



Gli aspetti meccanici per la manutenzione dei muri di sponda: risanamento mediante iniezioni

di FEDERICO ZAGO

Nel convegno tenuto nel dicembre 1999 su “La manutenzione urbana: i rii di Venezia”, l’allora Soprintendente per i Beni Ambientali e Architettonici di Venezia, Roberto Cecchi, così esordiva:

“In questa città il tema della manutenzione avrebbe dovuto essere un fatto usuale, il fulcro dell’attività delle amministrazioni, perché nessuna altra città al mondo soffre per la mancanza di cura come questa... La città si trova a bagno nell’acqua, che per di più è salmastra, con problemi di conservazione assolutamente singolari e incredibilmente rilevanti. I segni del degrado sono evidenti, con riflessi importanti anche sui sistemi strutturali, talora con preoccupanti parzializzazioni delle sezioni resistenti”.

Lo stesso Cecchi, così proseguiva:

“Per le esigenze del costruito, connesse alla disciplina del restauro-conservazione, dobbiamo aggiungere alla nozione di manutenzione il concetto di controllo. Oggi, raffinate tecniche di indagine permettono diversi livelli di conoscenza... La manutenzione dei rii s’inquadra in questa logica”.

La manutenzione esige, dunque, preliminarmente un controllo del manufatto per stabilire le tecniche più appropriate d’intervento manutentivo. Riabilitato il manufatto, l’ulteriore e importante passo consiste nel conservarne la qualità raggiunta e dunque nel poterlo predisporre, a mezzo di ulteriori periodici controlli, per una manutenzione programmata: *intelligent building*.

Il direttore tecnico di Insula, Ivano Turlon, nell’intervento *L’approccio progettuale di Insula*, presentato allo stesso convegno, su questa fondamentale scelta metodologica, chiariva:

“Aspetto operativamente importante è l’approccio progettuale nella definizione degli interventi. In particolare, esso è basato sulla affermazione della preminenza degli aspetti conservativi (conservare i valori formali, materici e ambientali del manufatto, sedimentato nello sviluppo storico del tessuto urbano, nel riconoscimento dell’efficacia della sua funzione) con la conseguente adozione di criteri di progetto riferiti al concetto di ‘miglioramento’, intendendo con ciò l’esecuzione di una o più opere riguardanti i singoli

elementi strutturali dell’edificato con lo scopo di conseguire un maggior grado di sicurezza senza, peraltro, modificare in maniera sostanziale il comportamento globale’. Per tale approccio, la progettazione si sviluppa sin dall’inizio attraverso un costante confronto e una verifica delle attività con la Soprintendenza Archeologica e con quella ai Beni Architettonici e Ambientali, provvedendo in sinergia al recupero delle informazioni e alle indagini necessarie”.

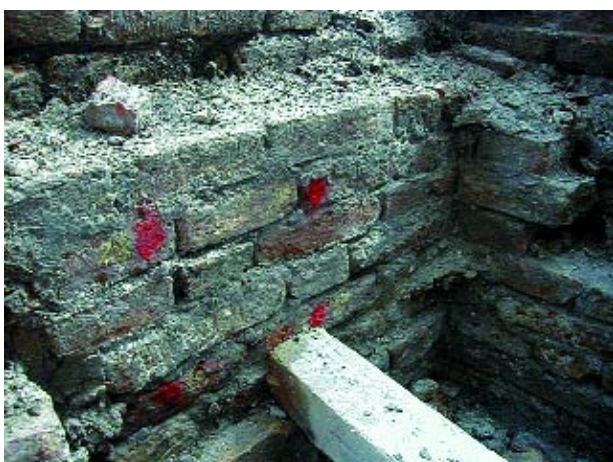
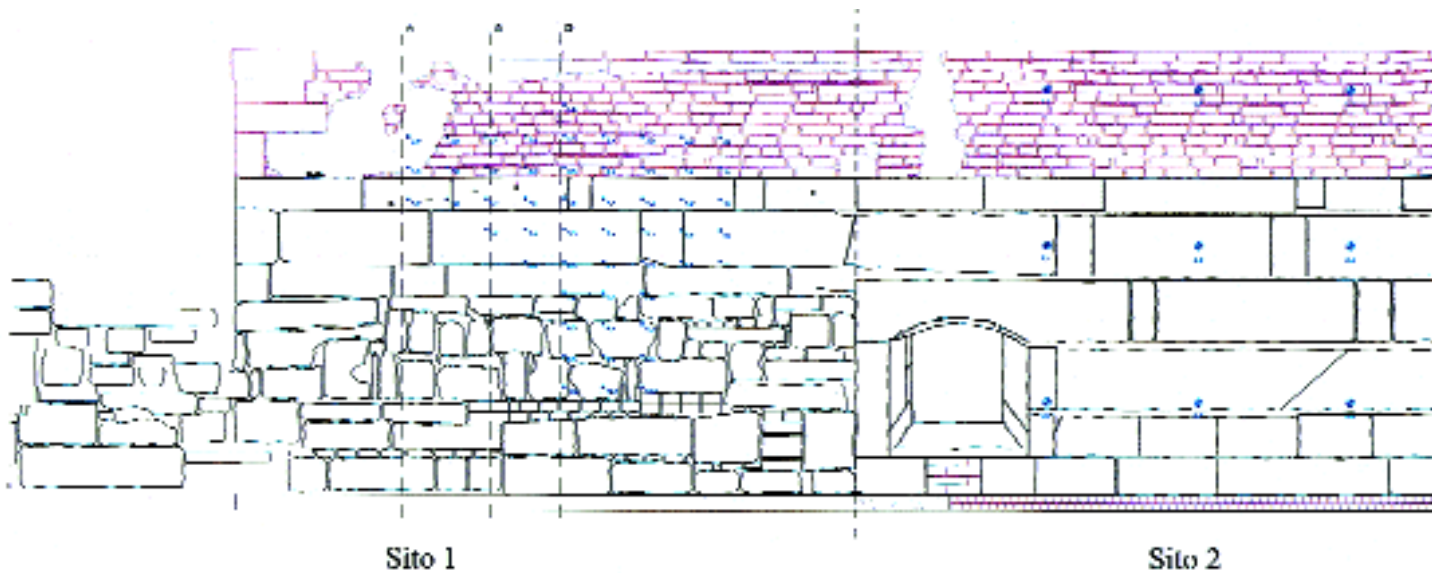
In merito alla qualità raggiunta e al livello di sicurezza statica raggiungibile è oggi riconosciuto, anche se non ancora esplicitato con puntuali normative, che nell’ambito del risanamento e del recupero strutturale si possa derogare dai principi generali prescritti per le nuove costruzioni. Sono accettabili, dunque, interventi capaci di migliorare le condizioni generali delle opere da consolidare senza, necessariamente e automaticamente, ricorrere all’adeguamento al nuovo edificato. Questo importante criterio progettuale, nell’ambito della sicurezza delle costruzioni, è stato compiutamente descritto nei contributi su *Il sistema delle sponde* da Claudio Modena e da Ivano Turlon, Guido Driussi e Guido Biscontin. L’amministratore delegato di Insula Paolo Gardin, nel suo intervento su *Il progetto integrato rii: avanzamento e prospettive*, per quanto attiene la situazione del degrado sia dei muri di sponda che di quelli di fondazione degli edifici prospicienti i canali, rilevava:

“Non sempre le indagini preliminari riescono a mettere in evidenza lo stato di degrado o dissesto delle sponde e delle rive e taluni interventi sono decisi solo una volta rimossi i sedimenti che li coprono. Insula ha valutato lo stato delle sponde sino ad oggi indagate, nella seguente misura: 13% con segni di grave dissesto, 21% con degrado diffuso e 66% con degrado leggero o nullo... Pratica manutentoria non significa solo riparare a conclamate situazioni di dissesto e degrado, ma anche capacità di prevenirle, monitorandone i fattori causali e limitandone gli effetti”.

Per quanto attiene la costituzione dei muri di sponda veneziani dobbiamo distinguere due tipologie fondamentali: interamente realizzati in muratura

oppure rivestiti in pietra (dello spessore di 20 o più cm), sulla superficie a contatto con l'acqua, per altezze che dal piano di campagna possono raggiungere anche la base fondale. Le indagini svolte, e i numerosi cantieri in cui si è e si sta operando, hanno messo in luce che i muri di sponda (in questa nota non trattiamo delle fondazioni degli edifici prospicienti i canali) presentano un degrado più o meno pronunciato e con caratteristiche diversificate, in relazione alle due citate categorie costruttive. Le rive realizzate esclusivamente in laterizio mostrano sempre perdita di monolicità più o meno estesa nello spessore sia a causa della malta (non più coesa al laterizio o, addirittura, mancante) sia per la presenza di sconnessioni e di cavità che interessano parti più o meno estese di muratura. Talune volte, per determinati tratti, soprattutto nella

parte inferiore, il paramento murario bagnato non risulta più presente per spessori che possono superare anche le due teste, in altri casi la stessa muratura si presenta con un degrado tale da dover essere interamente sostituita. Quelle con rivestimento esterno in pietra presentano generalmente un degrado fisico-meccanico occulto: rivestimento totalmente o parzialmente scollegato dalla muratura retrostante e questa può dimostrarsi (e per lo più si dimostra per il passaggio di componenti di degrado anche fra le commisure delle pietre) alterata nel proprio funzionamento a blocco e dunque non più capace delle prestazioni originarie. In alcuni casi, per entrambe le tipologie, il muro di sponda risulta scalzato dalla base fondale. Il degrado dunque può presentarsi molto accentuato, con caratteristiche di dissesti veri e



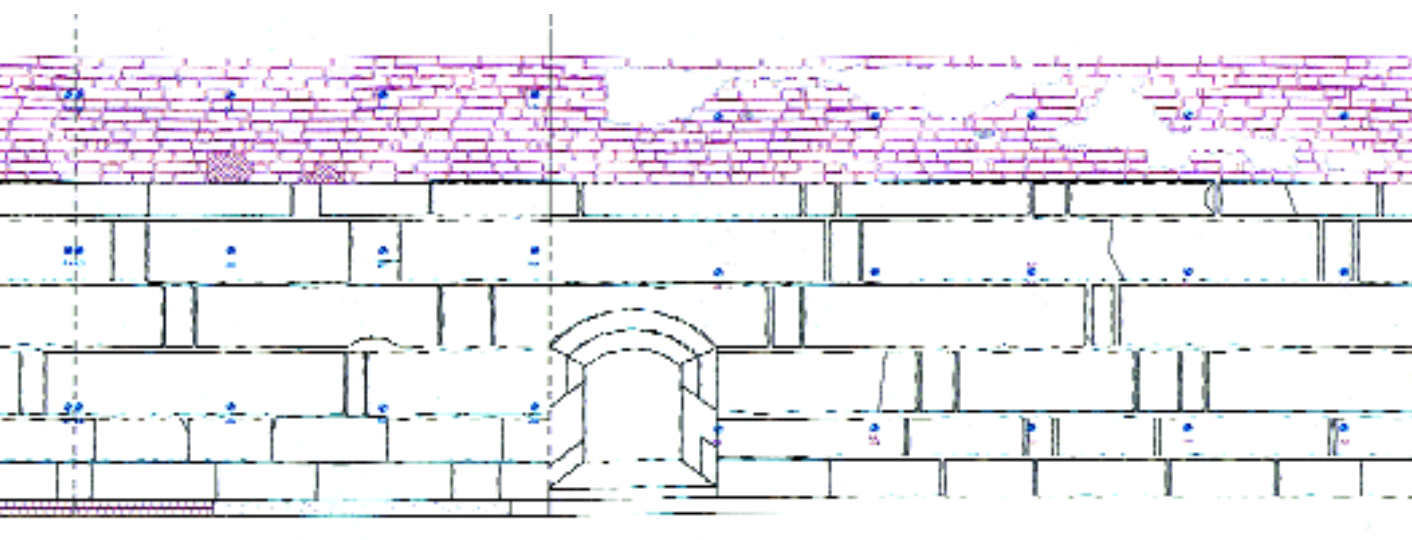
Per quanto riguarda la campagna di sperimentazione in rio della Pietà è stato necessario eseguire il rilievo geometrico della superficie e della sezione della muratura. La precisione e l'accuratezza nell'esecuzione del rilievo hanno consentito una maggiore comprensione dei fenomeni in atto durante l'iniezione dei prodotti consolidanti (le immagini di questo articolo sono tratte dalla ricerca presentata nell'articolo precedente e commentate da Francesca Zanovello)

propri (traslazione delle fondazioni, rotazione del muro di sponda, cavità e crolli in prossimità degli scarichi fognari, mancanza totale delle prime teste di mattoni in vicinanza delle fondazioni, necessità di sostituzione dell'intero paramento murario), oppure molto leggero (a vista pressoché nullo) per le rive con rivestimento in pietra semplicemente scollegato alla muratura integra a tergo.

Per risanare tale diversità di degrado strutturale, unitamente a quello chimico-fisico non meno pericoloso, favoriti entrambi dalla mancanza di opere manutentive nel corso degli anni (1965-95), sono disponibili le due ipotesi progettuali più sopra accennate: adeguamento e miglioramento.

Adeguamento, cioè rifacimento totale con nuovi materiali (mattoni, calcestruzzo, malte cementizie, ecc.); oppure miglioramento, cioè risanamento

(cuci-scuci, iniezioni, stilatura, ecc.). La scelta di Insula, quale soggetto imprenditoriale che attua i lavori dal 1997, è stata quella del recupero di tutto l'esistente per mezzo del miglioramento, adottando la manutenzione come linea guida nella gestione di ogni processo relativo al progetto integrato rii. La riabilitazione dei muri di sponda nell'ambito manutentivo richiede il ripristino dell'omogeneità e per fare questo la società ha, correttamente e sapientemente, scelto la tecnica meno invasiva e maggiormente appropriata in relazione al contesto: l'iniezione. Iniezioni di omogeneizzazione che devono essere estese a tutte le murature di riva giacché queste presentano, nel caso più favorevole, il distacco del paramento in pietra dalla retrostante muratura. La tecnica delle iniezioni, tuttavia, proprio perché adottata per il consolidamento della



Sito 3

Sito 4



Sopra, il prospetto del muro originario e la posizione dei punti di riferimento per le prove soniche. Nelle immagini sono rappresentati alcuni particolari del paramento murario all'interno e all'esterno della trinca

generalità dei muri di sponda deve essere diversificata in relazione all'intensità e al tipo di degrado. Di qui l'importanza, per il progettista e il direttore dei lavori, di valutare la profondità delle iniezioni, il numero di cannule per unità di superficie, la quantità e la qualità del prodotto, la pressione alla pompa e ogni altro elemento tecnico e tecnologico per la soluzione più idonea.

L'uso del cuci-scuci, la tecnica delle iniezioni e la ristilatura dei giunti (da eseguirsi più profonda possibile e con prodotti specifici) esauriscono il risanamento per la grande maggioranza delle murature di sponda veneziane.

Naturalmente nel caso di sbrecciature estese (mancanza del paramento murario in prossimità delle fondazioni, crolli all'interno dei cunicoli fognari, ecc.) e/o scalzamento del muro, si deve rispettivamente ricorrere al rifacimento con nuovi mattoni o alle tecniche di consolidamento statico puntualmente riportate nel libro *Venezia la città dei rivi*, al capitolo *Interventi di risanamento e recupero strutturale* (pp. 130-136).

Nel proseguo esamineremo, nell'ambito degli aspetti meccanici, i tre seguenti argomenti di carattere generale tentando di porgere per ognuno le peculiarità maggiormente significative:

- stato di fatto delle murature di riva
- prodotti per iniezioni
- controlli post-iniezioni

Valutazioni sulla consistenza materica delle rive prima degli interventi manutentivi

La prolungata esperienza di studio sulle murature veneziane, dapprima quelle appartenenti agli edifici e recentemente quelle costituenti le rive, nonché l'ormai relativamente ampia letteratura disponibile, porta ad affermare che le murature a Venezia sono generalmente realizzate con buoni laterizi accompagnati ad altri, invero non molto numerosi, di basse caratteristiche meccaniche; gli uni agli altri legati con malta che oggi ha preso parte (o pressoché completamente, nel caso delle sponde) della qualità originaria.

Il laterizio, sia quello impiegato fuori terra che quello per i muri di sponda, presenta per quanto attiene la resistenza ultima a compressione campi di variazione molto estesi; quando la numerosità di campioni risulta statisticamente sufficiente, tale esteso campo di variazione è accompagnato da dispersioni che superano abbondantemente il 20%. Laterizio, dunque, oggi non accettabile per impieghi strutturali se fosse di nuova produzione. Le

resistenze medie del laterizio storico veneziano, valutate su un congruo numero di campionature omogenee per localizzazione, si possono stimare, come ordine di grandezza, comprese fra 14 e 28 N/mm² (fra 14 e 22 N/mm² per le murature di sponda e fra 18 e 28 N/mm² per quelle in elevazione).

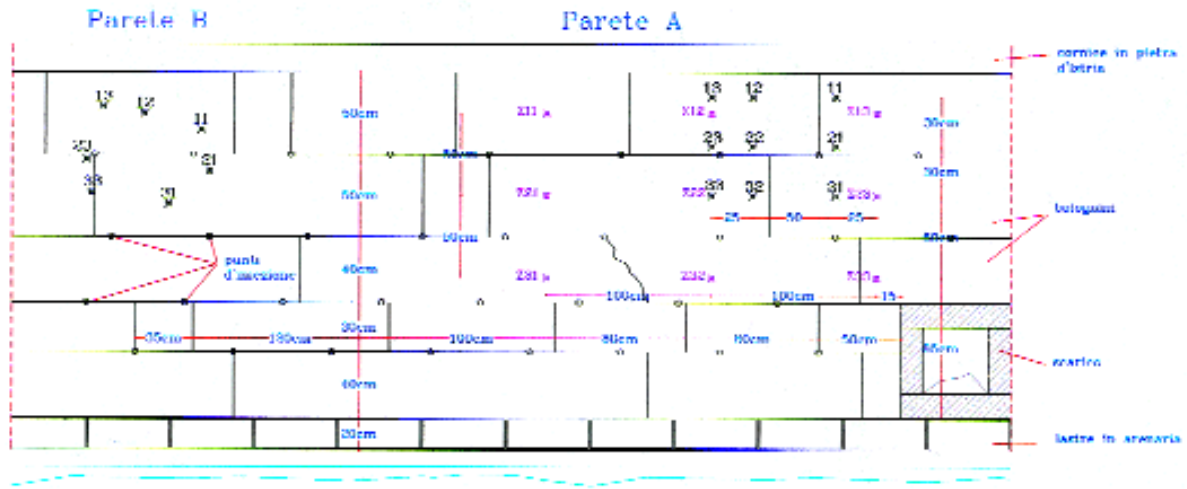
Resistenze medie, pertanto, non proprio mediocri se non fossero spesso influenzate dai valori estremi.

Prove meccaniche dirette sulle murature storiche (almeno tre corsi di laterizio e due letti di malta, su quattro campionature di un medesimo intorno per conseguire una valutazione in qualche misura probante) non sono effettuabili causa l'impossibilità di ottenere le campionature di muratura. Il carotaggio, ad esempio, dilava i provini, disturba l'omogeneità d'insieme e molto raramente consente di ottenere letti di malta orizzontali senza interferenze con quelli verticali o, addirittura, in altre direzioni; il prelievo attraverso il carotaggio, dunque, molto utile per prove di natura fisico-chimica, non consente prove meccaniche sul complesso originario laterizio-malta a causa, soprattutto, del dilavamento della malta stessa che, già di scarsa consistenza, perde ogni proprietà proprio per effetto dell'estrazione. Peraltro, anche il prelievo indisturbato di parti di muratura da un manufatto fuori terra di due o tre teste di spessore non risulta tale in quanto esso nella movimentazione (imbracatura – lievo dal sito – laboratorio – preparazione – prova) diviene di fatto disturbato causa la modesta consistenza della malta originaria. Viceversa, prove indirette di natura meccanica possono sempre utilmente eseguirsi con martinetti piatti. Metodica questa, però, non applicabile ai muri di sponda in quanto manca il contrasto.

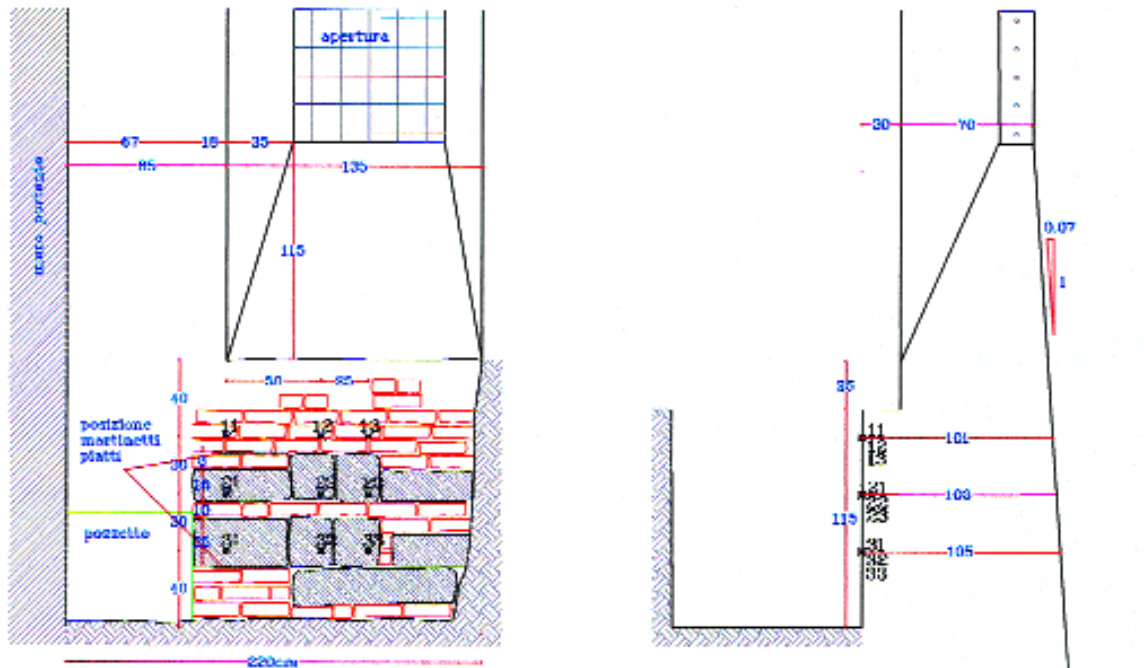
In sintesi, nelle murature di riva veneziane non sono eseguibili controlli di tipo meccanico prima dei consolidamenti, né con prove dirette né con prove indirette. Possiamo, dunque, eseguire determinazioni di tipo meccanico soltanto sui laterizi, e le sperimentazioni porgeranno resistenze a rottura per compressione variabili da meno di 10 N/mm² per raggiungere anche i 60 N/mm², con moduli elastici compresi fra 1500 e 30.000 N/mm² e densità fra 1,4 e 2,1 kg/cm³. Valori, pertanto, inutilizzabili se conseguiti sulla numerosità, sempre molto modesta, che i carotaggi o taluni prelievi consentono.

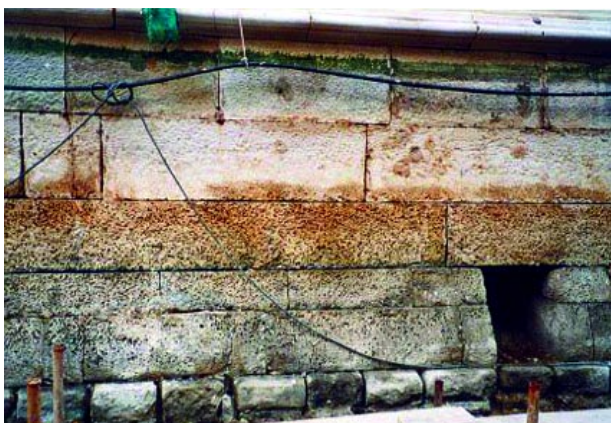
Peraltro anche le prove soniche, utili per determinare l'intensità della massa e l'integrità dei materiali, non porgono determinazioni meccaniche. Esse, pur presentando talune incertezze quando sono

MURO DI FONDAZIONE PALAZZO ZORZI
(fronte canale)



MURO DI FONDAZIONE PALAZZO ZORZI
(Parete A - lato interno)





Vista del paramento esterno della parete di fondazione di palazzo Zorzi prima del consolidamento. In primo piano i corsi dei bolognini in pietra d'Istria e sulla destra il gatolo. Nella parte in alto dell'immagine la linea verde dell'acqua battente. Sulla parte bassa, invece, i conci in pietra a diretto contatto con i fanghi del canale



Vista del muro di fondazione di palazzo Zorzi alla conclusione della fase di consolidamento. Si notano la ristilatura dei giunti e ancora qualche cannula utilizzata per le iniezioni consolidanti

applicate al complesso laterizio-malta (in particolare ai muri di sponda, soprattutto se rivestiti in pietra), pongono tuttavia indicazioni molto importanti per stimare il grado di aggregazione e di omogeneità dell'apparecchiatura muraria in esame. Essendo relativamente onerose (per trasparenza richiedono una vasta trinca sul retro della sponda, quelle in semitrasparenza e di superficie risultano maggiormente incerte) non possono impiegarsi con sistematicità. Alla luce delle esperienze acquisite si ritiene che per valutare la consistenza materica delle rive con degrado tale da consentire gli interventi manutentivi mediante iniezione (disomogeneità, sconnessioni, vuoti, inconsistenza della malta, stacco del paramento in pietra dalla muratura, ecc.) sia sufficiente il controllo visivo della superficie bagnata, approfondito con lo stacco di taluni mattoni e/o bolognini nelle zone più significative, la realizzazione di qualche trinca, di dimensioni però molto più modeste rispetto a quelle necessarie per le prove soniche in trasparenza, e taluni carotaggi orizzontali di piccolo diametro, importanti questi anche per le prove fisico-chimiche. Tali controlli, poiché sono molto semplici e poco dispendiosi anche in termini di tempo, hanno il grande pregio di poter essere effettuati con regolarità e frequenza tali da consentirci di conoscere effettivamente la consistenza materica della muratura e di conseguenza la possibilità di predisporre le iniezioni consolidanti più appropriate non solo riva per riva, ma anche tratto per tratto di una stessa muratura di sponda.

Principali caratteristiche meccaniche e peculiarità dei prodotti per iniezioni

Ogni prodotto per iniezioni è corredato di una scheda che ne riporta le principali caratteristiche meccaniche e chimico-fisiche accertate e dichiarate dal produttore. Nella scheda è, altresì, indicato il quantitativo d'acqua d'impasto cui l'esecutore deve attenersi.

Tutti i prodotti esaminati in laboratorio, se miscelati con la quantità d'acqua consigliata, comportano caratteristiche fisico-meccaniche (massa volumica, modulo elastico e resistenza ultima sia a trazione per flessione che a compressione) perfettamente rispondenti a quanto dichiarato.

I leganti idraulici speciali, più o meno additivati, impiegati per le iniezioni nei muri di sponda possiedono proprietà meccaniche molto elevate per la funzione che sono tenuti a svolgere, che è quella di riomogeneizzare la muratura riempiendone i vuoti e le macrofessurazioni e ripristinandone il monolitismo originario; proprietà che, essendo prodotti idraulici, tendono a incrementarsi nel tempo. Le loro resistenze meccaniche sono comparabili, se non superiori, a quelle delle malte cementizie oggi impiegate per le costruzioni in muratura.

Le malte antiche costituite per lo più da calce aerea e pozzolana naturale o artificiale (coccio pesto), pur capaci di un certo grado di idraulicità, potevano raggiungere resistenze dell'ordine del 20-25% delle attuali cementizie e, dunque, dei prodotti oggi impiegati per le iniezioni. Prodotti che però, anche per essere additivati, sono molto sensibili alla

quantità d'acqua d'impasto; una miscela fluida, con quantità d'acqua in eccesso rispetto a quella consigliata, riduce le resistenze e queste nel tempo non accrescono i loro valori proprio in ragione alla più o meno marcata fluidità.

In cantiere le quantità d'acqua non possono essere dosate come in laboratorio: il prodotto, comunque, tollera leggeri eccessi d'acqua appunto perché possiede elevate caratteristiche meccaniche le quali, anche se non raggiungono i valori dichiarati, risultano senz'altro più che sufficienti per il consolidamento dei muri di sponda a Venezia. I requisiti richiesti non sono, peraltro, elevate resistenze meccaniche (con mattoni originari di resistenza media dell'ordine di 18 N/mm² impiegare malta cementizia ad alta resistenza non risulta né economico né appropriato) bensì quelli legati all'affidabilità, cioè alla capacità di mantenere sensibilmente invariate nel tempo le qualità raggiunte con la manutenzione consolidante e, dunque, la durabilità: ben sapendo che tutti i materiali porosi si degradano. Il comportamento nell'uso (prestazione) è conseguibile attraverso il progetto: nel caso dei muri di sponda operare affinché il prodotto iniettato abbia effettivamente omogeneizzato la muratura, o il rivestimento alla stessa, in relazione al degrado visivamente constatato, effettuare la ristilatura profonda dei giunti con materiale durevole e realizzare l'eventuale intonaco protettivo, qualora le condizioni ambientali lo consentano.

Per il loro impegno statico le rive non richiedono ragguardevoli resistenze meccaniche essendo i tassi di lavoro a compressione delle murature per lo più modesti. Le stesse sponde, tuttavia, possono presentare problemi strutturali anche importanti, come accennato, per traslazione e/o riduzione delle sezioni resistenti. Dissesti questi che, se pur limitati in estensione, comportano interventi superiori e

diversi dal consolidamento mediante iniezioni; iniezioni, viceversa, che in generale interessano, con presenze più o meno accentuate, la totalità delle rive. Il consolidamento delle sponde mediante iniezioni diviene la tecnica maggiormente appropriata proprio perché non sono necessarie resistenze superiori a quelle originarie; conseguite, queste ultime, con malte di scarsa qualità. Tale tecnica, infatti, non è stata studiata per apportare incrementi di proprietà meccaniche, bensì per aggregare e omogeneizzare il corpo murario, che è ciò di cui effettivamente abbisognano le rive veneziane dall'intervento manutentivo.

I prodotti per le iniezioni sono influenzati – per quanto attiene il tempo di maturazione capace di conferire le proprietà meccaniche riportate nella scheda d'impiego – dal modo in cui maturano i provini: completamente immersi in acqua (come prescrive il punto 8.3 della UNI EN 196-1, norma tecnica sempre citata dai produttori), oppure maturati in altro ambiente. Tale considerazione non è di secondaria importanza trattandosi di consolidamento di rive, poiché il comportamento di alcuni leganti risulta relativamente influenzato dal tipo di stagionatura dei provini. Stagionatura che determina il tempo per effettuare i controlli sull'effettivo consolidamento conseguito con quel prodotto.

Taluni leganti raggiungono le proprietà dichiarate con provini immersi in acqua (e dunque con riva bagnata) dopo oltre 45 giorni, anziché i 28 dichiarati, mentre con provini maturati all'aria sono sufficienti meno dei 28 giorni previsti. Altri necessitano di almeno 28 giorni, indipendentemente che la riva sia asciutta o bagnata (provini stagionati all'aria o in acqua). Nel prospetto sotto riportato si evidenziano gli ordini di grandezza, nei valori medi, dei campi di variazione della resistenza a rottura per compressione (f_r) e del modulo elastico secante (E) attinenti ai materiali delle rive veneziane.

materiali	f_r N/mm ²	E N/mm ²
mattoni originari	14,0 – 22,0	5000 – 9000
muratura originaria	2,5 – 5,0	1000 – 2500
nuova malta di calce e pozzolana	2,5	–
mattoni originari e nuova malta di calce e pozzolana	4,5 – 6,5	2500 – 4000
prodotti per iniezioni (laboratorio)	8,0 – 12,0	6000 – 8000
prodotti per iniezioni (cantiere)	6,0 – 10,0	4500 – 6500
prodotti accelerati per iniezioni	12,0 – 20,0	8000 – 12000

Muri di sponda veneziani. Ordini di grandezze fisico-meccaniche. Campi di variazione dei valori medi per laterizi, murature e leganti: resistenza a rottura per compressione (f_r) e modulo elastico secante (E)

Controlli post iniezioni

Le valutazioni sull'efficacia delle iniezioni sono di duplice natura: controlli successivi al consolidamento per stimare l'omogeneità raggiunta dalla massa muraria e controlli protratti nel tempo per verificare la durabilità dell'intervento eseguito e programmarne la manutenzione.

Entrambi non attengono agli aspetti meccanici raggiunti, bensì all'effettivo monolitismo conseguito e come questo si mantiene nel tempo.

Nell'ambito dei controlli successivi alle iniezioni, e nel caso in cui il consolidamento abbia interessato tutto lo spessore della muratura, diviene importante stimare la quantità di prodotto eventualmente fuoriuscita a tergo, e di conseguenza non direttamente utilizzata per il risanamento. Questa valutazione affina le possibilità di adeguare la tecnica delle iniezioni alle murature di sponda veneziane, calibrando la profondità delle iniezioni, la quantità di legante e la fluidità della miscela. Per tale verifica è sufficiente, prima della posa del piano di calpestio della fondamenta, effettuare delle trince di sezione molto contenuta e controllare visivamente sia la situazione della superficie muraria a tergo sia quella del terreno rimosso. Essendo poco impegnativa, tale ispezione si può eseguire con la necessaria frequenza (intervalli di lunghezza di riva dell'ordine di 10-30 m, in relazione al degrado più o meno accentuato della muratura); la localizzazione delle piccole trince dovrebbe essere riportata nel progetto esecutivo poiché diviene utile per i successivi controlli sulla durabilità.

Nell'ambito delle ispezioni eseguite subito dopo le procedure d'iniezione dobbiamo distinguere quelle per cui il rio deve trovarsi in secco da quelle che possono effettuarsi anche con riva bagnata. Le prime vincolate ai tempi di cantiere; svincolate le seconde e per tale contingenza, dunque, meno onerose.

Controlli con riva asciutta. In quest'ambito possiamo annoverare le prove non distruttive di tipo sonico, i carotaggi orizzontali al di sotto della zona del bagnasciuga e le verifiche visive scuendo un intorno di mattoni o togliendo un bolognino. Tali controlli devono compiersi a indurimento avvenuto del prodotto iniettato: trascorsi almeno 30 giorni se le murature si presentano relativamente asciutte al momento dell'iniezione, 45 giorni se risultano imbibite.

Il controllo con il metodo dell'auscultazione

dinamica, basato sulla velocità di propagazione del suono nel materiale, pur comportando come accennato talune incertezze quando viene applicato alle murature, porge risultanze utili sulla compattezza che i muri di sponda hanno raggiunto con le iniezioni. Maggiori indicazioni, naturalmente, si conseguono attraverso il confronto fra la velocità misurata prima e dopo il consolidamento del medesimo tratto di riva, ricordando che il grado di umidità influisce sulla velocità di propagazione: decresce all'aumentare dell'umidità.

Oggi, tuttavia, possediamo già alcuni risultati sulle velocità per cui può essere bastevole impiegare il metodo anche soltanto a consolidamento avvenuto. Per trasparenza, valori medi di velocità di propagazione del suono dell'ordine di 2200 m/s, considerata la qualità del laterizio originario, connotano una muratura di sponda sufficientemente aggregata. Misurazioni per semitrasparenza e per superficie, senza pertanto l'onere di realizzare la vasta trince a tergo, risultano meno attendibili. Non si conoscono, infatti, per le murature di sponda veneziane le correlazioni fra trasparenza, semitrasparenza e superficie prima e dopo le iniezioni. Molto opportuni si dimostrano i carotaggi orizzontali. Per il loro piccolo diametro (dell'ordine di 5-7 cm) e per la loro limitata profondità (non superiore a 100 cm), si possono eseguire velocemente impiegando soltanto le comuni attrezzature di cantiere. Il conseguente contenuto impegno economico porge il grande vantaggio di aumentare la numerosità dei sondaggi e, dunque, dei controlli. Tali carotaggi, indispensabili per le prove di natura chimico-fisica che richiedono modeste quantità di materiale, divengono utili per la stima visiva dello stato di aggregazione raggiunto in quel punto dalla muratura con il nuovo legante idraulico iniettato. Stima che può essere effettuata tanto sulla carota, ricordando che la stessa viene dilavata dall'acqua necessaria per l'estrazione, quanto, e soprattutto, all'interno del foro con ispezioni endoscopiche. Le carote orizzontali, viceversa, sia per la loro direzione, ortogonale a quella di posa dei mattoni, sia per il loro piccolo diametro, non sono idonee per conseguire prove di tipo meccanico. Molto significativi, anche se di natura elementare, divengono i controlli visivi effettuati staccando un intorno di mattoni dello spessore di due o tre teste, oppure un bolognino di pietra. Consentono di valutare il reale comportamento del prodotto iniettato tanto attraverso la resistenza allo stacco quanto attraverso l'aspetto delle superfici a nudo

dopo lo stacco. Il ridotto impegno economico richiesto permette di effettuare tali semplici controlli con appropriata sistematicità.

Controlli con riva bagnata. Con il canale non più in secco, qualunque verifica, non essendo condizionata dai tempi stretti di cantiere, può effettuarsi trascorso un periodo relativamente lungo dall'iniezione: almeno 90 giorni per avere la certezza dell'avvenuto indurimento del prodotto.

Il controllo classico è quello del carotaggio verticale che permette l'esame della carota estratta e il prelievo di campionature. Divengono altresì fattibili, in condizioni di bassa marea, sia carotaggi orizzontali che lievo di mattoni e/o bolognini.

Efficaci, a nostro avviso, risultano i citati modesti scavi a tergo della riva.

Il carotaggio verticale (con diametri dell'ordine di 10-14 cm), sempre oneroso perché deve essere effettuato da personale e apparecchiature esterne a quelle di cantiere, consente la doppia valutazione: visiva della carota estratta per stimare

l'aggregazione fra i materiali (mattoni – eventuale malta originaria – prodotto iniettato) e prelievi per le prove chimico-fisiche. Se l'aggregazione è avvenuta, sono senz'altro possibili anche prelievi di tratti di carota per prove di tipo meccanico. Le resistenze e i moduli elastici che si ottengono, però, non sono indicativi per valutare le risultanze meccaniche su almeno un tratto di riva. Esse, oltre ad essere limitate al punto di estrazione (essendo tali carotaggi costosi non possono estendersi lungo le rive con sistematicità) risultano inficiate dalla presenza di legante in più direzioni; se il consolidamento è avvenuto, infatti, il prodotto ha saturato le macrofessurazioni e le cavità, e poiché queste variano in continuazione nelle sezioni della muratura, i risultati meccanici che si conseguono sono diversissimi fra loro e, dunque, non utilizzabili.

I carotaggi orizzontali e il lievo di componenti (mattoni o rivestimento in pietra) offrono le stesse possibilità e metodiche di controllo già elencate per la riva asciutta, con lo svantaggio però di essere limitati alla sola zona superiore del bagnasciuga.

Le piccole trincee, che oltre ad ampliare le possibilità di verifica consentono di affinare la tecnica delle iniezioni, possono eseguirsi anche senza attendere l'indurimento del legante (e pertanto dopo qualche giorno dall'iniezione, a presa avvenuta) in quanto sono mirate ai citati controlli visivi, consentendo comunque prelievi di materiale per caratterizzazioni chimico-fisiche.

Con riva bagnata, e pertanto senza il carico di dover rimettere in secco tratti di canale, si ritiene altresì possibile monitorare le sponde per le verifiche sulla durabilità degli interventi di consolidamento mediante iniezioni, programmandone le metodiche di controllo e le successive manutenzioni.

La cadenza temporale dei controlli e la localizzazione degli stessi dipendono dal rischio di degrado stimato nel tempo e da quello più o meno consistente riscontrato all'atto delle iniezioni. Per quest'ultimo ci si avvale delle indicazioni (relazioni e documentazione grafica e fotografica) che puntualmente devono essere riportate nel progetto esecutivo; per quello stimato nel tempo, dei dati previsionali sull'intensità dei diversi agenti che concorrono al degrado delle rive a Venezia. Con l'ausilio di questi due parametri diviene relativamente agevole programmare la manutenzione, dovendo di fatto controllare nelle zone previste soltanto la superficie esterna bagnata e la consistenza della muratura consolidata.

La verifica della superficie esterna, sia in laterizio a vista che rivestita in pietra, è mirata al controllo delle commissure, in particolare nella zona del bagnasciuga; se non più efficienti si dovranno ristilare, sempre in profondità. Il tempo trascorso dalle stilature effettuate con il consolidamento, commisurato ai processi di degrado in atto per quelle zone di riva, offre anche indicazioni sulla qualità del prodotto impiegato per le stesse stilature. Le procedure di controllo della consistenza delle murature di sponda, cioè la verifica dello stato di aggregazione (macrofessure e degrado del laterizio e del prodotto iniettato), appartengono alla stessa categoria di quelle già elencate per i riscontri sul prodotto iniettato: carotaggi orizzontali, necessariamente nella zona del bagnasciuga e possibilmente in prossimità di quelli a suo tempo effettuati per avere raffronti omogenei, nonché le piccole trincee a tergo previa movimentazione di una ridotta superficie pavimentale (due o tre masegni). Queste ultime, per il fatto di essere sempre nelle identiche posizioni già contrassegnate nel progetto esecutivo e di consentire sia le indispensabili verifiche visive sullo stato della muratura a contatto con il terreno sia il prelievo di materiale per prove chimico-fisiche, divengono a nostro avviso importanti tanto per il controllo della durabilità del consolidamento effettuato con le iniezioni, quanto per le manutenzioni successive.

Bibliografia

P. Ardizzon, *L'intervento integrato dell'insula dei Frari: scavo dei rii e risanamento delle sponde*, in *L'insula dei Frari*, "Insula Quaderni", maggio, 2000.

L. Binda, G. Mirabella Roberti, C. Tiraboschi, *Problemi di misura dei parametri meccanici della muratura e dei suoi componenti*, atti del convegno nazionale di Messina, settembre 1996, Pitagora, Bologna 1996.

R. Cecchi, in *La manutenzione urbana: i rii di Venezia*, atti del convegno, Venezia, 2 dicembre 1999, "Insula Quaderni", febbraio, 2000, pp. 31-32.

P. Gardin, *Il sistema integrato rii: avanzamento e prospettive*, in *La manutenzione urbana: i rii di Venezia*, cit., pp. 13, 18.

C. Modena, *Il sistema delle sponde*, in *Venezia la città dei rii*, a cura di G. Caniato, F. Carrera, V. Giannotti, P. Pypaert, Cierre Edizioni UNESCO Insula Spa, Verona 1999.

S. Sahlin, *Structural Masonry*, Prentice Hall Inc., New Jersey 1971.

R. Scarpa, D. Semenzato, *L'intervento integrato dell'insula del Ghetto: dati tecnici*, in *L'insula del Ghetto*, "Insula Quaderni", giugno, 1999.

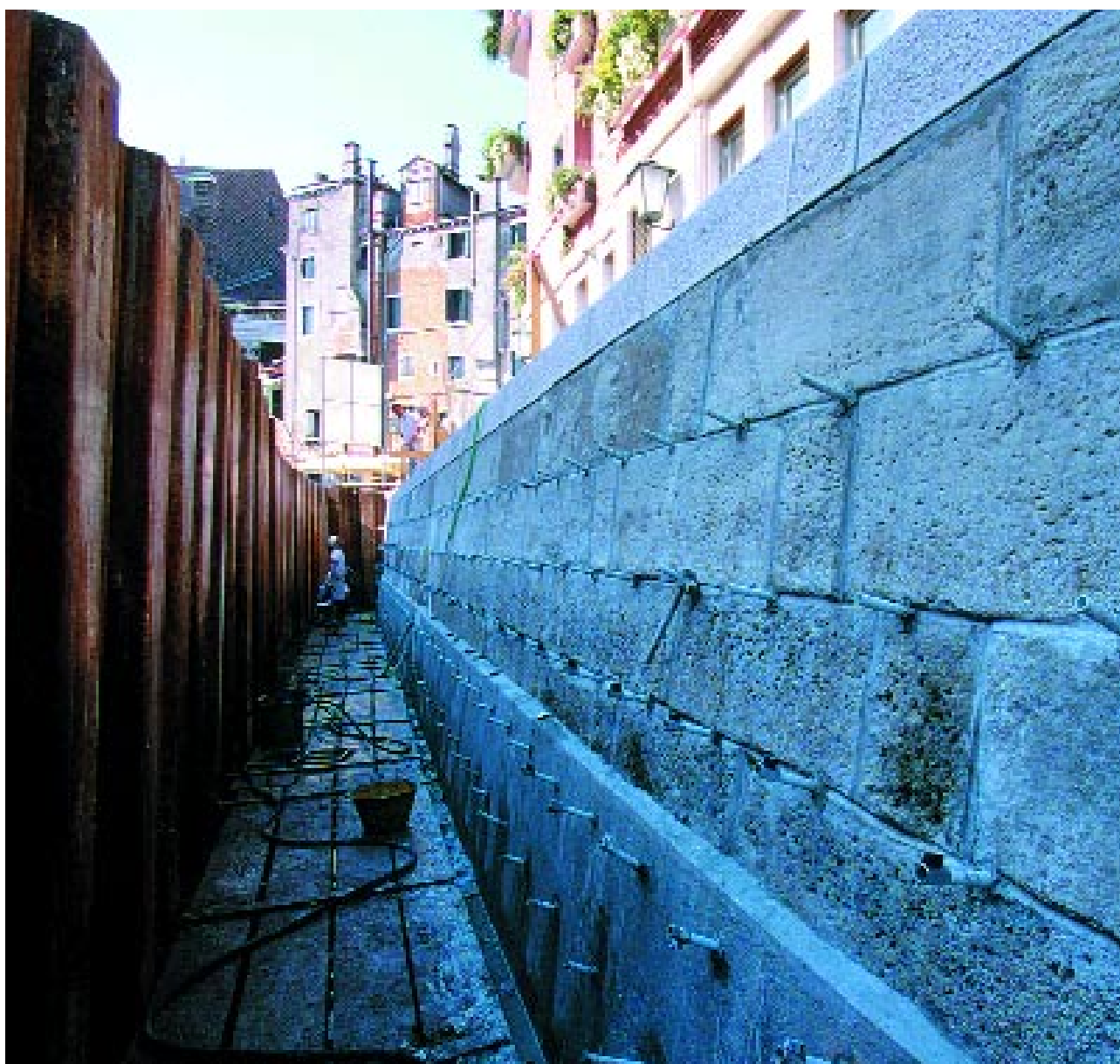
I. Turlon, *L'approccio progettuale di Insula*, in *La manutenzione urbana: i rii di Venezia*, cit., p. 67.

I. Turlon, C. Modena, G. Driussi, G. Biscontin, *Il sistema delle sponde*, in *Venezia la città dei rii*, cit.

F. Zago, *La resistenza delle vecchie murature*, in "Laterizio", 1, 1986, BE-MA, Milano 1986.

F. Zago, *La capacità deformativa nella valutazione della qualità del laterizio*, in "L'Industria Italiana dei Laterizi", 1, 1989, Laterconsult, Roma 1989.0

F. Zago, *Caratteristiche meccaniche dei mattoni e della muratura di Palazzo Foscari a Venezia*, Editoria Universitaria, Venezia 1997.



Rio dei Tolentini, giugno 2000