

Rete dei Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica

Progetto esecutivo 2005-2007

Progetto di ricerca 1
Valutazione e riduzione della vulnerabilità di edifici in muratura

Coordinatore: G. Magenes, S. Lagomarsino

SubTask 3b.3



**Misura in situ delle proprietà elastiche
mediante l'uso di martinetto piatto doppio**

Luigia Binda, Antonella Saisi, Giuliana Cardani

U.R. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Piazza L. Da Vinci 32,
20133 Milano, e-mail: binda@stru.polimi.it

C. Modena, M.R. Valluzzi, F. da Porto, F. Casarin, N. Mazzon, M. dalla Benetta

U.R. Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, via
Marzolo, 9, 35131 Padova, e-mail: valluzzi@dic.unipd.it

SPECIFICHE DI PROVA

Misura in situ delle proprietà elastiche mediante l'uso di martinetti piatto

1. Definizione della tecnica di indagine

Le seguenti prescrizioni specificano un metodo per determinare in situ il legame locale sforzo-deformazioni (in campo elastico) in funzione dello sforzo. La prova viene eseguita utilizzando martinetti piatti, contrastati nell'applicazione dello sforzo ad un limitato volume murario, dall'intera massa muraria sovrastante.

Nel seguito, verranno fornite specifiche indicazioni sui principi della prova, sulla preparazione della muratura sottoposta alla prova, sulla strumentazione di prova, sul metodo di prova, sul metodo di calcolo e i contenuti del rapporto finale

2. Principi della prova

La tecnica di prova è basata sull'uso contemporaneo di due martinetti piatti doppi, collegati ad una pompa idraulica comune, per comprimere il volume di muratura compreso tra essi.

La muratura sovrastante e sottostante funge da contrasto alla reazione esercitata dai martinetti stessi. Ne consegue che il limite del livello di sollecitazione applicabile, sarà legato al valore dello stato di sforzo locale esistente nella muratura, incrementato di un fattore per tener conto di una possibile diffusione del carico.

Analogamente alla prova con i martinetti piatti singoli, i martinetti piatti vanno pre-calibrati secondo le specifiche descritte nella Sez. 5.

Dato che il volume di muratura rimane fisicamente legato al resto della muratura, permane una certa incertezza nella prova. Nelle murature a più paramenti, le misure sono da ascrivere esclusivamente alle porzioni provate, cioè al paramento esterno, non alle altre che possono esse anche composte da altri materiali.

I valori del modulo elastico e del coefficiente di dilatazione trasversale calcolati con questa tecnica, insieme ai valori di deformazione misurati e calcolati, sono probabilmente sufficientemente precisi per effettuare una stima degli sforzi dovuti a dilatazioni, movimenti o movimenti differenziali di strutture murarie.

La prova può, in alcuni casi, essere utilizzata come controllo, non arrivando mai allo sforzo di rottura, per prove di compressione eseguite in laboratorio su campioni prelevati in situ.

3. Simbologia adottata

La simbologia adottata è la seguente

f_m = valore dello sforzo

k_m = è una costante adimensionale che rappresenta le proprietà geometriche e di rigidità del martinetto determinate nella Sez.5.

k_a = rapporto tra l'area misurata del martinetto e l'area media del taglio

p = pressione del martinetto, espressa in MPa o in N/mm²

E_{ti} = Modulo Elastico tangente

δf_{mi} = è l'incremento di sforzo

$\delta \varepsilon_{mi}$ = è il corrispondente incremento di deformazione

E_{si} = Modulo Elastico secante al passo i

f_{me} = è lo sforzo cumulativo al limite di elasticità misurato in situ o appena prima (corrispondente, cioè, al tratto lineare) dopo un opportuno precarico.

ε_{me} = è la deformazione corrispondente

ν_e = coefficiente di dilatazione trasversale

ε_{he} = deformazione trasversale

4. Strumentazione di prova

E' richiesta la seguente strumentazione di prova:

4.1. *Attrezzatura per eseguire il taglio*: può essere un trapano a basso numero di giri, in modo da tagliare materiali soffici come la malta, nei giunti regolari, o una sega semicircolare con disco eccentrico nel caso in cui il taglio venga eseguito in murature di pietra a giunti irregolari.

4.2. *Aspirapolvere*, spazzole ed altri utensili per pulire il taglio e rimuovere eventuali detriti

4.3. Martinetto piatto

4.3.1 Il martinetto piatto deve avere uno spessore tale da poter essere inserito nel taglio o in un giunto di malta ripulito. Il martinetto piatto di metallo, finora il più usato, è costituito da un foglio di lamiera piegato a tasca e saldato su tre lati, che può essere gonfiato con olio, o altri fluidi previsti dal produttore della strumentazione, a pressione con un sistema di ingresso e uscita del fluido. Il martinetto può avere varie forme compatibili con la muratura che deve essere provata. In Figura 1 sono presentate le forme tipiche dei martinetti.

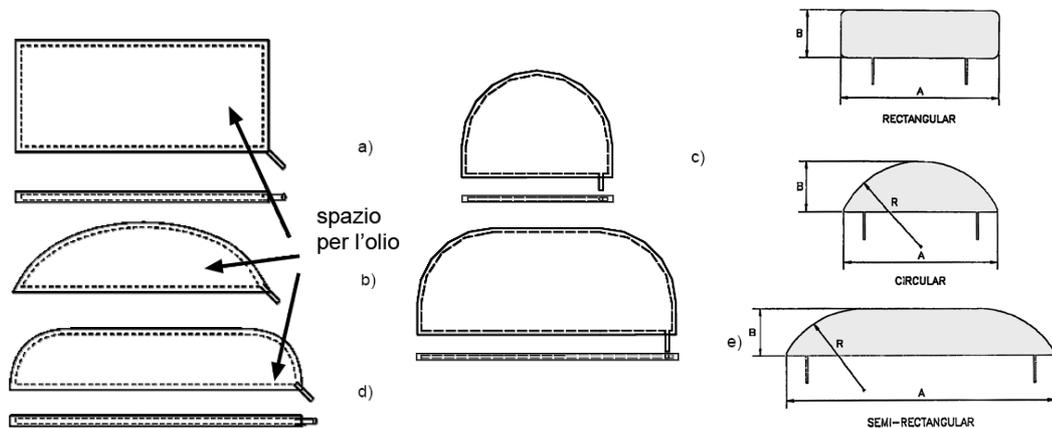


Figura 1. Forme di martinetto più diffuse.

4.3.2. Per la determinazione dello stato di compressione, la dimensione A deve essere uguale o maggiore della dimensione di un mattone di fascia, ma non meno di 200mm (tranne nel caso di martinetti piccoli). La dimensione B deve essere uguale o maggiore della dimensione di una testa del mattone e comunque non inferiore a 75mm. Se i martinetti hanno una parte circolare, il raggio R di questa parte deve essere uguale a quello della sega circolare utilizzata per il taglio.

4.3.3. Se il martinetto è di metallo (o anche non di metallo) deve essere in grado di sopportare una pressione interna pari alla massima pressione di operazione, che può anche raggiungere i 6-6,9 MPa (rispettivamente secondo le raccomandazioni RILEM [15] o ASTM [14]). I martinetti di metallo devono essere fatti con lamiere aventi spessore costante compreso tra 0,6 mm a 1,2mm. Con saldatura sul contorno e tubi di ingresso dell'olio ed uscita di aria in eccesso.

4.3.4. I martinetti piatti devono essere tutti calibrati come descritto nella Sez. 5 per determinare le loro caratteristiche di corrispondenza: pressione- carico applicato.

4.3.5. Al martinetto piatto vanno aggiunti spessori in acciaio della stessa forma da inserire nel taglio sopra o sotto il martinetto stesso, in modo da proteggere le superfici del martinetto da danni dovuti a vuoti o a superfici ruvide, ed impedire un eccessivo rigonfiamento del martinetto.

4.4. *Sistema idraulico.* E' richiesta una pompa idraulica elettrica o a mano con tubi di connessione flessibili e ad alta pressione che possano essere collegati con il sistema di ingresso del martinetto. La pressione deve essere misurata con un manometro, posto in uscita, opportunamente calibrato, in modo che abbia un'accuratezza dell'1% rispetto ad una scala idraulica completa. Il sistema idraulico deve essere capace di mantenere una pressione costante entro l'1% dell'intera scala per almeno 5 min.

4.5. *Misura degli spostamenti-* La misura degli spostamenti viene eseguita mediante strumentazione elettronica, come LVDT (Linearly Variable Differential Transformer) installati sulla superficie esterna della muratura compresa tra i due martinetti (Figura 2), oppure con un estensimetro meccanico removibile che misura la distanza tra punti fissati mediante basette applicate come mostra la Figura 3 (4 punti di misura in verticale, 1 punto in orizzontale). Lo strumento utilizzato deve essere in grado di misurare spostamenti fino ad almeno 5 mm. Le misure degli spostamenti devono essere eseguite con una precisione pari ad almeno $\pm 0,005\%$ della distanza misurata (o lo strumento deve avere una precisione millesimale), ad intervalli discreti o in continuo attraverso un sistema automatico.

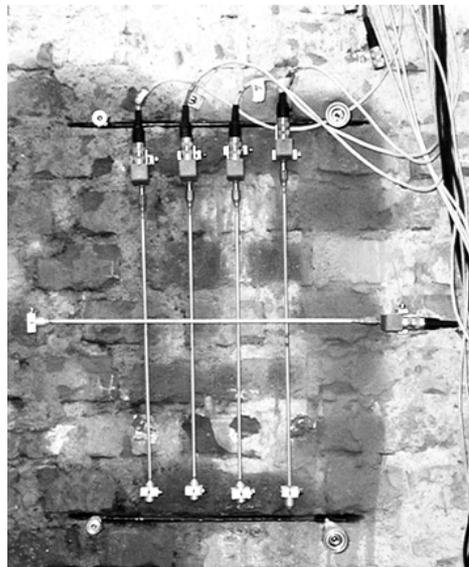


Figura 2. Configurazione della strumentazione di acquisizione automatica.

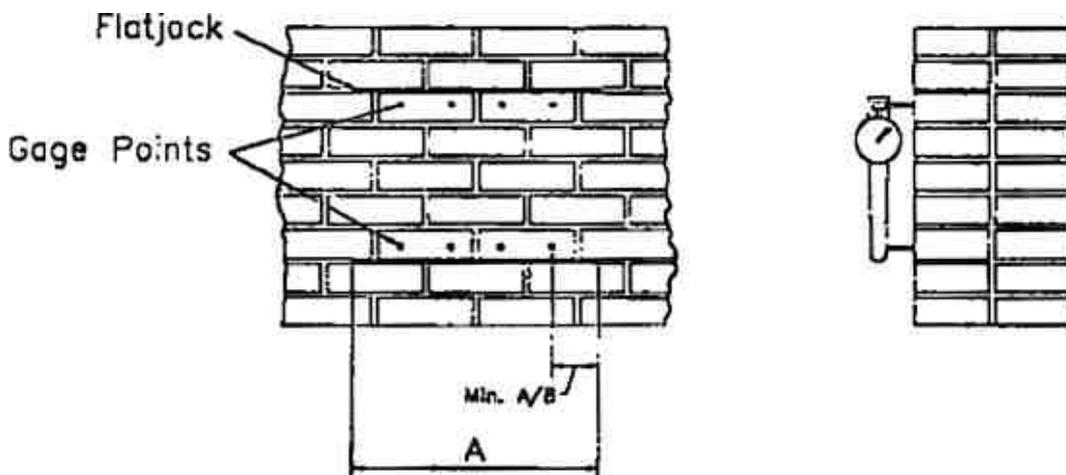


Figura 3. Configurazione delle basi si misura per estensimetri removibili

4.6. *Fissaggio della strumentazione di misura* - La strumentazione di misura deve essere fissata rigidamente per impedire movimenti e garantire la accuratezza di misura richiesta. Per fissare piastrine nel caso di misure manuali, usare un adesivo rigido, e sistemi di fissaggio meccanico o paste cementizie per sistemi automatici.

Le piastrine per misure manuali devono avere una depressione conica al centro compatibile con le punte di fissaggio dello strumento di misura. Gli angoli della depressione conica e delle punte dello strumento devono essere gli stessi.

5. Calibrazione del martinetto

Un martinetto piatto ha una propria rigidità che si oppone all'espansione quando il martinetto viene gonfiato; essa è dovuta alla resistenza del metallo alla flessione, in modo particolare al contorno ed all'azione di diaframma nell'acciaio quando si espande. Perciò la pressione del liquido nel martinetto è maggiore dello sforzo che il martinetto esercita sulla muratura. Pertanto il martinetto deve essere calibrato per ottenere un fattore di conversione k_m che correla la pressione interna del fluido con lo sforzo applicato alla muratura.

Il martinetto deve essere calibrato in una macchina di prova di compressione della capacità di almeno 450 kN.

Se la piastra della macchina non è sufficientemente grande, si dispone una piastra di acciaio spessa 50mm sulla testa inferiore della macchina; la dimensione della piastra deve essere tale da coprire il martinetto che sarà calibrato. Si appoggia il martinetto sulla piastra in modo che appoggi completamente, compresi i bordi ed i due tubi di ingresso/uscita del martinetto. Mettere una piastra dello spessore di 50mm sul martinetto e sugli spessori allineandola sulla piastra inferiore. Posizionare l'insieme piastra/martinetto/spessori sulla piastra inferiore della macchina in modo che il baricentro del martinetto sia posto entro 6mm sull'asse di prova della macchina (Figura 4).

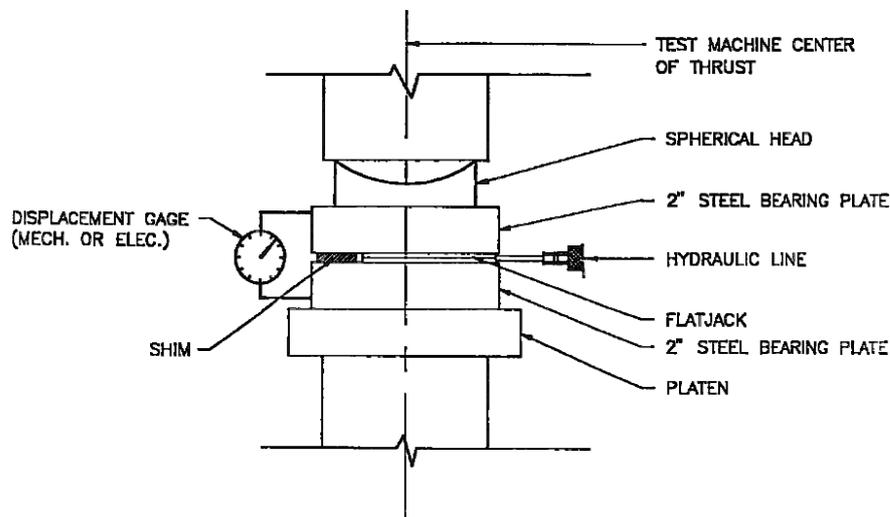


Figura 4. Configurazione del sistema di calibrazione del martinetto

Muovere la testa della macchina fino a toccare la parte non mobile. Applicare un pre-carico equivalente a $0,05 \text{ N/mm}^2$ sufficiente a produrre il contatto completo tra la piastra portante e gli spessori. La distanza tra le piastre deve essere mantenuta costante durante la procedura di calibrazione. A questo punto fissare gli spostamenti della macchina se si esegue la calibrazione in controllo di spostamento. Se questo non avviene, attaccare strumenti di misura meccanici o elettrici in modo da essere certi che la distanza tra i piatti della macchina rimanga costante, se si usa il controllo di carico.

Mettere in pressione e scaricare il martinetto per tre cicli con una pressione massima nel martinetto non oltre di 7 N/mm^2 controllando che la compressione esercitata dalla macchina sul martinetto non superi 7 N/mm^2 sull'area totale del martinetto.

Aumentare la pressione nel martinetto con un incremento di 0,5 N/mm² (5 bar) fino a 7 N/mm² mantenendo costante la distanza tra le piastre. Ad ogni incremento memorizzare sia la pressione del martinetto, sia la forza misurata dalla macchina.

Riportare in un diagramma (Figura 5) i valori della pressione esercitata nel martinetto in N/mm² in ascissa e la forza misurata dalla macchina in N in ordinata. Il coefficiente angolare della retta ottenuta rappresenta la costante del martinetto, cioè il fattore di conversione o costante di rigidezza: k_m

Ricalibrare il martinetto dopo averlo usato cinque volte o quando appare visibilmente deformato dopo l'uso.

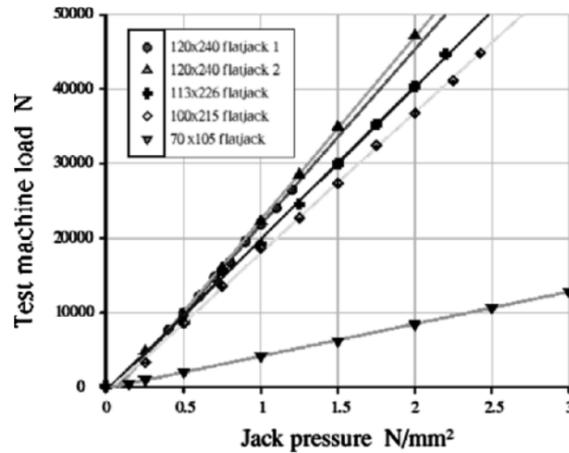


Figura 5. Esempi di curve di calibrazione di martinetti piatti di forma rettangolare.

6. Preparazione del taglio e della muratura da sottoporre a prova

Il taglio può essere eseguito per la muratura di mattoni o per murature con giunti regolari in corrispondenza di un giunto di malta, con un trapano a basso numero di giri, ripulendo il giunto tagliato con la rimozione di tutta la malta e la polvere in modo che il martinetto sia direttamente a contatto con le superfici del taglio. Nel caso di muratura in pietra irregolare il taglio si deve eseguire anche nella pietra in modo che sia perfettamente orizzontale (Figura 6).

In tal caso l'attrezzatura usata per il taglio sarà una sega semicircolare con disco diamantato eccentrico (Figura 7); successivamente dovrà essere ripulito il taglio. In questo secondo caso il martinetto sarà del tipo b), c), d) oppure e) di Figura 1. Si può utilizzare la stessa attrezzatura anche nel caso di muratura di mattoni, in quanto il taglio sarà meglio eseguito.

I tagli devono essere paralleli ed allineati in verticale e distanti non più di 1,5 volte la lunghezza dei martinetti.

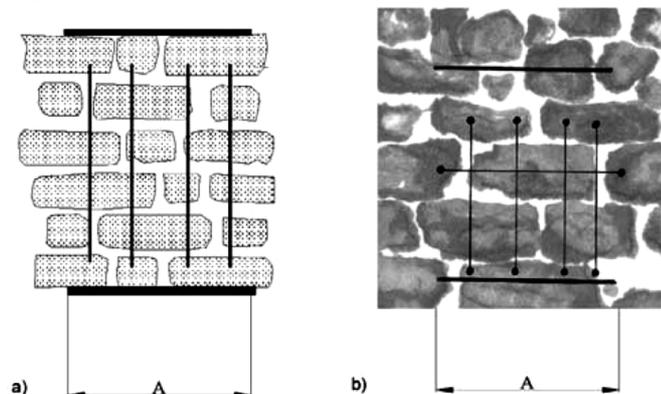


Figura 6. Esempio di localizzazione del taglio e dei sistemi di acquisizione delle deformazioni in a) murature in mattoni o in pietra con tessitura regolare, ed in b) muratura in pietra irregolare

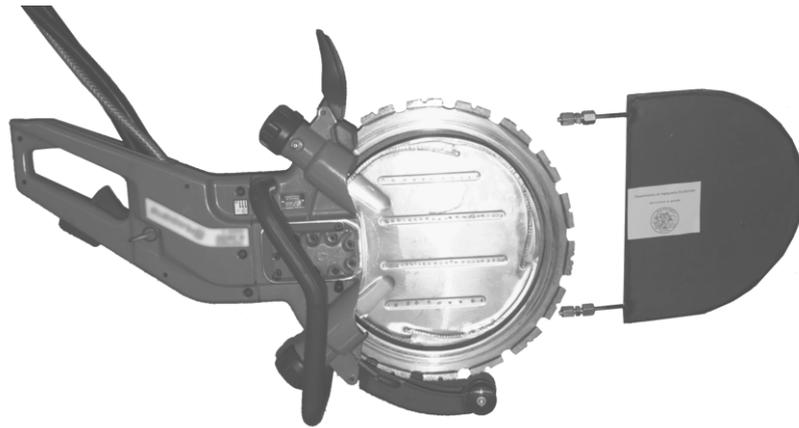


Figura 7. Strumentazione per il taglio della muratura

7. Procedura di prova

La sequenza della prova prevede i seguenti i passi :

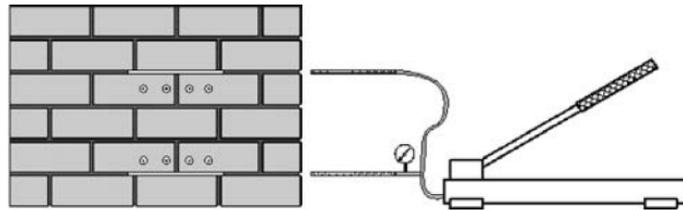


Figura 8. Tipica configurazione di prova.

7.1 Scegliere una zona di muratura che sia sufficientemente rappresentativa. Collocare i punti di misura, incollare le basette in metallo o posizionare gli LVDT (v. 4.6). La localizzazione e il tipo di strumentazione devono essere scelti per misurare le deformazioni su una lunghezza pari al 75-90 % della distanza compresa tra i martinetti. Le misure devono essere prese in più punti ed eventualmente mediate. Si raccomandano 4 punti di misura verticali ed uno orizzontale (Fig. 8). Il primo e l'ultimo punto di misura verticale devono essere localizzati ad una distanza pari ad almeno $A/8$ dove A è la lunghezza del martinetto (Fig. 1).

7.2. Si esegue quindi il taglio cercando di non disturbare la muratura circostante. I tagli devono essere paralleli, allineati in verticale e separati almeno da 5 corsi nel caso le altezze degli elementi componenti la muratura siano minori di 100 mm (murature in laterizi) o 3 corsi per altezze maggiori (murature in pietra). In ogni caso, la distanza tra i tagli deve essere compresa tra la lunghezza A del martinetto (Fig. 1) e $1,5 \cdot A$, ma non essere minore di 2,0 volte la dimensione media in direzione B del martinetto.

7.3. Contemporaneamente si calcola l'area del taglio, misurando la larghezza e la profondità in vari punti (ogni 10-20mm).

7.4. Si inseriscono i martinetti ed eventualmente si inseriscono anche gli spessori in modo da regolarizzare i vuoti e le irregolarità interne.

7.5. Dopo aver preso le misure di partenza, la pressione è incrementata a passi pari a circa il 10% della pressione massima attesa e le deformazioni sono misurate dopo una breve pausa di assestamento ad ogni passo. Ad ogni incremento, si devono registrare sia la pressione dei martinetti che le deformazioni. Il rapporto tra l'incremento di pressione (dp) e l'incremento

della deformazione (de_m), deve essere accuratamente controllato in modo da interrompere la prova quando improvvisamente diminuisce, per non danneggiare la muratura. Un ulteriore controllo riguarda la deformazione orizzontale, il cui repentino incremento potrebbe indicare la propagazione di una fessurazione. Inoltre è importante sottolineare che lo sforzo imposto non deve eccedere il valore limite del martinetto, dichiarato dal produttore o misurato sperimentale.

7.6. E' consigliabile eseguire scarichi ad ogni passo, almeno fino a superare il valore di inizio del comportamento lineare.

7.7. Scaricare e rimuovere delicatamente il martinetto e chiudere il taglio con una malta appropriata che non si ritiri.

8. Calcolo dei risultati

8.1. Il valore dello sforzo di compressione tra i martinetti è dato dalla relazione:

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

dove:

f_{mi} = valore dello sforzo misurato al passo i

k_m = è una costante adimensionale che rappresenta le proprietà geometriche e di rigidezza del martinetto determinate nella Sez.5.

k_a = rapporto tra l'area misurata del martinetto e l'area media del taglio

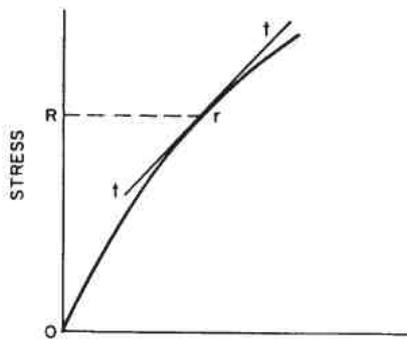
p_i = pressione corrispondente al passo in MPa o in N/mm^2

Le due costanti sono di solito minori di 1.

8.2. E' possibile calcolare i valori deformazione dividendo gli spostamenti acquisiti ad ogni incremento di carico per la lunghezza della base di misura. E' possibile, inoltre, calcolare deformazione media come media aritmetica delle deformazioni misurate nelle diverse localizzazioni

8.3 I moduli elastici possono essere calcolati in diverse posizioni, come esemplificato in [13]:

- E' possibile calcolare ad ogni passo il modulo elastico tangente come:



(b) Tangent Modulus at Any Stress R

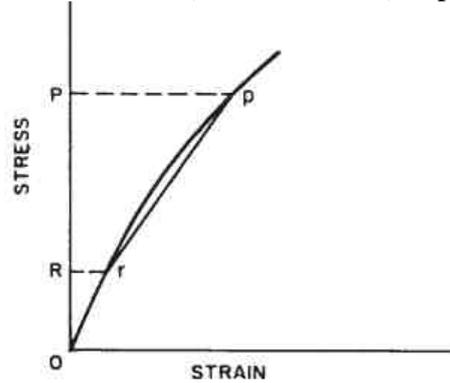
$$E_{ti} = \frac{\delta f_{mi}}{\delta \epsilon_{mi}} \quad \text{dove:}$$

E_{ti} = Modulo Elastico tangente

δf_{mi} = è l'incremento di sforzo

$\delta \epsilon_{mi}$ = è il corrispondente incremento di deformazione

- il modulo elastico (chord modulus) al passo di carico i , su un intervallo di corda scelto

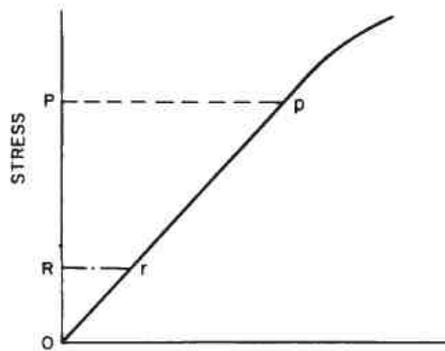


(c) Chord Modulus Between Any Two Stresses P and R

$$E_{si} = \frac{f_{mi}}{\epsilon_{mi}} \quad \text{dove}$$

- E_{si} = Modulo Elastico secante al passo i
- f_{mi} = è lo sforzo al passo di carico i
- ϵ_{mi} = è la deformazione corrispondente

- il modulo elastico secante (modulo di Young, secondo ASTM rispetto un tratto lineare, partendo dal precarico al limite proporzionale)



(a) Young's Modulus Between Stress P , below Proportional Limit and R or Preload

Inoltre, è possibile calcolare il modulo elastico secante in fase di scarico in modo analogo ai precedenti.

Il coefficiente di dilatazione trasversale, per lo stesso intervallo di calcolo del modulo elastico è calcolato come segue:

$$v = \frac{\delta\epsilon_h}{\delta\epsilon_m}$$

- v = coefficiente di dilatazione trasversale
- $\delta\epsilon_m$ = incremento di deformazione
- $\delta\epsilon_h$ = corrispondente incremento della deformazione trasversale

Per la valutazione del modulo elastico in fase di scarico, le velocità di prova in fase carico e di scarico, devono essere comparabili.

8.4 Quando è possibile spingere lo sforzo oltre il limite elastico si può anche calcolare:

- f_{me} = sforzo cumulativo al limite di elasticità misurato in sito (al limite cioè del comportamento elastico), che si può considerare come sforzo di prima fessurazione

9. Resoconto di prova

Il resoconto di prova deve contenere le seguenti informazioni:

- a) Riferimento allo standard;
- b) una descrizione del sito, dell'edificio e della muratura insieme ad altre importanti informazioni, come le condizioni ambientali, le caratteristiche dei mattoni o delle pietre e della malta, la presenza di umidità per risalita capillare;
- c) disegni e foto della tessitura muraria, della posizione delle basi di misura e la data di costruzione della muratura se è nota;
- d) la data della prova;
- e) metodo di taglio, schema e localizzazione dei tagli, localizzazione della strumentazioni di misura ed altre informazioni pertinenti
- f) caratteristiche della strumentazione adottata, sistema idraulico, uso di spessori o altro.
- g) i valori delle costanti di calibrazione del martinetto
- h) i valori dello stato di sforzo calcolato
- i) calcolo del modulo elastico e del coefficiente di dilatazione
- j) grafici dei valori di sforzo e deformazione misurati
- k) valore, quando misurato, dello stato di sforzo di prima fessurazione
- l) Altre osservazioni.

10. Bibliografia

- [1] Rossi, P.P., 'Analysis of mechanical characteristics of brick masonry tested by means of non-destructive in-situ tests', Paper presented at the 6th International Brick Masonry Conference, Rome, 1982.
- [2] Sacchi Landriani, G. and Taliercio, A., 'Numerical analysis of the flat jack test on masonry walls', *Journal of Theoretical and Applied Mechanics* 5(3) (1986).
- [3] Noland, J.L., Atkinson, R.H. and Schuller, M.P., 'A review of the flat-jack method for nondestructive evaluation', *Proceedings of Non-destructive Evaluation of Civil Structures and Materials*, Colorado, October 1990.
- [4] ASTM C 1197-91, 'Standard test method for in-situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method'.
- [5] RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials, LUM.D.3 'In-situ strength/elasticity tests based on the flat jack' (E & FN Spon, London, 1994) 503-508.
- [6] Hughes, T.G., and Pritchard, R., 'An investigation of the significance of flatjack flexibility in the determination of insitu stresses', *Proc. 10th Intl. Brick-Block Mas. Conf.*, Vol. 2., 1994, 569-578.
- [7] Building Research Establishment, Digest 409 – 'Masonry and concrete structures: Measuring in-situ strength and elasticità using flat jacks' (1995).
- [8] de Vekey, R.C., 'Thin stainless steel flat-jacks: calibration and trials for measurement of in-situ stress and elasticity of masonry', *Proc 7th Canadian Masonry Symposium*, Hamilton, Vol. 2 (1995) 1174-1183.
- [9] EN 1052–1, 'Methods of test for masonry. Part 1 - Determination of compressive strength' (1998).
- [10] Binda, L., Tiraboschi, C., 'Flat-Jack Test as a Slightly Destructive Technique for the Diagnosis of Brick and Stone Masonry Structures', *Int. Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, *Int. Zeitschrift fur Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege*, Zurich, pp. 449-472, 1999.
- [11] Binda, L., Tiraboschi, C., Flat-Jack method applied to historic masonries *Proc. Int. RILEM Workshop On Site Control and Non-Destructive Evaluation of Masonry Structures*, 13-14/11/2001, Mantova, Italy, Binda L., de Vekey R.C. (Eds.), pp. 179-190, 2003.
- [12] Binda, L., Cantini, L., Cardani, G., Saisi, A., Tiraboschi, C., Use of Flat-Jack and Sonic Tests for the Qualification of Historic Masonry, 10th Tenth North American Masonry Conference (10NAMC), St. Louis, Missouri, 3-6/06/07, Session 6C, CD-ROM, pp. 791-803, 2007.
- [13] ASTM E 111 – 04, 'Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus'.

11. Normative e raccomandazioni

- [14] ASTM C 1197-91, 'Standard test method for in-situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method'.
- [15] RILEM Technical Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials, LUM.D.3 'In-situ strength/elasticity tests based on the flat jack' (E & FN Spon, London, 1994) 503-508.

12. Linee guida sull'interpretazione dei risultati in vari casi

Nel seguito verranno riportati alcuni commenti, osservazioni e suggerimenti sulla metodologia di prova, con particolare riferimento al caso delle murature deboli o con morfologie irregolari.

12.1 Difficoltà nell'interpretazione delle misure

Difficoltà o impedimenti all'applicazione della prova per la determinazione delle caratteristiche tenso-deformative si possono presentare nel caso di edifici bassi (a uno o due piani) a causa della mancanza di contrasto all'azione dei martinetti e quindi, per insufficienza dello stato di sforzo agente nella muratura al di sopra del punto di prova. La Fig. 9 mostra uno di questi casi: l'insorgere di fessure nella muratura sopra al martinetto superiore rese impossibile la prosecuzione della prova.

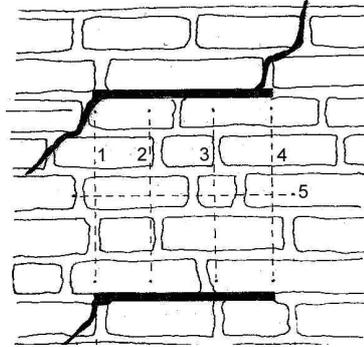


Figura 9. Rottura della muratura ai limiti del taglio

12.2 Problemi dovuti alle caratteristiche della muratura

12.2.1 Giunti spessi

In caso di giunti di malta di elevato spessore (per esempio giunti di murature di epoca bizantina), la scelta della posizione del taglio sia nella prova con il martinetto singolo che doppio, è molto importante. Se il giunto è di spessore superiore a 2 cm la scelta migliore sarà effettuare il taglio nel corso di mattoni, ma solo se non si tratta di edifici monumentali.

12.2.2. Muratura regolare con giunti sottili

Quando il giunto è particolarmente sottile (<4 mm), e/o la muratura è di rilevante importanza storica bisogna porre attenzione alle operazioni di taglio. In queste circostanze si deve ricorrere comunque ad una sega circolare.

12.2.3 Muratura in pietra con tessitura irregolare.

Nelle murature in pietra irregolari il taglio non può essere effettuato nei giunti di malta, discontinui e poco resistenti; deve essere invece realizzato attraverso le pietre [6].

Inoltre, la scelta del punto di prova è molto importante perché l'irregolarità della muratura può influenzare molto i risultati, come mostrato in Fig. 9. In presenza di una disposizione delle pietre non simmetrica e omogenea si è verificata una distribuzione non uniforme dello stato di sforzo durante la prova, con maggiori concentrazioni in corrispondenza della base di misura LVDT 4. Il risultato è stato un'apparente maggior rigidità del campione vicino alle basi LVDT 1 e 2. La prova non è stata considerata valida.

E' da sottolineare, come si possono misurare frequentemente valori non simmetrici

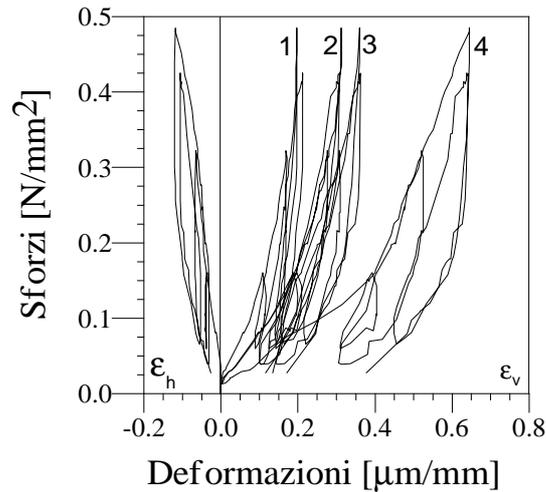


Figura 9a. Legame sforzi-deformazione

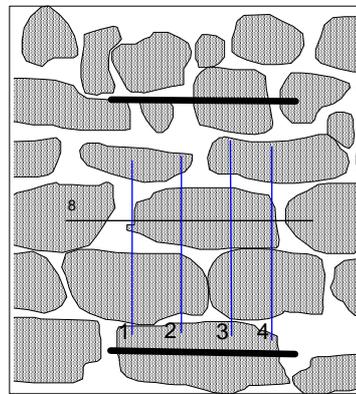


Figura 9b. Configurazione di prova per una muratura irregolare

12.3. Controllo delle tecniche di intervento

Due sono essenzialmente le tecniche di riparazione che possono essere controllate ripetendo la prova con doppio martinetto prima e dopo l'intervento: l'iniezione di miscele consolidanti e la ristilatura profonda dei giunti. L'indagine si effettua lasciando in sito, scarico, il martinetto usato per la prova prima dell'intervento di riparazione. La prova è ripetuta sulla muratura consolidata ottenendo una curva sforzi-deformazioni confrontabile con la precedente per verificare l'eventuale incremento di rigidità e resistenza [2], [12].

12.4 Riferimenti bibliografici

- [1] ASTM C 1197, 'Standard test method for in-situ measurement of masonry deformability properties using the flat jack method', 1991.
- [2] Bettio, C., Gelmi, A., Modena, C. and Rossi, P.P., 'Mechanical characterisation and strengthening of masonries from antique historic centres in the Trento province: preliminary report on the results of on site investigation, Conf. on "Murature, sicurezza, recupero", Trento, Italy, 1993, 185-222.
- [3] Binda, L., 'Characterisation of stone and brick masonries finalised to the choice of appropriate strengthening techniques', Milan Research Unit, Final Report for Contract CNR/GNDT, 1999.
- [4] Binda, L. and Anzani, A., 'The time-dependent behaviour of masonry prisms: an interpretation', The Masonry Society Journal 11 (2), 1993, 17-34.

- [5] Binda, L., Gatti, G., Mangano, G., Poggi, C. and Sacchi Landriani, G., ‘The collapse of the Civic Tower of Pavia: a survey of the materials and structure’, *Masonry International* 6 (1), 1991, 11-20.
- [6] Binda, L., Modena, C. and Baronio, G., ‘Strengthening of masonries by injection technique’, *Proceedings of 6th NaMC, Vol. I, Philadelphia, 1993*, 1-14.
- [7] Binda, L., Tiraboschi, C. and Tongini Folli, R., ‘On site and laboratory investigation on materials and structure of the Bell Tower in Monza’, *2nd Int. Conf. RILEM on Rehabilitation of structures, Highett, Australia, 1998*, 542-556.
- [8] Eurocode 6, ‘Design of Masonry Structure’.
- [9] Hilsdorf, H.K., ‘Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression’, *Proc. Int. Conf. on Masonry Structural System, Texas, 1969*.
- [10] Binda, L. and Tiraboschi, C., ‘Flat-jack test as a slightly destructive technique for the diagnosis of brick and stone masonry structures’, *Int. Journal for Restoration of Buildings and Monuments (Int. Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, Zurich)*, 1999, 449-472.
- [11] Binda, L., Tiraboschi, C., Flat-Jack method applied to historic masonries *Proc. Int. RILEM Workshop on Site Control and Non-Destructive Evaluation of Masonry Structures, 13-14/11/2001, Mantova, Italy, Binda L., de Vekey R.C. (Eds.), 2003*, 179-190.
- [12] Binda, L., Cantini, L., Cardani, G., Saisi, A., Tiraboschi, C., Use of Flat-Jack and Sonic Tests for the Qualification of Historic Masonry, *10th Tenth North American Masonry Conference (10NAMC), St. Louis, Missouri, 3-6/06/07, Session 6C, CD-ROM, 2007*, 791-803.