



Laboratorio prove materiali art. 59 del  
D.P.R. n. 380/2001, Circ. 7617/STC



Associazione Giovani  
Ingegneri Cuneo

Edifici in muratura:  
una cultura dal passato, verso il futuro

*«La valutazione delle caratteristiche fisiche e  
meccaniche delle murature»*

Ing. Marco C. Alessio

Fossano, 04 maggio 2017

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

- ▶ Rilievo degli elementi in muratura dell'edificio:
  - nicchie, cavità, canne fumarie;
  - spessore e profilo delle volte;
  - tipologia e orditura dei solai e della copertura;
  - tipologia strutturale delle scale;
  - carichi agenti su ogni elemento di parete;
  - tipologia delle fondazioni;
  - eventuale quadro fessurativo, classificando ciascuna lesione secondo la tipologia del meccanismo associato: distacco, rotazione, scorrimento, spostamenti fuori del piano...);
  - eventuale quadro deformativo (evidenti fuori piombo, rigonfiamenti, depressioni nelle volte, etc.).

**C8A.1.A.2 Costruzioni in muratura: dettagli costruttivi**

▶ Esaminare:

- 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.).

Verifica in sito limitata se valutati sulla base di una conoscenza appropriata delle tipologie dei solai e della muratura

Verifica in sito estesa ed esaustiva se:  
l'esame degli elementi di cui ai punti da a) ad f) è esteso in modo sistematico all'intero edificio

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura

<b>Livello di conoscenza</b>	<b>Tipo conoscenza</b>	<b>Rilievo geometrico</b>	<b>Dettagli costruttivi</b>	<b>Proprietà materiali</b>
LC1	Conoscenza limitata	Completo, come da §C8A.1.A.1	Verifiche in sito limitate	Indagini in sito limitate
LC2	Conoscenza adeguata	Completo, come da §C8A.1.A.1	Verifiche in sito estese ed esaustive	Indagini in sito estese
LC3	Conoscenza accurata	Completo, come da §C8A.1.A.1	Verifiche in sito estese ed esaustive	Indagini in sito esaustive

Tabella C8A.2.1. Valori di riferimento dei parametri meccanici (minimi e massimi) e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura, riferiti alle seguenti condizioni:

- ▶ malta di caratteristiche scarse;
- ▶ assenza di ricorsi (listature);
- ▶ paramenti semplicemente accostati o mal collegati;
- ▶ muratura non consolidata;
- ▶ tessitura (nel caso di elementi regolari) a regola d'arte.

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

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

▶ VALUTAZIONE DEI DETTAGLI STRUTTURALI:

- Tipologia muraria
- Ricerca connessioni trasversali
- Indagini videoendoscopiche
- Termografie a infrarossi
- Prove soniche e ultrasoniche

▶ VALUTAZIONE PARAMETRI MECCANICI MALTA:

- Prove penetrometriche in sito
- Prova di compressione in Laboratorio su campioni prelevati in sito

▶ VALUTAZIONE PARAMETRI MECCANICI MURATURA:

- Prove con martinetti piatti (tensione di esercizio, modulo elastico)
- Prove di compressione diagonale
- Prove di Laboratorio su campioni prelevati in sito e/o confezionati in Laboratorio
- Nuova prova a taglio in sito con «metodo Ventura»

## Dettagli strutturali: valutazione tessitura muraria

- ▶ Rimozione dell'intonaco su una superficie sufficientemente ampia per la valutazione della tipologia di muratura (1×1)m.
- ▶ Valutazione di:
  - danneggiamenti;
  - nicchie;
  - elementi strutturali;
  - eventuali cavità per impianti
  - connessioni trasversali



► Esecuzione:

- Realizzazione di un foro di diametro (12-15)mm nella muratura;
- Pulizia del foro;
- Ispezione visiva interna al foro;

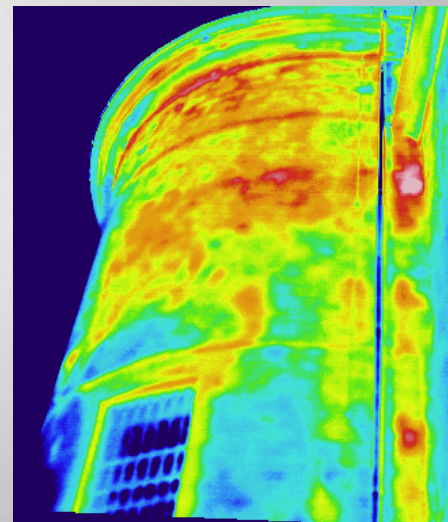
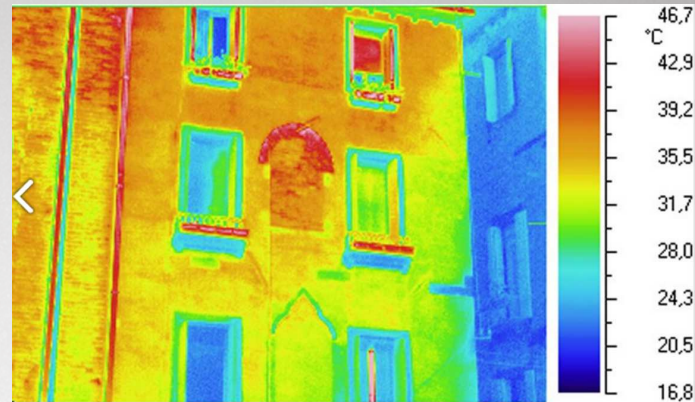


► Risultati:

- Determinazione della stratigrafia dell'elemento lungo il foro;
- Rilievo di eventuali cavità;
- Rilievo di stati di degrado.

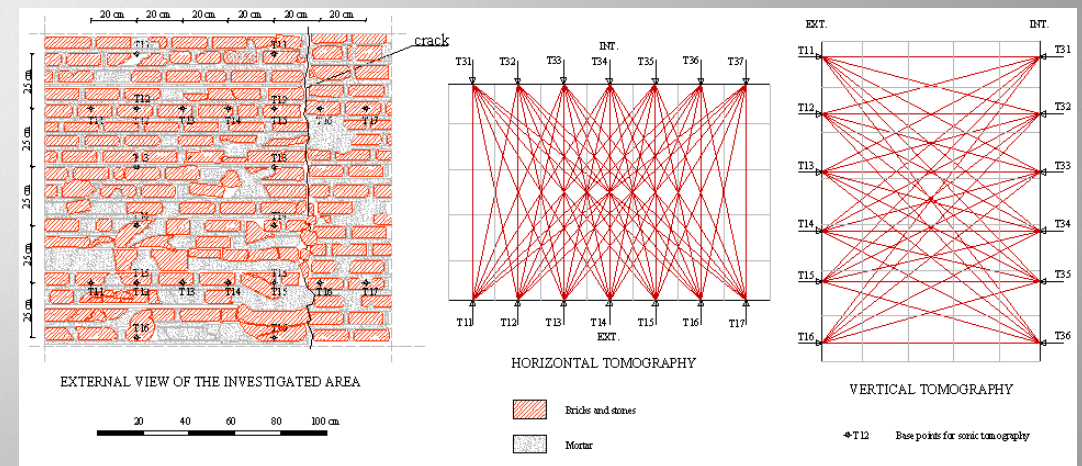
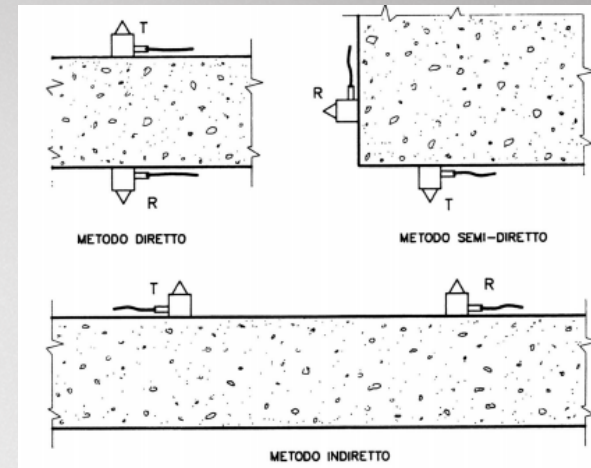


- ▶ Principio fisico
  - L'energia emessa dagli oggetti è proporzionale alla loro temperatura alla quarta
  - La distribuzione spettrale dell'energia dipende dalla temperatura
- ▶ Prova rigorosamente non distruttiva
- ▶ Individuazione di elementi non «a vista» quali:
  - Elementi strutturali (pilastri, archi)
  - Cavità (canne fumarie, canalizzazioni)
- ▶ Valutazione di stati fessurativi
  
- ▶ Più efficace quando è possibile aumentare la differenza termica degli elementi.
- ▶ Influenzata dalla temperatura ambiente





- ▶ Determinazione della velocità di propagazione di impulsi ultrasonici
- ▶ Il modulo elastico non è direttamente determinabile poiché il materiale non è omogeneo.
- ▶ Forniscono indicazioni mediante confronto tra aree di prova relativamente a:
  - connessioni trasversali tra paramenti;
  - omogeneità tra aree con velocità di propagazione confrontabili;
  - presenza o assenza di riempimenti.



▶ **Principio di funzionamento**

Infissione di una punta di acciaio nel giunto di malta mediante colpi generati con energia costante da una massa in movimento.  
 (Analogia con prova sclerometrica calcestruzzo)

▶ **Risultato**

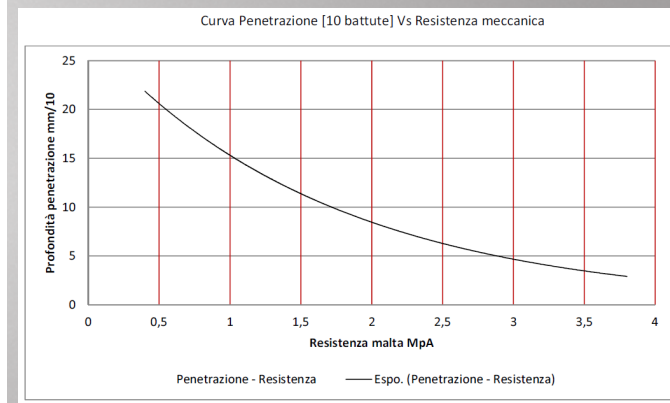
Profondità di penetrazione (mm) su un numero di colpi definiti secondo il tipo di procedura utilizzata.

▶ **Curva di correlazione standard**

Stima della resistenza meccanica della malta in rapporto alla profondità di penetrazione.

▶ **Curva di correlazione specifica**

Consigliabile prelevare un campione di malta, per quanto possibile indisturbato, da sottoporre a prova di compressione in Laboratorio per tarare la correlazione sullo specifico materiale.

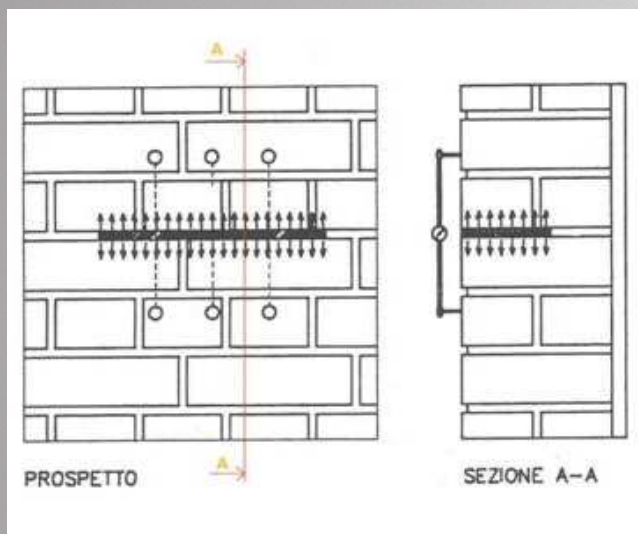


▶ Scopo

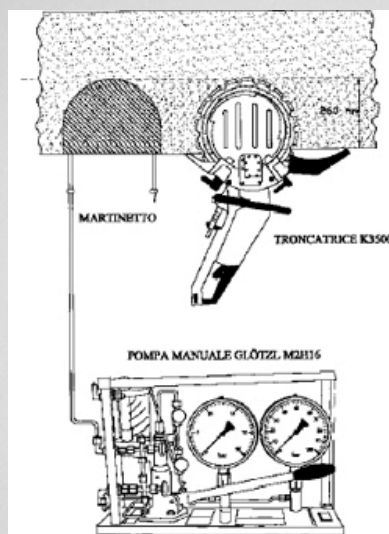
Determinazione dello **stato tensionale della muratura** mediante il ripristino della lunghezza iniziale di una serie di basi di misura collocate ai lati opposti di un **taglio praticato nella muratura** in corrispondenza di un giunto di malta.

▶ Metodo ASTM C 1196

- Individuazione dell'area di prova con particolare attenzione alla linearità del giunto e alla posizione delle basi di misura (devono essere posizionate sui mattoni)
- Applicazione delle basi e misura della loro lunghezza iniziale (**riferimento per il ripristino delle condizioni iniziali**)
- Realizzazione del taglio in corrispondenza del giunto di malta.
- Inserimento del martinetto piatto e **applicazione della pressione a step**;
- **Letture della variazione di lunghezza delle basi di misura** ad ogni incremento di pressione.
- Determinazione della pressione alla quale è mediamente **ripristinata la lunghezza iniziale delle basi di misura** (condizione iniziale).



**Schema di prova**



**Troncatrice per il taglio**

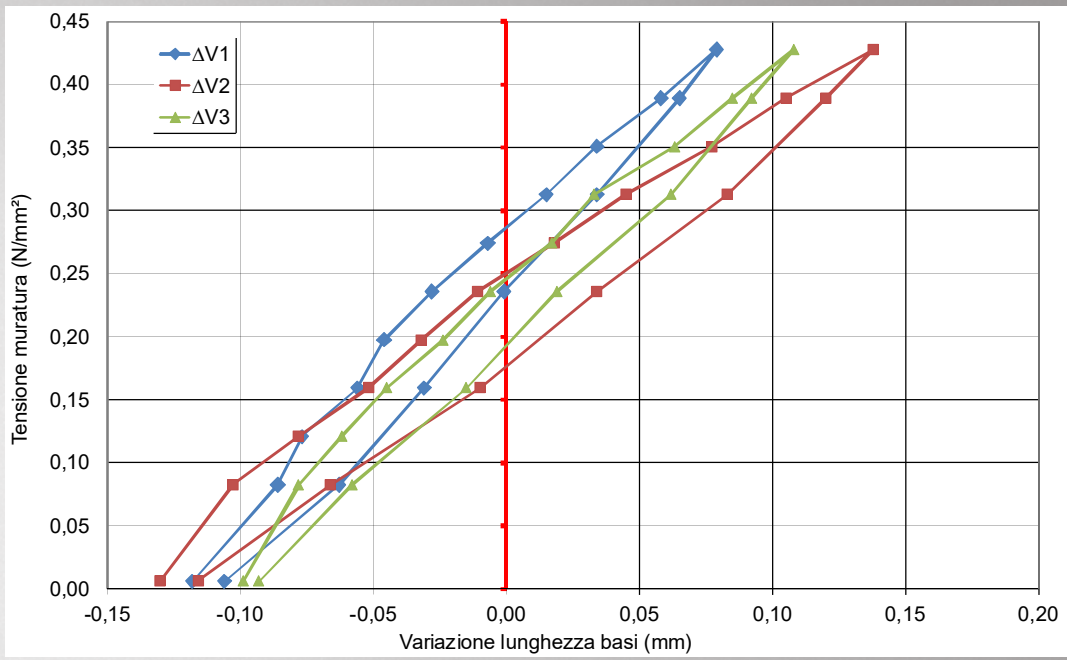
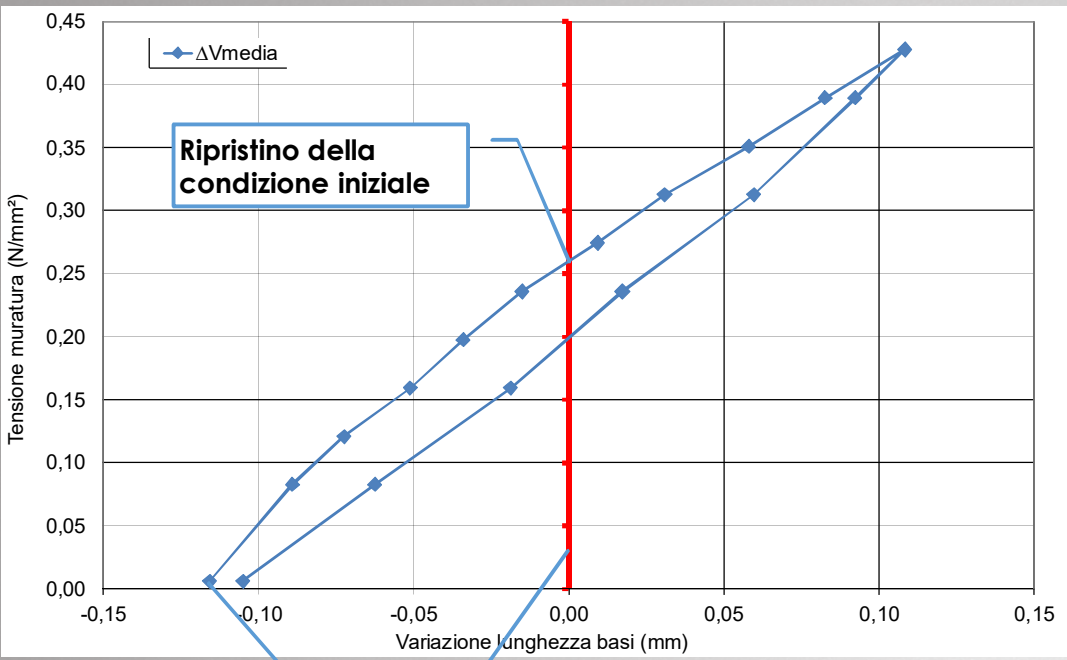


**Allestimento della prova**



**Misura della variazione di lunghezza delle basi**

### Tensione di esercizio muratura con martinetto piatto singolo



Contrazione delle basi di misura dopo il taglio

Stato deformativo iniziale della muratura

**Tensione muratura (ASTM 1196):**

$$f_{mi} = p_i \cdot k_m \cdot k_a$$

dove:

- $f_{mi}$  tensione della muratura all'incremento i-esimo (N/mm<sup>2</sup>)
- $p_i$  pressione applicata all'incremento i-esimo (N/mm<sup>2</sup>)
- $k_m$  parametro relativo alle caratteristiche geometriche del martinetto e alla sua rigidezza (fornito con certificato di taratura)
- $k_a$  rapporto tra l'area del martinetto e l'area media del taglio

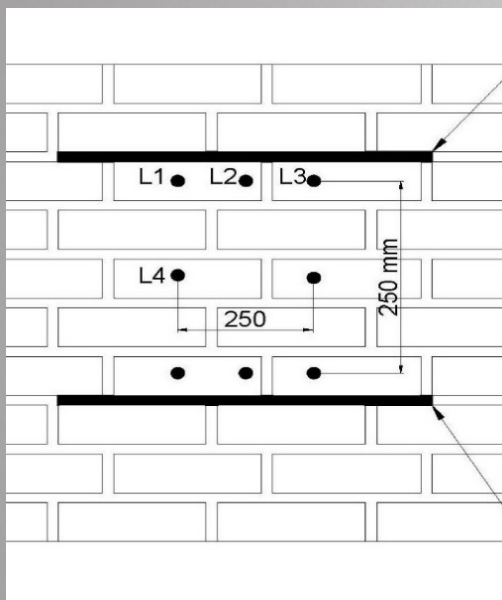
## **Modulo elastico muratura con martinetti piatto doppio**

### ▶ Scopo

Determinazione del modulo elastico della muratura mediante la misura della variazione della lunghezza di una serie di basi di misura collocate entro due martinetti piatti collocati nella muratura in corrispondenza di un giunto di malta.

### ▶ Metodo ASTM C 1197

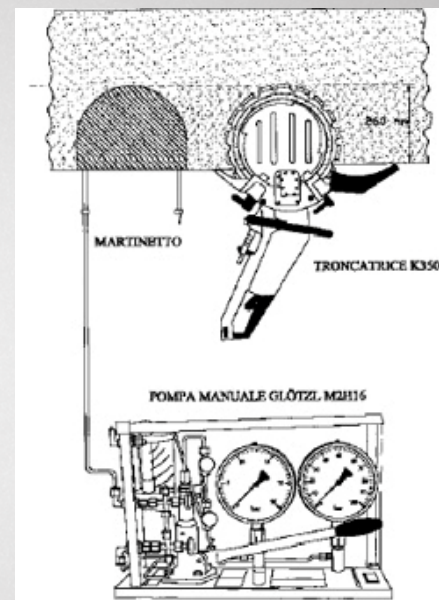
- Individuazione dell'area di prova con particolare attenzione alla linearità dei giunti e alla posizione delle basi di misura (devono essere posizionate sui mattoni);
- applicazione di quattro basi estensimetriche di lunghezza pari a 250 mm (3 verticali, 1 orizzontale);
- realizzazione di due tagli orizzontali nella muratura in corrispondenza di due giunti di malta la cui distanza comprende le basi di misura installate;
- rilievo delle superfici dei tagli;
- misura della lunghezza delle basi di misura a carico nullo;
- inserimento dei martinetti e incremento progressivo della pressione;
- lettura delle variazioni di lunghezza delle basi di misura, per ogni incremento di pressione, fino al raggiungimento di una evidente non linearità.



**Schema di prova**



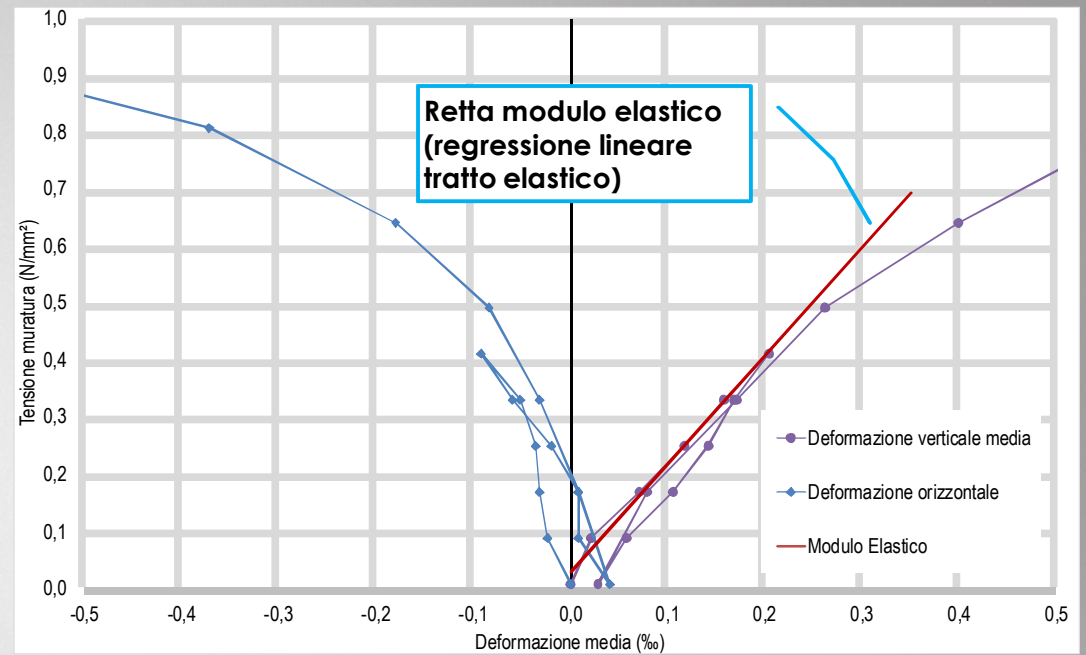
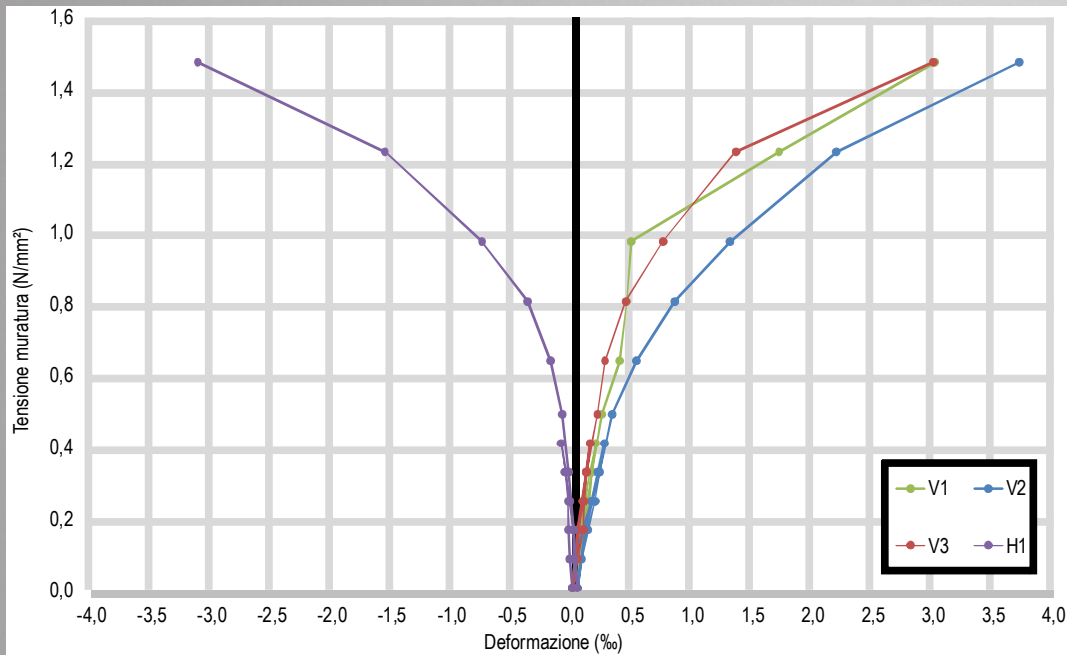
**Allestimento della prova**



**Troncatrice per il taglio**



**Esecuzione della prova**



**Tensione muratura (ASTM 1197):  $f_{mi} = p_i \cdot k_m \cdot k_a$**

dove:

- $f_{mi}$  tensione della muratura all'incremento i-esimo (N/mm<sup>2</sup>)
- $p_i$  pressione applicata all'incremento i-esimo (N/mm<sup>2</sup>)
- $k_m$  parametro fornito con il certificato di taratura del martinetto
- $k_a$  rapporto tra l'area del martinetto e l'area media del taglio

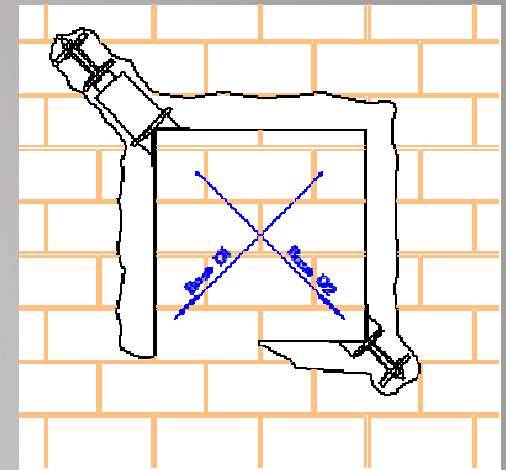
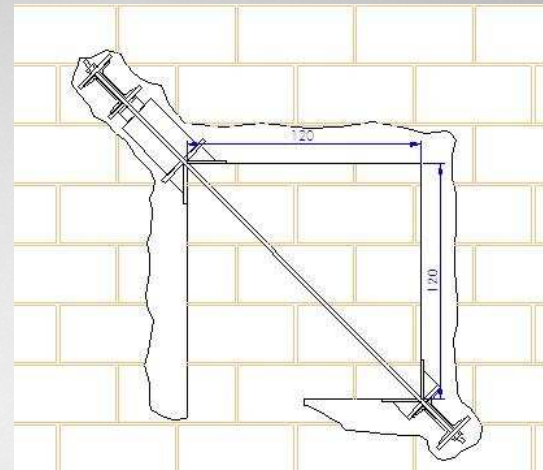
**Modulo elastico (ASTM 1197):  $E = \frac{\delta f_m}{\delta \epsilon_m} \approx 1960 \frac{N}{mm^2}$**

dove:

- $f_{mi}$  variazione di tensione della muratura in un dato intervallo (N/mm<sup>2</sup>)
- $\epsilon_m$  variazione di deformazione della muratura nello stesso intervallo

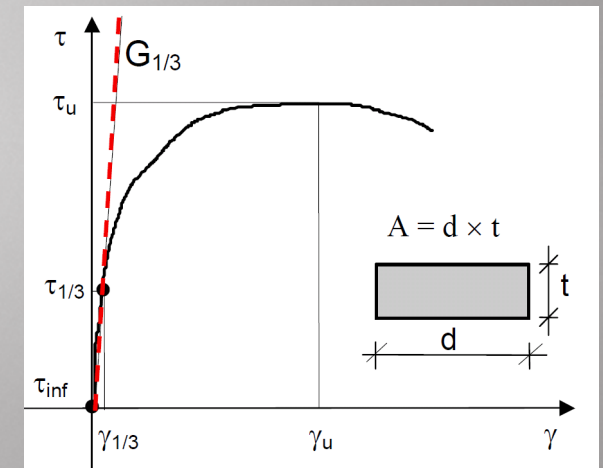


- ▶ Norma ASTM E519  
Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages
- ▶ Fornisce una misura indiretta della resistenza a trazione della muratura nella direzione ortogonale alla fessurazione.
- ▶ Di dubbia interpretazione la resistenza a taglio poiché assente la compressione.
- ▶ Prova invasiva, ma di più semplice realizzazione tra le prove distruttive in sito
- ▶ Sufficiente un solo attuatore idraulico di portata 1000 kN
- ▶ Particolare cura nel mantenere il campione in condizione indisturbata



**Schemi di prova con indicazione delle basi di misura**

**Diagramma  $\tau$ - $\gamma$  di involucro della prova**



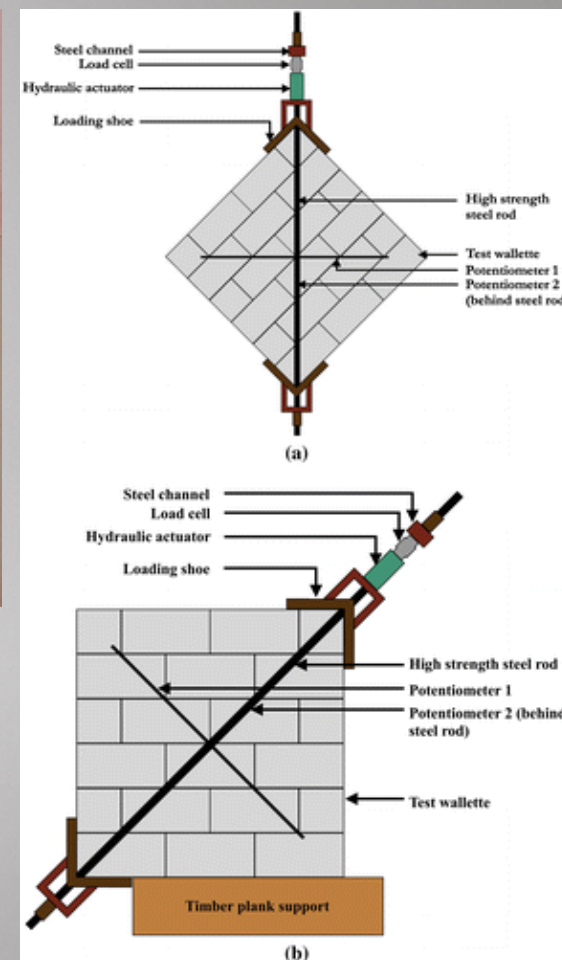
**Parametri meccanici muratura: compressione diagonale**



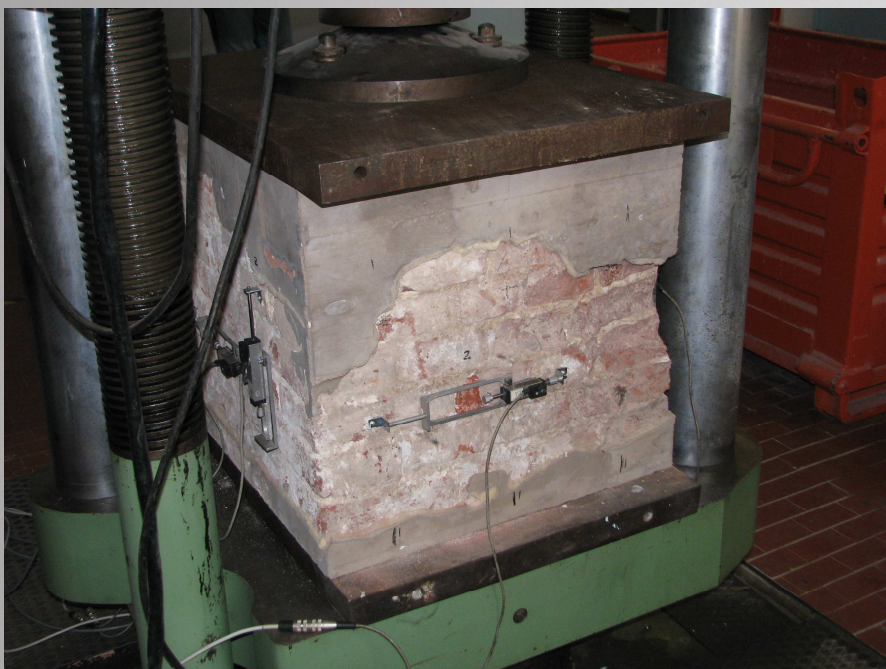
**Realizzazione in sito**



**Realizzazione in sito**



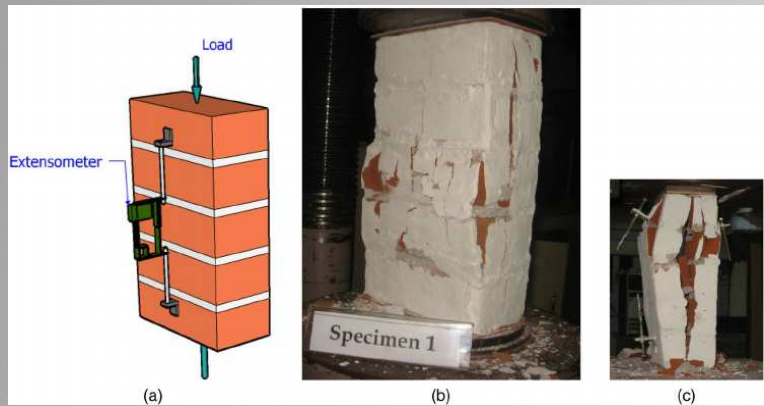
**Prova equivalente  
in Laboratorio**



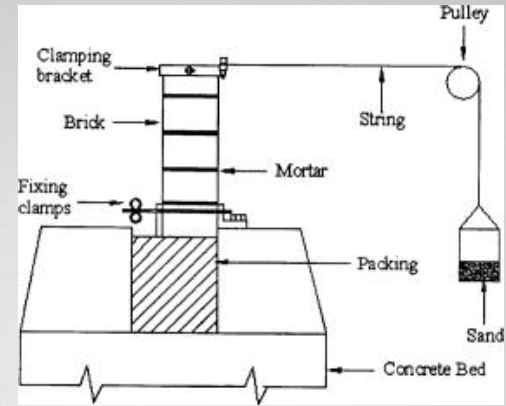
**Campione strumentato prima della prova**



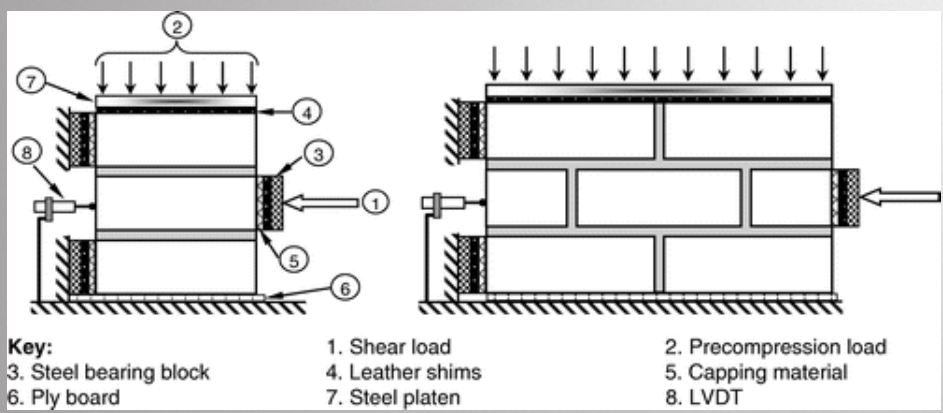
**Campione dopo la rottura a compressione**




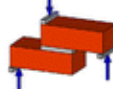
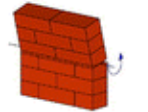
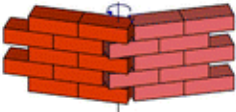


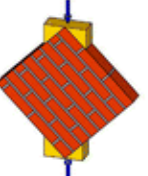
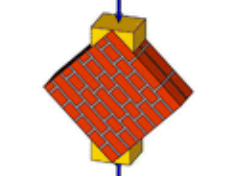
**Compressione prisma in muratura**



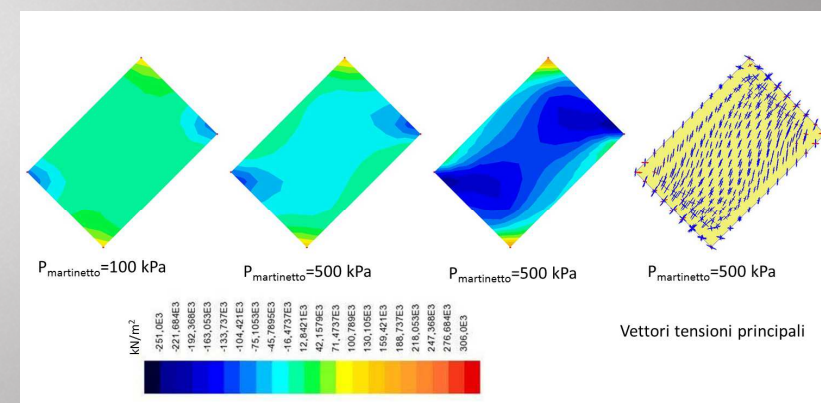
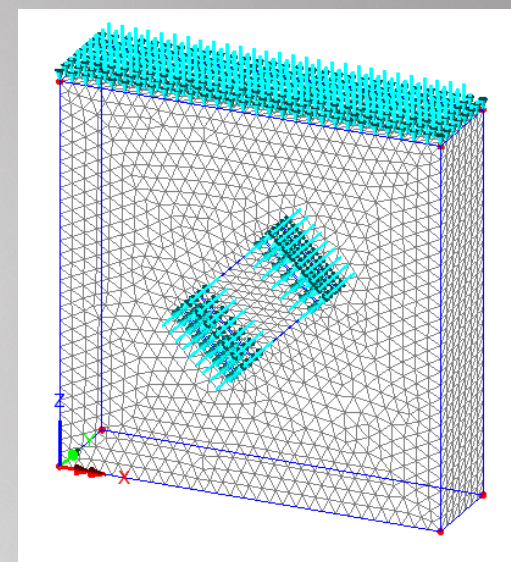
**Aderenza per flessione parallela ai giunti**



**Prova a taglio su prisma in muratura**

Masonry Properties (Model and Prototype)	Compressive strength	Stack bonded prism	
	Elastic modulus		
	Bond strength	Tension bond test	
	Flexural strength	Parallel to bed joint	
		Perpendicular to bed joint	
	Shear strength	One-brick triplet	
Two-brick triplet			
Diagonal tensile strength	Half-brick thick		
	Full-brick thick		

- ▶ **Collaborazione del Laboratorio Cismondi Srl con il gruppo di ricerca del Prof. G. Ventura del Politecnico di Torino, ideatore del metodo sperimentale.**
- ▶ **Scopo**  
Stima del **modulo di taglio** e della **resistenza a taglio** di murature esistenti mediante un test di tipo MDT (Moderately Destructive Test).
- ▶ **Metodo**  
Il test prevede l'utilizzo dei **martinetti piatti disposti in diagonale** che permettono una bassa invasività e la capacità di testare una porzione di parete muraria di dimensioni rappresentative del comportamento globale.  
Il metodo attenua l'invasività sull'opera rispetto alle prove normate (compressione diagonale, Sheppard, compressione e taglio-compressione)
- ▶ **Progettazione**  
Sono stati eseguiti sei differenti modelli FEM (in campo elastico lineare) aventi **diverse configurazioni geometriche allo scopo di ottenere la configurazione ottimale**. Parametri analizzati: sollecitazioni, orientamento delle tensioni principali, distruttività, costo materiale utilizzato, semplicità di esecuzione.
- ▶ **Sperimentazione**  
È stata condotta una prima sperimentazione in sito adottando la configurazione ottimale derivante dalla sperimentazione presso l'ex Teatro Dei Nobili di Vercelli.  
I dati ottenuti sono in corso di elaborazione unitamente a modellazioni FEM in campo non lineare.
- ▶ **Rilevanza**  
Riveste una notevole importanza per la comprensione del comportamento delle strutture esistenti in muratura soggette ad azioni sismiche.



**Realizzazione della prova a taglio in sito con il «metodo Ventura»**



**Predisposizione delle basi di misura  
prima della realizzazione dei tagli**



**Realizzazione della prova**



**Dettaglio della fessurazione  
della muratura  
al termine della prova**

## Conclusioni

- ▶ La determinazione delle caratteristiche meccaniche dei materiali è fondamentale per la verifica strutturale.
- ▶ I metodi e le tecniche esposte costituiscono un importante supporto al progettista nella scelta dei parametri dell'analisi.
- ▶ La scelta delle prove dovrebbe seguire questi criteri:
  - affidabilità del metodo sperimentale;
  - numero di prove e rappresentatività statistica;
  - danno alla struttura;
  - tempi e costi di esecuzione delle prove.

Purtroppo tempi e costi di esecuzione costituiscono solitamente il criterio di scelta principale.

- ▶ La “caratterizzazione meccanica dei materiali” è solo un aspetto di un'analisi più articolata (§ 8.5 NTC) che deve portare il Progettista al riconoscimento dell'impianto strutturale esistente, alla sua verifica e al suo eventuale miglioramento/adeguamento nei riguardi delle azioni previste.

Grazie per l'attenzione



Ing. Marco C. Alessio  
Direttore del Laboratorio  
e Socio AGIC

Cismondi Srl  
Via Borgo S. Anna, 28/A - 12100 Cuneo  
+39 0171 694421  
[www.cismondisrl.com](http://www.cismondisrl.com)  
[laboratorio@cismondisrl.com](mailto:laboratorio@cismondisrl.com)