



Atti del Convegno Nazionale
La Meccanica delle Murature tra Teoria e Progetto
Messina, 18-20 Settembre 1996

ALCUNI RECENTI SVILUPPI NELLA TECNICA DEI MARTINETTI PIATTI

Lorenzo Jurina

*Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Politecnico di Milano*

SOMMARIO

La corretta individuazione della tensione in situ mediante martinetti piatti è spesso resa difficoltosa dalla presenza di eccentricità del carico sulla muratura e dal verificarsi di localizzati fenomeni di collasso durante lo svolgimento della prova.

La memoria propone alcune osservazioni utili a superare tali difficoltà.

SUMMARY

It is hard to define correctly the right value of the *in situ stress* in a masonry wall when local collapse due to the same test procedure happen or in presence of eccentric loads on the wall. Some observations are presented to overcome these difficulties.

1. PREMESSA

Nella diagnosi strutturale degli edifici in muratura ed in special modo negli edifici monumentali si è andata affermando, dal 1979 in poi (Jurina *et al.*, 1980), una tecnica di prova poco distruttiva conosciuta come prova dei martinetti piatti.

La prova, ormai ampiamente diffusa sia in Italia che all'estero, è stata normata dalla American Society for Testing and Materials (ASTM, 1991a - ASTM, 1991b).

In sintesi, la prova ha lo scopo di determinare: a) *la compressione verticale in situ nella muratura*, b) *il modulo elastico*, c) *la resistenza a compressione*, d) *la resistenza a taglio*, ossia quella serie di parametri che risultano più immediatamente utili per una modellazione, anche se semplificata, del materiale e quindi della struttura in esame.

Nella sua fase iniziale la prova utilizza un approccio di "liberazione delle tensioni" esistenti nella zona di muratura in esame. Dopo aver applicato alcuni punti di riferimento sulla superficie della muratura e misurata la loro distanza, viene praticato un taglio piano perpendicolare alla

superficie stessa. Questo provoca l'azzeramento delle tensioni sulle superfici del taglio e la sua parziale chiusura, con una conseguente modifica delle distanze mutue tra i punti di riferimento.

Viene successivamente inserito nel taglio un martinetto piatto di piccolo spessore e viene gradualmente aumentata la pressione dell'olio al suo interno fino a riportarsi ad una configurazione geometrica prossima a quella misurata all'origine.

Nella prassi correntemente accettata, la pressione del martinetto che annulla la convergenza provocata dal taglio è considerata indicativa, salvo fattori di correzione, della tensione verticale media esistente in situ nella muratura.

Anticipo che su questa prima fase della prova verteranno principalmente le osservazioni ed i risultati sperimentali illustrati nel seguito della memoria.

In una seconda fase, la prova prevede di praticare un ulteriore taglio parallelo al primo, isolando un prisma di muratura di dimensioni adeguate alla eterogeneità del materiale. Mediante due martinetti la muratura viene sottoposta a carico noto. Vengono poi misurate le deformazioni del campione in varie direzioni ed, eventualmente, determinata la tensione cui corrispondono i primi sintomi di collasso locale.

Una illustrazione più dettagliata del metodo è contenuta in (Rossi, 1993- Jurina, 1992 -Jurina e Califano, 1993).

Malgrado la diffusione della prova e la esperienza tecnologica acquisita sul campo da diversi operatori, pare ancora necessario dedicare ulteriori sforzi alla individuazione delle modalità esecutive ottimali (numero e disposizione degli strumenti di misura e dimensioni del taglio) ed alla definizione delle procedure di interpretazione delle letture effettuate.

Va sottolineato inoltre che la prova presenta alcune potenzialità non ancora sfruttate, quali ad esempio la possibilità di interpretare gli spostamenti del paramento murario *durante* la esecuzione del taglio (con lo scopo di evidenziare eventuali eccentricità del carico assiale) e la possibilità di un uso di *più martinetti piatti* agenti contemporaneamente sulla muratura, con lo scopo di determinarne in tutto o in parte il dominio di rottura.

2. OSSERVAZIONI SU ALCUNI ASPETTI TECNOLOGICI DELLA PROVA

Al di là delle difficoltà operative intrinseche alla prova ed alla fisiologica eterogeneità dei materiali esaminati, la perdurante assenza di una normativa nazionale vincolante, suffragata da una ampia campagna sperimentale, ha condotto a modalità di esecuzione da parte dei vari operatori che risultano anche molto differenti, a scapito della attendibilità e della confrontabilità dei risultati.

Sugli aspetti tecnologici, che ritengo vadano tenuti in grande considerazione, mi limito ad alcuni brevi commenti.

(2.1) - La prima osservazione si riferisce alla deformabilità dei martinetti. Per ottenere tensioni uniformemente applicate alla muratura è opportuno infatti che la deformabilità sia la più elevata possibile e quindi che i martinetti siano realizzati con lamierino in acciaio, o altro materiale, di spessore il più ridotto possibile, compatibilmente con le esigenze di contenere olio in forte pressione.

I martinetti in commercio e in particolare quello attualmente più utilizzato (che presenta una forma composta da un rettangolo prolungato con un semicerchio) sono caratterizzati da spessori globali molto ridotti, pari a 4 mm circa, con lamine in acciaio da 0,6 mm.

Con lo scopo tuttavia di realizzare martinetti che siano capaci di adattarsi ancora meglio alle asperità ed alle lacune sempre presenti nella muratura ma che siano poi facilmente estraibili e rimodellabili, in collaborazione con l'Istituto per la Tecnologia dei Materiali Metallici non Tradizionali del Centro CNR di Lecco si è recentemente avviata una fase di sperimentazione di martinetti realizzati con una lega NiTi, a memoria di forma.

(2.2) - Il rapporto tra la pressione misurata al manometro e quella effettivamente applicata alla muratura è pari mediamente a 0,92-0,98 per martinetti nuovi con saldature ben eseguite e per spessori del taglio prossimi allo spessore del martinetto.

Questo rapporto, denominato K_m , tende tuttavia a ridursi ulteriormente seguito da un uso ripetuto del martinetto, soprattutto quando i tagli praticati nella muratura siano di spessore elevato e non regolare. Le deformazioni irreversibili subite dal martinetto a causa delle irregolarità del piano di posa e della plasticizzazione delle saldature di bordo determinano pertanto la necessità di sostituzioni piuttosto frequenti.

Va aggiunto che nella determinazione sperimentale di K_m è raccomandabile includere anche gli errori dovuti al circuito idraulico, che dovrà essere il più possibile simile a quello successivamente adottato in fase operativa.

(2.3) - La precisione del taglio risulta determinante al fine di ottenere un campione di muratura indisturbato. Apprezzabili risultati si stanno ottenendo negli ultimi anni con l'adozione di una sega circolare a disco diamantato movimentato eccentricamente, montata su un sostegno a colonna ad avanzamento regolabile.

Per ridurre il danno statico ed estetico arrecato alla muratura è opportuno, al termine della prova, provvedere ad un risarcimento del taglio mediante malte additivate con prodotti antiritiro o debolmente espansivi. Questa operazione semplice e poco costosa non è sfortunatamente ancora entrata nella normale prassi di prova.

(2.4) - Con riguardo alla posizione in cui effettuare il taglio, l'esperienza di cantiere suggerisce di praticare il taglio in corrispondenza dei mattoni. Nell'edilizia monumentale tuttavia questa scelta risulta spesso sconsigliabile a causa della maggiore evidenza della "cicatrice" al termine della prova e si preferisce pertanto praticare il taglio sul giunto orizzontale in malta.

Risulta palese inoltre la necessità di operare in zone prive di anomalie sia legate al materiale che alla geometria della parete.

(2.5) - Riguardo alla strumentazione di misura, si tende a privilegiare sempre più la adozione di trasduttori di spostamento collegati ad una centralina di acquisizione dati in grado di operare in continuo durante tutto lo svolgimento della prova. Ritengo molto opportuno estendere la fase di lettura delle misure anche al periodo di esecuzione delle operazioni di taglio.

Questo implica la pratica impossibilità di effettuare letture di spostamento relativo tra i bordi liberi "a cavallo" del taglio, come era usuale nei primi anni di sperimentazione della prova. Per ovviare a questo inconveniente è possibile misurare invece, separatamente, gli spostamenti assoluti di punti posti sia sopra che sotto il taglio, mediante trasduttori piuttosto lunghi, di misura 40-50 cm.

Una disposizione minima consigliata dei trasduttori in grado di fornire una adeguata quantità di informazioni deve prevedere l'uso di almeno sei strumenti, tre sopra e tre sotto il taglio. Questo tra l'altro consente di non dover spostare alcun sensore passando dalla prima alla seconda fase della prova, dove è previsto l'impiego di due martinetti. L'uso di un numero ancora maggiore di strumenti di misura è tuttavia caldamente raccomandato data la frequenza di anomalie, spesso dovute a perturbazioni indotte nella fase del taglio o a collassi locali, che costringono a scartare talune delle letture.

3. I RISULTATI DI UNA SIMULAZIONE NUMERICA

La prova dei martinetti piatti fornisce indicazioni solo sul *valore medio* della tensione in situ nella zona esaminata e quindi colgono adeguatamente quelle situazioni in cui le tensioni sono costanti sulla sezione. Nel caso in cui i carichi assiali siano eccentrici è ancora possibile ottenere indicazioni sul gradiente delle tensioni lungo lo spessore ripetendo la prova prima su uno e poi sull'altro lato della parete ed interpolando i risultati.

Tenuto conto però del fatto che il costo della prova non è trascurabile, sarebbe estremamente comodo disporre di indicazioni tempestive sulla esistenza o meno di una eccentricità del carico e quindi sulla necessità o meno di ripetere la prova sul lato opposto della muratura. Tali indicazioni dovrebbero naturalmente essere ottenute durante lo svolgimento della prima parte della prova.

E' stato proposto (Jurina,1992) di sfruttare le informazioni ottenute durante la esecuzione del taglio, fase in cui la geometria del sistema subisce una variazione geometrica continua.

Nel grafico di **figura 1** vengono illustrati i risultati di una simulazione numerica recentemente condotta con un modello 3D agli elementi finiti, elastico lineare, in cui si evidenzia l'incremento di convergenza della fessura all'approfondirsi del taglio nella parete.

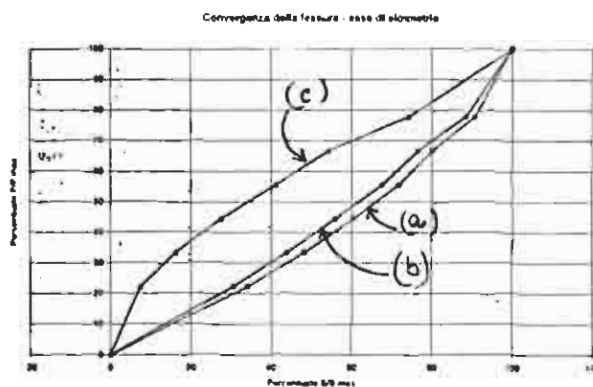


Figura 1

S - convergenza dei lembi del taglio sull'asse di simmetria
P = profondità del taglio

Il modello numerico simula una porzione di parete di dimensioni 180x180x50 cm in cui viene praticato un taglio di dimensioni 27x37 per la successiva introduzione di un martinetto standard. Le tre curve illustrate si riferiscono a diverse eccentricità del carico agente sulla parete ed in particolare, rispettivamente, (a) ad eccentricità verso il lato del taglio pari ad 1/6 dello spessore della parete, (b) ad eccentricità nulla, (c) ad eccentricità verso il lato opposto al taglio, pari ad 1/6 dello spessore.

La risultante del carico applicato viene mantenuta costante nei tre casi esaminati. Le curve sono state adimensionalizzate sia rispetto al valore massimo della convergenza sia rispetto alla profondità massima del taglio.

Pur nella semplicità del modello adottato è possibile notare che le curve (a,b) presentano una *concavità opposta* alla curva (c). In pratica, mentre nei casi (a,b) la tensione misurata dal martinetto è il valore massimo della tensione riscontrabile lungo lo spessore della parete, e quindi in termini di valutazione della sicurezza non è necessario proseguire nella ricerca, nel caso (c) il valore medio che si otterrà con la prova è solo *una stima per difetto* della tensione massima in quella zona della muratura e quindi è opportuno eseguire una prova ulteriore sul lato opposto.

Non è stato ancora possibile validare sperimentalmente questa ipotesi di lavoro, tuttavia essa appare promettente per una razionale applicazione del metodo di indagine, nello spirito dell'*observational method*, a suo tempo proposto da Terzaghi per le indagini geognostiche.

4. UNA PROVA SPERIMENTALE SU MURATURA DANNEGGIATA

Alcuni recenti riferimenti bibliografici (Rossi,1993- Ghizzoni,1995) testimoniano della obiettiva difficoltà di determinare la tensione verticale in situ, intesa come uguale a quella pressione del fluido applicata all'interno del martinetto che comporta il *ripristino della geometria iniziale* della muratura in prossimità del taglio.

Questa circostanza risulterebbe infatti *verificata per tutti i punti del continuo solo nel caso di un materiale perfettamente elastico*.

La realtà delle costruzioni esistenti è invece spesso lontana da questo comodo modello ideale, sia per l'intrinseca natura del materiale, sia perchè le fasi del taglio e del ripristino tensionale possono indurre fenomeni di collasso localizzato nella zona esaminata.

Va aggiunto peraltro che la prova dei martinetti piatti ha specifica ragione d'essere proprio in quei casi di muratura degradata o particolarmente sollecitata, tali da lasciare supporre un pericolo per la struttura.

Si è deciso allora di effettuare *una prova sperimentale* su un caso estremo, ma ancora realistico, di muratura particolarmente danneggiata. Questo allo scopo di valutare gli errori in cui si può incorrere con la pedissequa applicazione della prassi correntemente adottata che si basa sul concetto di pressione di ripristino.

La prova è stata eseguita presso il laboratorio prove della società 4EMME srl a Bolzano, durante la preparazione della tesi di laurea di S.Locati e G.Ruiu (Locati e Ruiu, 1996)

L'elemento murario utilizzato, in mattoni pieni e malta di cemento, di dimensioni 130x60x40 cm, era stato sottoposto in precedenza a prove di carico che lo avevano parzialmente danneggiato ed era stato successivamente risarcito.

Su questo campione si è eseguita dapprima una prova a compressione fino a 1.5 Mpa per la preventiva determinazione del legame sforzi-deformazioni.

Sono stati utilizzati a questo scopo 16 trasduttori applicati in vari punti della muratura.

Il diagramma di **figura 2** illustra i risultati ottenuti per i trasduttori verticali, che evidenziano la non linearità di comportamento del materiale.

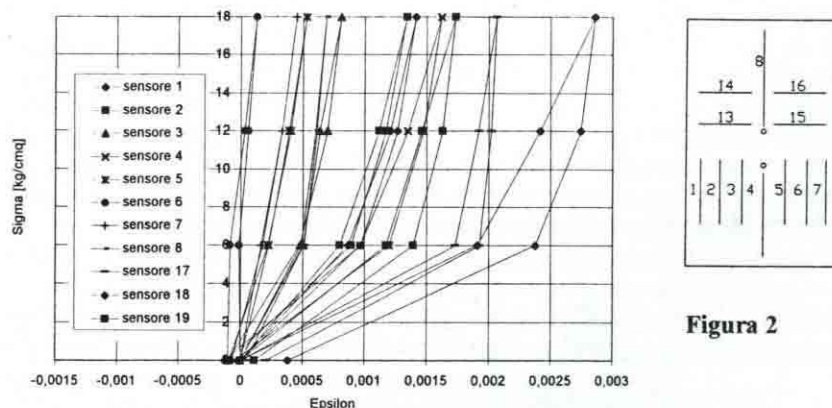


Figura 2

Successivamente, sempre sotto un carico uniforme di 1.5 Mpa, si è praticato il taglio e si è poi ripristinata la tensione mediante un martinetto piatto. L'intera storia di carico viene illustrata in **figura 3** con riferimento ai sensori 4 e 8.

Preme sottolineare che l'adozione di un numero più ridotto di sensori, secondo la prassi usuale, avrebbe reso arduo qualunque tentativo di analisi dei risultati.

L'osservazione più allarmante tuttavia si riferisce alla constatazione che, se non fosse stato noto a priori il valore della tensione effettivamente applicata alla muratura (1.50 Mpa), le procedure di interpretazione usualmente adottate, basate sul concetto di pressione di ripristino, avrebbero portato a definire una tensione in sito compresa tra 0.45 e 0.92 Mpa, notevolmente sottostimata e quindi a sfavore di sicurezza.

A fronte dell'atteggiamento "sbrigativo" consentito dalla prassi corrente, la prova dei martinetti piatti presenta invece notevoli difficoltà di interpretazione anche quando si operi in

condizioni controllate in cui si abbia a che fare con murature di caratteristiche note e con un taglio effettuato con le dovute cautele. Tali difficoltà diventano evidentemente superiori quando si operi sul campo.

Il modello interpretativo basato su una ipotesi di materiale elastico lineare appare pertanto applicabile solo con estrema cautela e va rivisto il concetto di "pressione di ripristino".

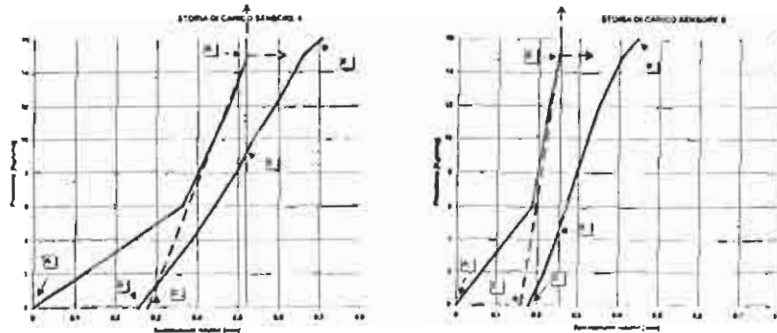


Figura 3a, 3b

5. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI SPERIMENTALI

I risultati della prova sperimentale descritta (condotta con rigore ma su un unico campione) dovranno essere confortati da ulteriori verifiche sperimentali prima di passare ad una fase interpretativa analitica basata su una modellazione numerica non lineare del continuo murario.

Vale la pena tuttavia di avanzare una ipotesi di interpretazione dei risultati che si presenta come promettente e che si basa su una semplice osservazione sperimentale.

L'osservazione è la seguente: "Una volta eliminate tutte quelle misure che risultino palesemente inattendibili (per essere a cavallo di una lesione apparsa durante la prova o per essere state danneggiate durante il procedimento di taglio), i restanti diagrammi carico-spostamento evidenziano una *zona comune di punti di intersezione* ubicata proprio attorno al valore di 1.50 Mpa, tensione che sappiamo essere quella corretta." (Figura 4)

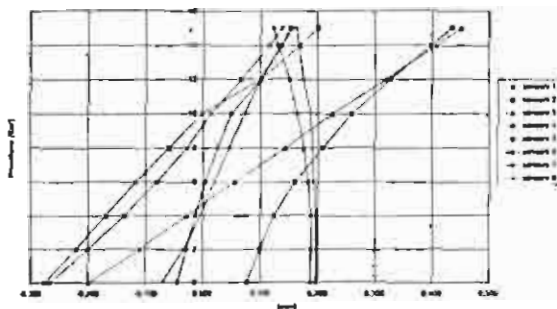


Figura 4

Una osservazione analoga è stata formulata in precedenza nel lavoro di (Ghizzoni,1995) sulla base di prove condotte presso l'Università di Brescia, e costituisce un interessante precedente anche se i risultati apparentemente contrastanti cui si è pervenuti a seguito delle prove qui descritte hanno imposto una estensione del criterio di interpretazione dei risultati.

In un continuo murario di tipo elastico lineare è possibile dimostrare che, in concomitanza del ritorno alla situazione di carico originaria, si sarebbe ottenuto *un unico punto di intersezione di tutte le curve*: in altri termini tutti i diagrammi si sarebbero incrociati nel

medesimo punto, ubicato proprio sull'asse verticale, quello delle pressioni applicate al martinetto. (figura 5b)

Nel caso in cui, come nella prova eseguita, la muratura presenti invece un comportamento non lineare, la risposta non è altrettanto immediata.

Analizziamo allora, qualitativamente, due diversi modi in cui potrebbe manifestarsi un collasso nella muratura durante la esecuzione della prova: nel primo caso si analizzerà l'effetto di una *plasticizzazione locale da compressione* a lato del taglio, che si manifesti durante la fase di esecuzione del taglio stesso; nel secondo caso si analizzerà l'effetto di una *rottura locale per trazione* sui bordi del taglio, che si sviluppi durante la fase di ripristino della tensione mediante il martinetto.

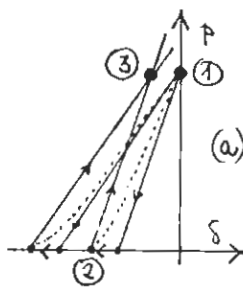


Figura 5a

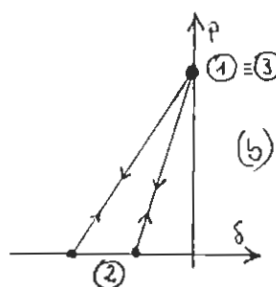


Figura 5b

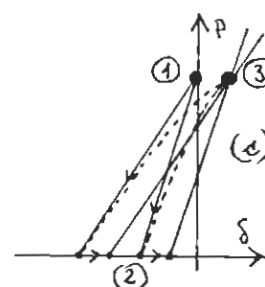


Figura 5c

(5.1)- Supponiamo dunque che durante il taglio si verifichi una *plasticizzazione localizzata*, dovuta ad un forte *aumento di compressione* nella porzione di muratura ubicata in prossimità del bordo del taglio, mentre in tutti gli altri punti il materiale mantenga un comportamento sostanzialmente elastico lineare.

Questo fatto provoca una distribuzione di spostamenti dei lembi del taglio che è *superiore* a quella che si sarebbe verificata in un materiale dal comportamento ovunque elastico lineare.

La risposta del sistema risulta infatti data da due contributi: uno spostamento elastico reversibile più una traslazione ulteriore indotta dal cedimento plastico (interpretabile come una coazione concentrata in una ridotta zona del continuo).

E' evidente allora che per ripristinare la tensione in situ esistente prima della applicazione del taglio ci si deve limitare a *recuperare il solo contributo elastico* e non tutto lo spostamento misurato. Ma quanto vale lo spostamento elastico?

Sarebbe impossibile determinarlo se avessimo a disposizione una sola misura di spostamento globale, ma diventa semplice disponendo di almeno due misure di spostamento globale influenzate allo stesso modo dallo stesso fenomeno plastico.

Nel caso che stiamo esaminando, dove il collasso della muratura avviene per eccesso di compressione locale, la risposta del materiale durante la fase di ripristino della pressione sarà di tipo sostanzialmente elastico. Gli spostamenti dei punti ubicati a cavallo del taglio in prossimità della zona collassata sono tutti influenzati da una stessa traslazione (il cedimento plastico irreversibile localizzato ai bordi del taglio) e pertanto i diagrammi carico-spostamento risultano tutti *trasmessi di una quantità pressochè analoga*. E' evidente allora che il ritorno alla tensione in situ sarà individuato semplicemente dal punto in cui le varie curve di ripristino (elastiche) si incrociano, come illustrato in **figura 5a**.

La circostanza interessante, da tenere sotto controllo durante la prova, diventa allora la *convergenza delle varie curve nel medesimo punto*, situazione che identifica il recupero

completo della sola componente di spostamento elastico, e non il recupero dello spostamento totale.

Notiamo che se la risposta non lineare è dovuta ad una plasticizzazione dei bordi del taglio, il punto di convergenza dei diagrammi risulta ubicato *prima dell'intersezione* delle curve con l'asse dei carichi.

Notiamo ancora che, seguendo la prassi corrente, ossia imponendo il recupero di tutto lo spostamento misurato durante il taglio, si sarebbe determinata una tensione in situ *approssimata per eccesso*.

(5.2)- Consideriamo ora una seconda ipotesi di danno localizzato nella muratura. Supponiamo che durante le operazioni di taglio la risposta del materiale resti elastica ovunque e che invece la concentrazione di tensioni indotta dalla pressurizzazione del martinetto provochi localizzati fenomeni di *rottura per trazione* lungo il perimetro del taglio, con l'innescarsi di una frattura e quindi con una divaricazione dei lembi, superiore a quella della semplice risposta elastica.

Si viene ad applicare in sostanza alla muratura una coazione localizzata i cui effetti si fanno sentire come una sorta di traslazione rigida sulle zone vicine al taglio. In altre parole, il martinetto si trova ad operare all'interno di una fessura di dimensioni più grandi di quelle originariamente prodotte dalla sega circolare e quindi, a parità di pressione applicata, gli spostamenti ottenuti sono maggiori di quelli misurati nella precedente fase elastica, in cui si è verificata la liberazione delle tensioni.

Occorre allora, anche in questo caso, recuperare i soli spostamenti elastici, determinando il punto di intersezione di almeno due diagrammi carico-spostamento, influenzati nella *stessa* misura dal *medesimo* fenomeno.

Anche qui il fatto fisicamente interessante diventa la convergenza delle varie curve nel medesimo punto, con un recupero completo della componente di spostamento elastico, e non dello spostamento totale.

Il punto di convergenza delle curve risulta ubicato *dopo l'intersezione* con l'asse dei carichi, come si evidenzia in **figura 5c**.

Notiamo ancora, con preoccupazione, che applicando la prassi corrente si sarebbe ottenuta una stima della tensione in situ *approssimata per difetto*.

In **figura 5** vengono riassunti i comportamenti sopra schematicamente commentati. In **figura 5a** viene illustrata la risposta di una muratura che collassa localmente per compressione in prossimità del taglio. In **figura 5b** viene illustrata la risposta di una muratura che si comporta ovunque in modo elastico lineare. In **figura 5c** si illustra la risposta di una muratura che collassa localmente per trazione in prossimità del taglio.

Come anticipato, l'ipotesi di lavoro avanzata pare promettente.

In tutti e tre i casi analizzati, infatti, anche in presenza di modalità di rottura molto diverse tra loro ma caratterizzate dal fatto di essere concentrate in zone ridotte della muratura in prossimità del taglio, è sufficiente disporre di almeno due misure influenzate in modo analogo dalla distorsione (e cioè prese in punti vicini sullo stesso lato del taglio oppure in posizioni contrapposte sui due lati del taglio), per poter individuare il punto di azzeramento della sola componente di spostamento elastico e quindi la tensione esistente in situ prima dell'inizio della prova.

Un punto di convergenza ubicato *prima* dell'asse dei carichi starebbe ad indicare una rottura per compressione ai bordi del taglio, verificatasi durante il taglio stesso; una convergenza ubicata *dopo* l'asse dei carichi segnalerebbe invece una rottura per trazione provocata dalla pressurizzazione del martinetto.

(5.3)- A conclusione di quanto descritto nei paragrafi precedenti, torniamo ad osservare i diagrammi di **figura 6a,b,c**, ottenuti durante la prova sperimentale eseguita.

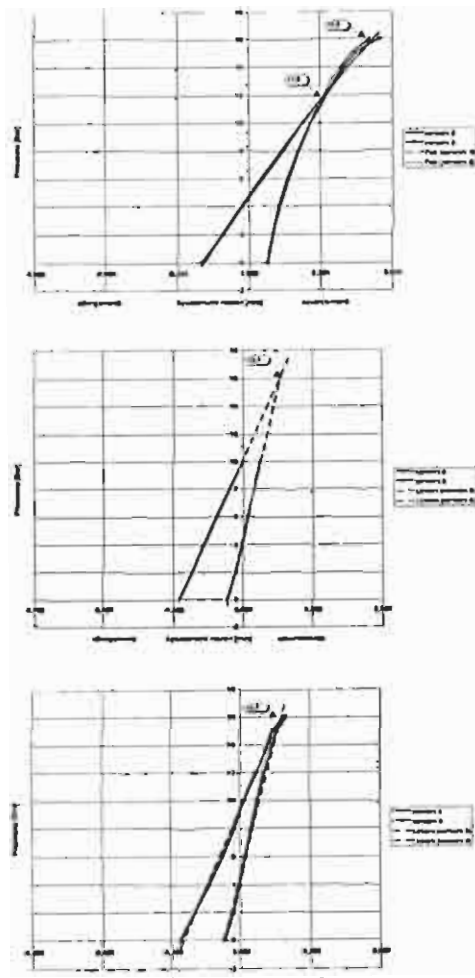


Figura 6a. sensori 2 e 3
 Figura 6b. sensori 5 e 6
 Figura 6c. sensori 4 e 8

In figura 6a sono illustrate le risposte dei trasduttori 2 e 3, posti sul lato sinistro del taglio, e quindi influenzati da eventuali collassi di quella zona del taglio. In figura 6b sono illustrate le risposte dei trasduttori 5 e 6, posti sul lato destro del taglio. In figura 6c sono illustrate le risposte dei trasduttori 4 e 8 posti in mezzzeria del taglio, rispettivamente sotto e sopra, e quindi influenzati dall'eventuale collasso della zona terminale del taglio.

Il criterio adottato è stato quello di mettere a confronto misure potenzialmente affette da uno stesso fenomeno di rottura, verificatosi in prossimità dei punti di rilevazione.

Le curve non devono necessariamente incontrarsi tutte nello stesso punto in quanto sono influenzate a due a due da fenomeni fisici diversi e rispettivamente la rottura per trazione del bordo sinistro, quella del bordo destro e quella del bordo più interno al taglio, fenomeni che evidentemente sono avvenuti secondo modalità tra loro diverse.

Notiamo che i diagrammi forniti consentono di ricavare "punti di intersezione" corrispondenti a tensioni di ripristino comprese nell'intervallo tra 15,7 e 16,1 Mpa.

Applicando il coefficiente correttivo $K_m = 0,95$ ricavato sperimentalmente prima dell'inizio della prova, si ottiene un valore della tensione di ripristino compresa tra 14,9 e 15,3 che è molto prossima alla sollecitazione di 15 Mpa, applicata dall'esterno al campione di muratura.

Come ricordato all'inizio di questo paragrafo, la interpretazione proposta necessita di un ulteriore supporto teorico e sperimentale.

Essa ha consentito tuttavia di interpretare con coerenza i risultati di una prova sperimentale rivolta a simulare, in modo realistico, il comportamento di una muratura in condizioni critiche di esercizio, in un caso in cui la normale prassi operativa avrebbe fornito risultati contraddittori e comunque a sfavore di sicurezza.

6. CONCLUSIONE

I vantaggi della tecnica dei martinetti piatti sono evidenti e sono testimoniati dalla sempre più frequente adozione di questo strumento quando occorra una diagnostica poco distruttiva.

E'opportuno tuttavia sottolineare ancora una volta che diverse modalità di esecuzione della prova possono creare enormi incertezze in chi debba poi interpretare i risultati.

Basti pensare, tra i molti aspetti, ai diversi strumenti usati per praticare il taglio, con o senza bagnatura della parete, all'effetto delle variazioni di temperatura, con o senza protezioni della parete, alla diversa distribuzione adottata dei sensori di spostamento.

Ritengo pertanto importante ed urgente la definizione di un codice di pratica operativo che consenta di rendere più uniformi le procedure di prova e che sia basato su una diffusa campagna sperimentale.

Un problema che deve risolvere chi opera sul campo è poi quello della necessità di ripetere o meno la prova in altre posizioni, ad esempio sul lato opposto della parete.

La memoria illustra la possibilità di valutare tempestivamente la effettiva uniformità del carico sulla muratura, analizzando *la forma*, ed in particolare *la curvatura*, del diagramma degli spostamenti durante la fase del taglio.

Un ulteriore problema di difficile soluzione è quello di valutare quando si sia effettivamente raggiunta la "tensione di ripristino", soprattutto in presenza di fenomeni di non linearità.

In alternativa alla prassi corrente, la evidenza di alcuni risultati sperimentali ha suggerito di tenere conto dei *punti di intersezione dei diagrammi carico- spostamento*, relativi ad una stessa zona, che sono indicativi di un recupero della sola componente elastica dello spostamento.

La strada sembra meritevole di un approfondimento sia sperimentale che teorico, malgrado le difficoltà inevitabilmente connaturate ad un "materiale" come la muratura, per sua natura non lineare, non omogeneo e non isotropo.

7. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Jurina L., Bonaldi P., Rossi P.P.,1980. Indagini sperimentali e numeriche sui dissesti del Palazzo della Ragione di Milano, *XIV Cong.Naz.Geotecnica, Firenze*

ASTM, 1991a. In situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flatjack measurements, *ASTM designation C1196-91*

ASTM, 1991b. In situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method, *ASTM designation C1197-91*

Rossi P.P.,1993. L'impiego dei martinetti piatti nello studio delle murature, *Atti del Seminario: "Sperimentazione su strutture, attualità ed affidabilità delle metodologie di indagine", Venezia*

Jurina L., 1992. Valutazione della risposta strutturale mediante martinetti piatti, *Atti del Seminario: "Diagnostica strutturale e strumentazione di cantiere", Genova*

Jurina L., Califano F., 1992. Flatjacks: evolution of the test techniques, *Int. Conf. AIPnD, Firenze*

Ghizzoni M.,1995. La tecnologia dei martinetti piatti per le indagini sperimentali sugli edifici in muratura, *Tesi di laurea, Univ.di Brescia, Fac.Ingegneria, relatori prof. P.Ronca e A.Franchi*

Locati S., Ruiu G., 1996. La tecnica dei martinetti piatti: uno studio teorico e sperimentale, *Tesi di laurea, Politecnico di Milano, Fac. Architettura, relatore prof. L.Jurina*

Desidero ringraziare sinceramente gli arch. Silvia Locati e Guglielmo Ruiu e la società 4EMME srl di Bolzano che con cura e competenza hanno organizzato ed eseguito le prove sperimentali rendendo così possibile il presente lavoro.