



Problemi e tecniche di consolidamento delle strutture

di CLAUDIO MODENA

In occasione del convegno “La manutenzione urbana: i rii di Venezia” è stata sottolineata la complessità, “a dispetto delle apparenze”, dei problemi connessi con la “conservazione in esercizio”, secondo appropriati criteri conservativi, dei muri di sponda.

I problemi sono sia di ordine teorico, per quanto attiene alla “sicurezza strutturale” (e agli aspetti di calcolo e di verifica che a essa sono collegati in un campo specialistico dell’ingegneria – la cosiddetta “ingegneria strutturale”), che di ordine tecnico, per quanto attiene all’impiego di materiali e di metodologie esecutive e di appropriate tecniche di intervento.

È opportuno richiamare per sommi capi le considerazioni fatte in quella sede sull’argomento, sia perché giustificano gli sforzi di Insula – attivando programmi di ricerca e specifici, sistematici controlli di cantiere – per meglio mettere a punto (ottimizzare, cioè, sotto il profilo tecnico-costruttivo ed economico) i propri programmi di intervento sui rii, sia perché forniscono un quadro di riferimento indispensabile per dare una corretta interpretazione e quindi valutare la significatività dei risultati ottenuti nel corso delle ricerche recentemente svolte nell’ambito di una convenzione stipulata fra Insula e Consorzio Venezia Ricerche.

Viene innanzitutto lo spinoso problema della compatibilità (o meglio conciliabilità) fra esigenze di sicurezza strutturale (fare in modo che il muro garantisca “adeguati margini di sicurezza” rispetto al cedimento nelle “peggiori condizioni di esercizio prevedibili”) e quelle di conservazione.

Sicurezza e conservazione: sono conciliabili?

Lo stato di degrado e di dissesto dei muri di sponda è tale che nessuno ha dubbi sulla necessità di eseguire con urgenza interventi per il loro risanamento e recupero strutturale.

Non altrettanto unanime e chiaro è, purtroppo, il mondo dell’ingegneria nell’indicare le più appropriate scelte progettuali e operative degli interventi stessi che consentano di conciliare

“conservazione” e “sicurezza”.

La cultura ingegneristica e, di riflesso, la situazione normativa e la prassi professionale lasciano aperte opzioni molto diversificate: alcune (quelle più rigidamente legate alla normale prassi professionale) possono condurre a soluzioni che, mirando a garantire la sicurezza strutturale, stravolgono se non l’aspetto esterno, certo la natura e le modalità di funzionamento della struttura esistente, mancando così l’obiettivo di “conservare” (nel senso che oggi ha tale termine) un sistema costruttivo di indubbia valenza storico-architettonica.

Il “problema”, ben noto e dibattuto da anni, sia in sede nazionale che in sede internazionale, presenta effettivamente difficoltà teoriche per il momento insormontabili, i cui termini sono:

- i limiti di validità di procedure di verifica della sicurezza concepite e codificate per strutture di nuova costruzione, realizzate con materiali e tecniche moderni, quando vengono applicate a realtà fisiche molto complesse e difficilmente “descrivibili” e “modellabili”, nei termini previsti da dette procedure, quali sono le costruzioni murarie storiche;
- la possibilità e/o opportunità di fissare per le costruzioni storiche gli stessi livelli di sicurezza strutturale prescritti per le nuove costruzioni, in considerazione sia delle diverse “condizioni di partenza” (una struttura esistente, visibile e ispezionabile, e con una sua storia, nel primo caso, una struttura esistente solo sulla carta nel secondo) sia delle possibili conseguenze, ai fini della “conservazione”, di interventi di rinforzo che tanto più sono profondi ed estesi tanto più stravolgono la natura della struttura storica.

Le discussioni cui si è fatto cenno non hanno ancora condotto alla formulazione di proposte generalmente accettate, ma hanno certamente contribuito allo sviluppo di approcci alla sicurezza strutturale di costruzioni esistenti, sia in generale che in particolare riferimento ai beni storico-artistici, più complessi e articolati, in ogni caso

adeguamento” nella norma sismica, e prevede che gli interventi sulle strutture siano progettati in modo che abbiano lo stesso grado di sicurezza delle strutture nuove e che tale grado di sicurezza venga quantificato mediante un calcolo. Tale approccio tuttavia non è reso obbligatorio in tutti i casi. L’obbligatorietà scatta solo nel caso in cui la struttura esistente subisca modifiche costruttive sostanziali e/o variazioni rilevanti delle azioni cui deve resistere: addirittura recenti disposizioni riguardanti le costruzioni vincolate ai sensi della legge 1089/39 in zona sismica (in condizioni di esercizio quindi ancora più delicate e difficili di quelle in cui si trovano i muri di sponda) escludono che si proceda con l’adeguamento.

In tali casi è definito un approccio alla sicurezza strutturale di carattere qualitativo, e quindi necessariamente soggettivo, definito di “miglioramento”, consistente nella “esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli elementi strutturali dell’edificio con lo scopo di conseguire un maggiore grado di sicurezza senza, peraltro, modificarne in maniera sostanziale il comportamento globale”.

Esistono solide basi di conoscenze empiriche a sostegno di tale scelta, e quindi motivazioni ingegneristiche di ottimizzazione in termini di costi/benefici, ma è evidente la volontà di favorire il più possibile la “conservazione” del patrimonio architettonico storico.

Sicurezza e conservazione: quali soluzioni per i rii?

Tradotto in termini operativi l’approccio di “miglioramento” comporta evidentemente scelte nettamente orientate a ridurre il più possibile



Fig. 2 - Preparazione di muro di sponda per la fase di iniezione

interventi che prevedano “pesanti” integrazioni strutturali e/o demolizioni e ricostruzioni con tecniche e materiali moderni delle strutture esistenti, accordando la preferenza a tecniche tradizionali (in particolare le ricostruzioni murarie, tipo “scuci-cuci” e la ristilatura dei giunti di malta), e alla meno invasiva delle tecniche “moderne”, le iniezioni, abbinata all’uso di materiali “compatibili” sia in termini chimici che fisici (in particolare le calce idrauliche di composizione chimica controllata).

Interventi di tipo “leggero” si prestano in modo particolare alla tipologia dei muri di sponda dei rii veneziani. Considerate le loro modeste dimensioni, il meccanismo di rottura di gran lunga dominante è infatti quello del ribaltamento: le condizioni di carico attuali non sono sostanzialmente diverse da quelle presenti all’atto della costruzione dei muri, la stabilità è quindi primariamente legata alle caratteristiche delle fondazioni e alla geometria del muro, non tanto alla resistenza meccanica della muratura. La stabilità dei muri esistenti è infatti messa in pericolo da fenomeni di erosione del fondo e/o dal degrado di malte e mattoni (ancora per fenomeni di erosione oltre che per ormai ben noti processi chimici e fisici) che scompagina i paramenti murari, innescando processi combinati di erosione, attacchi chimico-fisici, crolli localizzati, ma progressivi, con conseguente perdita di capacità di proteggere la sponda.

Un problema particolare in tale ambito, tipico della realtà veneziana e significativa testimonianza degli sforzi che per secoli hanno impegnato i veneziani nella ricerca di sempre nuove soluzioni per far convivere la città con il difficilissimo ambiente in cui sorge, è rappresentato dall’adeguamento delle



Fig. 3 - Fase di ripristino del paramento murario della sponda

quote delle sponde a una quota più alta della precedente al fine di abbattere il disagio dovuto all'erosione delle maree medio-alte. Ancora oggi lo sforzo di recuperare le aree sottostanti alla quota di +120 cm sullo zero di Punta della Salute, quota sufficiente ad abbattere il disagio della maggioranza di tali maree (l'80% circa), risponde alla logica di ottimizzare i già previsti interventi di risanamento del sottosuolo e del suolo in termini di spesa ed efficacia, oltre che costituire un contributo significativo alla salvaguardia della città in quanto legati sinergicamente al risanamento dei piani terra degli edifici. Il riflesso di tale operazione sull'intervento del muro di sponda non compromette l'approccio "leggero", "conservativo", in quanto gli accorgimenti da effettuarsi – che possono peraltro variare nelle diverse, infinite circostanze e situazioni del tessuto edilizio cittadino – non sono sostanziali e non comportano variazioni rilevanti delle azioni cui deve resistere la struttura. Come già ricordato nel corso del convegno citato sopra, per ciascuna delle problematiche e delle conseguenti alterazioni fisico comportamentali della struttura si sono in effetti già affermate nella realtà

veneziana, con tutti gli adeguamenti e le articolazioni di dettaglio che il particolarissimo contesto ambientale richiede, le tipologie di intervento che mirano al rispetto del manufatto storico, riconoscendone la valenza costruttiva originaria, apportando solo alcuni correttivi in relazione all'uso odierno e alle relative patologie, utilizzando anche tecnologie e materiali che caratterizzano l'epoca moderna. È così possibile che lungo una stessa sponda venga messa in atto una combinazione articolata, variabile caso per caso (cioè rio per rio) a seconda delle situazioni reali che si possono di fatto riscontrare solo a cantiere aperto, di interventi classificabili come manutenzione straordinaria, riparazioni e veri e propri consolidamenti e, fortunatamente in pochi e limitati casi, integrazioni delle strutture esistenti. È ovviamente generale l'esigenza di adottare misure anti-scalzamento e anti-sifonamento. La soluzione che l'esperienza ha dimostrato fornire le migliori caratteristiche di affidabilità e semplicità costruttiva è costituita dall'infissione di pali in legno lungo il bordo esterno la fondazione a sostegno di un cordolo opportunamente dimensionato per



Fig. 4 - Ricostruzione di un muro di sponda

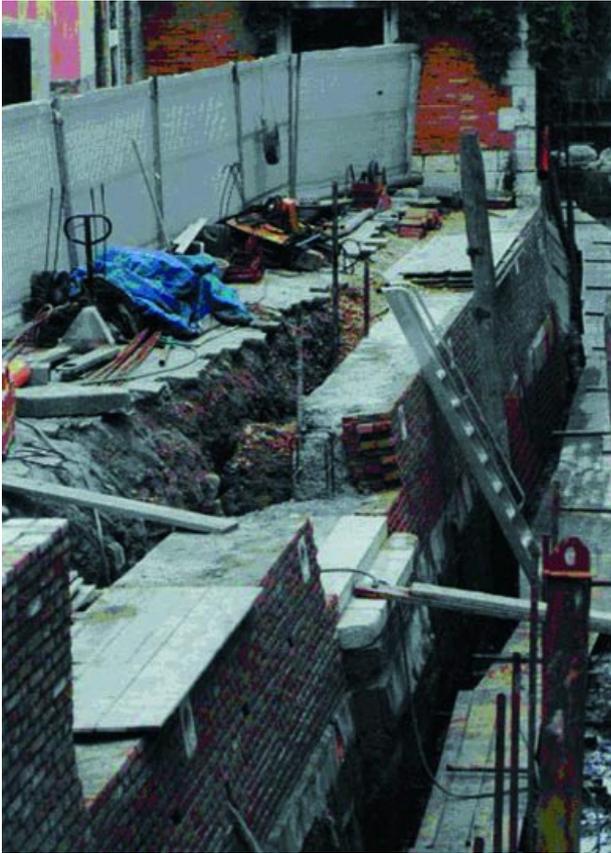


Fig. 6 - Intervento di ricostruzione di un muro di sponda

accentuata, nei terreni retrostanti i muri, dall'acqua che penetra attraverso i muri degradati, messa in movimento, oltre che dalle maree, anche dai natanti. Ciò spiega la necessità di integrare gli interventi sulle murature con bonifiche del terreno retrostante.

In linea di principio, quindi, vi è la riparazione dell'esistente, il suo consolidamento al fine della conservazione del bene. Solo nei casi più gravi si opera con la ricostruzione, nella forma esemplificata nelle figg. 5 e 6, che allo scopo prevede un corpo strutturale con l'anima interna di calcestruzzo, mantenendo preferibilmente la parte inferiore del vecchio muro con lo zatterone e la palificata al fine di utilizzare il suolo già costipato, e dotato degli accorgimenti necessari ad ovviare i fenomeni di sifonamento. La parte esterna viene rivestita dello stesso materiale di cui si componeva la muratura originale, rispettando e recuperando il più possibile i materiali e i loro rapporti geometrici. Riassumendo, le operazioni di recupero della muratura in risposta ai fenomeni precedentemente esposti rispondono rispettivamente alle seguenti tipologie:

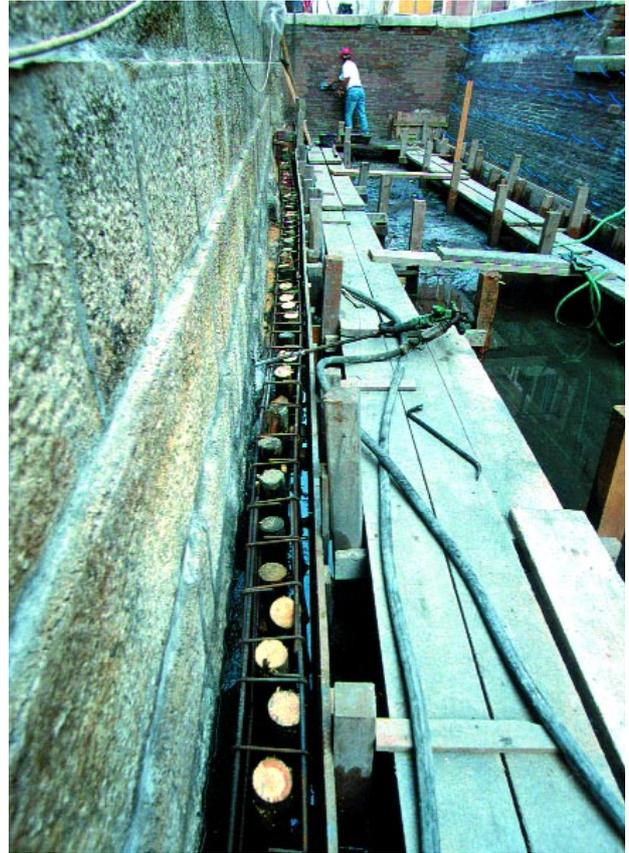


Fig. 7 - Predisposizione per il getto di un cordolo su palificata lignea

- palo con cordolo o palancola con getto di sigillatura (fig. 7) come misura anti-scalzamento e anti-sifonamento;
- iniezioni di riempimento al fine di corroborare la massa muraria (fig. 8);
- ricostruzione della parte mancante per dare omogeneità di comportamento alla sezione reagente (scuci-cuci, integrazioni);
- bonifica del terreno retrostante, previa sigillatura e impermeabilizzazione del muro e dell'eventuale condotta fognaria che lo attraversa.

Interventi conservativi: possibile un approccio "ingegneristico"?

La pratica, consolidata ormai in numerosi cantieri, ha messo in evidenza l'efficacia sostanziale della metodologia di intervento precedentemente descritta in relazione all'obiettivo, più volte richiamato, di garantire "adeguata sicurezza" senza compromettere la "conservazione" del sistema dei muri di sponda.

Esiste un problema di "messa a punto", in termini tecnico-economici, di quella parte della metodologia legata all'impiego delle iniezioni, tenuto conto

dell'importanza che esse hanno via via assunto sia per quanto riguarda il contributo atteso in termini di incremento dell'affidabilità del sistema dei muri, sia per quanto riguarda l'incidenza relativa sul costo globale degli interventi.

Esiste in particolare la necessità di rendere meno aleatori e soggettivi i criteri di progettazione (scelta delle miscele di iniezione, posizione e numero dei fori di iniezione, modalità di preparazione dei muri prima dell'intervento) e più controllabile l'esito della applicazione delle iniezioni.

Tale tecnica è perciò oggetto di specifici e sistematici studi e controlli, con l'obiettivo di fornire il più possibile regole di carattere oggettivo, sia in fase di progettazione che in fase di controllo in corso d'opera. Si tratta di una attività continua, che mira ad arricchire sempre di più le conoscenze e l'esperienza di tutti gli operatori, che viene svolta sia in normali cantieri di lavoro che in cantieri pilota, sperimentando diversi tipi di materiale e di tecniche di iniezione, invitando ditte specializzate a fornire materiali e assistenza tecnica nella messa a punto delle specifiche di esecuzione delle iniezioni tenuto conto dei risultati delle prove eseguite prima e dopo

le iniezioni stesse.

Vengono infatti eseguite prove per la caratterizzazione chimica, fisica e meccanica della muratura prima e dopo l'esecuzione di tale intervento, con lo scopo di verificare da un lato la necessità e la fattibilità delle iniezioni, dall'altro la corretta esecuzione e l'efficacia, mettendo a disposizione di tutti i progettisti coinvolti nel "progetto integrato rii" le conoscenze, qualitative e quantitative, che vengono così progressivamente acquisite.

Quali lezioni dalla pratica di cantiere e dalle indagini svolte?

L'esame "critico" di procedure correntemente usate in cantiere e i risultati delle indagini citate stanno fornendo indicazioni che, per quanto non ancora risolutive, consentono già di ridurre i margini di aleatorietà e i limiti di controllabilità sopra citati. In concreto, si può dire che:

- il contributo atteso più significativo delle iniezioni al fine di aumentare l'affidabilità del sistema dei muri di sponda (nei termini più generali, quali oggi sono anche espressi dalle moderne

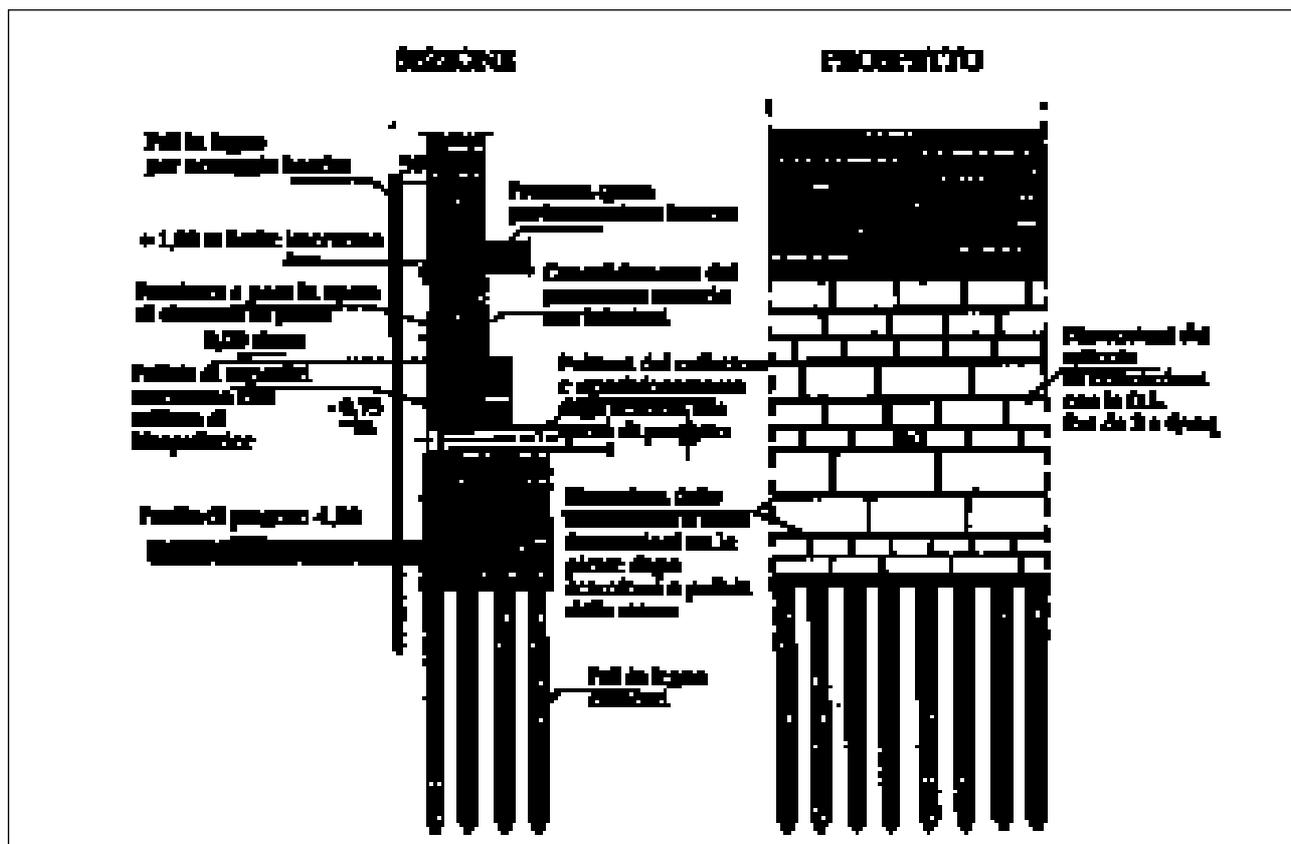


Fig. 8 - Schema di intervento di iniezione su un muro di sponda

normative sulla “sicurezza strutturale”, e cioè sia per quanto riguarda il margine di sicurezza garantito nei confronti di situazioni di perdita di stabilità sia per quanto riguarda la durata nel tempo) è quello di ridurre la percentuale di vuoti interni della muratura (siano essi quelli originali o quelli provocati dal degrado chimico-fisico);

- i parametri fondamentali che occorre conoscere per garantire il successo dell'intervento sono, da un lato, le dimensioni e la diffusione dei vuoti interni della muratura, dall'altro la penetrabilità della miscela in relazione alle caratteristiche dei vuoti e quindi la sua stabilità volumetrica e chimico-fisica in relazione alle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali esistenti (e ovviamente dell'ambiente);
- i controlli di efficacia sono, conseguentemente, quelli eseguibili a priori e in laboratorio sulla compatibilità chimico-fisica fra materiali di apporto e materiali esistenti e sulla iniettabilità, quelli eseguibili in cantiere per verificare distribuzione e tipo dei vuoti interni, ancora l'iniettabilità, e quindi la penetrazione dell'iniezione.

Ne conseguono semplici ma efficaci indicazioni operative:

- è impensabile progettare “a tavolino” le iniezioni, sulla base di “voci descrittive” standard;
- sono utili le indagini preliminari (carotaggi) per valutare la consistenza della muratura esistente, ma il vero controllo (una mappatura, per quanto semplice) sul tipo e sulla distribuzione dei vuoti interni ed esterni (lesioni) si può fare in cantiere con mezzi semplici, quali l'asportazione di alcuni mattoni o pietre del paramento murario e

l'esecuzione di prove “soniche” (possibilmente alcune con strumenti di laboratorio, altre più semplici “da cantiere”);

- vanno eseguite prove preliminari di laboratorio (anche a cantiere aperto) per le verifiche di compatibilità e possibilmente di iniettabilità precedentemente citate;
- è opportuno fare una “campagna prove” di iniettabilità a cantiere aperto (peraltro come si fa normalmente con i terreni), predisponendo un numero limitato di fori in diverse zone “critiche” (evidenziate dalle indagini citate);
- vanno previsti controlli sulla penetrazione delle iniezioni, sia, come usuale, controllando la fuoriuscita di materiale dalle cannule di iniezione, sia eseguendo carotaggi di piccolo diametro e/o rimozione di mattoni/blocchi del paramento esterno.

Bibliografia

Venezia la città dei rii a cura di G. Caniato, F. Carrera, V. Giannotti, P. Pypaert, Cierre Edizioni Unesco Insula Spa, Verona 1999.

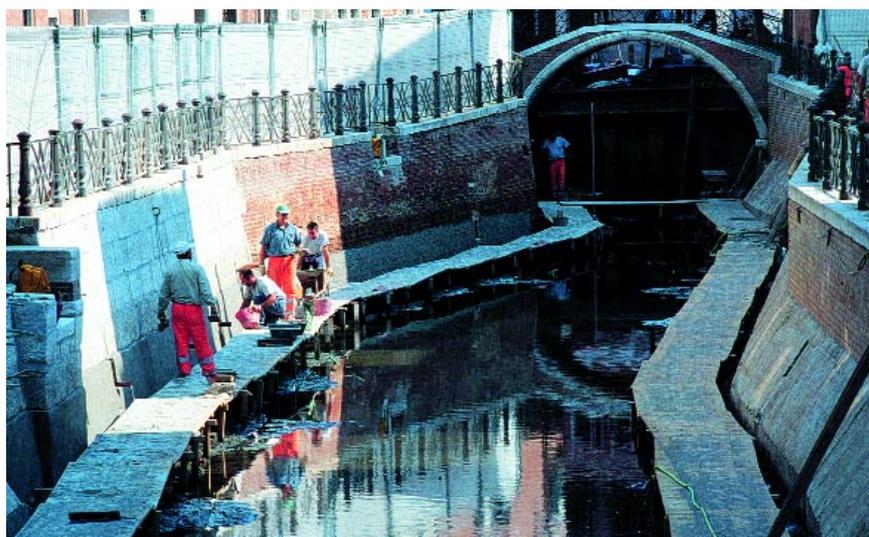
Modena, Valluzzi, Monteforte, Facchin, Artuso, Vanzetto, *Controllo dell'efficacia del consolidamento effettuato mediante iniezioni su un muro di sponda presso il rio della Pietà a Venezia*, novembre 2000.

Comitato nazionale per la protezione dei beni culturali dal rischio sismico, *Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche*, 1986.

Ministero dei lavori pubblici, Dm 16 gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*.

Giuffrè, *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso Ortigia*, Laterza, Bari 1993.

Modena, Valluzzi, Monteforte, Facchin, Colonna, *Controllo dell'efficacia del consolidamento effettuato mediante iniezioni su un muro di sponda ed un muro di fondazione in rio S. Severo a Venezia*, agosto 1999.



Rio Marin, settembre 1998