



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

IL CONFINAMENTO LATERALE DELLE PARETI IN MURATURA MEDIANTE TIRANTI INSERITI NELLE "BUCHE PONTAIE"

Lorenzo Jurina

*Dipartimento di Ingegneria Strutturale
Politecnico di Milano*

SOMMARIO

In una prospettiva di restauro conservativo il consolidamento degli edifici in muratura deve confrontarsi con i criteri di non invasività, di rimovibilità e di controllabilità dell'intervento. La presenza di fori passanti, frequente nelle murature medioevali, ha permesso di rispettare questi criteri, consentendo di porre in opera tiranti di contenimento laterale senza la esecuzione di perforazioni e senza piastre esterne. La memoria illustra una soluzione recentemente adottata nel consolidamento della Torre San Dalmazio, a Pavia.

SUMMARY

In the strengthening of old masonry buildings, the aim of non intrusivity and the possibility to control and to adjust the intervention have a great importance when a conservative approach in the restoration is adopted. To satisfy these requirements, the existence of crossing holes in medieval masonry walls suggested the possibility of using steel prestressed bars for lateral confinement, without any perforation of the building and without external plates. A recent example, referred to S.Dalmazio Tower of Pavia (Italy), is illustrated.

1. PREMESSA

Negli ultimi anni la necessità di interventi di consolidamento strutturale di edifici in muratura si è fatta sempre più pressante, stimolata sia da esigenze obiettive legate all'aumentato degrado

degli edifici monumentali sia da una maggiore sensibilità verso la prevenzione da parte degli operatori pubblici e privati, sollecitati da recenti e inattesi crolli.

I criteri del restauro conservativo, condivisi da molti tra gli operatori, impongono severe limitazioni ai tipi di intervento possibile e contemporaneamente sollecitano i tecnici ad una maggiore inventiva nella scelta delle soluzioni più adatte.

Tali soluzioni andranno naturalmente ricercate in modifiche da apportare ai principali parametri che definiscono meccanicamente la struttura, vale a dire *la geometria, il materiale ed i carichi*.

(1.1) Le modifiche alla *geometria* sono sicuramente le più efficaci: si pensi ad esempio all'aumento di rigidità ottenibile con l'incremento di una sezione resistente, oppure con l'aggiunta di un vincolo quale un contrafforte esterno o un solaio di collegamento tra le pareti, oppure ancora con il troncamento di una torre.

Questi interventi sono tuttavia i più appariscenti e conseguentemente quelli che suscitano le maggiori controversie. Condiviso ormai dai più il criterio della riconoscibilità dell'intervento, rimane tuttavia ancora aperto un problema di opportunità nell'accostare elementi dichiaratamente "moderni" a strutture antiche. Ma anche qui, come capita di frequente, è spesso questione di buon gusto.

All'interno del criterio di intervento sulla geometria è stata pressochè abbandonata, anche se strutturalmente valida, la prassi della sostituzione integrale degli elementi degradati con altri più o meno "uguali" a quelli originali, mentre con frequenza vengono proposte strutture *in parallelo* a quelle esistenti (*paracadute*), in grado di accollarsi i carichi della struttura in caso di innesco del crollo.

(1.2) Meno appariscente, anche se non indolore, è la soluzione di modifiche apportate in modo diffuso al *materiale*, intervenendo sulla sua resistenza e rigidità. Ne sono scaturite tecniche per la impregnazione delle murature con l'uso di prodotti che vanno dalle malte idrauliche a quelle cementizie, alle resine epossidiche più o meno caricate con inerti.

Impossibili da eliminare e non ancora sperimentati in modo esaustivo dal punto di vista della durabilità, i materiali da iniezione necessitano inoltre di una scelta caso per caso in funzione delle specifiche murature da trattare, soprattutto in quelle con malte povere ad alto contenuto di argilla, caratterizzate da una permeabilità estremamente ridotta.

I risultati vanno inoltre sempre controllati sperimentalmente. In (Califano e Jurina, 1992) vengono ad esempio illustrati i risultati di una campagna di prove condotta mediante l'ausilio di martinetti piatti su una parete muraria, prima e dopo un trattamento di iniezioni con malte cementizie, dimostratosi di quasi nessuna utilità.

(1.3) Il terzo criterio, quello dell'intervento sui *carichi*, sta ricevendo una sempre maggiore attenzione, in quanto poco invasivo e facilmente rimovibile.

A fianco di proposte di parziale *rimozione e trasferimento* dei carichi da una struttura esistente ad una ausiliaria, come ad esempio il trasferimento "da torre a torre" illustrato in (Jurina L., 1995), si stanno realizzando interventi di *aggiunta* di carichi con lo scopo di ridurre le eccentricità negli elementi snelli, quali archi e volte di piccolo spessore (Jurina L., 1996).

Una tecnica ulteriore, di indubbia efficacia, è quella che in murature caricate verticalmente prevede l'aggiunta di compressioni in direzione orizzontale tali da portare il continuo murario ad uno stato tensionale che si avvicini al caso isotropo.

LE TECNICHE DI CONFINAMENTO

Con riferimento ai metodi di intervento sui carichi, negli ultimi anni e soprattutto negli edifici alti si è adottata la tecnica di introdurre elementi in grado di esercitare un *onfinamento*, ossia un vincolo alla deformazione laterale della muratura.

La compressione laterale che viene esercitata, in modo passivo o in modo attivo, sulle pareti tale da riportare lo stato tensionale ad una situazione più interna al dominio di rottura del materiale e quindi più sicura.

Il criterio è stato ampiamente adottato anche nell'antichità e possiamo trovarne applicazione nel cerchiaggio delle colonne greche e romane mediante anelli in metallo, che venivano collocati in opera dopo un riscaldamento in grado di aumentare temporaneamente la lunghezza della circonferenza.

Questa soluzione risulta molto vantaggiosa quando si abbia a che fare con elementi di forma circolare ma è inapplicabile nel caso di pareti.

In questi casi è invalso l'uso (e talora l'abuso) di tiranti "nascosti", attivi o passivi, inseriti nella muratura mediante perforazioni appositamente eseguite.

La soluzione delle *iniezioni armate*, frequentemente adottata negli anni passati (Lizzi F., 1981), presenta innumerevoli vantaggi in termini di rapidità di esecuzione ed in termini di omogenea distribuzione dell'intervento, ma, a meno di accorgimenti particolari, gli elementi inseriti non sono né rimovibili né ritecabili.

Essa rappresenta ancora una delle poche soluzioni adottabili nel caso di murature continue: risulta infatti esteticamente poco invasiva e permette di inserire gli elementi di contenimento esattamente dove servono. La tecnica presenta tuttavia vari problemi.

Le prime difficoltà sorgono già al momento della perforazione soprattutto se la muratura non è costituita da mattoni ben legati e con andamento regolare ma è una muratura "a sacco" che comunque presenta al suo interno pietre arrotondate di dimensione medio-piccola. La sonda tende infatti a perforarle solo parzialmente, inglobandole e trasformandosi poi in una specie di resina di grandi dimensioni, con effetti distruttivi sul continuo murario.

Un secondo problema originato dai tiranti inseriti nella muratura è quello della loro durata nel tempo. Utilizzando acciai normali, infatti, il rischio di ossidazione con aumento di volume è sempre presente e risulta deleterio quando venga associato ad un materiale come la muratura, poco resistente a trazione. Per questa ragione sempre più spesso si fa uso di acciai inox, anche se i costi risultano ovviamente superiori.

Non risulta agevole definire un modo quantitativo il miglioramento delle caratteristiche meccaniche della muratura.

Una serie di prove sperimentali per valutare il contributo di resistenza e di duttilità di tiranti attivi perpendicolari alla muratura è stata condotta presso l'Università di Pavia (Ballio e Calvi, 1993), con riferimento ad alcuni campioni di muratura medioevale in cui sono stati praticati dei fori di piccole dimensioni per l'inserimento di barre in acciaio.

I risultati indicano una chiara dipendenza dalle dimensioni delle piastre di contrasto esterne e dalla distanza tra i tiranti, rapportata allo spessore della muratura.

Una sperimentazione su pilastri in muratura con malta di cemento, confinati mediante barre passive prive di piastre di contrasto alle estremità, è presentata da (Chang L., 1982): i risultati indicano un incremento delle resistenze proporzionale alla percentuale di armatura inserita. La applicabilità dei risultati a murature con malta di calce aerea non è stata però confermata dagli esperimenti condotti presso il Politecnico di Milano da (Bassani *et al.*, 1994),

anch'essi eseguiti con tiranti senza piastre di contrasto alle estremità, dove si è avuto un miglioramento apprezzabile solo in termini di duttilità ma non di resistenza.

Il problema delle piastre di estremità dei tiranti di confinamento risulta pertanto di grande importanza: staticamente dovrebbero essere esterne alla muratura e di grandi dimensioni, ma riguardo all'impatto visivo non devono sovrastare le preesistenze, pena la loro inaccettabilità in interventi che vogliono proporsi come definitivi e non di presidio temporaneo.

La memoria intende illustrare, da un punto di vista esecutivo, la soluzione adottata negli interventi di consolidamento statico di una torre medioevale in Pavia, con particolare riguardo al problema della piastre di estremità.

Il confinamento laterale realizzato mediante tiranti inseriti nella muratura rappresenta infatti una soluzione concettualmente valida ma, nello spirito di un approccio conservativo al restauro strutturale, la tecnica deve risultare poco invasiva, rimovibile, controllabile. Le barre di confinamento quindi devono quindi restare libere all'interno della muratura in modo da consentire con facilità la ritesatura, nel caso di cedimenti viscosi, e la eventuale rimozione.

3. UNA SOLUZIONE POCO INVASIVA

Nelle murature medioevali si riscontra con frequenza una situazione particolarmente propizia, rappresentata dalla presenza di fori disposti ad intervalli regolari, spazati di 100-120 cm in altezza e di 140-180 cm in larghezza. Tali fori, di dimensione media 15x15 cm sono denominati "buche pontate" e venivano utilizzate in fase di costruzione dell'edificio per inserire travi in legno a sbalzo rispetto alla muratura allo scopo di realizzare piani di lavoro temporanei. Tali buche talora non appaiono con evidenza all'esterno in quanto sono state tamponate in epoche successive, ma usualmente la chiusura è superficiale e facilmente rimovibile.

La presenza di questi fori che attraversano tutta la muratura e la loro ridotta distanza mutua (spesso confrontabile con lo spessore della muratura) ha suggerito di utilizzarli per l'inserimento dei tiranti di confinamento.

(3.1) A metà degli anni '60 si è avuto un interessante esempio di utilizzo delle buche pontate nel consolidamento del campanile della Cattedrale di Albenga. All'interno delle buche, mediante un getto di malta cementizia fluida, sono state inghisate numerose catene in acciaio le quali a loro volta collegano alla torre vari solai in calcestruzzo con funzione di diaframma rigido di mutuo collegamento tra le pareti. (Pileri C., 1996)

(3.2) Un sistema analogo è stato utilizzato recentemente nel consolidamento strutturale della Torre Fraccaro a Pavia (Ballio G., 1993), con l'utilizzo di barre in acciaio inox di diametro 32 mm, libere di scorrere nelle buche pontate, contrastate internamente da un diaframma rigido comune a tutti i tiranti di uno stesso livello e contrastate esternamente da piastre isolate di dimensioni considerevoli, 35x60 cm.

Si soddisfano così quei requisiti di rimovibilità e di ritesabilità cui si accennava in precedenza ma persiste una certa invasività formale che in interventi destinati a durare per lunghi periodi deve essere limitata al minimo indispensabile.

(3.3) Alla fine del 1994 sono stati ultimati i lavori di consolidamento strutturale di un'altra torre monumentale pavese, la Torre San Dalmazio, fortemente danneggiata sui quattro lati.

All'interno della torre in muratura è stata realizzata una torre in acciaio e nell'intercapedine tra le due sono stati posizionati numerosi tiranti di collegamento leggermente tesati in modo da trasferire parte del carico dalla antica torre in muratura alla nuova torre in acciaio. (Jurina L., 1995)

I tiranti non sono fissati direttamente alla muratura ma, mediante golfari, ad una serie di telai quadrati in acciaio (*girelli*), disposti orizzontalmente in aderenza alla muratura e distanti tra loro 105 cm.

I telai a loro volta sono resi solidali alla muratura da 12 tiranti in acciaio inox AISI 316, di diametro 18 mm, che attraversano le 12 buche puntaie esistenti a quel livello.

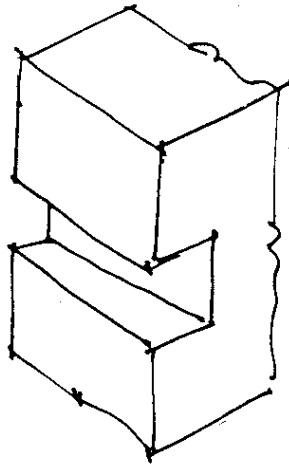
I tiranti sono stati successivamente sottoposti ad un tiro di 5000 daN con un doppio intento: *imporre una compressione laterale alla muratura, realizzando così un confinamento strutturale, e impedire lo scivolamento* tra i girelli e la muratura, sfruttando l'attrito tra i due materiali.

La esecuzione dell'intervento può essere riassunta nelle fasi seguenti, illustrate dagli schemi di **Figura 1 a,b,c,d,e,f**

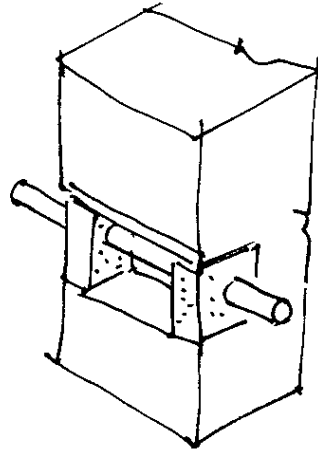
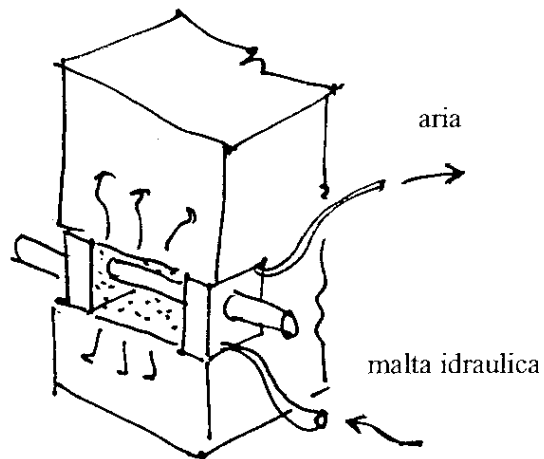
- 1- pulizia della buca puntaia mediante spazzolatura manuale e getto di aria compressa,
- 2- bagnatura con acqua della parte interna, a rifiuto, mediante doccia,
- 3- introduzione di un tubo in PVC di diametro 42 mm, centrato rispetto alla buca, che fuoriesce per 20 cm dalla muratura ad entrambe le estremità,
- 4- chiusura alle estremità mediante due "tappi" in polistirolo, sagomati per adattarsi al profilo della buca puntaia; il tappo sul lato interno della torre è posto a filo della muratura, il tappo esterno è invece arretrato di circa 12 cm rispetto al filo muro,
- 5- sigillatura temporanea dei tappi mediante una schiuma poliuretana, facilmente rimovibile, per garantire la tenuta idraulica,
- 6- riempimento del foro mediante malta idraulica microfina, fluidificata, a presa lenta e ritiro compensato, di caratteristiche fisico-chimiche compatibili con la muratura esistente. La malta deve presentare buone caratteristiche di resistenza ma rigidità ridotta, confrontabile con quella della circostante muratura. L'iniezione viene effettuata lentamente mediante tubetti in plastica di piccolo diametro che fuoriescono dalla sigillatura alle estremità della buca. È opportuno adottare un battente idraulico di 50 cm circa, il che comporta, oltre al riempimento della buca, anche una sensibile impregnazione della muratura circostante,
- 7- rimozione della sigillatura in polietilene e dei due tappi in polistirolo e taglio delle porzioni sporgenti del tubo in PVC,
- 8- posizionamento del "girello" di contrasto in acciaio, all'interno della torre,
- 9- posizionamento di una piastra di contrasto, in acciaio inox AISI316 di dimensioni 120x120x15 mm all'estremità esterna della buca puntaia, arretrato di 10 cm rispetto alla superficie esterna,
- 10- inserimento di un tirante inox AISI316 diametro 18 mm all'interno del tubo in PVC,
- 11- tesatura a 5000 daN del tirante, contrastato ad una estremità dal girello ed all'altra estremità dalla piastra, arretrato e quindi poco visibile,
- 12- ritesatura del tirante dopo 7 giorni e dopo 28 giorni.

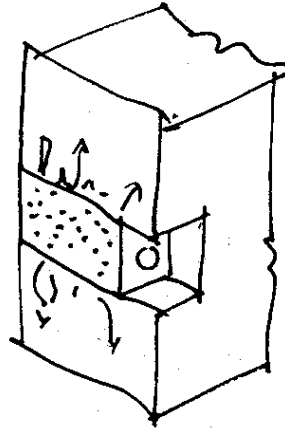
È evidente che una piastra di dimensioni ridotte e posta a 10-15 cm all'interno della muratura risulta meno efficace di una di grandi dimensioni posta all'esterno della parete, soprattutto nel caso di murature caratterizzate dalla presenza di due paramenti esterni di buona fattura e da una zona interna di conglomerato misto con presenza di ciotoli, come è usuale in molte torri medioevali.

Figura 1 - a,b,c

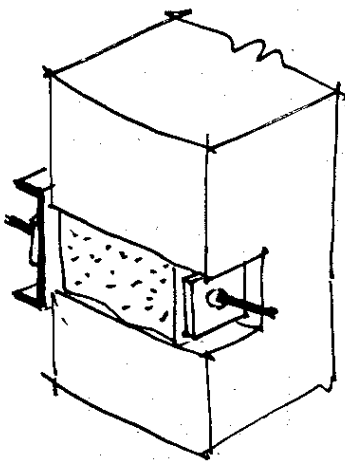


(a)- "buca pontiaia"

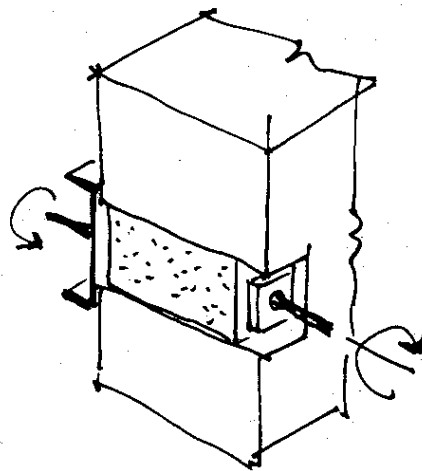
(b)- sigillatura temporanea
e posa del tubo in PVC(c)- iniezione di malta
a ritiro compensato



(d)- rimozione della sigillatura



(e)- posa del tirante inox e della piastra arretrata



(f)- messa in compressione della muratura

Figura 1 - d,e,f

L'intervento tuttavia è uniformemente diffuso e la distanza mutua tra i tiranti risulta usualmente confrontabile con lo spessore della parete stessa. E' possibile pertanto considerarlo significativo da un punto di vista strutturale, con il vantaggio di conservare contemporaneamente integro l'aspetto esterno delle facciate, scandite dal ritmo regolare delle buche portaie.

4. SVILUPPI DEL METODO

L'intervento illustrato comporta principalmente una modifica dei carichi agenti sulla struttura ma agisce anche, in parte, sulla geometria e sul materiale. Il riempimento delle buche portaie infatti *aumenta l'area* della sezione reagente in modo non trascurabile e contemporaneamente comporta una *infiltrazione di legante* nella muratura adiacente, riempiendo le lacune o le fessure più prossime alle buche portaie. Nel caso della San Dalmazio la quantità di materiale iniettato è risultata circa pari ad una volta e mezza il volume delle buche.

Molta attenzione si è dovuta porre nel controllare che il materiale iniettato non fuoriuscisse in superficie, macchiando le pareti.

L'uso di un tubo in PVC di dimensioni ampiamente superiori al diametro del tirante successivamente inserito e l'adozione di fori ovalizzati nelle piastre di estremità hanno permesso inoltre di conservare una ventilazione continua delle pareti.

Restano ancora aperti alcuni problemi.

Anzitutto occorre sottolineare che l'arretramento della piastra terminale non consente di vincolare completamente il paramento di muratura esterno, che potrebbe essere localmente poco ammorsato alla parte più interna e quindi soggetto al rischio di instabilità.

Poi va ricordato il problema delle caratteristiche della malta da usare per il riempimento. Al di là della compatibilità chimica con la muratura, essa deve risultare contemporaneamente molto *resistente*, per fare fronte al carico trasmesso dalla piastra di contrasto di ridotte dimensioni, e alquanto *deformabile*, per riuscire a trasmettere alla muratura adiacente la compressione indotta dal tirante.

Una possibile soluzione al primo problema è quella di inserire, prima della tesatura del tirante inox, alcuni *chiodi di piccole dimensioni* a lato della buca, come illustrato in **Figura 2**. Tale proposta è attualmente oggetto di sperimentazione.

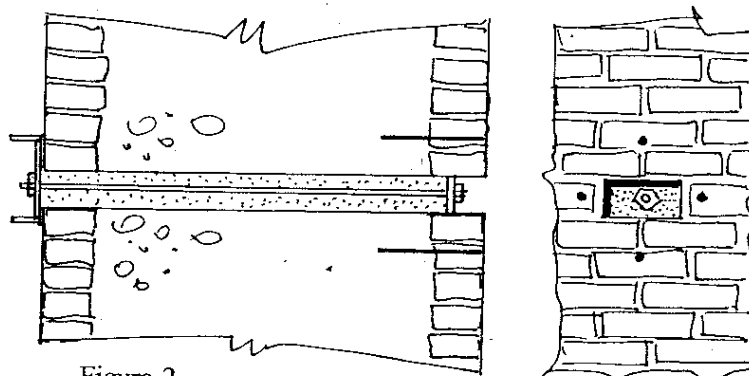


Figura 2

Per il secondo problema, relativo alla malta di riempimento, è stato proposto dall'autore ed illustrato in (Pileri C.,1996) una *segmentazione del getto in due parti* che vengono tenute separate a mezzo di un manicotto gonfiabile introdotto in precedenza nella buca. Il sistema è illustrato in **Figura 3**, che si riferisce ad un modello di studio in scala ridotta.

In tal modo la malta può avere caratteristiche di elevata resistenza ed assieme di elevata rigidità rispetto alla muratura, permettendo tuttavia di ottenere una compressione orizzontale della muratura a seguito dell' avvicinamento tra le due parti separate.

Anche la metodica qui proposta è attualmente oggetto di sperimentazione fisica e numerica.

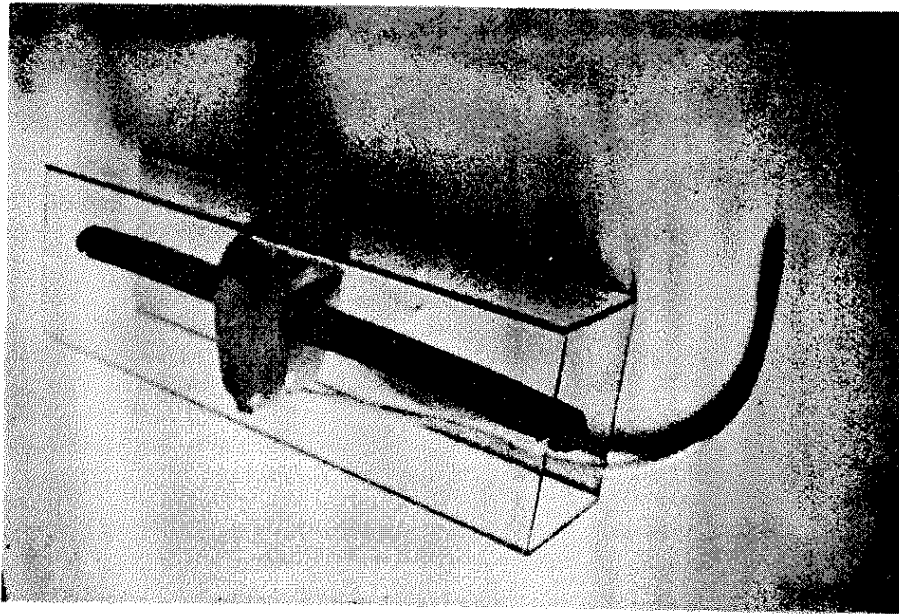


Figura 3

5. CONCLUSIONI

La recente esperienza del restauro statico di una torre in muratura del XII secolo ha consentito di mettere a punto un metodo di confinamento laterale della muratura mediante tiranti inseriti nelle buche pontai che oltre a non necessitare di alcuna perforazione per la posa in opera e ad essere rimovibili e ritesabili, appaiono anche visivamente poco invasivi.

A differenza di soluzioni utilizzate in altre torri si è optato per un intervento diffuso *su tutte* le buche pontai (ossia ogni 1,5 metri quadrati circa di superficie esterna) usando barre che terminano con piastre di contrasto di piccole dimensioni, *arretrate* rispetto al paramento esterno. La risposta ottenuta è stata soddisfacente.

Sono in fase di elaborazione analisi numeriche volte a definire in modo sistematico l'effetto meccanico dei parametri che influenzano la risposta, vale a dire la massima spaziatura dei tiranti, la minima dimensione delle piastre di contrasto, il massimo arretramento consentito, l'effetto della rigidità della malta di riempimento, l'adozione di accorgimenti quali la aggiunta di chiodature esterne di piccolo diametro o la realizzazione di intercapedini di separazione nel getto del riempimento.

6. BIBLIOGRAFIA

Califano F., Jurina L., 1992. Martinetti piatti: una applicazione per la valutazione di interventi di consolidamento su murature, *Simposio su Evoluzione della sperimentazione per le costruzioni*, CCR, ISPRA

Jurina L., 1995. Il consolidamento strutturale della Torre San Dalmazio a Pavia, *XV Conv. Naz. C.T.A., Riva del Garda*

Jurina L., 1996. Consolidación estática de edificios monumentales por medio de tirantes metálicos, *III Cong. Int. Rehabilitación del patrimonio arquitectónico y edificación*, Granada

Lizzi F., 1981. Il consolidamento del terreno e dei fabbricati, cause di dissesto, criteri d'intervento, casistica, Genova

Ballio G., Calvi G.M., 1993. Strengthening of masonry structures by lateral confinement, *IABSE Symp. on Structural Preservation of the Architectural Heritage*, pag. 511-517

Chang L., 1982. Lateral confinement of masonry by tie bars, *6th IBMAC, Roma*

Bassani G., Dugnani A., Pozzoni G., 1994. La muratura confinata: una ricerca sperimentale, *Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura, Relatore prof. L.Jurina*

Pileri C., 1996. Le torri di Albenga: proposta per un consolidamento, *Tesi di laurea, Politecnico di Milano, Facoltà di Architettura, Relatore prof. L.Jurina*

Ballio G., 1993. Structural preservation of the Fraccaro tower in Pavia, *Structural Engineering International Journal of IABSE*, vol. 3, n.1