

L'impiego di laterizi nella riparazione ed adeguamento antisismico di circa 600 edifici danneggiati dal terremoto del 1976 in Friuli

USE OF BRICK MASONRY IN THE DESIGN OF REPARATIONS AND ANTI-SEISMIC REINFORCEMENTS FOR ABOUT 600 BUILDINGS DAMAGED BY THE EARTHQUAKE OF 1976 IN FRIULI

Sommario:

Sulla base dell'esperienza derivata dalla progettazione e direzione lavori delle opere di riparazione di circa 600 edifici, dopo la descrizione delle tipologie degli edifici e delle strutture murarie incontrate nel corso del lavoro vengono esaminati alcuni problemi connessi alla determinazione delle caratteristiche meccaniche delle murature in laterizio esistenti.

Vengono quindi riportate alcune note sui comportamenti che si sono potuti osservare per tali strutture sotto le forze sismiche e vengono descritti alcuni procedimenti di rafforzamento eseguiti a mezzo di laterizi.

Summary:

The Authors, on the base of the experience made by designing and surveying the repair works for about 600 buildings, after a preliminary description of such buildings and of their structures, examine some aspects of the problem of determining the mechanical characteristics of existing brick masonry structures. Then some notes are given about observed behaviours of brick masonry structures under seismic conditions and some proceedings for antiseismic reinforcements made by means of brick masonry are reported.

Autori:

Authors:

- Ing. A. D'Amato (Dirigente Responsabile dell'Ufficio SVEI)
- Ing. G. De Santis (Ingegnere Progettista - Ufficio SVEI)
Udine (Italia)

1) - PREMESSA

Questa nota deriva dall'esperienza fatta dalla SVEI S.p.A. durante la esecuzione della progettazione e della Direzione Lavori delle opere di ripristino ed adeguamento antisismico per un gruppo di circa 600 edifici danneggiati dal terremoto del '76 in Friuli.

L'intervento di cui sopra è situato pertanto nel quadro della ricostruzione del Friuli e si svolge nel periodo che va dal settembre '78 a tutt'oggi.

La fase progettuale è stata completata durante il 1981 ed al momento attuale (gennaio '82) sono in corso i lavori di ripristino ed adeguamento per circa 300 edifici; pertanto i dati e le osservazioni di seguito riportati potranno essere in futuro modificati sulla base del controllo della esecuzione della totalità degli interventi.

Già da ora, comunque, stante la rispondenza riscontrata tra le previsioni di progetto e le opere di riparazione effettivamente svolte, si può pensare che le eventuali variazioni a quanto di seguito riportato saranno molto contenute.

2) - DESCRIZIONE DEGLI EDIFICI OGGETTO DI INTERVENTO

I progetti di riparazione di cui si parla sono relativi ad edifici distribuiti su 31 comuni, in una zona sita a nord di Udine che va dal confine con la Jugoslavia al Tagliamento.

E' chiaro come in un campione così numeroso siano rappresentate tutte le tipologie edilizie (dalle case isolate a quelle a schiera dalle villette residenziali ai condomini cittadini), e come si siano presentate svariatissime situazioni orografiche, geotecniche, ecc.

Per dare comunque una idea più precisa del campione su cui si è operato e dal quale si sono tratte le esperienze qui descritte, si riportano qui di seguito alcune delle principali caratteristiche degli edifici interessati.

2.1) - <u>Dimensioni degli edifici</u>	<u>% sul totale di 600 edifici</u>
- inferiori a 700 mc.	15%
- tra 700 e 1.100 mc.	70%
- oltre i 1.100 mc.	15%

2.2) - <u>Tipologia degli edifici</u>	
- Edifici isolati	80%
- Edifici inseriti in schiere	20%

2.3) - <u>Composizione degli edifici</u>	
- Seminterrato+p rialzato+sottotetto	25%
- Piano terra + sottotetto	10%
- Piano terra + 1 piano + sottotetto	50%
- Piano terra + 2 piani + sottotetto	10%
- Piano terra + 3 o più piani	5%

Come deducibile da quanto sopra la grande maggioranza degli edifici per i quali l'Unità Operativa di Udine della SVEI ha eseguito il progetto delle opere di riparazione è costituita da case isolate, di volume compreso tra i 700 e i 1.100 mc. e composte da piano terra, 1 piano e sottotetto.

Pertanto è a questo tipo di edifici che potranno adattarsi meglio le considerazioni contenute in questa nota.

2.4) - Costituzione strutturale

Per quanto riguarda i tipi di strutture costituenti gli edifici oggetto d'intervento, si è osservato che, attenendosi alla tipologia edilizia più frequentemente incontrata e su descritta, si sono incontrati i vari tipi di strutture sotto descritti con le frequenze riportate.

- | | |
|--|-------|
| a) - Strutture portanti in murature di blocchi di cls, e orizzontamenti in latero cemento..... | ~ 12% |
| b) - Strutture portanti in murature di blocchi di cls, e orizzontamenti in legno..... | ~ 5% |

c) - Strutture portanti in murature di laterizi e orizzontamenti in latero cemento.....	~ 26%
d) - Strutture portanti in murature di laterizi e orizzontamenti in legno	~ 12%
e) - Strutture portanti in murature di pietrame e orizzontamenti in latero cemento.....	~ 17%
f) - Strutture portanti in murature di pietrame e orizzontamenti in legno	~ 15%
g) - Strutture portanti in c.a. e orizzontamenti in latero cemento.....	~ 13%
	<hr/> 100%

Si osserva quindi come, per la tipologia edilizia più frequentemente incontrata i sistemi costruttivi più comuni siano risultati quelli che impiegano murature portanti, e gli orizzontamenti in latero cemento, e come, per le strutture portanti verticali sia stato impiegato il laterizio nel 38% dei casi.

3) - STRUTTURE MURARIE OGGETTO DI INTERVENTO

Il fatto evidenziato al punto precedente, e che cioè la stragrande maggioranza degli edifici incontrati nel nostro lavoro avesse strutture portanti costituite da murature, è aderente alla realtà sociale friulana; infatti l'uso di costruirsi la casa con le proprie mani, ricorrendo all'aiuto di parenti ed amici, è radicato nella popolazione del posto, ed è certamente più semplice "tirare su" dei muri che eseguire anche semplici strutture in cemento armato.

Questa operosità e capacità artigianale è però anche alla base di un altro fenomeno che abbiamo frequentemente incontrato e che ha generato non pochi problemi teorici e pratici per il calcolo delle opere di adeguamento antisismico di quegli edifici: la presenza cioè, nello stesso edificio di zone costruite con materiali diversi, in epoche successive, e con tecniche differenti. Infatti la casa veniva realizzata un po' alla volta, a seconda delle possibilità economiche e delle necessità familiari.

Si trovano perciò frequentemente edifici che hanno, ad esempio una parte originaria in murature di pietrame, un'amplia-

mento in laterizi ed un annesso rustico in blocchi di cls; è facile intuire la difficoltà di rendere omogeneamente resistenti alle azioni sismiche edifici contenenti le difformità suddette, quando motivi vari impediscono la formazione di giunti.

Per quanto riguarda le tipologie di murature incontrate nel corso del lavoro, si sono osservate quasi esclusivamente i tipi seguenti:

- murature in pietrame
- murature in blocchi di calcestruzzo
- murature in laterizi.

In particolare le murature in pietrame erano per lo più costituite da blocchi irregolari, ricche di interstizi e vuoti, e con malta di cattiva qualità.

Quelle in blocchi di calcestruzzo erano in media abbastanza ben eseguite quando erano stati impiegati elementi tipo Rosacometta, mentre davano scarso affidamento quando erano state realizzate con blocchi eseguiti a piè d'opera e confezionati inserendo nel getto delle grosse pietre.

Per le strutture in laterizio si è potuta osservare una casistica più vasta; infatti si è riscontrato tanto l'uso di elementi diversi (laterizi pieni, laterizi semipieni, forati) quanto quello di malte e di sistemi di posa differenti; ciò ha comportato una estrema variabilità delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle murature e la conseguente difficoltà teorica di valutarne la resistenza nei calcoli.

4) MURATURE IN LATERIZIO: VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE MECCANICHE

Come su accennato, la diversa composizione ed esecuzione delle strutture in laterizio ha comportato problemi non indifferenti per la progettazione delle opere di ripristino ed adeguamento antisismico degli edifici.

Poichè il metodo seguito per la definizione degli interventi di rafforzamento era quello di valutare la resistenza globale alle azioni sismiche del complesso di setti costituenti la struttura dell'edificio, è evidente l'importanza per i progettisti di poter definire quanto più realisticamente possibili le caratteristiche meccaniche (e le sollecitazioni ammissibili) per ognuno dei setti stessi.

Tali caratteristiche dovevano essere definite ed inserite

nel calcolo due volte per ogni setto; infatti bisognava valutare il comportamento della struttura prima e dopo l'esecuzione degli interventi di rafforzamento, e cioè oltre che nella fase progettuale anche in quella di verifica attribuendo ad ogni setto la resistenza che gli sarebbe derivata dagli eventuali rafforzamenti.

E' evidente quanto, in una struttura non isotropa, ma, come nel caso di una muratura, composta da singoli elementi connessi tra loro da un legante, le caratteristiche meccaniche globali siano variabili in funzione della qualità e del tipo dei laterizi e delle malte, dell'esecuzione, etc. etc.

Durante il corso del lavoro l'esperienza ci ha portato a definire i campi di variabilità delle caratteristiche meccaniche con una approssimazione che riteniamo sufficiente: si è partiti, naturalmente, dalle esperienze fatte precedentemente da altri ed in particolare si sono assunti i valori consigliati per i vari tipi di murature dall'Istituto ZRMAK di Lubiana e dalla Regione Friuli - Venezia Giulia.

Percorrendo pertanto il campo dei valori che altri ricercatori avevano precedentemente determinato, man mano che la nostra sensibilità pratica si andava affinando, ci siamo convinti che ai fini operativi, si poteva, in fase di progetto e con buona approssimazione, attribuire al τ ammissibile delle murature i seguenti valori in funzione del tipo di laterizio e della malta:

- murature in mattoni pieni		
. malta degradata	13 + 17	Kg/cm ²
. malta consistente	19 + 23	"
- murature in laterizi semipieni		
. malta degradata	10 + 12	"
. malta consistente	13 + 18	"
- murature in laterizi forati		
. malta degradata	6 + 9	"
. malta consistente	8 + 11	"

In fase di verifica, per i nuovi setti murari venivano naturalmente assunti i valori maggiori tra quelli su esposti; mentre nei casi in cui le murature esistenti venivano rinforzate, bonificate venivano impiegati i valori intermedi definibili unicamente dalla sensibilità del progettista che esaminava le strutture in sito caso per caso.

5) - OSSERVAZIONI SUL COMPORTAMENTO DELLE MURATURE IN LATERIZIO, SOTTO LE AZIONI SISMICHE

Sebbene il comportamento di ogni edificio sotto azione sismica faccia caso a sè, la grande massa di edifici che sono stati minuziosamente osservati nel corso del nostro lavoro ci ha permesso di trarre qualche constatazione di carattere generale.

In particolare è stato osservato che tra edifici simili per volume e forma e siti in zone di ugual coefficiente di risposta del terreno di fondazione, quelli con strutture portanti in mattoni hanno sopportato le azioni del terremoto meglio di quelli realizzati con murature in pietrame.

A nostro avviso, ed a parità di qualità di esecuzione ciò è facilmente spiegato dalla regolarità dei ricorsi dei laterizi e dalla conseguente omogenea distribuzione degli sforzi di compressione e taglio nelle murature.

L'esperienza dimostra infatti quanto la capacità di resistenza di una struttura al sisma aumenti all'aumentare della capacità di quest'ultima di ripartire omogeneamente al suo interno le sollecitazioni cui è sottoposta; nel corso del nostro lavoro abbiamo avuto modo di sperimentare quanto una regolare distribuzione strutturale con conseguente regolare distribuzione delle rigidità possa contare nella resistenza al sisma degli edifici.

Allo stesso modo abbiamo potuto renderci conto "de visu" di come, nell'ambito di un setto murario, elementi lapidei irregolari e spesso privi di rivestimento di malta possano, sotto le azioni sismiche, generare delle concentrazioni puntuali di pressioni con conseguenti rotture e degradi della muratura.

Abbiamo riscontrato questi fenomeni in misura minore nelle murature in laterizio anche se eseguite con malta scadente o se questa era poca; la forma regolare degli elementi ed il loro esteso appoggio reciproco spiegano la migliore resistenza dell'insieme.

Per quanto sopra, nelle murature in pietrame le fessurazioni e le lesioni che abbiamo potuto osservare avevano un andamento che a causa di fenomeni localizzati, si discostava di più dall'andamento delle linee di rottura teoricamente prevedibili rispetto a quanto osservabile nelle strutture in laterizi; riteniamo che la miglior resistenza globale di queste ultime abbia permesso in molti casi di evitare il formarsi di fessurazioni che si sarebbero forse manifestate in murature di diversa composizione.

Ciò vale naturalmente di più per le strutture eseguite con mattoni pieni che per quelle in semipieni o forati, in questi ultimi casi infatti fenomeni locali di fragilità degli elementi

hanno avuto il loro ruolo nelle cause e nelle dimensioni dei danni.

6) - INTERVENTI DI RIPRISTINO ED ADEGUAMENTO ANTISISMICO EFFETTUATI MEDIANTE LATERIZI

6.1) Tipi di intervento più frequenti adottati

Sempre facendo riferimento alla tipologia edilizia e strutturale più frequentemente incontrata, riportiamo qui di seguito alcuni dati statistici sulle metodologie di riparazione e rafforzamento più frequentemente adottate:

- incamiciature con rete e betoncino	:	usati nel	60% ^(d.s.g.)	edifici
- tirantature metalliche orizzontali	:	" "	40%	" "
- lussimento di cordoli in c.a.	:	" "	90%	" "
- sostituzione di solai	:	" "	30%	" "
- iniezioni di malta e perforazioni armate:	:	" "	35%	" "
- sottofondazioni	:	" "	40%	" "
- costruzione di nuovi setti murari	:	" "	65%	" "
- riempimento di vani	:	" "	75%	" "

(è chiaro che negli stessi edifici si sono potuti avere contemporaneamente più interventi tra quelli sopra detti).

Si nota come la creazione di cordolature, l'incamiciatura armata, la costruzione di nuovi setti murari ed il riempimento di vani siano stati gli interventi più frequentemente adottati.

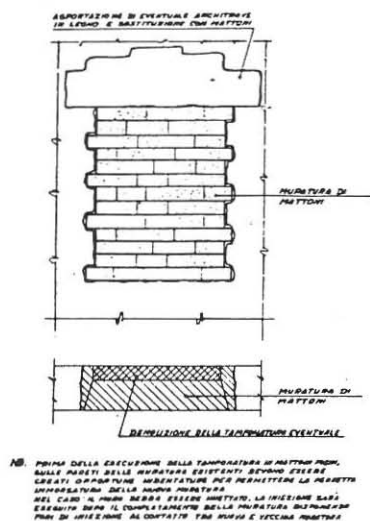
In particolare, per l'esecuzione delle ultime due specie d'interventi si è quasi esclusivamente fatto ricorso all'impiego dei laterizi.

6.2) - Tecniche impiegate

Uno dei problemi principali che si pone per il corretto funzionamento di una struttura di rinforzo inserita in un insieme strutturale preesistente è quello della realizzazione di un efficace collegamento tra l'elemento nuovo ed il complesso da rinforzare.

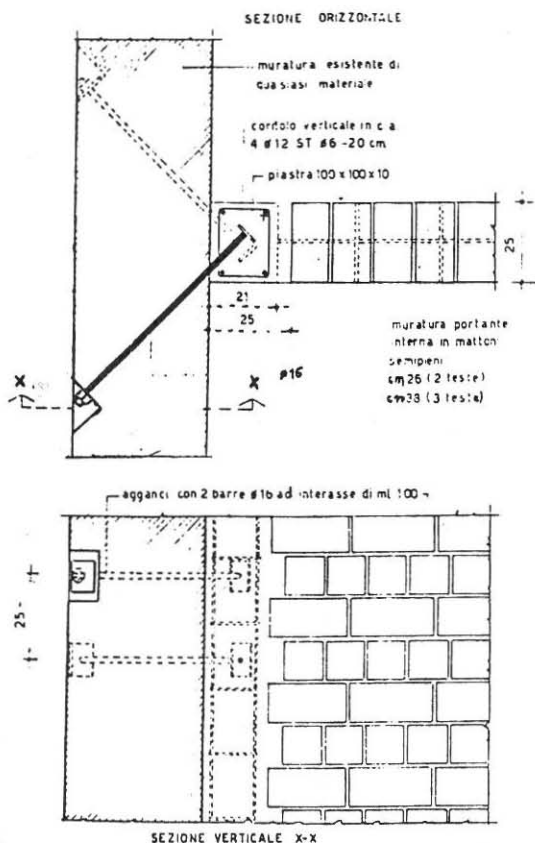
Pertanto nel corso dell'esperienza qui descritta si è accentrata l'attenzione sui metodi più atti a far sì che le strutture laterizie di rinforzo, siano esse state nuovi setti o semplici riempimenti, esplicassero la loro funzione interagendo effettivamente col resto della struttura.

Nelle figure da 1 a 6, diamo alcuni esempi di sistemi adoperati, in varie situazioni strutturali e statiche, per realiz-



- Fig. 1 -

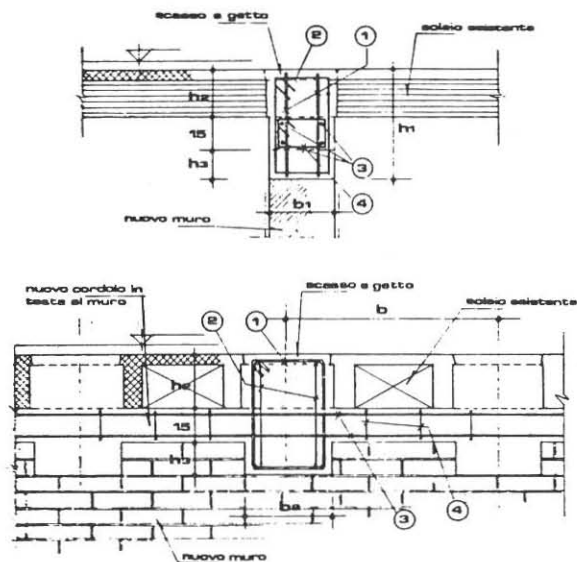
Tamponamento di vani e nicchie in murature portanti.



- Fig. 2 -

Collegamento verticale di nuove murature in laterizi a murature preesistenti.

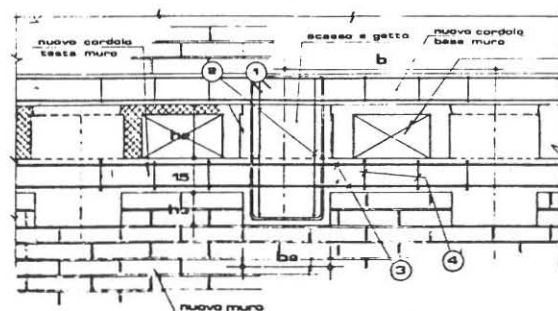
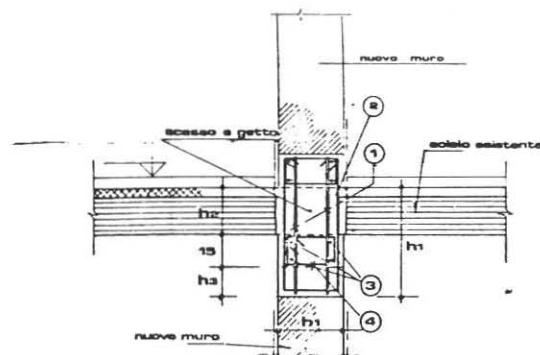
Il collegamento è realizzato tramite barre di acciaio preventivamente fissate tramite perforazione nella muratura preesistente, ed annegate in un pilastro d'angolo.



Rif.	b	b1	bs	h1	h2	h3	1	2	3	4
	150		40				20x12 L1	20x12 L1	4x12 L1	20x12 L1

- Fig. 3 -

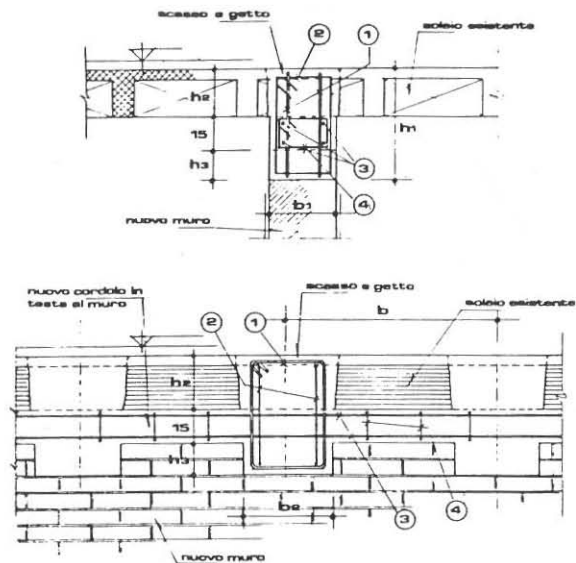
Collegamenti di nuove murature in laterizi a solai in L.C. preesistenti e tessuti ortogonalmente al nuovo setto murario. Costruzione del setto fino alla quota di calpestio del solaio.



Rif.	b	b1	bs	h1	h2	h3	1	2	3	4
	150		40				20x12 L1	20x12 L1	4x12 L1	20x12 L1

- Fig. 4 -

Idem, ma con costruzione del setto oltre la quota di calpestio del solaio.

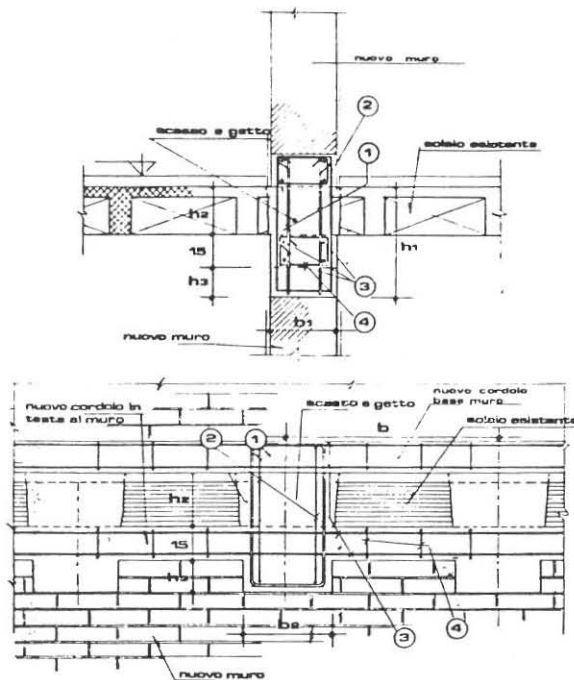


Rif.	b	b1	b2	h1	h2	h3	1	2	3	4
	150		40				2 set p 6 L	2 set p 6 L	4 p 12	2 set p 6 L

- Fig. 5 -

Collegamenti di nuove murature in laterizi a solai in L.C. preesistenti e tessuti parallelamente al nuovo setto murario.

Costruzione del setto fino alla quota di calpestio del solaio.



Rif.	b	b1	b2	h1	h2	h3	1	2	3	4
	150		40				2 set p 6 L	2 set p 6 L	4 p 12	2 set p 6 L

- Fig. 6 -

Idem ma con costruzione del setto oltre la quota di calpestio del solaio.

zare quanto sopra.

Tali sistemi, come deducibile dalle figure stesse sono stati illustrati in particolari esecutivi standardizzati in modo da poter essere adottati alle varie situazioni reali che potessero presentarsi ed hanno subito una serie di semplificazioni successive derivate dalle verifiche fatte durante la realizzazione dei lavori.

Infatti una delle caratteristiche della progettazione industrializzata di progetti di ripristino in grande numero è quella di operare nella consapevolezza che i lavori dovranno poter essere eseguibili anche da piccole imprese artigiane prive di particolare esperienza tecnica, e perciò gli interventi devono essere il più semplici possibili.

7) - CONCLUSIONI

Da quanto esposto e dalla esperienza fatta durante il nostro lavoro emerge come, quando si debbano eseguire operazioni di ripristino edilizio su vasta scala, e cioè in particolare riparazioni ed adeguamenti strutturali successivi a danni causati da terremoti, il ricorso all'impiego dei laterizi diventa una strada pressochè obbligata.

Infatti, se le caratteristiche del campione di edifici friulani da noi osservati possono estendersi alle altre zone collinari e montane d'Italia, buona parte degli edifici risultano realizzati in laterizi, e quindi, per omogeneità strutturale richiedono rafforzamenti che utilizzino i laterizi, oppure anche nel caso di edifici di diversa costituzione si dovrà far ricorso a metodi di rafforzamento che trovano nel laterizio la migliore possibilità di realizzazione (nuovi setti, tamponature, etc.).

Dalla esperienza fatta in Friuli abbiamo avuto modo di osservare che le tecniche di rafforzamento che fanno impiego dei laterizi sono alla portata di ogni piccola impresa artigiana, e sono, da parte di chi dirige i lavori, di agevole misurazione e controllo.

Ciò è molto importante quando i risultati di un intervento e le caratteristiche meccaniche che si desidera raggiungere dipendono fortemente dalla qualità dell'esecuzione.

Un'altra esigenza tipica delle operazioni di ripristino e rafforzamento antisismico è quella di dover operare all'interno di edifici; molto spesso risulta estremamente difficoltoso garantire la qualità dei getti trasportando il calcestruzzo con

secchi o carriole in zone difficilmente accessibili, mentre risulta più agevole operare tramite la costruzione di setti murari.

Tale facilità e convenienza tecnica di impiego delle strutture in laterizio nelle riparazioni è perciò tuttora frenata dalle scarse conoscenze teoriche sulla determinazione delle caratteristiche fisico meccaniche di tali strutture, e in particolare dalla difficoltà di determinarle per le strutture esistenti.

Molto spesso nel prevedere interventi di rafforzamento in laterizio ci siamo chiesti se poi le resistenze in fase di progetto desideravamo raggiungere con le riparazioni sarebbero state realmente ottenute in realtà, ma poche volte abbiamo potuto assicurarci con dei calcoli soddisfacenti che ciò sarebbe stato ottenuto.

Non si è ancora riusciti a determinare, come per il c.a., dei metodi di calcolo di prove in sito che, anche con le approssimazioni di cui ai coefficienti di sicurezza adottati per il c.a., permettano al progettista di pensare alle strutture in laterizio come a qualcosa di più esattamente calcolabile e verificabile.

Forse il limite all'impiego delle strutture in laterizio, negli interventi di riparazione e rafforzamento antisismico è posto proprio nell'attuale stato delle conoscenze teoriche e tecniche, dalla difficoltà di "calcolare" gli interventi suddetti, e dalla conseguente necessità di dover fare affidamento (più che in altri campi) sulla esperienza del progettista.

Ciò può portare ad incertezze od allungamenti dei tempi di progetto, che nel caso in cui si operi su grandi numeri di edifici (terremoti) sono da contenere al massimo.