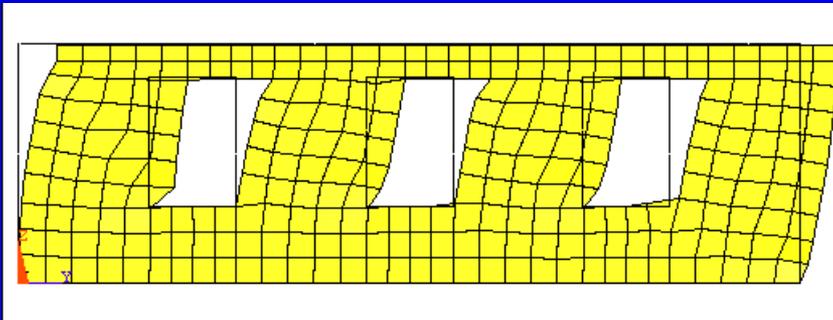


Quadro fessurativo all'ultimo passo di carico

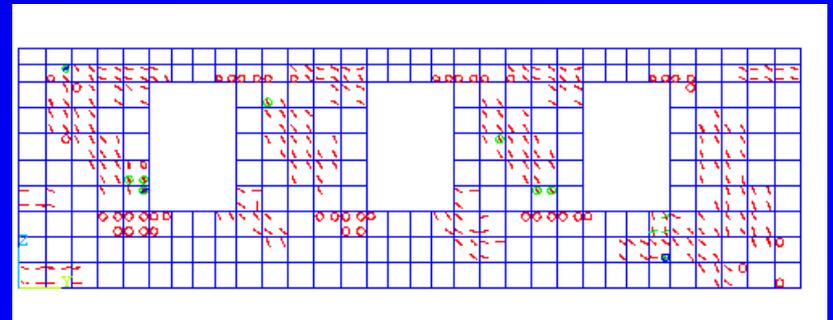
I risultati relativi allo schema di tipo LIBB indicano quadri fessurativi a collasso dei due maschi centrali simili a quelli ottenuti con la prova di compressione diagonale.



## Schema resistente tipo "DIAFF"



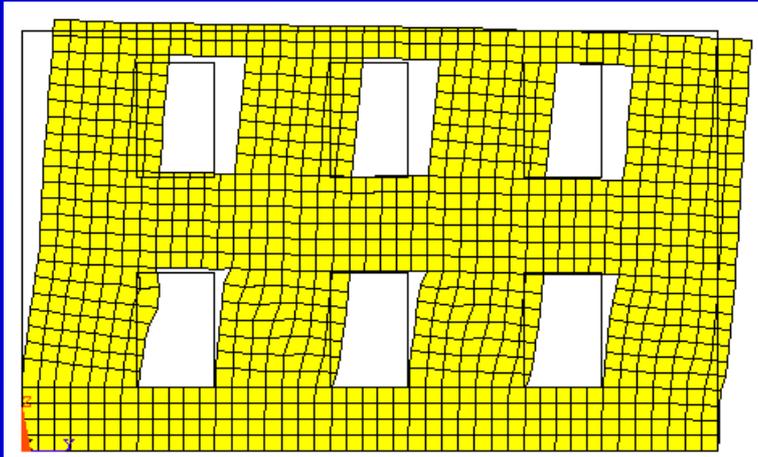
Deformata all'ultimo passo di carico



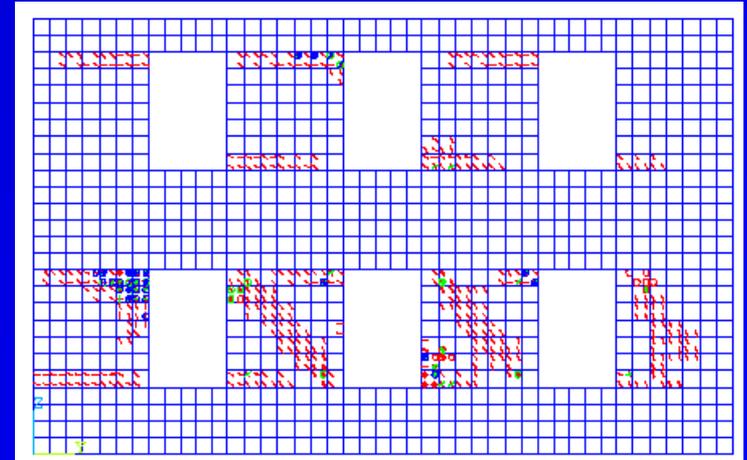
Quadro fessurativo all'ultimo passo di carico

# Analisi di pareti piane in campo non lineare (Ansys)

## Schema resistente tipo "LIBB"

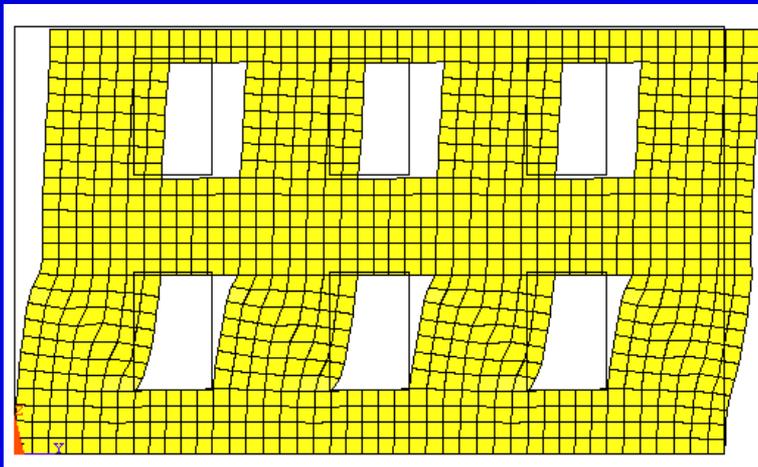


Deformata all'ultimo passo di carico

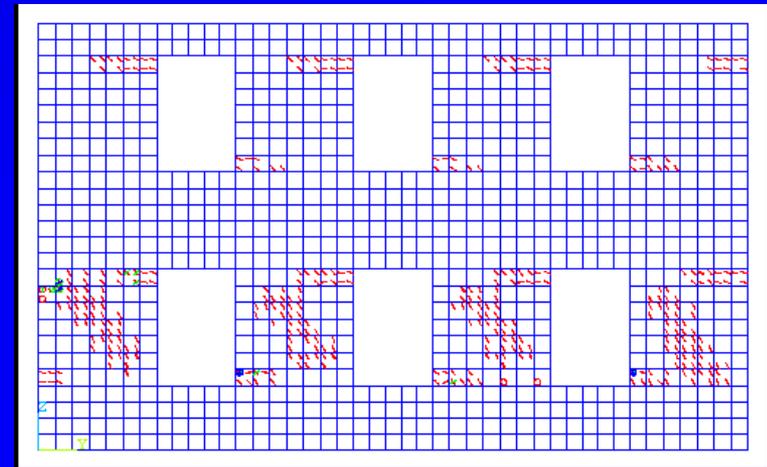


Quadro fessurativo all'ultimo passo di carico

## Schema resistente tipo "DIAFF"



Deformata all'ultimo passo di carico



Quadro fessurativo all'ultimo passo di carico

## Alcune considerazioni

1. Alla luce delle analisi e dei risultati delle esperienze appare che la **prova di compressione diagonale** fornisce una misura indiretta della **resistenza a trazione** della muratura nella direzione ortogonale alla fessurazione e quindi la misura della resistenza a taglio in assenza di compressione.
2. **La prova di taglio (Sheppard)**, pur non essendo nota l'effettiva tensione di compressione verticale, fornisce una resistenza a taglio che, stabilito il modello di variazione di tale resistenza con il livello della compressione, permette di calcolare la resistenza convenzionale a taglio.
3. **Nella prova di taglio-compressione**, si osserva un comportamento asimmetrico dei due semipannelli, che deve essere adeguatamente valutato. Questa prova fornisce una misura della **resistenza convenzionale a taglio**, ponendo attenzione alle condizioni di vincolo in sommità al pannello superiore.
4. **I pannelli (maschi murari) nelle pareti in muratura** hanno condizioni al contorno variabili e difficili da generalizzare in un solo schema.
5. **Le analisi sulle pareti piane indicano che la procedura PTC sovrastima la resistenza a taglio della parete, con il classico schema interpretativo, mentre vengono sottostimate le resistenze a taglio (almeno per i pannelli murari dei piani sottostanti la copertura) con la prova di compressione diagonale.**

# Ulteriori prove per la determinazione dei parametri meccanici della muratura

## Prove con martinetti piatti

La prova si basa essenzialmente sulla variazione dello stato tensionale locale indotto nella struttura per effetto di un taglio piano di limitate dimensioni, eseguito normalmente alla superficie della parete in studio. Si articola in due fasi:

**1a fase – prova con martinetto piatto singolo:** in questa fase si quantifica il valore dello stato tensionale esistente nelle murature verticali o nelle volte;

**2a fase – prova con martinetto piatto doppio:** successivamente si determina il valore del modulo elastico e, con particolari cautele nel trattamento dei dati, del carico a rottura.



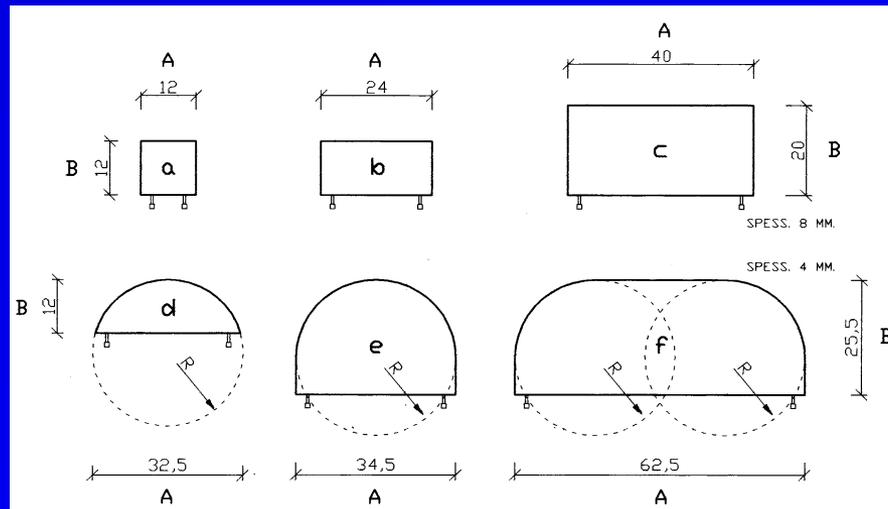
# Ulteriori prove per la determinazione dei parametri meccanici della muratura

## Prove con martinetti piatti

I martinetti piatti utilizzati per le prove sulla muratura sono costituiti da due lamine di acciaio inossidabile, con le giunzioni saldate lungo i bordi. Gli spessori delle lamine sono di norma compresi tra 0.6 e 1.2 mm.

I martinetti sono normalmente provvisti di due valvole: una per l'adduzione dell'olio in pressione proveniente dalla centralina idraulica, l'altra per l'espulsione dell'aria rimasta all'interno durante la messa in carico. Vengono comunque utilizzati anche martinetti provvisti di una sola valvola, collegata direttamente alla centralina.

La forma del martinetto dipende dall'attrezzatura utilizzata per creare il taglio.



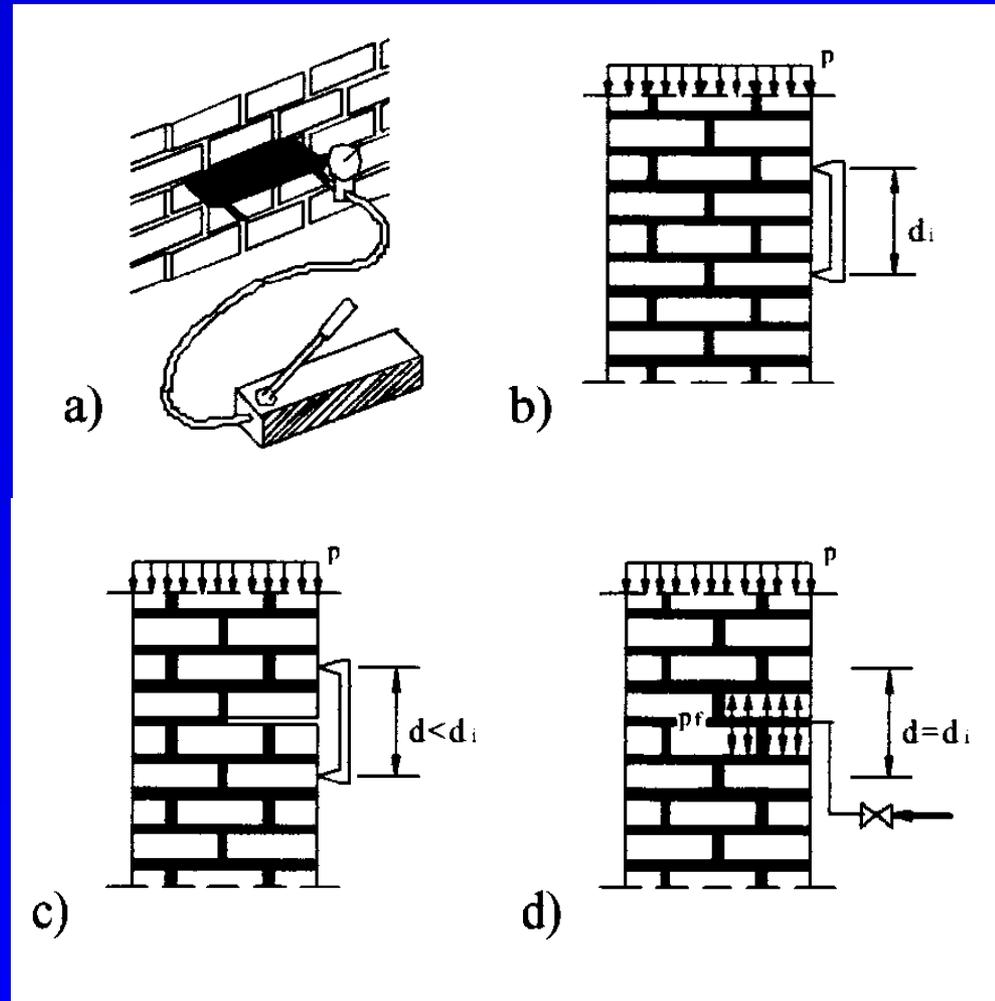
# Ulteriori prove per la determinazione dei parametri meccanici della muratura

## meccanici della muratura

### Prove con un solo martinetto piatto

Si dispone un reticolo di punti di riferimento tra i quali sono misurate le distanze relative (distanza  $d_i$ ). Viene quindi praticato un taglio orizzontale, normale alla superficie esterna del paramento murario. Il taglio provoca un rilascio delle tensioni con conseguente decremento delle distanze tra i punti di misura (distanza  $d$  in figura).

Si introduce all'interno del taglio un martinetto piatto collegato alla centralina idraulica: la pressione all'interno del martinetto viene gradualmente aumentata fino ad annullare la deformazione misurata durante la fase di taglio.

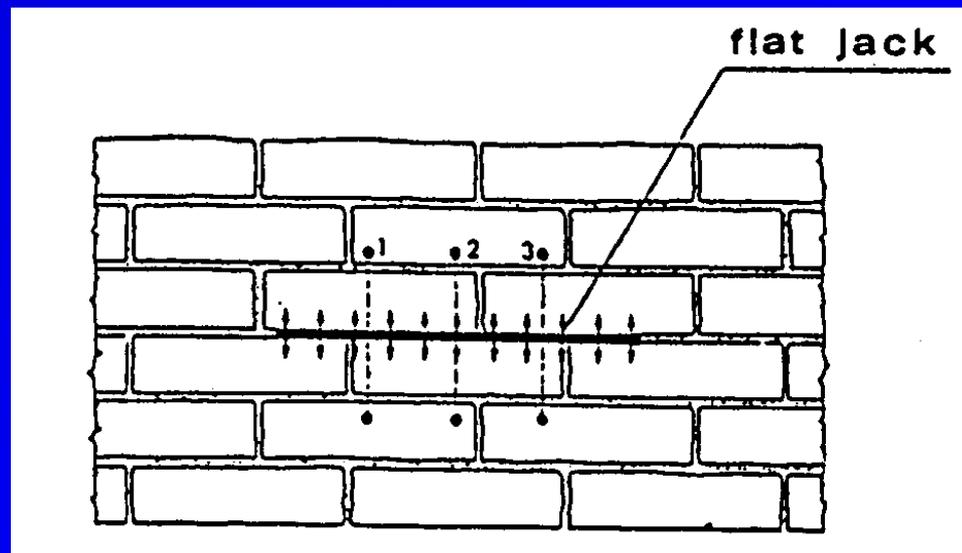


# Ulteriori prove per la determinazione dei parametri meccanici della muratura

## Prove con un solo martinetto piatto

La pressione  $p_f$  (denominata **pressione di ripristino**) letta sul manometro può essere relazionata con la tensione di compressione in direzione normale al taglio, cui è soggetto il pannello murario a quella determinata quota. Questo valore è, di norma, più alto del reale stato tensionale presente nel solido murario a causa di:

- 1) rigidità intrinseca del martinetto;
- 2) differenza tra l'area del taglio e l'area del martinetto piatto.



## Ulteriori prove per la determinazione dei parametri meccanici della muratura

Il principio su cui si basa la prova è simile al precedente. In questa fase vengono utilizzati contemporaneamente due martinetti piatti, al fine di applicare un carico noto ad una porzione di struttura.

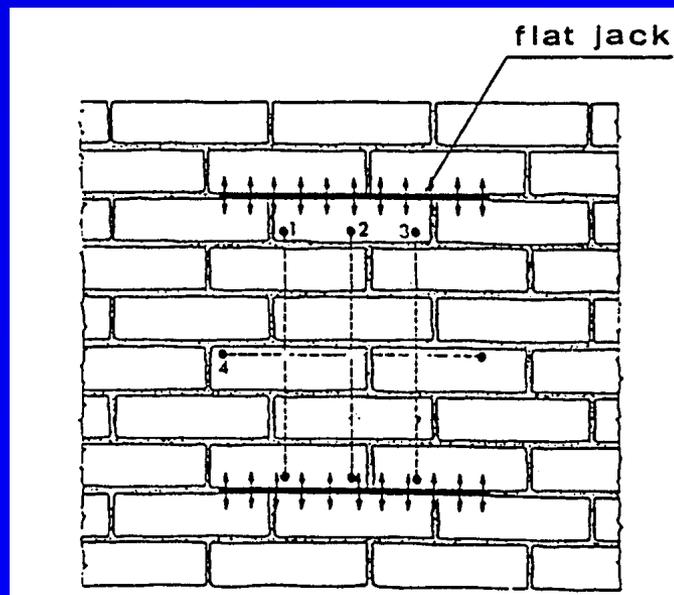
Mediante due tagli paralleli e allineati verticalmente si isola una parte di muratura, formando così un campione di prova. Le norme ASTM indicano di praticare i due tagli ad una distanza pari ad almeno 5 ricorsi di muratura e comunque non maggiore di 1.5 volte la lunghezza A del martinetto. Le norme RILEM prescrivono invece una distanza pari alla lunghezza del martinetto.

Nello spazio delimitato dai due tagli si posiziona un nuovo reticolo di punti di riferimento e si misurano le distanze relative.

Si inseriscono quindi all'interno dei due tagli due martinetti piatti, mediante i quali si inizia ad applicare una pressione sul campione di prova isolato: lo stato di tensione che si viene a creare è approssimativamente uno stato di compressione assiale.

Incrementando la pressione nei martinetti piatti le varie distanze relative tra i punti di riferimento decrescono; si può così determinare la curva tensione-deformazione del materiale. È inoltre possibile effettuare dei cicli di carico e scarico.

### Prove con due martinetti piatti



# Ulteriori prove per la determinazione dei parametri

## meccanici della muratura

### Prove con due martinetti piatti

Si esegue in sostanza una vera e propria compressione nella zona di muratura compresa tra i due martinetti, costituente un ideale campione in opera, con tutti i vantaggi di una prova di compressione in situ e tutte le condizioni al contorno reali.

Il carico massimo può essere portato fino al raggiungimento di pressioni pari a tre volte e anche più quella iniziale, in modo da ottenere indicazioni sulle caratteristiche di resistenza della muratura.

Il rapporto del limite ultimo, così determinato, con la tensione d'esercizio, determinata con la prova del martinetto piatto singolo, fornirà il coefficiente di sicurezza relativo al maschio murario.

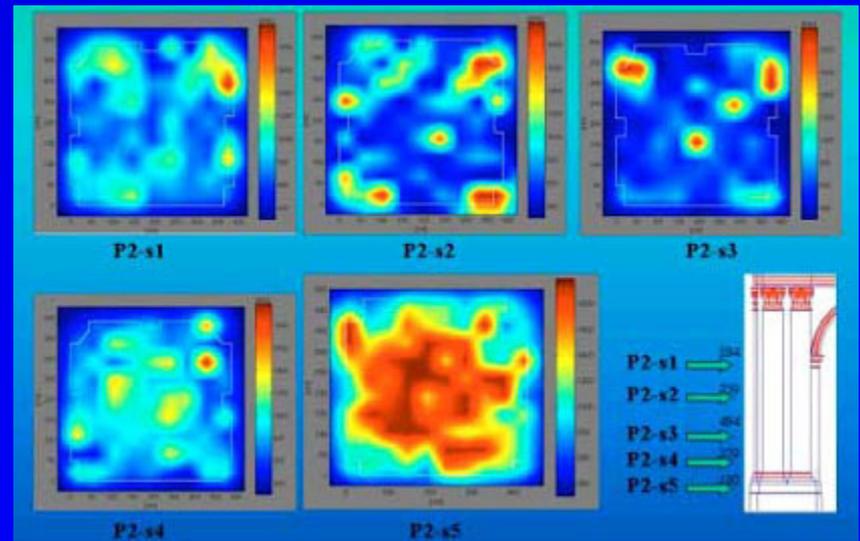


# Ulteriori prove per la determinazione dei parametri meccanici della muratura

## Prove soniche

**Le prove soniche** sono indagini non distruttive utilizzate nelle diagnosi della muratura per qualificare la morfologia della sezione, individuando la presenza di vuoti o difetti o lesioni.

Vengono utilizzate anche per controllare le caratteristiche della muratura dopo interventi di consolidamento (iniezioni di malte e resine), verificando i cambiamenti delle caratteristiche fisiche dei materiali.



Tomografia sonora a diverse altezze per rilevare la presenza di discontinuità nella muratura (mappe di velocità).

## NORMATIVA VIGENTE PER LA VALUTAZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI:

- **D.M. 14 gennaio 2008** “Nuove norme tecniche per le costruzioni”(9 pagine);
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617 - Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (25 pagine);
- Allegato alle nuove norme tecniche per le costruzioni alle Istruzioni (61 pagine).

La normativa tratta gli edifici esistenti nel **capitolo 8**.

**COSTRUZIONE ESISTENTE (definizione):** costruzione che alla data della valutazione di sicurezza e/o del progetto di intervento abbia la struttura completamente realizzata.

# Valutazione della sicurezza

“LA VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA E LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI SULLE COSTRUZIONI ESISTENTI POTRANNO ESSERE ESEGUITI CON RIFERIMENTO AI SOLI *SLU*;

nel caso in cui si effettui la verifica anche nei confronti degli *SLE* i relativi livelli di prestazione possono essere stabiliti dal progettista di concerto con il committente” (*par. 8.3*)

Procedimento volto a:

- stabilire se una struttura è in grado o meno di resistere alle azioni di progetto definite nella normativa di riferimento (sia per carichi verticali che per azioni orizzontali – sismiche),
- determinare l'entità massima delle azioni che la struttura può sostenere con i margini di sicurezza previsti dalla normativa di riferimento .

La valutazione della sicurezza deve permettere di stabilire se:

- l'uso della costruzione possa continuare senza interventi;
- l'uso debba essere modificato (declassamento, cambio di destinazione e/o imposizione di limitazioni e/o cautele nell'uso);
- sia necessario procedere ad aumentare o ripristinare la capacità portante.

La valutazione della sicurezza deve essere svolta anche in caso di interventi non dichiaratamente strutturali (impiantistici, redistribuzione degli spazi, sostituzione dei tamponamenti, ...).

# Valutazione della sicurezza

La valutazione della sicurezza deve essere eseguita quando ricorra una delle seguenti situazioni (*par.8.3*):

- riduzione evidente della capacità resistente e/o deformativa della struttura o di alcune sue parti dovuta ad azioni ambientali (sisma, vento, neve e temperatura), significativo degrado e decadimento delle caratteristiche meccaniche dei materiali, azioni eccezionali (urti, incendi, esplosioni), uso anomalo, deformazioni imposte da cedimenti del terreno di fondazione;
- provati gravi errori di progetto o di costruzione;
- cambio della destinazione d'uso della costruzione o di parti di essa, con variazione significativa dei carichi variabili e/o della classe d'uso della costruzione;
- interventi non dichiaratamente strutturali, qualora essi interagiscano, anche solo in parte, con elementi aventi funzione strutturale e, in modo consistente, ne riducano la capacità o ne modifichino la rigidità;
- Interventi locali, miglioramento sismico o adeguamento sismico.

➤ La valutazione della sicurezza e la progettazione degli interventi su costruzioni esistenti devono tenere conto dei seguenti aspetti:

- la costruzione riflette lo stato delle conoscenze al tempo della sua realizzazione;
- possono essere insiti e non palesi difetti di impostazione e di realizzazione;
- la costruzione può essere stata soggetta ad azioni, anche eccezionali, i cui effetti non siano completamente manifesti;
- le strutture possono presentare degrado e/o modificazioni significative rispetto alla situazione originaria.

➤ Per le costruzioni esistenti è riscontrabile una particolare complessità delle problematiche coinvolte ed una difficile standardizzazione dei metodi di verifica e di progetto e dell'uso delle numerose tecnologie di intervento.

➤ Per questo, nel capitolo 8 delle NTC 2008, è stato seguito un approccio prestazionale, con l'adozione di poche regole di carattere generale ed alcune indicazioni importanti per la correttezza delle diverse fasi di analisi, progettazione, esecuzione.

# Procedure per la valutazione della sicurezza previste dal D.M. 14/01/2008

- Analisi storico-critica:
  - processo di realizzazione,
  - eventuali modifiche subite nel tempo;
- Rilievo:
  - geometria globale,
  - geometria dei singoli elementi costruttivi,
  - eventuali rapporti con strutture in aderenza,
  - individuazione organismo resistente,
  - qualità e stato di conservazione dei materiali e degli elementi costitutivi,
  - eventuali dissesti,
  - quadro fessurativo;
- Caratterizzazione meccanica dei materiali:
  - documentazione disponibile,
  - prove ed indagini sperimentali.

# Procedure per la valutazione della sicurezza previste dal D.M. 14/01/2008

- Livelli di conoscenza, **LC**, e fattori di confidenza, **FC**:

In funzione del livello di approfondimento delle informazioni acquisite nelle fasi precedenti vengono individuati i **LC** e conseguentemente i correlati **FC** (da impiegare come ulteriori coefficienti parziali di sicurezza).

- Azioni:

Avendo a che fare con costruzioni esistenti i carichi permanenti portati risultano meno affetti da incertezze rispetto al caso delle nuove costruzioni, pertanto è consentito l'impiego di coefficienti parziali ridotti.

# Valutazione e progettazione in presenza di azioni sismiche: *edifici in muratura* (par. 8.7.1)

- Negli edifici esistenti in muratura soggetti ad azioni sismiche possono manifestarsi **MECCANISMI LOCALI** e **MECCANISMI D'INSIEME**.
- I **MECCANISMI LOCALI** interessano singoli pannelli murari o porzioni di edificio e sono favoriti dall'assenza o scarsa efficacia dei collegamenti negli incroci murari e tra pareti e orizzontamenti.
- I **MECCANISMI D'INSIEME** interessano l'intera costruzione e impegnano i pannelli murari prevalentemente nel loro piano.
- LA SICUREZZA DELLA COSTRUZIONE DEVE ESSERE VALUTATA NEI CONFRONTI DI ENTRAMBI I TIPI MECCANISMO.
- (C8.7.1.1) “Quando la costruzione non manifesta un chiaro comportamento d'insieme, ma piuttosto tende a reagire al sisma come un insieme di sottosistemi (meccanismi locali), la verifica su un modello globale non ha rispondenza rispetto al suo effettivo comportamento sismico. Particolarmente frequente è il caso delle grandi chiese o di edifici estesi e di geometria complessa non dotati di solai rigidi e resistenti nel piano, né di efficaci e diffusi sistemi di catene o tiranti. In tali casi la verifica globale può essere effettuata attraverso un insieme esaustivo di verifiche locali, purché la totalità delle forze sismiche sia coerentemente ripartita sui meccanismi locali considerati e si tenga correttamente conto delle forze scambiate tra i sottosistemi strutturali considerati.”

IL PROCESSO DI VALUTAZIONE DEGLI EDIFICI ESISTENTI PUÒ ESSERE ARTICOLATO NELLE SEGUENTI FASI:

1. **CONOSCENZA DELLA STRUTTURA** (analisi storico-critica, rilievo, caratterizzazione meccanica dei materiali);
2. **DEFINIZIONE DELLE PRESTAZIONI RICHIESTE**, ovvero definizione delle azioni a cui la struttura è sottoposta;
3. **MODELLAZIONE**;
4. **ANALISI DELLA STRUTTURA E VERIFICHE**;
5. **PROGETTO DELL'INTERVENTO** in funzione dei vincoli esistenti e delle prestazioni richieste;
6. **VALUTAZIONE DELL'INTERVENTO**.

# Valutazione della sicurezza

## VERIFICHE AGLI SL PER EDIFICI ESISTENTI **SLO, SLD, SLV, SLC**

### Stati limite ultimi in condizioni sismiche:

SLO, stato limite di prevenzione del collasso - si considera solo per costruzioni di calcestruzzo armato o di acciaio, questa verifica può essere condotta in alternativa a quella allo SLV

SLV, stato limite di salvaguardia della vita

### Stati limite di esercizio in condizioni sismiche:

SLO, stato limite di immediata operatività (per classi d'uso III e IV spostamenti d'interpiano corrispondenti a questo SL inferiori ai 2/3 dei limiti indicati dallo SLD e verifiche degli impianti per gli spostamenti strutturali o per le accelerazioni prodotti dallo SLO non siano tali da produrre interruzioni d'uso)

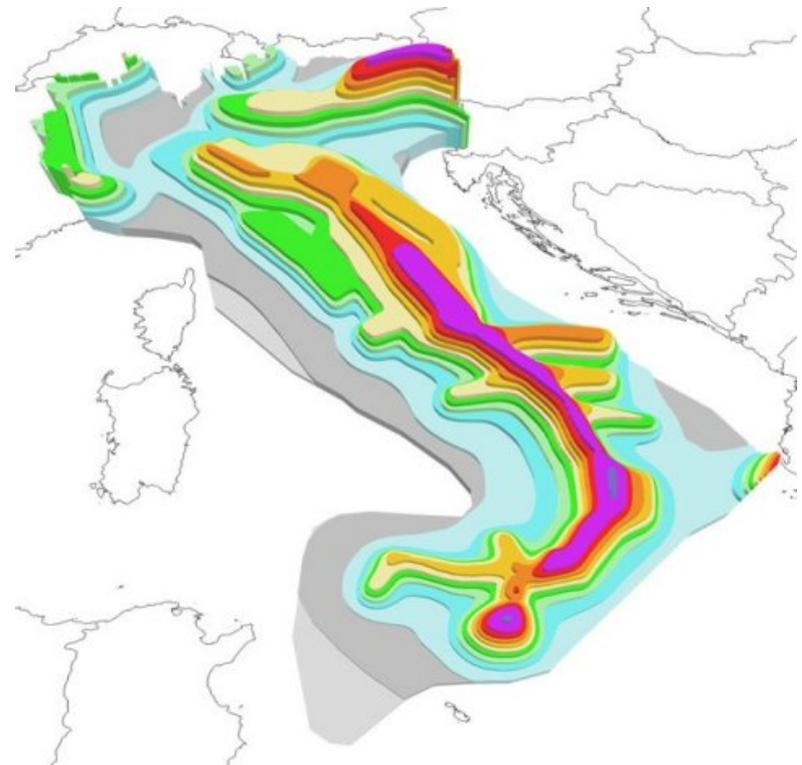
SLD, stato limite corrispondente ad inagibilità temporanee (per classi d'uso III e IV oltre alle verifiche degli spostamenti d'interpiano, si devono fare anche verifiche di resistenza per le azioni corrispondenti alle SLD con  $\eta=2/3$  cioè  $q=1,5$ )

## Definizione delle prestazioni richieste: azione sismica

In Italia la “**pericolosità sismica di base**” è stata determinata su tutto il territorio nazionale dall’INGV (PROGETTO INGV-DPC S1) attraverso un reticolo di riferimento con maglia di passo minore di 10km per periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

Il calcolo è stato svolto utilizzando il metodo probabilistico di Cornell (1968) con approccio ad “albero logico” a 16 rami assumendo:

- distribuzione di Poisson per descrivere il processo di accadimento temporale dei terremoti;
- catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI04;
- zonazione sismogenetica ZS9 con sorgenti sismiche a tasso di sismicità uniforme;
- relazione di attenuazione Sabetta e Pugliese (1996), Ambraseys et altri (1996) e due leggi regionali.



## Definizione delle prestazioni richieste: azione sismica

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO)**
- **Stato Limite di Danno (SLD)**

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)**
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)**

Stati Limite		$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

## Definizione delle prestazioni richieste: azione sismica

VITA NOMINALE,  $V_N$ ,

CLASSE D'USO,  $C_U$ ,

Dalle quali deriva il PERIODO DI RIFERIMENTO:

$$V_R = V_N \cdot C_U \quad (V_R \geq 35 \text{ anni})$$

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

presenza  
occasionale  
di persone

edifici ordinari

affollamenti  
significativi

funzioni pubbliche  
o strategiche  
importanti

Tabella C2.4.I. - Intervalli di valori attribuiti a  $V_R$  al variare di  $V_N$  e  $C_U$

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

# Valutazione della sicurezza

## AZIONE SISMICA C3.2

### Strategia progettuale di norma:

Per ciascun SL è fissata la strategia di progetto che impone, al variare del periodo di riferimento  $V_R$ , la costanza della probabilità di superamento  $P_{VR}$ , questo significa che al variare di  $C_U$ ,  $V_N$  e  $T_R$  variano con la stessa legge:

$$T_R = -C_U \cdot V_N / \ln(1 - P_{VR}) = -C_U \cdot V_N / \text{costante}$$

### Strategia di progetto alternativa (EN-1998-1 § 2.1, punto 4)

Al riguardo le NTC, alla fine del 3.2.1, recitano “*Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{VR}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.*”

Per le costruzioni nuove si può intervenire solo sullo sugli SLE (SLO, SLD) aumentando la sicurezza e riducendo quindi i valori di  $P_{VR}$

# Valutazione della sicurezza

## Strategia di progetto alternativa (EN-1998-1 § 2.1, punto 4)

Per le costruzioni esistenti si può intervenire anche sugli SLU (SLV, SLC) riducendo la sicurezza e aumentando quindi i valori di  $P_{VR}$

In generale

(ad esclusione degli edifici per cui l'OPCM 3274, art. 2 comma 3 impone la verifica: "E' fatto obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari, ai sensi delle norme di cui ai suddetti allegati, sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso. Le verifiche di cui al presente comma dovranno essere effettuate entro cinque anni dalla data della presente ordinanza e riguardare in via prioritaria edifici ed opere ubicate nelle zone sismiche 1 e 2, secondo quanto definito nell'allegato 1.")

dalle verifiche è normalmente esclusa a situazione determinata da una variazione delle azioni che interviene a seguito di una revisione della normativa, per la parte che definisce l'entità delle azioni, o delle zonazioni che differenziano le azioni ambientali (sisma, neve, vento) nelle diverse parti del territorio italiano.

# Valutazione della sicurezza

## Strategia di progetto alternativa (EN-1998-1 § 2.1, punto 4)

Per le costruzioni esistenti si può intervenire anche sugli SLU (SLV, SLC) riducendo la sicurezza ed aumentando quindi i valori di  $P_{VR}$

.....

Gli esiti delle verifiche dovranno permettere di stabilire quali provvedimenti adottare affinché l'uso della struttura possa essere conforme ai criteri di sicurezza delle NTC.

Le alternative sono sintetizzabili nella continuazione dell'uso attuale, nella modifica della destinazione d'uso o nell'adozione di opportune cautele e, infine, nella necessità di effettuare un intervento di aumento o ripristino della capacità portante, che può ricadere nella fattispecie del miglioramento o dell'adeguamento.

È evidente che i provvedimenti detti sono necessari e improcrastinabili nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative alle azioni controllate dall'uomo, ossia prevalentemente ai carichi permanenti e alle altre azioni di servizio; più complessa è la situazione che si determina nel momento in cui si manifesti l'inadeguatezza di un'opera rispetto alle azioni ambientali, non controllabili dall'uomo e soggette ad ampia variabilità nel tempo ed incertezza nella loro determinazione.

## Valutazione della sicurezza

### Strategia di progetto alternativa (EN-1998-1 § 2.1, punto 4)

Per le costruzioni esistenti si può intervenire anche sugli SLU (SLV, SLC) riducendo la sicurezza e aumentando quindi i valori di  $P_{VR}$

.....

Per le problematiche connesse, non si può pensare di imporre l'obbligatorietà dell'intervento o del cambiamento di destinazione d'uso o, addirittura, la messa fuori servizio dell'opera, non appena se ne riscontri l'inadeguatezza. Le decisioni da adottare dovranno necessariamente essere calibrate sulle singole situazioni (in relazione alla gravità dell'inadeguatezza, alle conseguenze, alle disponibilità economiche e alle implicazioni in termini di pubblica incolumità). Saranno i proprietari o i gestori delle singole opere, siano essi enti pubblici o privati o singoli cittadini, a definire il provvedimento più idoneo, eventualmente *individuando uno o più livelli delle azioni, commisurati alla vita nominale restante ed alla classe d'uso*, rispetto ai quali si rende necessario effettuare l'intervento di incremento della sicurezza entro un tempo prestabilito.

CONOSCENZA DELLA  
STRUTTURA:  
*edifici in muratura*

## Conoscenza della struttura: edifici in muratura

### Normativa di riferimento: MATERIALI e PROGETTAZIONE

- R.D. 16/11/1939 n° 2233 - “Norme per l’accettazione dei materiali laterizi”;
- D.M. 02/07/1981 - “Normativa per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia”,
- Circolare Min. LL.PP. 30/07/1981 - Istruzioni per l’applicazione della “Normativa tecnica per le riparazioni ed il rafforzamento degli edifici danneggiati dal sisma nelle regioni Basilicata, Campania e Puglia”,
- Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia - Legge Regionale n. 30 del 20.6.1977: “Documentazione tecnica per la progettazione e direzione delle opere di riparazione degli edifici - Documento Tecnico n. 2 - Raccomandazioni per la riparazione strutturale degli edifici in muratura”;
- Regione Umbria, Art.38 L.R. 1.7.1981, n.34 - “Direttive tecniche ed esemplificazioni delle metodologie di intervento per la riparazione ed il consolidamento degli edifici danneggiati da eventi sismici;
- D.M. 20/11/1987 – “Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”;
- Circolare Min. LL.PP. 04/01/1989 n°30787 – “Istruzioni in merito alle norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento”.

## Conoscenza della struttura: edifici in muratura

C8A.1.A - Costruzioni in muratura: dati necessari e identificazione del livello di conoscenza

C8A.1.A.1 – Costruzioni in muratura: geometria

- tutti gli **ELEMENTI IN MURATURA** (tipologia e spessore della sezione), incluse eventuali nicchie, cavità, canne fumarie, il rilievo delle volte (spessore e profilo);
- **SOLAI** e **COPERTURA** (tipologia e orditura);
- **SCALE** (tipologia strutturale);
- la individuazione dei carichi gravanti su ogni elemento di parete;
- tipologia delle **FONDAZIONI**;
- La rappresentazione dei risultati del rilievo viene effettuata attraverso piante, alzati e sezioni.
- QUADRO FESSURATIVO (classificando possibilmente ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato (distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano, etc.)) E DEFORMARTIVO (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.).

## Conoscenza della struttura: edifici in muratura

### C8A.1.A.2 – Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi

I dettagli costruttivi da esaminare sono relativi ai seguenti elementi:

- a) qualità del collegamento tra pareti verticali;
- b) qualità del collegamento tra orizzontamenti e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o di altri dispositivi di collegamento;
- c) esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture;
- d) presenza di elementi strutturalmente efficienti atti ad eliminare le spinte eventualmente presenti;
- e) presenza di elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità;
- f) tipologia della muratura (a un paramento, a due o più paramenti, con o senza riempimento a sacco, con o senza collegamenti trasversali, etc.), e sue caratteristiche costruttive (eseguita in mattoni o in pietra, regolare, irregolare, etc.).

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.2 – Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi

### **INDAGINI IN-SITU LIMITATE: RILIEVI DI TIPO VISIVO**

- RIMOZIONE DELL'INTONACO E SAGGI NELLA MURATURA
- ESAMINARE CARATTERISTICHE MURATURA SUPERFICIALI E NELLO SPESSORE
- ESAMINARE CARATTERISTICHE DI AMMORSAMENTO TRA MURI ORTOGANALI E DEI SOLAI NELLE PARETI

“IN ASSENZA DI UN RILIEVO DIRETTO, O DI DATI SUFFICIENTEMENTE ATTENDIBILI, È OPPORTUNO ASSUMERE, NELLE SUCCESSIVE FASI DI MODELLAZIONE, ANALISI E VERIFICHE, LE IPOTESI PIÙ CAUTELATIVE.”

### **INDAGINI IN-SITU ESTESE ED ESAUSTIVE: RILIEVI DI TIPO VISIVO**

“L'ESAME DEGLI ELEMENTI DI CUI AI PUNTI DA a) AD f) È OPPORTUNO SIA ESTESO IN MODO SISTEMATICO ALL'INTERO EDIFICIO.”

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.3 – Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali

- Particolare attenzione è riservata alla VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ MURARIA, con riferimento agli aspetti legati al rispetto o meno della “regola dell’arte”.
- La corretta valutazione delle caratteristiche meccaniche della muratura risulta utile per stabilire o meno se la muratura è in grado di mantenere un comportamento strutturale idoneo nei confronti delle azioni di progetto (sia statiche che dinamiche).
- **PARTICOLARE ATTENZIONE:**
  - COLLEGAMENTO TRASVERSALI (es. diatoni),
  - FORMA, TIPOLOGIA e DIMENSIONE DEGLI ELEMENTI,
  - TESSITURA,
  - L’ORIZZONTALITÀ DELLE GIACITURE,
  - REGOLARE SFALSAMENTO DEI GIUNTI,
  - QUALITÀ e CONSISTENZA della MALTA.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## *C8A.1.A.3 – Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali*

### **CARATTERIZZAZIONE DI MALTE:**

- TIPO DI LEGANTE,
- TIPO DI AGGREGATO,
- RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO,
- LIVELLO DI CARBONATAZIONE.

IL PRELIEVO DELLE MALTE DEVE ESSERE EFFETTUATO ALL'INTERNO (AD ALMENO 5-6 cm DI PROFONDITÀ NELLO SPESSORE MURARIO).

### **CARATTERIZZAZIONE DI PIETRE E/O MATTONI:**

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE MEDIANTE PROVE SPERIMENTALI.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.3 – Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali

### INDAGINI IN-SITU LIMITATE:

- BASATE SU ESAMI VISIVI DELLA SUPERFICIE MURARIA
- RIMOZIONE DI UNA ZONA DI INTONACO DI ALMENO 1m X 1m
- INDIVIDUARE **FORMA** E **DIMENSIONE** DEI BLOCCHI
- SAGGI DA ESEGUIRE PREFERIBILMENTE IN CORRISPONDENZA DEGLI ANGOLI E DELLE INTERSEZIONI MURARIE AL FINE DI VERIFICARE L'**AMMORSAMENTO**

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.3 – Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali

### INDAGINI IN-SITU ESTESE:

- INDAGINI DESCRITTE AL PUNTO PRECEDENTE ESEGUITE IN MODO ESTESO E SISTEMATICO PER OGNI TIPO DI MURATURA
- PROVE CON MARTINETTO PIATTO
- CARATTERIZZAZIONE DELLA MALTA
  - TIPO DI LEGANTE
  - TIPO DI AGGREGATO
  - RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO
- EVENTUALMENTE CARATTERIZZAZIONE (FISICA E MECCANICA) DI PIETRE E O MATTONI
- È OPPORTUNA UNA PROVA PER OGNI TIPO DI MURATURA PRESENTE
- SE ESISTE UNA COMPROVATA CORRISPONDENZA TIPOLOGICA POSSONO ESSERE IMPIEGATE PROVE ESEGUITE SU ALTRE COSTRUZIONI PRESENTI NELLA ZONA
- LE REGIONI POTRANNO, TENENDO CONTO DELLE SPECIFICITÀ COSTRUTTIVE DEL PROPRIO TERRITORIO, DEFINIRE ZONE OMOGENEE A CUI RIFERIRSI A TAL FINE.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.3 – Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali

### INDAGINI IN-SITU ESAUSTIVE:

- INDAGINI DESCRITTE AI PUNTI PRECEDENTI
- INFORMAZIONI QUANTITATIVE SULLA RESISTENZA DEI MATERIALI MEDIANTE PROVE IN SITU O IN LABORATORIO (SU ELEMENTI NON DISTURBATI PRELEVATI DALLE STRUTTURE DELL'EDIFICIO)
- SONO PREVISTE:
  - PROVE DI COMPRESSIONE DIAGONALE SU PANNELLI
  - PROVE COMBinate DI COMPRESSIONE VERTICALE E TAGLIO
- METODI NON DISTRUTTIVI POSSONO SOSTITUIRE (NON COMPLETAMENTE) LE PROVE SOPRA RIPORTATE
- SE ESISTE UNA COMPROVATA CORRISPONDENZA TIPOLOGICA POSSONO ESSERE IMPIEGATE PROVE ESEGUITE SU ALTRE COSTRUZIONI PRESENTI NELLA ZONA
- LE POTRANNO, TENENDO CONTO DELLE SPECIFICITÀ COSTRUTTIVE DEL PROPRIO TERRITORIO, DEFINIRE ZONE OMOGENEE A CUI RIFERIRSI A TAL FINE.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## *C8A.1.A.3 – Costruzioni in muratura: proprietà dei materiali*

I RISULTATI DELLE PROVE SONO ESAMINATI TENENDO CONTO ANCHE DELLE PROVE SPERIMENTALI DISPONIBILI IN LETTERATURA (ED EVENTUALMENTE DI ALTRE PROVE ESEGUITE ANCHE PRECEDENTEMENTE SULLA STESSA TIPOLOGIA MURARIA) PER LE TIPOLOGIE MURARIE IN OGGETTO.

I RISULTATI DELLE PROVE SONO UTILIZZATI IN COMBINAZIONE CON QUANTO RIPORTATO NELLA TABELLA C8A.2.1, SECONDO QUANTO RIPORTATO AL § C8A.1.A.4.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.4 – Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

Con riferimento al livello di conoscenza acquisito, si possono definire i valori medi dei parametri meccanici ed i fattori di confidenza secondo quanto segue:

- il livello di conoscenza **LC3** si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi, indagini in situ esaustive sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1**;
- il livello di conoscenza **LC2** si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1.2**;
- il livello di conoscenza **LC1** si intende raggiunto quando siano stati effettuati il rilievo geometrico, verifiche in situ limitate sui dettagli costruttivi ed indagini in situ limitate sulle proprietà dei materiali; il corrispondente fattore di confidenza è **FC=1.35**.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.4 – Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

Per i diversi livelli di conoscenza, per ogni tipologia muraria, i valori medi dei parametri meccanici possono essere definiti come segue:

### ➤ LC1

- **Resistenze:** i minimi degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione
- **Moduli elastici:** i valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta

### ➤ LC2

- **Resistenze:** medie degli intervalli riportati in Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione
- **Moduli elastici:** valori medi degli intervalli riportati nella tabella suddetta

### ➤ LC3 – caso a)

### ➤ LC3 – caso b)

### ➤ LC3 – caso c)

## Conoscenza della struttura: edifici in muratura

### C8A.1.A.4 – Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

- **LC3 – caso a)**, nel caso siano disponibili tre o più valori sperimentali di resistenza
  - **Resistenze:** media dei risultati delle prove
  - **Moduli elastici:** media delle prove o valori medi degli intervalli riportati nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione
- **LC3 – caso b)**, nel caso siano disponibili due valori sperimentali di resistenza
  - **Resistenze:** se il valore medio delle resistenze è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione si assumerà il valore medio dell'intervallo, se è maggiore dell'estremo superiore dell'intervallo si assume quest'ultimo come resistenza, se è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore medio sperimentale
  - **Moduli elastici:** vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).
- **LC3 – caso c)**, nel caso sia disponibile un valore sperimentale di resistenza
  - **Resistenze:** se il valore di resistenza è compreso nell'intervallo riportato nella Tabella C8A.2.1 per la tipologia muraria in considerazione, oppure superiore, si assume il valore medio dell'intervallo, se il valore di resistenza è inferiore al minimo dell'intervallo, si utilizza come valore medio il valore sperimentale
  - **Moduli elastici:** vale quanto indicato per il caso LC3 – caso a).

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.1.A.4 – Costruzioni in muratura: livelli di conoscenza

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazione carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazione tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo	verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1	Tutti	1.35
LC2		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.20
LC3		verifiche in situ estese ed esaustive	Indagini in situ esaustive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 – caso a).		1.00

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

Tipologia di muratura	$f_m$	$\tau_0$	E	G	w
	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/cm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Tabella C8A.2.1:

*I valori sono riferiti alle seguenti condizioni:*

- malta di caratteristiche scarse,
- assenza di ricorsi o listature,
- paramenti accostati o mal collegati,
- muratura non consolidata,
- tessitura a regola d'arte (per elementi regolari).

Tabella C8A.2.1:

- $f_m$  = resistenza media a compressione,
- $\tau_0$  = resistenza media a taglio,
- E = valore medio del modulo di elasticità normale,
- G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale,
- w = peso specifico medio.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

### OSSERVAZIONI:

1. *E e G sono relativi a condizioni non fessurate.*
2. *La tipologia di muratura presenta a livello nazionale notevoli varietà, sia per materiale impiegato che per tecnica costruttiva.*
3. *MURATURE STORICHE: i valori sono relativi a murature con malte scadenti, giunti non particolarmente sottili, assenza di ricorsi o listature, assenza di orizzontalità dei letti di malta, paramenti non collegati.*
4. *MURATURE REGOLARI: i valori sono riferiti a casi in cui la tessitura rispetti la regola dell'arte.*

I valori riportati nella Tabella C8a.2.1 devono essere modificati a seconda dei casi.

I valori indicati per le *MURATURE REGOLARI* devono essere adeguatamente ridotti qualora si presenti una tessitura scorretta:

- giunti verticali non adeguatamente sfalsati,
- orizzontalità dei filari non rispettata.

“Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori di Tabella C8A.2.1, applicando coefficienti migliorativi fino ai valori indicati nella Tabella C8A.2.2.”

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

*Tabella C8A.2.2: Coefficienti correttivi dei parametri meccanici (indicati in Tabella C8A.2.1) da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone o ottime; giunti sottili; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; nucleo interno particolarmente scadente e/o ampio; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato.*

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 squadrati	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).

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

“Nel caso in cui la muratura presenti caratteristiche migliori rispetto ai suddetti elementi di valutazione, le caratteristiche meccaniche saranno ottenute, a partire dai valori di Tabella C8A.2.1, applicando coefficienti migliorativi fino ai valori indicati nella Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:

- malta di buone caratteristiche: si applica il coefficiente indicato in Tabella C8A.2.2, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $t_0$ ), sia ai moduli elastici ( $E$  e  $G$ );
- giunti sottili (< 10 mm): si applica il coefficiente, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $t_0$ ), sia ai moduli elastici ( $E$  e  $G$ ); nel caso della resistenza a taglio l'incremento percentuale da considerarsi è metà rispetto a quanto considerato per la resistenza a compressione; nel caso di murature in pietra naturale è opportuno verificare che la lavorazione sia curata sull'intero spessore del paramento.
- presenza di ricorsi (o listature): si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza ( $f_m$  e  $t_0$ ); tale coefficiente ha significato solo per alcune tipologie murarie, in quanto nelle altre non si riscontra tale tecnica costruttiva;
- presenza di elementi di collegamento trasversale tra i paramenti: si applica il coefficiente indicato in tabella ai soli parametri di resistenza ( $f_m$  e  $t_0$ ); tale coefficiente ha significato solo per le murature storiche, in quanto quelle più recenti sono realizzate con una specifica e ben definita tecnica costruttiva ed i valori in Tabella C8A.2.1 rappresentano già la possibile varietà di comportamento.”

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

*“In presenza di murature consolidate, o nel caso in cui si debba valutare la sicurezza dell’edificio rinforzato, è possibile valutare le caratteristiche meccaniche per alcune tecniche di intervento, attraverso i coefficienti indicati in Tabella C8A.2.2, secondo le seguenti modalità:*

### *-consolidamento con iniezioni di miscele leganti:*

- si applica il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $t_0$ ), sia ai moduli elastici (E e G);*
- nel caso in cui la muratura originale fosse stata classificata con malta di buone caratteristiche, il suddetto coefficiente va applicato al valore di riferimento per malta di scadenti caratteristiche, in quanto il risultato ottenibile attraverso questa tecnica di consolidamento è, in prima approssimazione, indipendente dalla qualità originaria della malta (in altre parole, nel caso di muratura con malta di buone caratteristiche, l’incremento di resistenza e rigidezza ottenibile è percentualmente inferiore).*

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

### -consolidamento con intonaco armato:

- *per definire parametri meccanici equivalenti è possibile applicare il coefficiente indicato in tabella, diversificato per le varie tipologie, sia ai parametri di resistenza ( $f_m$  e  $t_0$ ), sia ai moduli elastici ( $E$  e  $G$ );*
- *per i parametri di partenza della muratura non consolidata non si applica il coefficiente relativo alla connessione trasversale, in quanto l'intonaco armato, se correttamente eseguito collegando con barre trasversali uncinato i nodi delle reti di armatura sulle due facce, realizza, tra le altre, anche questa funzione. Nei casi in cui le connessioni trasversali non soddisfino tale condizione, il coefficiente moltiplicativo dell'intonaco armato deve essere diviso per il coefficiente relativo alla connessione trasversale riportato in tabella.*

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## *C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature*

- consolidamento con diatoni artificiali: in questo caso si applica il coefficiente indicato per le murature dotate di una buona connessione trasversale.

*I valori sopra indicati per le murature consolidate possono essere considerati come riferimento nel caso in cui non sia comprovata, con opportune indagini sperimentali, la reale efficacia dell'intervento e siano quindi misurati, con un adeguato numero di prove, i valori da adottarsi nel calcolo.*

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

*Come trattare i parametri meccanici determinati?*

**INTERVENTO DI ADEGUAMENTO O DI MIGLIORAMENTO:**

- i parametri di resistenza,  $f_m$  e  $\tau_0$ , devono essere divisi per FC
- i moduli elastici  $E$  e  $G$  non devono essere divisi per FC

**RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE: (INDICAZIONE CTS G.C. )**

- i parametri di resistenza,  $f_m$  e  $\tau_0$ , non devono essere divisi per FC
- i moduli elastici  $E$  e  $G$  non devono essere divisi per FC

**INOLTRE:**

### **C8.7.1.5 Modelli di capacità per la valutazione di edifici in muratura**

#### Pareti murarie

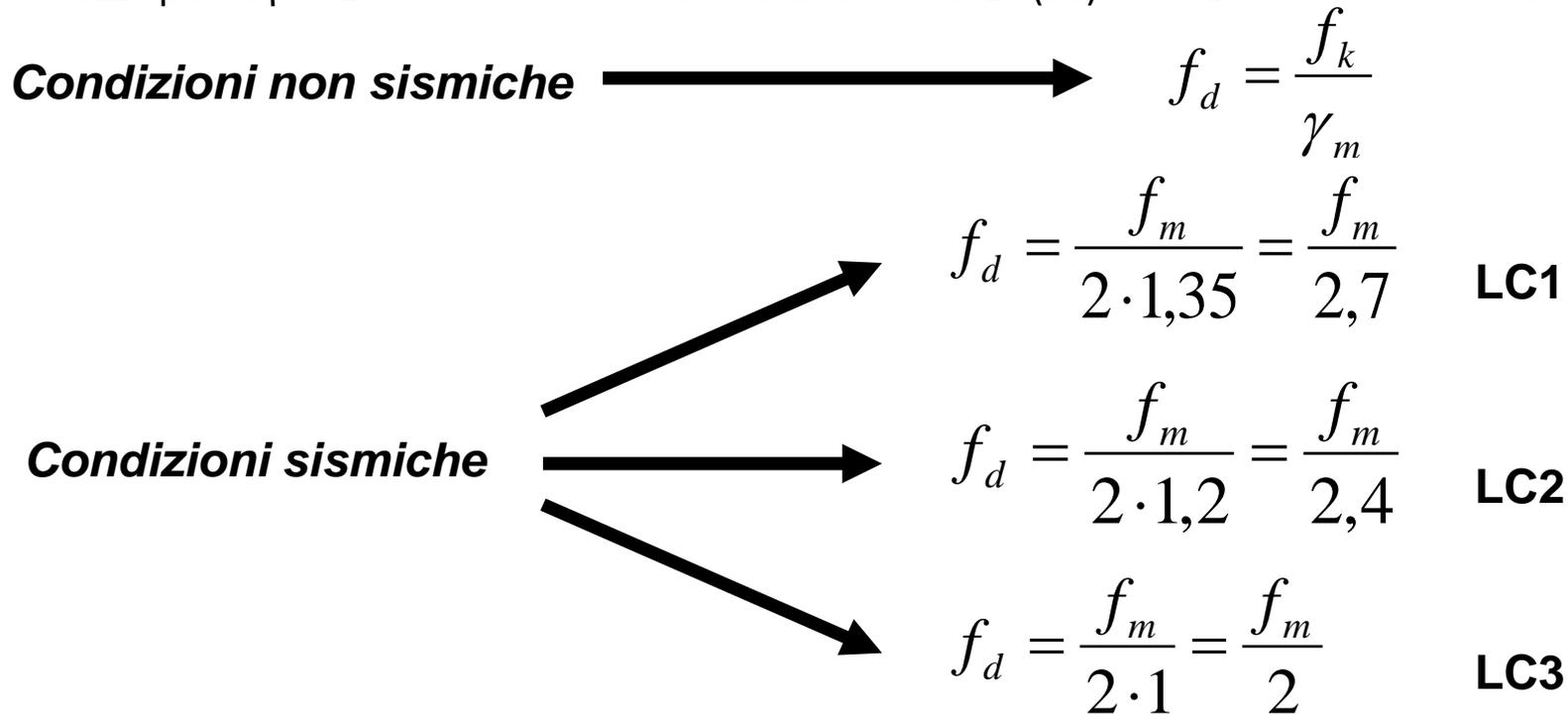
Nel caso di analisi elastica con il fattore  $q$  (analisi lineare statica ed analisi dinamica modale con coefficiente di struttura), i valori di calcolo delle resistenze sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza e per il coefficiente parziale di sicurezza dei materiali. Nel caso di analisi non lineare, i valori di calcolo delle resistenze da utilizzare sono ottenuti dividendo i valori medi per i rispettivi fattori di confidenza.

# Conoscenza della struttura: edifici in muratura

## C8A.2 – Tipologie e relativi parametri meccanici delle murature

### EDIFICI ESISTENTI - DETERMINAZIONE DELLE RESISTENZE DI CALCOLO

Per la verifica nei confronti dei carichi verticali e del vento si adotta ancora un coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_m = 3$ , mentre per la verifica in condizioni sismiche l'NTC prescrive un coefficiente parziale di sicurezza pari a  $\gamma_m = 2$  ed introduce un Fattore di Confidenza (FC) in funzione del livello di conoscenza.



# Analisi:

Gli effetti dell'azione sismica, da combinare con gli altri carichi permanenti e variabili possono essere valutati con uno dei seguenti metodi:

- 1) ANALISI STATICA LINEARE
- 2) ANALISI DINAMICA MODALE
- 3) ANALISI STATICA NON LINEARE
- 4) ANALISI DINAMICA NON LINEARE

La scelta del metodo di analisi da adottare è legata al **LC** conseguito ed alla **regolarità** strutturale.

## IN PARTICOLARE:

- A. ANALISI LINEARI con spettro elastico:
  - Analisi statica lineare
  - Analisi dinamica modale
- B. ANALISI LINEARI con fattore q (spettro di progetto):
  - Analisi statica lineare
  - Analisi dinamica modale

- C. ANALISI NON LINEARI:
  - Analisi statica non lineare
  - Analisi dinamica non lineare

## Verifiche: edifici in muratura

### C.8.7.1.7 EDIFICI SEMPLICI

È consentito applicare le norme semplificate di cui al § 7.8.1.9 delle NTC, utilizzando al posto della resistenza caratteristica a compressione  $f_k$  il valore medio  $f_m$ , diviso per il fattore di confidenza.

Oltre alle condizioni ivi prescritte, dopo l'eventuale intervento di adeguamento, è necessario che

risulti verificato quanto segue:

- a) le pareti ortogonali siano tra loro ben collegate;
- b) i solai siano ben collegati alle pareti;
- c) tutte le aperture abbiano architravi dotate di resistenza flessionale;
- d) tutti gli elementi spingenti eventualmente presenti siano dotati di accorgimenti atti ad eliminare o equilibrare le spinte orizzontali;
- e) tutti gli elementi, anche non strutturali, ad elevata vulnerabilità siano stati eliminati;
- f) le murature non siano a sacco o a doppio paramento, ed in generale di cattiva qualità e scarsa resistenza (es. muratura in “foratoni”, o con spessori chiaramente insufficienti).

## Verifiche: edifici in muratura

### **Verifiche allo SLD** (*Stato Limite di Esercizio*)

Nel caso in cui sia richiesta la verifica per lo **Stato limite di esercizio**, i valori limite di spostamento di interpiano consigliati per la verifica allo Stato limite di danno sono quelli forniti al § 7.3.7.2 delle NTC, riportati di seguito:

- per costruzioni con struttura portante in muratura ordinaria **0,003 h**;
- per costruzioni con struttura portante in muratura armata **0,004 h**.

I valori limite di spostamento di interpiano consigliati per la verifica Stato limite di operatività sono i 2/3 di quelli per lo Stato limite di danno.

CONSIDERAZIONI SUI VALORI DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE  
DELLE MURATURE

-----

CONFRONTI TRA VALORI DI NORMATIVA  
E

RISULTATI SPERIMENTALI SU MURATURE TOSCANE E DI LETTERATURA

# CONFRONTO NTC 2008 – CM n. 21745 30 Luglio 1981

Tipologia di muratura	$f_m$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$f_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\sigma_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\tau_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )
muratura in pietrame disordinata	100	83	50 200*	2.0	1.7	2.0 7.0*
	140	117		2.6	2.2	
	180	150		3.2	2.7	

Tipologia di muratura	$f_m$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$f_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\sigma_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\tau_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )
muratura in pietrame disordinata ricorsi o listature	130	108	65 260*	2.6	2.2	2.6 9.1*
	182	152		3.4	2.8	
	234	195		4.2	3.5	

## COEFFICIENTE CORRETTIVO IN ENTRAMBI I CASI 1.3

\* pietrame grossolanamente squadrate e ben organizzato

Tipologia di muratura	$f_m$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$f_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\sigma_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\tau_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )
muratura in mattoni pieni	240	200	300	6.0	5.0	12.0
	280	233		7.6	6.3	
	320	267		9.2	7.7	

## VALORI SPERIMENTALI IN LETTERATURA MATTONI PIENI

$$f_k \approx 750 \text{ N/cm}^2 \quad \tau_k \approx 40.0 \text{ N/cm}^2$$

Tipologia di muratura	$f_m$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$f_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\sigma_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_k$ NTC 2008 LC2 FC = 1.2	$\tau_k$ CM 1981 (N/cm <sup>2</sup> )
muratura in pietrame a sacco	200	167	150	3.5	2.9	4.0
	250	208		4.3	3.6	
	300	250		5.1	4.3	

- INQUADRAMENTO
- CAMPAGNE SPERIMENTALI GIÀ EFFETTUATE
- CORRELAZIONE CON INDICE DI QUALITÀ MURARIA (IQM)
- CAMPAGNE SPERIMENTALI AGGIUNTIVE

PANNELLI IN BLOCCHI DI LATERIZIO FORATI

PANNELLI IN MURATURA DI PIETRAMME

PANNELLI IN MURATURA DI MATTONI PIENI

## PROBLEMA

Assegnazione della tipologia di muratura nell'ambito delle 11 categorie elencate in Tabella C8A.2.1 . La muratura, infatti, è contraddistinta da una notevole varietà di materiali impiegati (elementi naturali/artificiali – malta) e tecniche costruttive, motivo per cui un inquadramento in tipologie di muratura precostituite e valide sull'intero territorio nazionale è spesso difficile (oltre che non del tutto esatto).

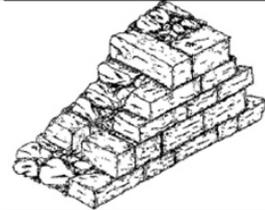
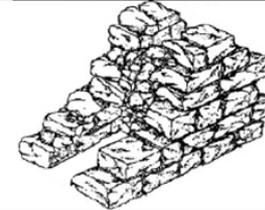
Appare quindi quanto mai conveniente:

- per le tipologie di muratura della Tabella C8A.2.1 determinare dei valori di riferimento delle caratteristiche meccaniche che siano peculiari del territorio regionale;
- rispetto alle tipologie di muratura della Tabella C8A.2.1 identificare delle eventuali sottocategorie per tenere conto di aspetti specifici ricorrenti nel territorio regionale.

## METODOLOGIA

Il lavoro si inserisce in un ambito nel quale la Regione Toscana si muove ormai da tempo, a partire dall'adozione di un abaco delle tipologie di muratura suddiviso in 11 classi, secondo l'impostazione della Scheda di Rilevamento della Vulnerabilità Sismica degli Edifici in Muratura GNDT/CNR di II Livello.

Il primo passo compiuto è stato dunque quello di incrociare le 11 categorie della Tabella C8A.2.1 con le 11 classi dell'abaco delle tipologie di muratura della Regione Toscana.

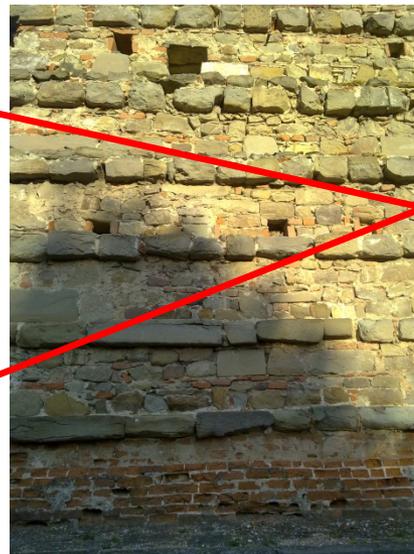
<b>1</b>	Muratura a sacco formata da pietre di pezzature molto varie, male intessuta e priva di collegamento tra i due fogli.	<small>CLASSE D</small>																				
																						
<i>DESCRIZIONE:</i> Sezione muraria con nucleo incoerente priva di elementi di collegamento (diàtoni) tra i due paramenti.	<i>DESCRIZIONE:</i> Sezione muraria con ricorsi in pietra squadrata o mattoni pieni che non attraversano tutto lo spessore murario.																					
																						
<i>DESCRIZIONE:</i> Sezione muraria con nucleo non degradato con scarso numero di collegamenti (diàtoni) tra i due paramenti.	<i>DESCRIZIONE:</i> Sezione muraria con nucleo parzialmente vuoto o fortemente degradato.																					
																						
<i>DESCRIZIONE:</i> Paramento di muratura a sacco in pietrame con elementi di pezzatura disomogenea, parzialmente sbozzati.	<i>DESCRIZIONE:</i> Paramento di muratura a sacco in pietrame non squadrato con apparecchiatura disorganizzata ed irregolare.																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">CASO 1</th> </tr> <tr> <th>Ao</th> <th>Ad</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>D</td> <td>D</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Mb</td> <td>Mc</td> <td>Mb</td> <td>Mc</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>D</td> <td>D</td> <td>D</td> </tr> </tbody> </table>			CASO 1				Ao	Ad			D	D			Mb	Mc	Mb	Mc	D	D	D	D
CASO 1																						
Ao	Ad																					
D	D																					
Mb	Mc	Mb	Mc																			
D	D	D	D																			

# ABACO REGIONALE DELLE MURATURE

C.M. n. 617 del 02/02/2009 Tabella C8A.2.1	Regione Toscana Abaco delle Tipologie di Muratura
<p style="text-align: center;"><b>CATEGORIA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>I</b> muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche ed irregolari)</p> <p><b>SOTTOCATEGORIE</b> </p>	<p style="text-align: center;"><b>C (I)</b> muratura di pietra sbozzata in presenza di irregolarità</p>
	<p style="text-align: center;"><b>D (I-3)</b> muratura di pietra sbozzata con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata</p>
	<p style="text-align: center;"><b>E (I)</b> muratura di pietra arrotondata o ciottoli di fiume di pezzatura varia senza spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata</p>
	<p style="text-align: center;"><b>F (I-3)</b> muratura di pietra arrotondata o ciottoli di fiume di pezzatura varia con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata</p>
<p style="text-align: center;"><b>II</b> muratura a conci sbozzati con paramento di limitato spessore e nucleo interno</p>	<p style="text-align: center;"><b>A (II)</b> muratura a sacco formata da pietre di pezzature molto varie male intessuta e priva di collegamento tra i due paramenti</p>
<p style="text-align: center;"><b>III</b> muratura in pietre a spacco con buona tessitura</p>	<p style="text-align: center;"><b>B (III-4 oppure III-3)</b> muratura a sacco formata da pietre di pezzatura più regolare bene intessuta e con collegamento tra i due paramenti oppure con spigoli, mazzette e/o ricorsi in mattoni pieni e/o pietra squadrata</p>
<p style="text-align: center;"><b>IV</b> muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ga (IV)</b> muratura ad un paramento in blocchetti di tufo o pietra da taglio di dimensioni costanti</p>

Un primo obiettivo è quello di fornire un documento che funzioni da guida per i tecnici nell'assegnazione a vista di una muratura ad una delle tipologie della Tabella C8A.2.1 eventualmente suggerendo quali correzioni operare in base alla Tabella C8A.2.2.

Con il supporto di alcuni Laureandi stiamo catalogando "a tappeto" le murature della Regione Toscana.



Tipologia di muratura
muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)
muratura a conci sbozzati con paramento di limitato spessore e nucleo interno
muratura in pietre a spacco con buona tessitura
muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)
muratura in blocchi lapidei squadrati
muratura in mattoni pieni e malta di calce
muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (doppio UNI foratura $\leq 40\%$ )
muratura in blocchi laterizi semipieni (percentuale foratura $< 45\%$ )
muratura in blocchi laterizi semipieni con giunti verticali a secco (percentuale foratura $< 45\%$ )
muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (percentuale foratura tra $45\%$ e $65\%$ )
muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (percentuale foratura $< 45\%$ )

## METODOLOGIA

Dall'esame della Tabella si deduce che:

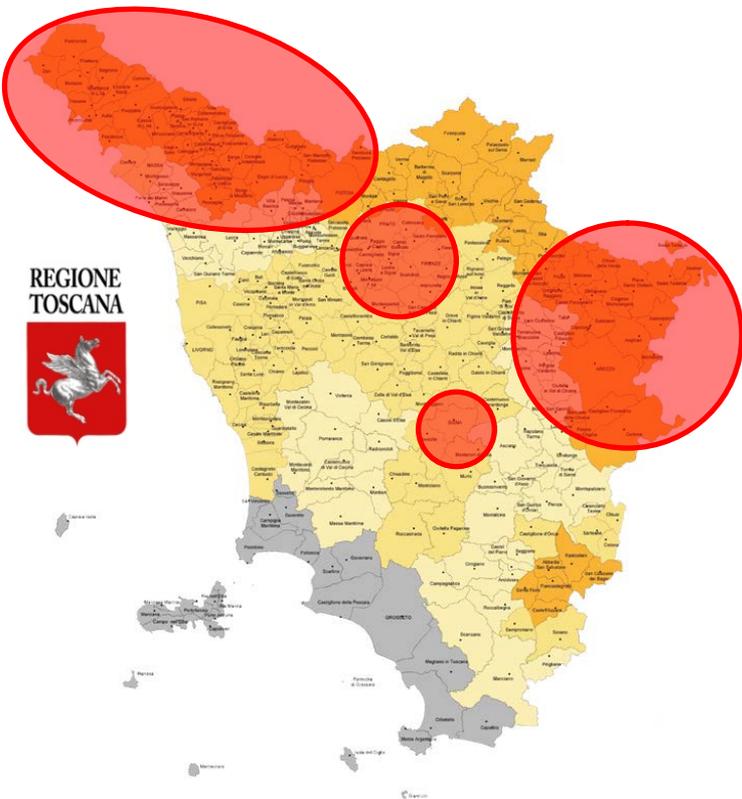
- le 11 categorie della Tabella C8A.2.1, integrate con le ulteriori condizioni della Tabella C8A.2.2 , coprono una varietà più ampia rispetto all'abaco delle tipologie di muratura della Regione Toscana;
- è possibile trovare una corrispondenza tra le 11 classi dell'abaco delle tipologie di muratura della Regione Toscana e le 11 categorie della Tabella C8A.2.1, integrate con le ulteriori condizioni della Tabella C8A.2.2 ;
- la Tabella C8A.2.1 non prende in considerazione la classe M dell'abaco delle tipologie di muratura della Regione Toscana (muratura in blocchi di laterizio con foratura > 45%) .

Il contributo del Gruppo di Ricerca DICeA è inerente alla valutazione delle caratteristiche meccaniche di:

- murature storiche (categoria I , categoria II , categoria V della Tabella C8A.2.1) e murature moderne (categoria VI della Tabella C8A.2.1) comunemente presenti nel territorio toscano;
- la classe M dell'abaco delle tipologie di muratura della Regione Toscana (muratura in blocchi di laterizio con foratura > 45%) , non contemplata nella Tabella C8A.2.1 .

## METODOLOGIA

Riorganizzazione ed elaborazione dei dati derivanti da prove in sito e in laboratorio condotte su murature comunemente presenti nel territorio toscano (campagne sperimentali già condotte dal DICeA a partire dagli anni '80).  
GARFAGNANA – LUNIGIANA – AREZZO – FIRENZE - SIENA

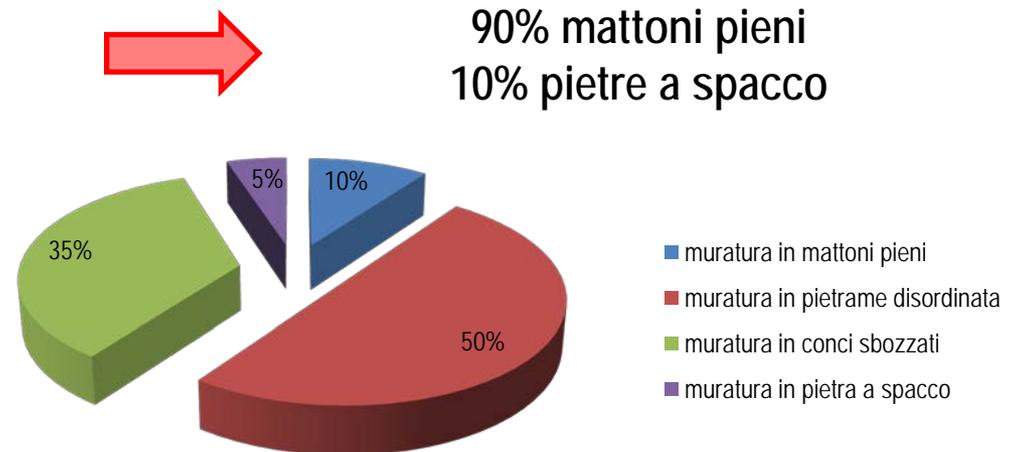


## METODOLOGIA

- ✓ Per ciascun pannello sottoposto a prova, si procede alla schedatura delle informazioni, in modo da avere una descrizione il più completa possibile della tipologia di muratura in termini di prospetto e sezione.
- ✓ Sulla base delle suddette informazioni viene attribuita una tipologia di muratura.
- ✓ Alla tipologia di muratura sono associati i valori delle caratteristiche meccaniche.
- ✓ L'obiettivo è determinare dei valori di riferimento delle caratteristiche meccaniche che siano peculiari del territorio regionale e identificare delle possibili sottocategorie per tenere conto di aspetti specifici ricorrenti nel territorio regionale.

## ABACO REGIONALE DELLE MURATURE

- ✓ 60 pannelli in laboratorio
  - 5 prove compressione semplice
  - 55 prove di compressione diagonale



- ✓ 75 pannelli in sito
  - 25 prove con martinetto piatto doppio
  - 5 prove di compressione semplice
  - 20 prove di taglio-compressione
  - 25 prove di compressione diagonale

50% pietrame disordinato  
35% conci sbozzati  
10% muratura di mattoni pieni  
5% pietra a spacco

## ALCUNI RISULTATI

Tipologia di muratura	$\tau_0$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ sperimentale (N/cm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )		E sperimentale (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )		G sperimentale (N/mm <sup>2</sup> )
muratura in pietrame disordinata	2.0	2.3	690	>	242	230	>	74
	2.6	3.7	870	<	1256	290	>	251
	3.2	7.2	1050	<	2494	350	<	452

Tipologia di muratura	$\tau_0$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ sperimentale (N/cm <sup>2</sup> )
muratura in pietrame disordinata ricorsi o listature	2.6	3.0
	3.4	7.7
	4.2	12.1

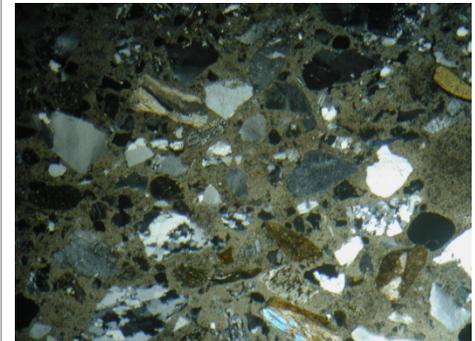
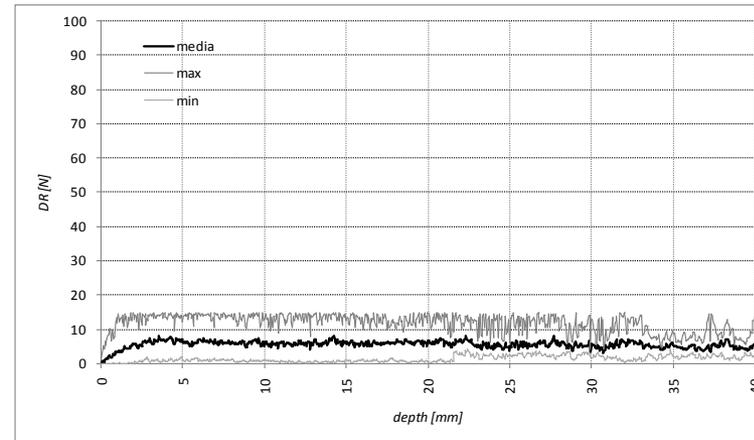
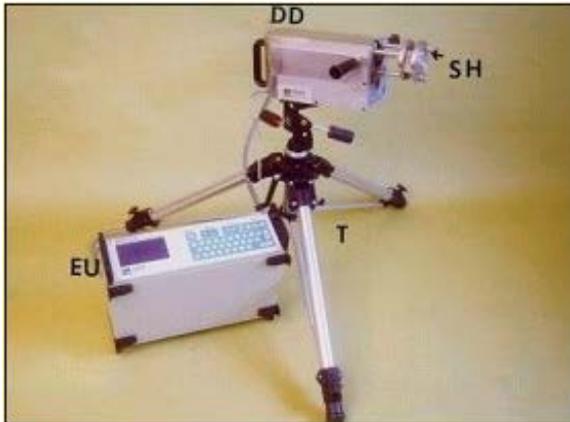
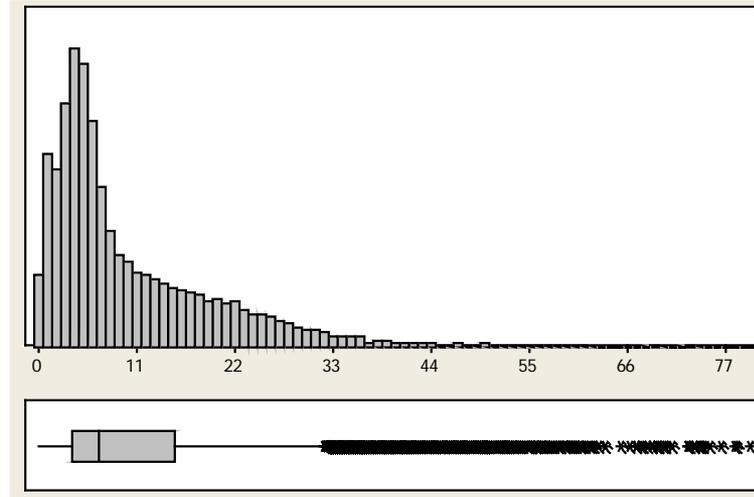
Tipologia di muratura	$\tau_0$ NTC 2008 (N/cm <sup>2</sup> )	$\tau_0$ sperimentale (N/cm <sup>2</sup> )
muratura in pietrame disordinata connessioni trasversali	3.0	7.2
	3.9	11.5
	4.8	16.0

**COEFFICIENTE CORRETTIVO MEDIO  $\approx 1.5$**   
NTC 2008 1.3

**COEFFICIENTE CORRETTIVO MEDIO  $\approx 2.5$**   
NTC 2008 1.5

Tipologia di muratura	E (N/mm <sup>2</sup> )	E sperimentale (N/mm <sup>2</sup> )
mattoni pieni	1200	1948
	1500	2508
	1800	3740

## COLLABORAZIONE CNR FIRENZE – DRMS E ANALISI CHIMICA MALTA

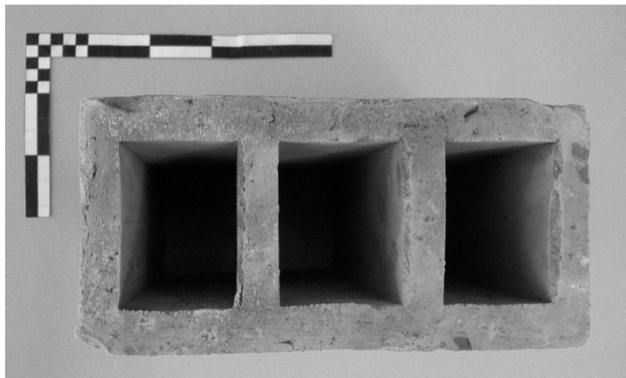


## PANNELLI IN BLOCCHI DI LATERIZIO FORATI

È stata svolta una campagna sperimentale su tre pannelli di muratura a doppio paramento, in blocchi di laterizio con percentuale di foratura maggiore del 45%.



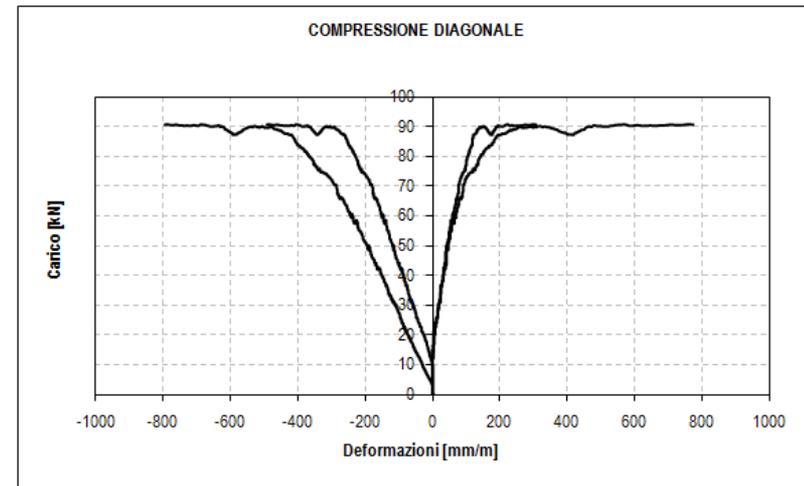
percentuale media foratura	50%
carico di rottura medio	210 kN
tensione di rottura media	3.20 N/mm <sup>2</sup>



percentuale media foratura	41%
carico di rottura medio	910 kN
tensione di rottura media	13.80 N/mm <sup>2</sup>

## PANNELLI IN BLOCCHI DI LATERIZIO FORATI

È stata svolta una campagna sperimentale su tre pannelli di muratura a doppio paramento, in blocchi di laterizio con percentuale di foratura maggiore del 45%.



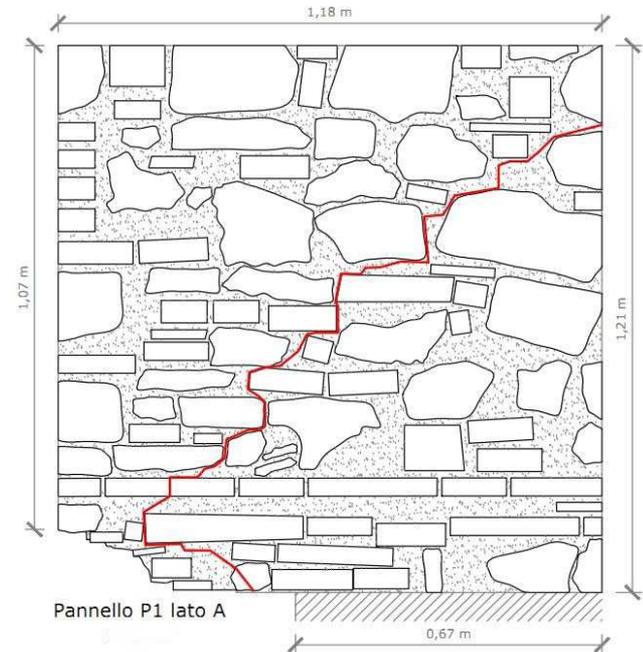
$$f_c \approx 90 \text{ N/mm}^2$$

$$E_s \approx 1400 \text{ N/mm}^2$$

$$G_m \approx 265 \text{ N/mm}^2$$

## MURATURA IN PIETREME DISORDINATA (PALAZZO CERRETANI)

Muratura in pietrame disordinata, ad un solo paramento, con presenza di alcuni ricorsi, non omogenei, realizzati con elementi in laterizio di dimensioni (14×28×4) cm. Gli elementi lapidei sono verosimilmente di origine calcarea, non lavorati o grossolanamente sbazzati, con dimensioni variabili da pochi centimetri fino a qualche decina di centimetri. La malta è presumibilmente una malta di calce, al tatto di buona consistenza. I giunti di malta, in direzione sia orizzontale sia verticale, non sono regolari e hanno dimensioni variabili tra 10 mm e 40 mm. Nel complesso la muratura manca di una tessitura organizzata sia in prospetto sia in sezione.



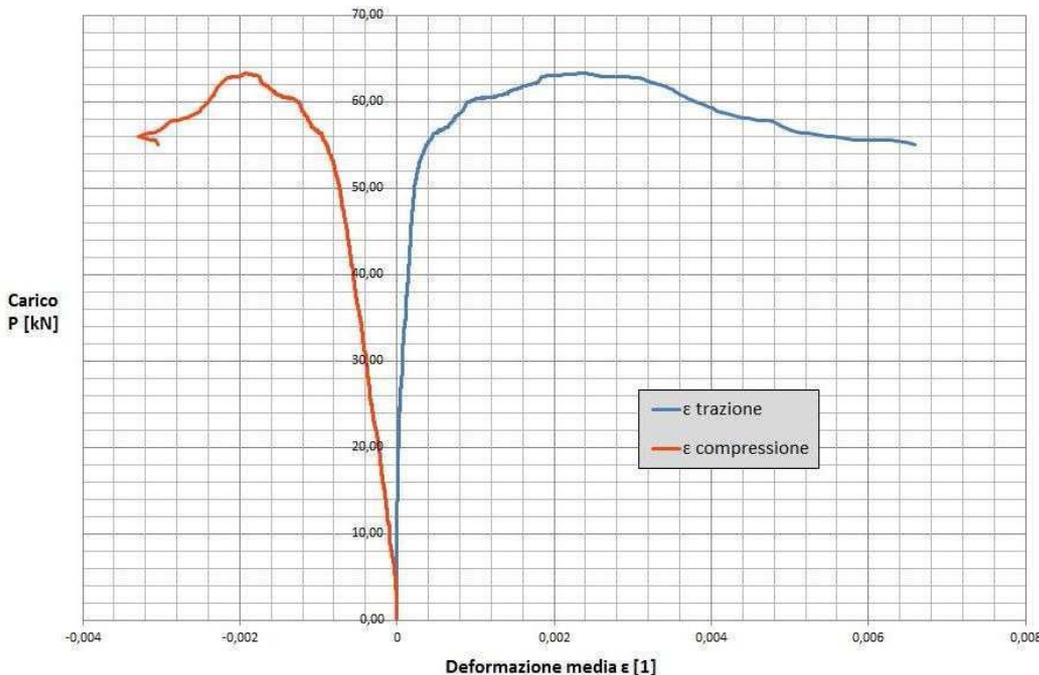
### PARTE TERZA CONCLUSIONI

OSSERVAZIONI QUALITATIVE  
Resistenza elementi (RE.EL.) = Rispettato (R) (1/1/1)

PARAMETRO	AZIONI VERTICALI	AZIONI ORTOGONALI	AZIONI COMPLANARI
INDICE DI QUALITÀ (I.Q.)	0.5	0.5	1
CATEGORIA	C	C	C

## MURATURA IN PIETRE DISORDINATA (PALAZZO CERRETANI)

Muratura in pietrame disordinata, ad un solo paramento, con presenza di alcuni ricorsi, non omogenei, realizzati con elementi in laterizio di dimensioni (14×28×4) cm. Gli elementi lapidei sono verosimilmente di origine calcarea, non lavorati o grossolanamente sbazzati, con dimensioni variabili da pochi centimetri fino a qualche decina di centimetri. La malta è presumibilmente una malta di calce, al tatto di buona consistenza. I giunti di malta, in direzione sia orizzontale sia verticale, non sono regolari e hanno dimensioni variabili tra 10 mm e 40 mm. Nel complesso la muratura manca di una tessitura organizzata sia in prospetto sia in sezione.



$$T_{\max} = 63.29 \text{ kN}$$

$$\tau_0 = 6.1 \text{ N/cm}^2$$

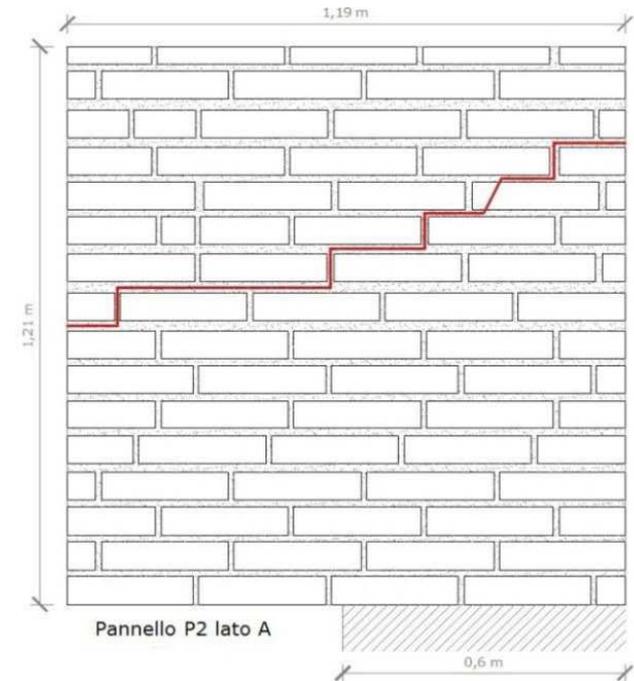
$$G = 218 \text{ N/mm}^2$$

NTC 2008

Tipologia di muratura	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )
muratura in pietrame disordinata	2.0	230
(ciottoli, pietre erratiche ed irregolari)	3.2	350

## MURATURA IN MATTONI PIENI

Muratura in mattoni pieni, ad una testa, di dimensioni (13×27×6) cm. La malta è presumibilmente una malta bastarda. I giunti di malta, in direzione sia orizzontale sia verticale, hanno dimensioni variabili tra 10 mm e 20 mm. I giunti in direzione verticale non hanno una regola di allineamento, motivo per cui la muratura manca, in prospettiva, di una buona organizzazione.



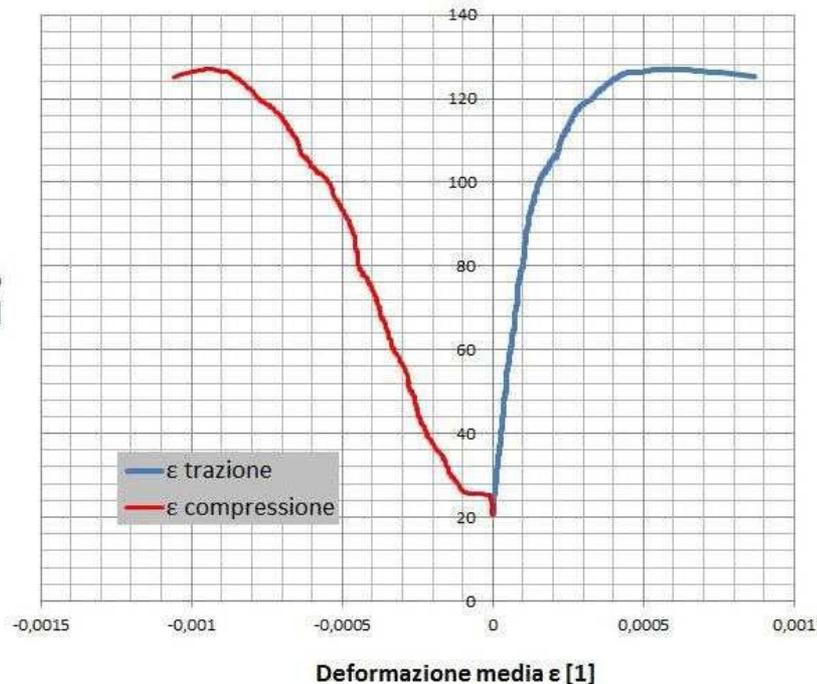
### PARTE TERZA CONCLUSIONI

OSSERVAZIONI QUALITATIVE  
Resistenza elementi (RE.EL.) = Rispettato (R) (1/1/1)

PARAMETRO	AZIONI VERTICALI	AZIONI ORTOGONALI	AZIONI COMPLANARI
INDICE DI QUALITÀ (I.Q.)	7	6	6
CATEGORIA	A	B	A

## MURATURA IN MATTONI PIENI

Muratura in mattoni pieni, ad una testa, di dimensioni (13×27×6) cm. La malta è presumibilmente una malta bastarda. I giunti di malta, in direzione sia orizzontale sia verticale, hanno dimensioni variabili tra 10 mm e 20 mm. I giunti in direzione verticale non hanno una regola di allineamento, motivo per cui la muratura manca, in prospettiva, di una buona organizzazione.



$$T_{\max} = 126.97 \text{ kN}$$

$$\tau_0 = 26.0 \text{ N/cm}^2$$

$$G = 1086 \text{ N/mm}^2$$

NTC 2008

Tipologia di muratura	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )
muratura in mattoni pieni e malta di calce	6.0	400
	9.2	600

RESISTENZA A COMPRESSIONE DEGLI ELEMENTI ARTIFICIALI

N. 30 MATTONI

RESISTENZA A COMPRESSIONE DELLA MURATURA

N. 6 (0.50x0.50x0.12) m

RESISTENZA A TAGLIO DIAGONALE DELLA MURATURA

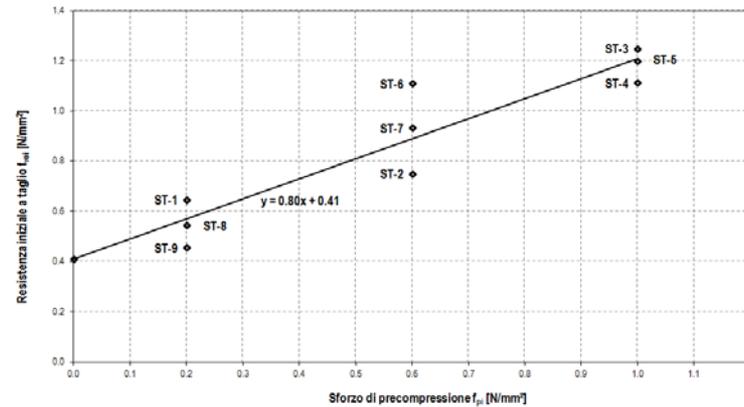
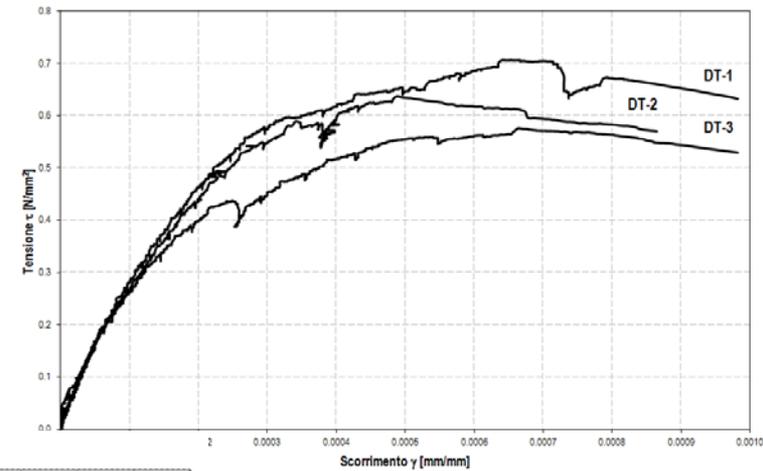
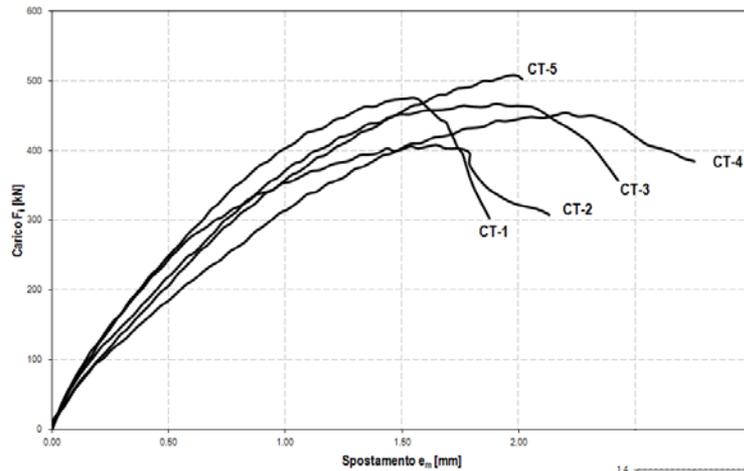
N. 3 (1.20x1.20x0.12) m

RESISTENZA A TAGLIO PER SCORRIMENTO DELLA MURATURA

N. 9 (0.25x0.185x0.12) m .



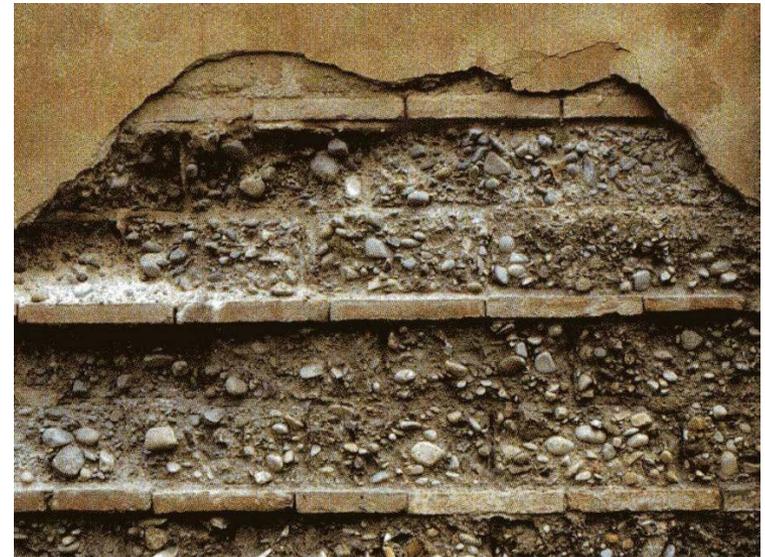
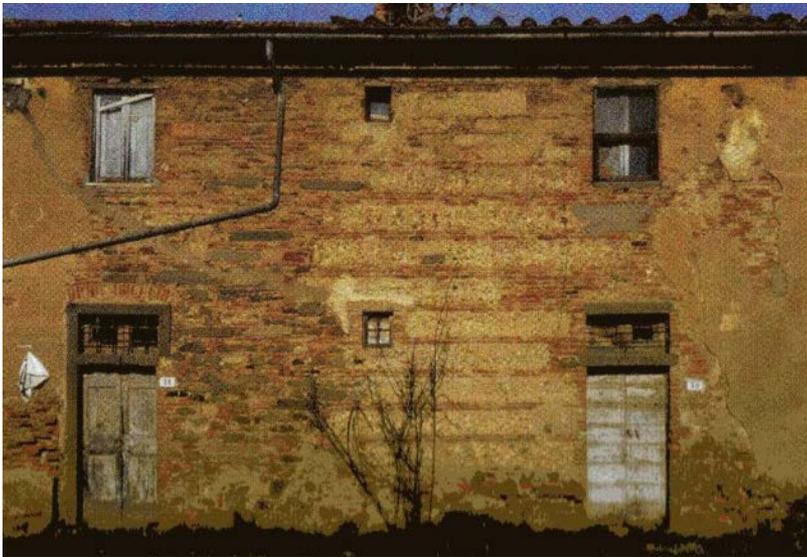
# PROVE DI LABORATORIO SU MURATURA DI MATTONI PIENI E MALTA STORICA



$f_k$	E	$f_{vk0}$	$\alpha$	$\tau_d$	G	$f_t$	$f_{nk}$
[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[deg]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
6.90	2077	0.33	33	0.71	1081	0.34	6.90

## MURATURA IN "MASSELLI "

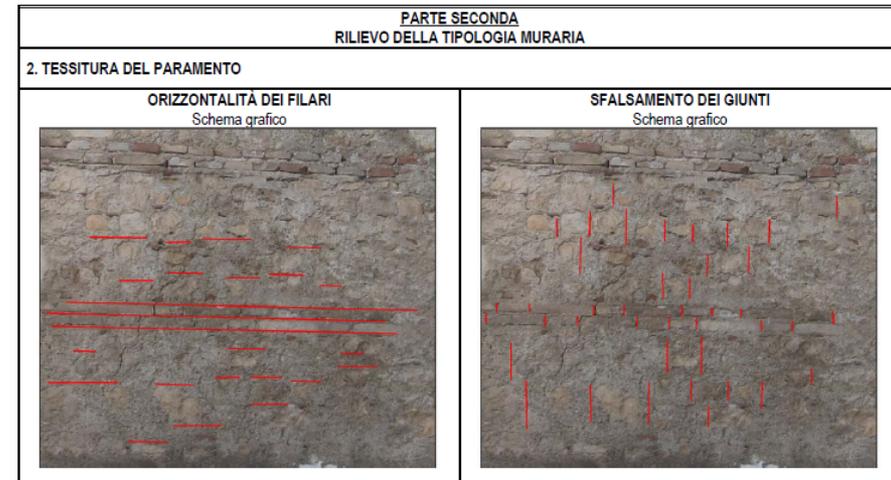
Nell'ambito di queste attività è stato deciso di aumentare le informazioni a disposizione sulle tipologie costruttive presenti nel territorio regionale. A titolo di esempio le indagini condotte sul costruito nella zona di Firenze hanno evidenziato la presenza di una ulteriore tipologia di muratura, volgarmente detta in "masselli ", che non può essere esattamente inquadrata nelle tipologie contemplate nella Tabella C8A.2.1



## CORRELAZIONE CON IQM

- ✓ Sfruttando la procedura messa a punto UNIPG, per ciascun pannello viene calcolato l'IQM, al fine di individuare una eventuale correlazione tra IQM e caratteristiche meccaniche della muratura.

PARTE SECONDA RILIEVO DELLA TIPOLOGIA MURARIA										
<b>2. TESSITURA DEL PARAMENTO</b>										
<b>2.1 RUOLO STRUTTURALE</b>										
<input checked="" type="checkbox"/> MURATURA D'AMBITO <input type="checkbox"/> MURATURA DI SPINA <input type="checkbox"/> MURATURA INTERNA <input type="checkbox"/> TAMPONAMENTO <input type="checkbox"/> PILASTRO										
<b>2.2 TIPOLOGIA</b>	<b>2.6 APPARECCHIATURA/ORIZZONTALITÀ DEI FILARI</b>									
<input checked="" type="checkbox"/> IN PIETRA <input type="checkbox"/> IN MATTONI <input type="checkbox"/> IN BLOCCHI DI CLS <input type="checkbox"/> IN BLOCCHI DI TUFO <input type="checkbox"/> MISTA	<input checked="" type="checkbox"/> IRREGOLARE <input type="checkbox"/> A CORSI-SUBORIZZONTALI <input type="checkbox"/> A CORSI ORIZZONTALI									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>VERTICALE</th> <th>ORTOGONALE</th> <th>COMPLANARE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	PUNTEGGIO			VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE	0	0	0
PUNTEGGIO										
VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE								
0	0	0								
<b>2.3 RICORSI</b>	<b>2.7 SFALSAMENTO DEI GIUNTI VERTICALI</b>									
<input type="checkbox"/> PRESENTI DISTANZA VARIABILE <input type="checkbox"/> PRESENTI ELEMENTI GRANDI <input checked="" type="checkbox"/> PRESENTI IN MATTONI <input type="checkbox"/> PRESENTI IN BLOCCHI DI CLS <input type="checkbox"/> ASSENTI	<input checked="" type="checkbox"/> NON RISPETTATO <input type="checkbox"/> PARZIALMENTE RISPETTATO <input type="checkbox"/> RISPETTATO									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>VERTICALE</th> <th>ORTOGONALE</th> <th>COMPLANARE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	PUNTEGGIO			VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE	0	0	0
PUNTEGGIO										
VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE								
0	0	0								
<b>2.4 ORIZZONTAMENTI/LISTATURE</b>	<b>2.8 PRESENZA DI DIATONI</b>									
<input checked="" type="checkbox"/> ASSENTI <input type="checkbox"/> PRESENTI	<input checked="" type="checkbox"/> NON RISPETTATO <input type="checkbox"/> PARZIALMENTE RISPETTATO <input type="checkbox"/> RISPETTATO									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PUNTEGGIO</th> </tr> <tr> <th>VERTICALE</th> <th>ORTOGONALE</th> <th>COMPLANARE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	PUNTEGGIO			VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE	0	0	0
PUNTEGGIO										
VERTICALE	ORTOGONALE	COMPLANARE								
0	0	0								
<b>2.5 ZEPPE</b>										
<input type="checkbox"/> ASSENTI <input checked="" type="checkbox"/> PRESENTI IN COTTO <input type="checkbox"/> PRESENTI IN PIETRA										



PARTE TERZA CONCLUSIONI			
<b>OSSERVAZIONI QUALITATIVE</b>			
<b>PARAMETRO</b>	<b>AZIONI VERTICALI</b>	<b>AZIONI ORTOGONALI</b>	<b>AZIONI COMPLANARI</b>
INDICE DI QUALITÀ (I.Q.)	0.5	0.5	1
CATEGORIA	C	C	C

## CORRELAZIONE CON IQM

- ✓ Sfruttando la procedura messa a punto UNIPG, per ciascun pannello viene calcolato l'IQM, al fine di individuare una eventuale correlazione tra IQM e caratteristiche meccaniche della muratura.

Parametro	AZIONI VERTICALI			AZIONI ORIZZONTALI FUORI PIANO			AZIONI ORIZZONTALI NEL PIANO		
	R	PR	NR	R	PR	NR	R	PR	NR
MA.	0	0.5	2	0	0.5	1	0	1	2
P.D.	0	1	1	0	1.5	3	0	1	2
F.EL.	0	1.5	3	0	1	2	0	1	2
D.EL.	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
S.G.	0	0.5	1	0	0.5	1	0	1	2
OR.	0	1	2	0	1	2	0	0.5	1
RE.EL.	0.3	0.7	1	0.5	0.7	1	0.3	0.7	1

$$f_{m,med} = 131.13 \cdot e^{0.2083 \cdot (IQM_{av})}$$

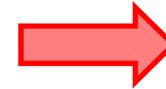
$$\tau_{0,med} = 2.4573 \cdot e^{0.2063 \cdot (IQM_{aop})}$$

$$E_{med} = 684.79 \cdot e^{0.1677 \cdot (IQM_{av})}$$

## CORRELAZIONE CON IQM



IQM verticale = 7



$$E_{\min} = 1851 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{medio}} = 2214 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\max} = 2578 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{sperimentale}} = 2441 \text{ N/mm}^2$$

Tipologia di muratura	IQM	E sperimentale (N/mm <sup>2</sup> )	E IQM min (N/mm <sup>2</sup> )	E IQM medio (N/mm <sup>2</sup> )	E IQM max (N/mm <sup>2</sup> )	Δ medio
muratura in mattoni pieni	7.0	2441	1851	2214	2578	1.12
muratura in mattoni pieni	7.5	1953	2027	2412	2087	0.90
muratura in mattoni pieni	6.5	3740	1704	2043	2384	1.86
muratura in mattoni pieni	7.0	2664	1851	2214	2578	1.23
muratura in mattoni pieni	6.5	2299	1704	2043	2384	1.15
muratura in mattoni pieni	6.5	1948	1704	2043	2384	0.97
muratura in pietrame disordinata	1.0	880	652	809	967	1.12
muratura in pietrame disordinata	2.5	2290	1074	2043	2384	1.40
muratura in pietrame disordinata	3.5	2494	1012	1236	1460	2.06