



L'uso delle iniezioni consolidanti sui muri di sponda dei rii: una ricerca sperimentale

a cura di FRANCESCA ZANNOVELLO

Nel presente testo sono esposti in modo sintetico i contenuti e i risultati di uno studio su *Efficacia delle iniezioni sui muri di sponda e di fondazione nei canali*, svolto nell'ambito di una convenzione stipulata tra Insula spa e Consorzio Venezia Ricerche nel 1998. Come si evince dal titolo, l'indagine era mirata ad approfondire sotto un profilo scientifico il tema particolare della "tecnica delle iniezioni consolidanti", quale strumento di intervento utilizzato nel restauro delle sponde dei rii di Venezia. Obiettivo della ricerca era, oltre a quello conoscitivo, di definire in modo più circostanziato e corretto la procedura di intervento di tale tecnica, che da tempo è in corso di applicazione nei cantieri del "progetto integrato rii" gestiti da Insula. L'adozione di questa tecnica è coerente con gli indirizzi più recenti della manutenzione di Venezia, che sono improntati al restauro delle strutture urbane fondazionali del centro storico, piuttosto che al rifacimento e alla pressoché sistematica sostituzione dei muri di sponda degradati con muri nuovi. L'esigenza, espressa dalla competente Soprintendenza per i Beni Architettonici ed il Paesaggio, di conservare al meglio le testimonianze costruttive del passato, ha fatto maturare la convinzione circa l'opportunità di operare in maniera più reversibile e meno invasiva rispetto alle precedenti esperienze.

Lo studio, che è doveroso considerare come una ricerca-pilota e che necessita di ulteriori sviluppi e approfondimenti, è partito dall'analisi delle esperienze fino a oggi compiute delineandone lo "stato dell'arte", con lo scopo di giungere alla definizione di un metodo e una procedura applicativa in tema di iniezioni consolidanti da inserire in un vero e proprio capitolato tecnico. Come già premesso, l'indagine è stata condotta nel contesto metodologico della manutenzione conservativa delle strutture, con la garanzia della loro funzionalità ed efficienza, nonché dell'uso dei materiali tradizionali. Pertanto con *efficacia delle iniezioni* si è inteso indicare una valutazione sulla compatibilità d'uso della tecnica

stessa nel contesto suddetto.

La definizione del progetto di ricerca e la sua conduzione hanno richiesto l'apporto interdisciplinare di più specialisti attraverso molteplici incontri e confronti. Si è trattato di un lavoro intenso avviato a partire dagli ultimi mesi del 1998 nella sede del Consorzio Venezia Ricerche presso il VEGA – parco scientifico e tecnologico di Venezia¹.

I contenuti e l'ambito della ricerca

La ricerca è stata articolata attraverso l'analisi dei seguenti temi:

- compatibilità chimico-fisica del materiale utilizzato per le iniezioni murarie
- capacità di penetrazione e saturazione della miscela
- caratteristiche della miscela indurita (stabilità volumetrica, composizione, adesione al materiale esistente)
- caratterizzazione fisico-meccanica sulla parete muraria e sulla miscela da iniezione
- incremento delle prestazioni meccaniche del muro a iniezione avvenuta

Le prove sperimentali hanno avuto come teatro di indagine due differenti tipologie murarie all'interno di due cantieri gestiti da Insula: quello in rio di San Severo nell'insula di Santa Maria Formosa e quello in rio della Pietà nell'insula di San Giovanni in Bragora, 1° lotto. Inizialmente era stato progettato di intervenire in un unico canale in momenti successivi, ma a causa dell'evolversi delle condizioni dell'intera attività di manutenzione di Insula, la sperimentazione è stata attuata in due periodi e cantieri di manutenzione separati. Il fatto di procedere in due momenti distinti, interrotti dalla cosiddetta *pausa tecnica*, ha consentito un primo ma significativo bilancio sia in ambito metodologico complessivo sia in termini di tecnica diagnostica. Più in dettaglio i due ambiti dell'indagine sono stati i seguenti:

- *insula di Santa Maria Formosa, rio di San Severo*: in questo cantiere le due tipologie murarie indagate sono quelle delle fondazioni di palazzo Zorzi e quelle di una superficie del muro di sponda della fondamenta pubblica presso il ponte di

palazzo Zorzi. In entrambi i casi di studio sono state svolte indagini diagnostiche ante e post iniezioni miranti a ottenere valutazioni di controllo su un solo prodotto consolidante;

- *insula di San Giovanni in Bragora, rio della Pietà*: in questo cantiere si è indagato sul comportamento prima e dopo l'applicazione delle iniezioni su tre superfici in fondamenta dei Furlani, utilizzando questa volta due diversi prodotti da iniezione.

Gli esiti delle ricerche, che hanno comportato un'attività d'indagine durata circa due anni, svolta parte sul campo parte in laboratorio, sono raccolti in una copiosa documentazione². L'interesse per il tema di indagine e l'unicità dell'occasione di verificare in cantiere gli obiettivi appena espressi hanno indotto i *partner* del gruppo di ricerca a superare i limiti economici e le contingenze della gestione dei cantieri: tutti i membri del gruppo di lavoro, infatti, hanno compiuto ampi approfondimenti all'interno dei rispettivi settori, portando alla luce una grande quantità di informazioni desunte da circoscritte aree di studio e suggerendo nuove indagini e approfondimenti. Va precisato infine che non esiste ancora un metodo prestabilito e consolidato al quale fare riferimento in tema di iniezioni consolidanti; esiste però, allo stato attuale, l'insieme di tutte le esperienze raccolte dai progettisti, dalle ditte esecutrici e dalle maestranze. Ognuna di queste categorie, se interpellata, potrebbe descrivere dettagliatamente i problemi incontrati e le soluzioni adottate in anni di attività. Una considerazione, comunque, vale per tutte: nella variegata e complessa realtà del tessuto edilizio veneziano è difficile pervenire a soluzioni generalizzabili.

La letteratura internazionale specifica del settore riporta numerosissimi articoli, notizie e informazioni relative a esperienze condotte da più parti, sia in Europa che negli Stati Uniti, ma nonostante la mole di dati manca ovunque un capitolato delle attività che testimoni un consolidamento e una standardizzazione della tecnica delle iniezioni sui muri di sponda. Dalla maggior parte delle pubblicazioni specifiche prese in esame si evince che ogni intervento di manutenzione che utilizzi il metodo delle iniezioni è considerato sempre come un caso a sé stante, fin dalla fase di progetto, tendendo a rifuggire dall'applicazione di un metodo generale. Si ribadisce, peraltro, che la problematica di Venezia per le sue peculiari condizioni ambientali, si presenta comunque atipica e senza facili riscontri

sia in Italia che all'estero, venendo così a mancare la possibilità di un diretto e corretto confronto.

Fasi della ricerca

Una volta stabilito il luogo di indagine, lo svolgimento dell'intero lavoro di ricerca si è sviluppato secondo il seguente procedimento:

1 documentazione e informazioni

- raccolta di informazioni e dati sulle operazioni e sui tempi di cantiere in collaborazione con la direzione lavori e l'impresa esecutrice
- recepimento dalla ditta esecutrice di indicazioni sulla preparazione dei provini
- rilievo fotografico dello stato di fatto e rilievo geometrico delle zone murarie luogo delle attività

2 valutazioni precedenti alle iniezioni

- stima, se possibile, della permeabilità del sistema muro-terreno
- identificazione dei siti e prelievo di carote sui muri di sponda e di fondazione
- compatibilità chimico fisica delle malte proposte per l'iniezione sulla base dei dati ricevuti dalla ditta esecutrice (misure di porosità su malte di allettamento e laterizi dei materiali originari delle murature, analisi chimica e mineralogico-petrografica su malte di allettamento e laterizi)
- verifica della compatibilità delle malte proposte per l'iniezione (misure di porosità su malte di allettamento, analisi chimica e mineralogico-petrografica degli impasti proposti, verifica della idraulicità degli impasti mediante analisi termogravimetrica e osservazioni morfologiche su provini iniettati mediante osservazioni in microscopia ottica elettronica)
- determinazione della resistenza a flessione e a compressione (nonché il calcolo del modulo elastico del prodotto di iniezione, sia puro sia con inerte sottile) a 7, 30, 90 giorni
- valutazioni sulle modalità di iniezione

3 prove precedenti alle iniezioni

- documentazione fotografica di cantiere
- realizzazione di una trincea per l'esecuzione di prove soniche in trasparenza e della tomografia sonica
- prove soniche in trasparenza e in superficie e tomografia sonica
- eventuale caratterizzazione con prove non distruttive attraverso il sistema dei martinetti piatti per le fondazioni degli edifici
- carotaggi verticali
- estrazione dei bolognini in pietra d'Istria nel caso di fondazioni rivestite

4 iniezione

- definizione, localizzazione e rilievo dei punti per l'iniezione
- documentazione fotografica di cantiere
- quaderno di cantiere con il rilievo dei tempi e delle quantità di prodotto immesse

5 prove post iniezione

- definizione delle caratteristiche del muro iniettato e verifica della capacità di penetrazione del prodotto
- documentazione fotografica di cantiere
- prove soniche per semitrasparenza o superficiali e tomografia sonica
- indagini chimico-fisica sulla miscela indurita
- carotaggi verticali
- estrazione dei bolognini in pietra d'Istria nel caso di fondazioni rivestite
- verifica fisico-meccanica sui provini di materiale iniettato e sui carotaggi

6 documentazione conclusiva

- elaborazione del documento finale riassuntivo di ogni fase dell'attività complessiva

I due cantieri sperimentali

Il programma sperimentale è stato articolato secondo i tempi e le fasi riportate schematicamente più avanti nella sezione relativa alle attività svolte e al giornale di cantiere. Rispetto al programma inizialmente concordato si sono rese necessarie numerose varianti per far fronte a problemi operativi di cantiere e di coordinamento delle varie competenze coinvolte, e nel rispetto dei tempi messi a disposizione per il completamento della ricerca e la riapertura del rio alla viabilità. Nonostante fosse stata stabilita la procedura, le campagne sperimentali non sono risultate omogenee tanto che, come risulta dalle schede di sintesi successive, nella prima fase (rio di San Severo) si è indagato nelle fondazioni di un edificio privato e su una parte della fondamenta pubblica, nella seconda invece (rio della Pietà) solamente sulla fondamenta pubblica per una superficie doppia.

La programmazione logistica dei lavori di manutenzione nelle due insule relative non ha reso possibile l'attuazione della seconda parte della ricerca nel periodo immediatamente successivo alla prima, come era stato previsto. Di fatto, l'impossibilità di avere a disposizione un canale con i requisiti adeguati ha comportato l'attesa dell'inizio dei lavori nell'insula di San Giovanni in Bragora e precisamente lungo il rio della Pietà, quasi a un



Fig. 1 - Localizzazione dei due siti della ricerca

anno di distanza dall'inizio della prima campagna in rio di San Severo (fig. 1).

La situazione di cantiere ha consentito infatti la realizzazione della ricerca solo indagando il muro di sponda della fondamenta pubblica, mentre non è stato possibile verificare la compatibilità delle iniezioni sulla fondamenta di un edificio privato. L'esperienza del rio di San Severo ha suggerito alcune modifiche all'impostazione metodologica originaria della ricerca, che sono state adottate in rio della Pietà. Innanzitutto, le aree del muro di sponda scelte in questo caso sono state più numerose, cioè quattro, aumentando in tal modo la quantità di dati relativi alle prove non distruttive. Al fine di comprendere meglio il delicato processo di "iniezione" si è proceduto poi a verificare, passo dopo passo, lo sviluppo di tutta la fase di cantiere, dalla preparazione della miscela alla vera e propria iniezione all'interno della tessitura muraria. È stata questa una delle fasi cruciali del secondo cantiere di ricerca, che ha permesso di verificare sul campo molti dei parametri che concorrono al risultato conclusivo del consolidamento.

Allo scopo si è convenuto il prelievo di materiale iniettato su casseforme per la realizzazione di provini standardizzati che sono stati studiati nei laboratori per le analisi chimico-fisiche e fisico-meccaniche. In entrambe le campagne sperimentali si è proceduto alla realizzazione di una trincea che ha permesso sia il sondaggio all'interno della muratura iniettata, sia la realizzazione di prove soniche di trasparenza e in particolare la tomografia sonica. Lungo la fondamenta del rio della Pietà, la tecnica dei carotaggi verticali è stata sostituita dallo smontaggio di alcuni bolognini, precisamente tre, che hanno aperto il varco alla perforazione orizzontale con la carotatrice. Tale sistema è stato adottato sia prima che dopo il processo di iniezione, consentendo una verifica visiva e al tatto dello stato di fatto e di consolidamento finale.

rio di San Severo, marzo-giugno 1999

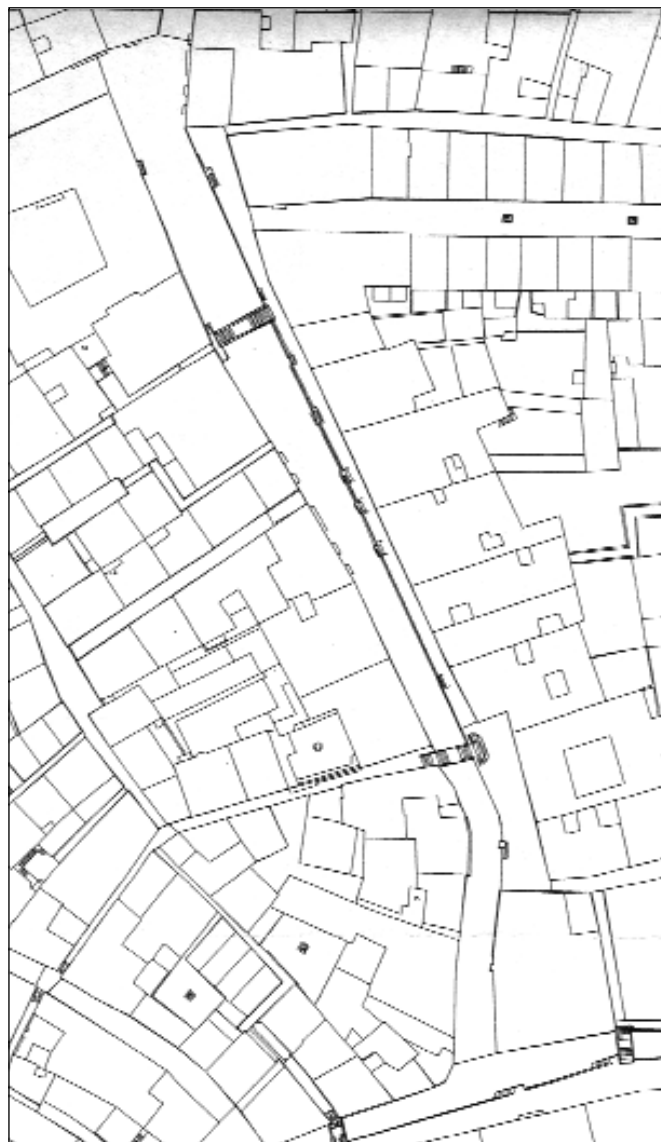
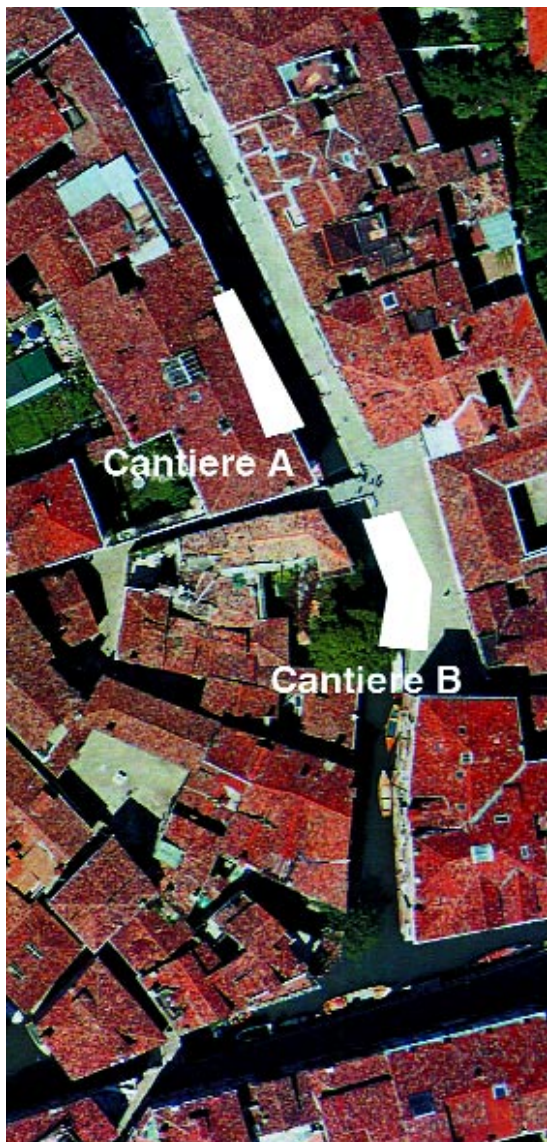


Fig. 2 - Inquadramento urbano dei due cantieri di ricerca: localizzazione su rilievo aereo del fotopiano di Venezia e rappresentazione planimetrica del canale sul rilievo attuale

cantiere A: fondazioni di edificio privato – palazzo Zorzi
attività di ricerca compiute

- rilievo geometrico della superficie
- prove soniche di superficie ante iniezioni
- realizzazione della trinca interna
- prove soniche in trasparenza
- controllo delle iniezioni
- prove soniche di superficie post iniezioni
- prove soniche in trasparenza post iniezioni
- prova con i martinetti piatti
- carotaggi orizzontali post iniezioni

cantiere B: fondazioni della sponda pubblica
attività di ricerca compiute

- rilievo geometrico della superficie
- prove soniche di superficie ante iniezioni
- realizzazione della trinca sulla riva
- prove soniche in trasparenza
- carotaggio verticale ante iniezioni
- controllo delle iniezioni
- prove soniche di superficie post iniezioni
- prove soniche in trasparenza post iniezioni
- tomografia sonica
- carotaggio verticale post iniezioni
- indagini e verifiche di laboratorio chimico-fisiche e fisico-meccaniche

giornale di cantiere

19 aprile	sopralluogo preventivo per le definizioni dei siti di ricerca: fondamenta pubblica e fondazione di palazzo Zorzi
27 aprile	realizzazione delle prove soniche sul muro di sponda della fondamenta di San Severo. Costruzione della rete dei capisaldi e rilievo. Realizzazione delle stesse prove sulla fondazione di palazzo Zorzi: costruzione del reticolo e rilievo della superficie
29 aprile	carotaggi sulla fondamenta di San Severo
30 aprile	realizzazione della trincea all'interno della fondazione di palazzo Zorzi per la successiva realizzazione delle prove soniche in trasparenza; collocazione in sito di martinetti piatti doppi
7 maggio	prove soniche e con i martinetti piatti doppi muro di sponda, fondamenta pubblica: – prove soniche in trasparenza – studio della tomografia della sezione della muratura compresa tra la trincea e la superficie esterna muro di fondazione di palazzo Zorzi: – prove soniche in trasparenza – prove con i martinetti piatti doppi
10 maggio	pulitura e risanamento delle aree ammalorate: – pulitura con idropulitrice elettrica, pressione 2,2 atm, acqua tratta dall'acquedotto – intonacatura della parte inferiore – sostituzione di mattoni vecchi con i laterizi nuovi e stuccatura delle fughe
14 maggio	trasferimento delle carote al laboratorio di prove dei materiali dello IUAV
17 maggio	iniezioni su palazzo Zorzi fondamenta pubblica: profondità dei fori 15 cm circa. A causa della necessaria pulizia della pompa di iniezione si sospende l'attività
25 maggio	iniezioni su fondamenta pubblica
14 giugno	prove soniche post iniezione sulla fondamenta pubblica e prove soniche e prove con i martinetti piatti doppi sulle fondazioni di palazzo Zorzi
17 giugno	carotaggi post iniezione
18 giugno	riapertura del canale al traffico acqueo

fasi sperimentali	prove soniche		prove con martinetti piatti doppi parete A
	parete A	parete B	
fase I: situazione originaria ante scavo (27/04/99)	1 prova superficiale	–	–
fase II: situazione post scavo (07/05/99)	1 prova superficiale 1 prova per trasparenza	1 prova per trasparenza	posizionamento martinetti e prova di carico
fase III: situazione post iniezione (14/06/99)	1 prova per trasparenza	–	prova di carico

Tab. 1 - Schema delle prove effettuate su palazzo Zorzi

fasi sperimentali	prove soniche	
	zona A	zona B
fase I: situazione originaria ante scavo (27/04/99)	1 prova superficiale	1 prova superficiale
fase II: situazione post scavo (07/05/99)	1 prova superficiale	1 prova superficiale 1 prova per trasparenza 1 analisi tomografica
fase III: situazione post iniezione (14/06/99)	1 prova superficiale	1 prova superficiale 1 prova per trasparenza 1 analisi tomografica

Tab. 2 - Schema delle prove effettuate sul muro di sponda della fondamenta di San Severo

rio della Pietà, marzo–luglio 2000

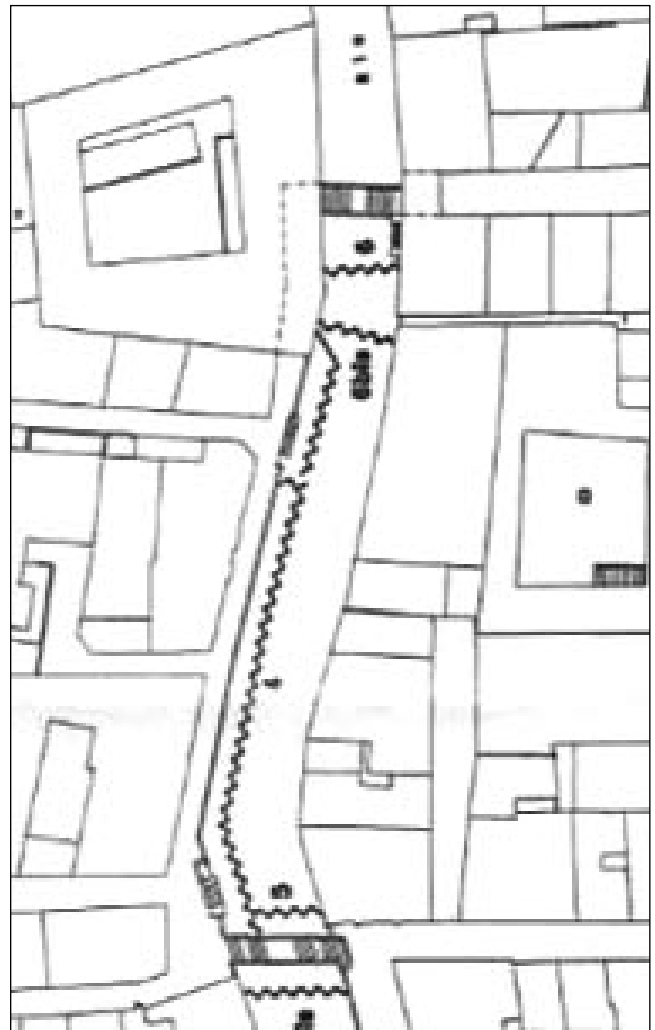


Fig. 3 - Inquadramento urbano del cantiere di ricerca: localizzazione sul rilievo aereo del fotopiano di Venezia e rappresentazione planimetrica dello stesso canale sul rilievo attuale

cantiere unico: fondazioni della sponda pubblica studio localizzato su quattro aree della superficie del muro di sponda

attività di ricerca compiute

- rilievo geometrico della superficie
- prove soniche di superficie ante iniezioni
- prove soniche in trasparenza
- realizzazione della trinca sulla riva

- tomografia sonica
- controllo del processo delle iniezioni
- prove soniche di superficie post iniezioni
- prove soniche in trasparenza post iniezioni
- tomografia sonica
- smontaggio di due bolognini
- carotaggi orizzontali oltre i bolognini
- indagini e verifiche di laboratorio di tipo chimico-fisico e fisico-meccanico

giornale di cantiere

31 marzo	rilievo della trinca e sono stati definiti sulla superficie i capisaldi della maglia per le prove soniche
5 aprile	prove soniche in trasparenza e di superficie, tomografiaonica della sezione della trinca
6 aprile	smontaggio di due parti del muro di sponda – sulla parete della trinca sono stati “smontati” due conci di pietra d’Istria – profondità massima 30 cm – e successivamente si è proceduto con il prelievo di una carota di diametro 80 mm e profondità raggiunta 120 cm dalla superficie esterna del muro. In questa situazione si è perforata completamente la sezione del muro. Il muro risulta compatto – sull’altra superficie, quella esterna alla trinca, è stato estratto un solo bolognino, ma di dimensioni più ampie – larghezza 115 cm, altezza 40, profondità 15 – e successivamente si è proceduto con il prelievo di una carota di diametro 80 mm e profondità 120 cm circa dalla superficie esterna del muro; è stata rilevata la presenza di fango appena dopo il concio di pietra
7 aprile	messa in sicurezza dello scarico fognario che stava crollando sulla superficie della volta
8 aprile	conclusione della messa in sicurezza dello scarico
11 aprile	conclusione della ristilatura dei giunti tra i conci
12 aprile	fori per le iniezioni, lavaggio degli stessi e posa in loco delle cannuce
13 aprile	iniezione
14 aprile	prosecuzione della fase di iniezione
15 aprile	nuove prove soniche sull’area appena adiacente alle iniezioni
17 aprile	sulla nuova area delle prove soniche del 15 aprile sono state realizzate le iniezioni di materiale
18 aprile	sono proseguite le iniezioni sulla superficie del muro esterno alla superficie di ricerca
20 aprile	trasferimento dei carotaggi e dei campioni al laboratorio di prove dei materiali dello IUAV
2 maggio	rifacimento della parte superiore del muro della fondamenta
3 maggio	sopralluogo al cantiere per determinarne lo stato di avanzamento
5 maggio	trasferimento delle carote estratte dalla muratura e del materiale di iniezione
16 giugno	successivo sopralluogo preventivo per determinarne lo stato di avanzamento
7 luglio	ultimo sopralluogo in cantiere
12 luglio	prove soniche su l’intera superficie
14 luglio	smontaggio dei tre bolognini
17 luglio	smontaggio del terzo bolognino e carotaggi orizzontali

zona d’indagine	prodotto d’iniezione	modalità delle prove soniche	condizioni riscontrate	data di prova	
				ante	post
sito 1 (zona trinca)	prodotto 1	trasparenza tomografia: sezione orizzontale e verticale	giunti di malta scarniti in data di prova ante	05/04/00	12/07/00
sito 2	prodotto 1	superficiali: righe, colonne e combinazioni diagonali	giunti di malta scarniti in data di prova ante	05/04/00	12/07/00
sito 3	prodotto 2	superficiali: righe, colonne e combinazioni diagonali	giunti di malta scarniti in data di prova ante	05/04/00	12/07/00
sito 4	prodotto 2	superficiali: righe, colonne e combinazioni diagonali	giunti di malta ristilati in data di prova ante	15/04/00	12/07/00

Tab. 3 - Programma sperimentale delle indagini soniche



Fig. 4 - Il cantiere di ricerca in rio di San Severo: vista della fondazione di palazzo Zorzi e del muro di sponda



Fig. 5 - Il cantiere di ricerca in rio della Pietà: vista del muro di sponda

Le indagini sperimentali sui muri di sponda

Nell'ambito della convenzione di ricerca, il dipartimento di costruzioni e trasporti dell'Università di Padova, nelle persone del prof. Claudio Modena e dei suoi collaboratori, ha ricevuto l'incarico di effettuare una serie di indagini sperimentali sui muri di sponda previsti. Per la valutazione dell'efficacia degli interventi eseguiti sono state impiegate tecniche di indagine oramai consolidate tra gli operatori del settore: si tratta, nella fattispecie, di tecniche debolmente distruttive (prove con martinetti piatti doppi) e non distruttive (prove di trasmissione della velocità sonica e tomografia sonica), effettuate prima e dopo il consolidamento delle murature.

La prova con i martinetti piatti doppi. Questo particolare metodo ha interessato solo la fondazione di palazzo Zorzi durante la prima fase di indagine, ed è stata eseguita dal Laboratorio provinciale prove materiali da costruzione di Verona. La strumentazione è costituita da una coppia di martinetti, nel caso in questione di forma rettangolare (400x200x4 mm), disposti orizzontalmente a circa 50-60 cm di distanza in corrispondenza di giunti di malta precedentemente rimossi con dispositivi di taglio. I martinetti sono collegati a una pompa che immette olio in pressione. Durante la prova, eseguita per cicli di carico-scarico, viene misurata la pressione agente sulla porzione di muro isolata dai due martinetti e la deformazione (generalmente orizzontale e verticale) su alcune basi di misura solidali alla muratura. Tale prova consente di ricavare i valori di resistenza (prima fessurazione) e del modulo elastico a compressione della porzione di spessore della muratura coperta dal martinetto (20 cm circa). La prova, pertanto, fornisce un valore delle caratteristiche meccaniche del muro che è tanto più approssimato quanto più elevato è lo spessore del muro. Inoltre, per la corretta esecuzione della prova stessa, è necessaria una sufficiente forza di contrasto costituita, generalmente, dal peso stesso della muratura sovrastante, che deve quindi essere di una certa entità.

La procedura con i martinetti piatti doppi si rivela particolarmente idonea nei casi in cui si voglia verificare l'apporto del consolidamento per il ripristino e/o il miglioramento delle prestazioni meccaniche della muratura (resistenza e rigidità). L'applicazione pratica di tale metodo sperimentale al caso di studio di palazzo Zorzi (rio di San Severo),



Fig. 6 - Prove soniche in rio della Pietà

tuttavia, ne ha evidenziato alcuni limiti, che hanno pregiudicato l'attendibilità dei risultati. In particolare: l'assenza di sufficiente contrasto sovrastante l'area di prova, la difficoltà di posizionamento dei martinetti nel paramento interno del muro di fondazione, per l'irregolarità dei giunti di malta e per la presenza di conci instabili.

Le prove soniche. Tali prove consistono nel misurare la velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali attraverso il mezzo murario. A tale scopo viene predisposta una maglia geometrica (generalmente rettangolare) in grado di coprire la zona di interesse. L'onda viene emessa mediante battitura, sul supporto murario, di un martello strumentato, e ricevuta da un accelerometro in un punto diverso della maglia. Entrambi i dispositivi sono collegati a un amplificatore di segnale e successivo convertitore analogico-digitale per la registrazione dei dati attraverso un computer portatile (fig. 6). L'onda si trasmette attraverso il mezzo murario prediligendo i canali a maggiore densità, deviandosi in corrispondenza di lacune o discontinuità. Vi sono varie modalità di trasmissione delle onde soniche e la scelta di un sistema rispetto a un altro dipende da vari fattori, tra cui il tipo di muratura e l'accessibilità su vari lati della stessa. Le prove soniche applicate alle strutture di muratura, mezzo sensibilmente eterogeneo e anisotropo, sono in grado di fornire informazioni limitate rispetto alle prove statiche; in particolare, esse forniscono dati qualitativi sulle caratteristiche

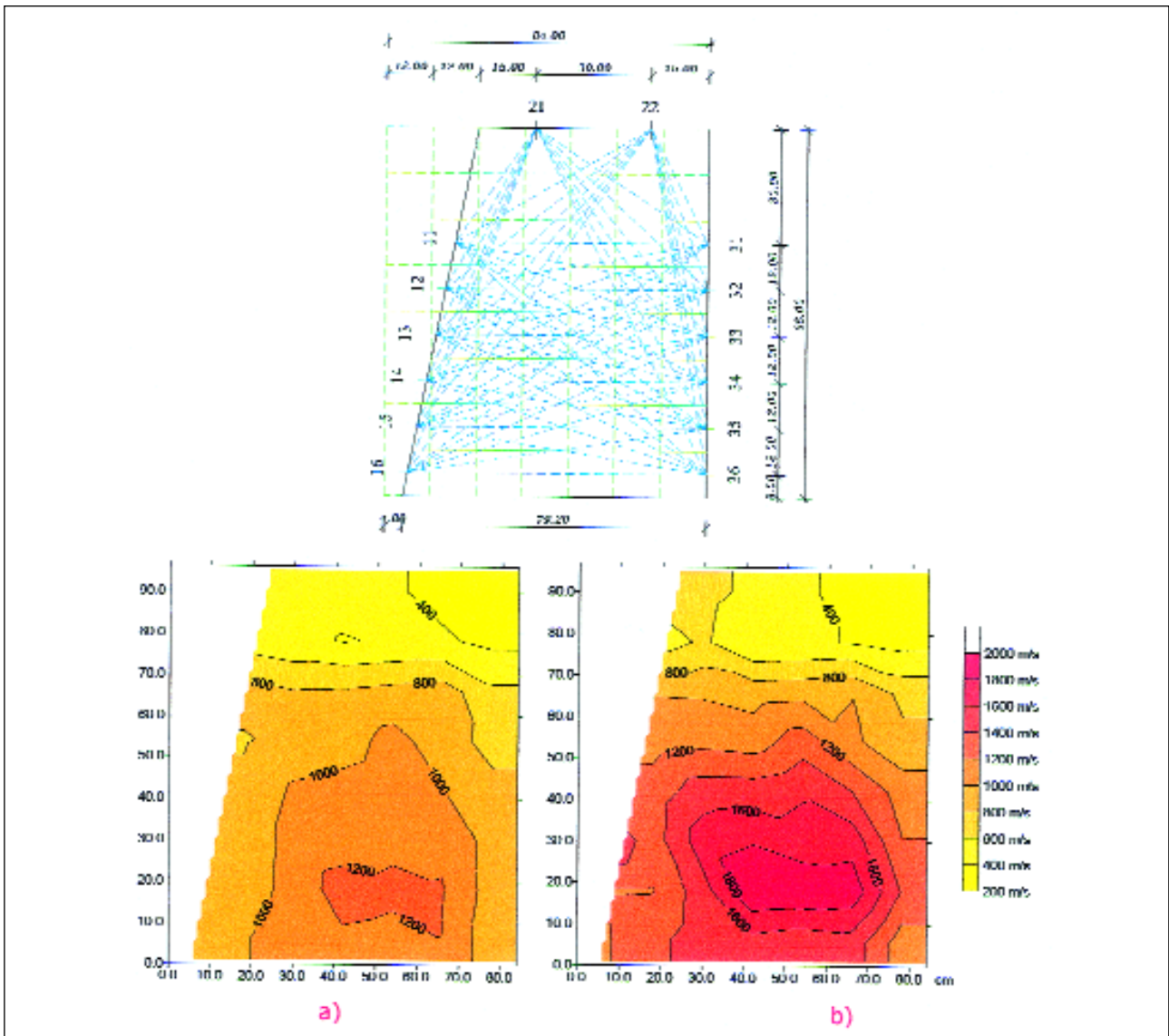


Fig. 7 - L'indagine sulla muratura attraverso la tomografia sonora consente di ottenere informazioni più dettagliate a livello locale poiché si basa sulla combinazione di acquisizione su più direzioni. Le rappresentazioni sono relative alla sezione della muratura tra la superficie esterna e la trincea interna: sulla parte superiore sono indicati i ventagli di misura effettuati per l'indagine, nella parte inferiore invece l'elaborazione dei dati rilevati sulla sezione. In a) la situazione originaria, in b) la situazione consolidata. Un vantaggio di questa indagine è offrire una mappatura delle velocità di campo con l'indicazione delle isovelocità.

elastiche del materiale e informazioni quantitative sui rapporti di variazione di tali caratteristiche tra i punti diversi della struttura. Inoltre, attraverso la misura delle velocità soniche, è possibile individuare la presenza di cavità o fessure, intercettate lungo il percorso di trasmissione dell'onda.

Le prove soniche sono di varie tipologie:

a) prove superficiali: l'onda sonora si trasmette dal punto di trasmissione a quello di ricezione attraverso lo strato superficiale del mezzo; le informazioni ottenute sono pertanto

caratteristiche dello stato di consistenza di una porzione limitata dello spessore del muro, che si estende però lungo la facciata dello stesso per tutto il campo d'indagine;

b) prove in trasparenza: consentono una migliore caratterizzazione della muratura nello spessore, in quanto l'onda sonora viene trasmessa in maniera diretta tra punti (generalmente) corrispondenti delle due facciate opposte.

Nell'esperienza in questione sono state realizzate prove soniche superficiali (ossia con emissione e ricezione sulla stessa facciata della parete) e in

trasparenza (ossia con emissione e ricezione su punti corrispondenti delle due facciate della parete). La richiesta di accessibilità dal lato interno ha imposto la realizzazione della trincea già più volte menzionata. Lo scavo presentava una larghezza di circa 1 m, in modo tale da consentire all'operatore di calarsi al suo interno per la ricezione del segnale; l'impulso è stato invece inviato dal lato canale del muro.

A tale scopo si è proceduto a eliminare, provvisoriamente, alcune delle copertine in pietra d'Istria presenti in sommità, in modo da riferire le misurazioni esclusivamente alla muratura sottostante. Effettuate prima e dopo l'esecuzione della tecnica di restauro statico, tali misure forniscono un'indicazione della variazione di consistenza del muro per effetto della presenza della miscela consolidante e, pertanto, consentono di stimare, seppure in maniera approssimata, la validità della tecnica di consolidamento (permeazione della miscela, diffusione o localizzazione del consolidamento).

La tomografia sonica. Maggiori informazioni sono disponibili localmente grazie all'indagine tomografica la quale, basandosi sulla combinazione di acquisizioni soniche su più direzioni di una stessa sezione, consente di migliorare il grado di conoscenza della stessa mediante una "mappatura" delle velocità acquisite.

La tomografia sonica consente di ottenere informazioni più dettagliate su una sezione della muratura, attraverso una sequenza combinata di trasmissione dell'onda sonica su più direzioni. Tale metodo permette di coprire in maniera sistematica il campo d'indagine ma richiede, per la sua esecuzione, l'accessibilità da almeno tre lati della sezione (se si dispone di un numero sufficiente di "illuminazioni" è possibile effettuare la tomografia della sezione anche su due lati).

Rispetto alle prove statiche (in sito e in laboratorio) il metodo di indagine sonico presenta l'enorme vantaggio della non invasività, unito alla possibilità di ottenere informazioni non puntuali, ma estese a tutto il dominio considerato.

L'impiego di tale metodologia insieme a prove debolmente distruttive (come quelle con i martinetti piatti) consente di avere un quadro pressoché completo, alla luce delle attuali conoscenze sulla diagnostica in sito, dello stato di consistenza della muratura nelle diverse fasi dell'intervento. È questa la ragione per cui, per lo studio dell'efficacia della

tecnica di consolidamento, si sono proposte le due tipologie di prova in sito menzionate (fig. 7).

In entrambi i siti sono state individuate due zone di controllo nelle quali si sono eseguite le indagini. Per l'esecuzione delle prove in trasparenza è stato necessario realizzare uno scavo a tergo del muro oggetto di studio; in particolare, due scavi sono stati eseguiti all'interno dell'edificio privato e una trincea è stata eseguita in una delle due zone predisposte per le prove soniche sul muro di sponda.

Nelle zone individuate per la valutazione dell'efficacia della tecnica di consolidamento, in concerto con il gruppo di ricerca del dott. Driussi e del prof. Zago, è stata programmata ed eseguita anche una serie di carotaggi verticali e orizzontali, avente lo scopo di caratterizzare la muratura oggetto di studio e di verificare le considerazioni deducibili dalle prove sperimentali di laboratorio.

Le prove fisico-meccaniche

Riguardo alla tecnica delle iniezioni sui muri di marginamento veneziani sono state compiute infine analisi che riguardano determinazioni e valutazioni fisico-meccaniche tanto della consistenza del muro di sponda quanto del prodotto iniettato.

Tutte le sperimentazioni di questo genere sono state eseguite dal laboratorio di prove dei materiali dell'ITUAV, diretto dal prof. Giuseppe Creazza, sotto il coordinamento tecnico del prof. Federico Zago. Il personale di laboratorio ha altresì provveduto sia alla preparazione dei provini di mattoni e di muratura mediante taglio, eventuale stuccatura con malta a ritiro controllato e spianatura delle superfici a contatto con la pressa, sia alla miscelazione e al getto su casseforme delle campionature da sottoporre a prova con i due tipi di prodotto per iniezioni.

Le osservazioni e le considerazioni sono iniziate con l'estrazione di carotaggi e le prove fisico-meccaniche hanno riguardato esclusivamente il laterizio assumendo pertanto un valore puramente indicativo. Da questa tipologia di prove si sono acquisiti dati su colore, densità, tensione di rottura per compressione con il carico agente secondo la giacitura in opera, il modulo elastico e il rapporto tra modulo e resistenza a rottura.

Per quanto riguarda i materiali consolidanti iniettati, le prove fisico-meccaniche hanno riguardato un solo prodotto nel cantiere di rio di San Severo (successivamente individuato come prodotto 1) e invece due differenti prodotti in superfici distinte sul muro di sponda in rio della Pietà: il prodotto 1 e

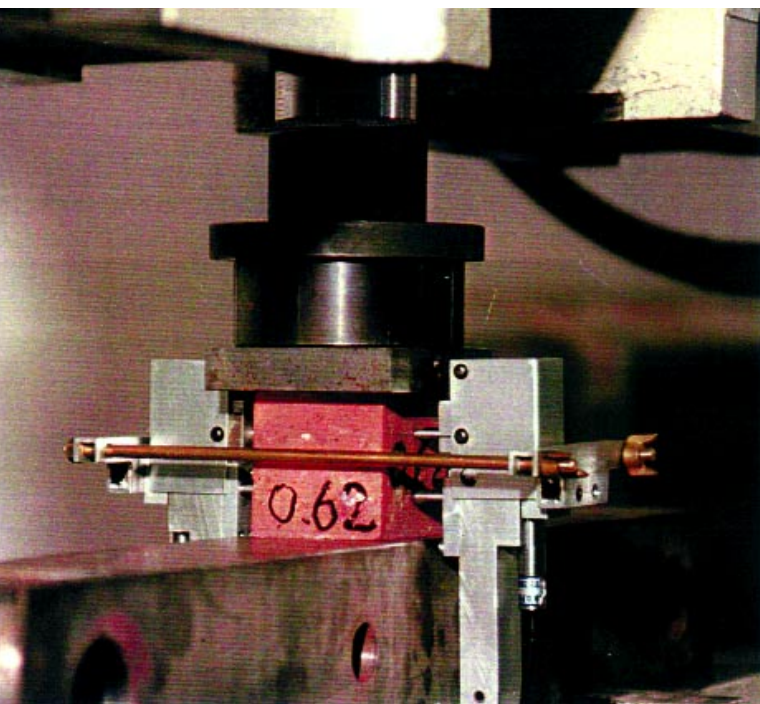


Fig. 8 - Prove di carico sui campioni presso il laboratorio luav

un secondo tipo (prodotto 2) (fig. 8).

Per ogni tipologia di prodotto si sono osservate le principali proprietà fisico-meccaniche attraverso l'analisi dei provini prelevati in cantiere al momento dell'iniezione.

Le medesime caratteristiche sono poi state comparate con altrettanti provini formati in laboratorio e stagionati in acqua.

Le prove hanno consentito la descrizione dei materiali attraverso tabelle che in base alla stagionatura riferiscono il comportamento in tema di densità, tensione di rottura per compressione, il modulo elastico e il rapporto tra modulo e resistenza a rottura; ampliano la descrizione i diagrammi dei moduli elastici dei singoli provini. Si deve infine sottolineare che le sperimentazioni svolte sui due leganti da iniezione testati non sono da considerarsi come prove di accettazione e, di conseguenza, i risultati riportati in questo lavoro non ne certificano la qualità, causa la numerosità dei campioni, spesso non appropriata. Le risultanze espresse, viceversa, mirano a porgere precise indicazioni alla committenza e agli operatori tecnici sulle resistenze meccaniche dei due prodotti, in relazione tanto al confronto fra prelievo in cantiere e formatura in laboratorio, quanto in merito al tipo e al tempo di stagionatura.

Le indagini chimico-fisiche. L'aspetto delle analisi chimico-fisiche in questa ricerca è legato alla caratterizzazione dei materiali costituenti la muratura e presenti prima dell'intervento di consolidamento, ed è relativo alla valutazione sulla stessa muratura al termine dell'intervento.

Le considerazioni espresse riguardano anche il comportamento e la distribuzione della malta iniettata all'interno della muratura, nonché la caratterizzazione del materiale utilizzato su provini preparati in laboratorio. Proprio in occasione di questa parte del lavoro si deve ricordare la difficoltà incontrata nel caso del cantiere di rio di San Severo nel reperimento del campione, ciò che ha comportato lo svolgimento di molte valutazioni e analisi in ritardo rispetto alle previsioni.

Lo studio è stato eseguito con materiali estratti mediante carotaggi effettuati nei cantieri di lavoro prima e dopo il consolidamento.

I risultati delle campagne d'indagine sono stati raggiunti analizzando in primo luogo i materiali prelevati dai carotaggi effettuati prima dell'intervento di consolidamento, e quindi gli impasti dei prelievi dopo le iniezioni, cui è seguita una sezione dedicata a una serie di indagini sul prodotto da iniezione tal quale.

Sulla base delle conoscenze consolidate fino a ora, sono state individuate alcune tipologie di analisi idonee a descrivere i materiali estratti. Innanzitutto si è proceduto a una descrizione degli impasti mediante osservazione al microscopio ottico di sezioni lucide corredata da una relativa documentazione fotografica.

Mediante la spettrofotometria FT-IR e l'analisi termogravimetrica si sono ricavate informazioni, a livello qualitativo e quantitativo, sulla composizione dei campioni prelevati. Inoltre un'indicazione importante è derivata dall'analisi mineralogico-petrografica effettuata mediante osservazione di sezioni sottili. A completamento della caratterizzazione dei materiali presenti sono state effettuate anche valutazioni sulla porosità e sulla distribuzione percentuale dei pori in base al raggio determinato mediante porosimetro a mercurio.

Per quanto riguarda gli impasti maltizi si è proceduto anche a una determinazione granulometrica degli inerti per via gravimetrica con setacci tarati. Ciò ha permesso di individuare le dimensioni degli inerti presenti e di ricevere indicazioni quantitative sul rapporto inerte/legante. Le analisi fino a qui menzionate sono state preferite anche alla luce del confronto che si vuole effettuare

con i materiali prelevati dopo l'intervento di consolidamento e con la malta da iniezione tal quale sui quali sono state svolte medesime indagini. Nella seconda fase di attività, in rio della Pietà, le valutazioni chimico-fisiche sui materiali iniettati hanno riguardato i materiali costituenti la muratura prima e dopo l'intervento – come nella prima fase – e le analisi sui singoli prodotti non sono state finalizzate alla valutazione dei prodotti stessi, quanto alla metodologia in generale i cui esiti sono solo in parte

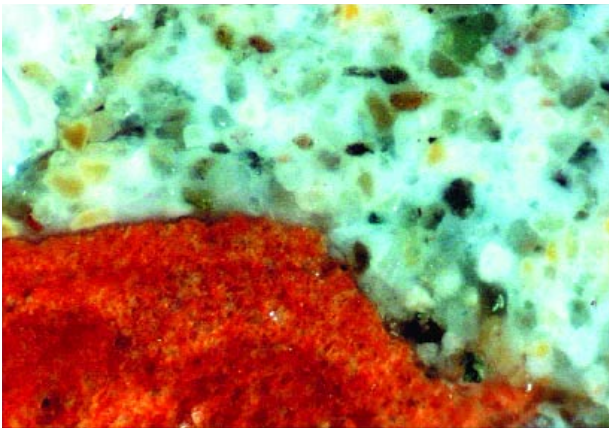
legati alle proprietà del materiale utilizzato. Lo scopo delle analisi ante consolidamento è conoscere la conformazione e lo stato di degrado della muratura e dei materiali che la costituiscono, per inquadrare e capire in quale ambito si svolge l'intervento, mentre le successive indagini post intervento sono finalizzate a una valutazione sull'efficacia della metodologia di restauro impiegata.



L'iniezione della miscela. Rio dell'Orso, insula di Santo Stefano, ottobre 2000

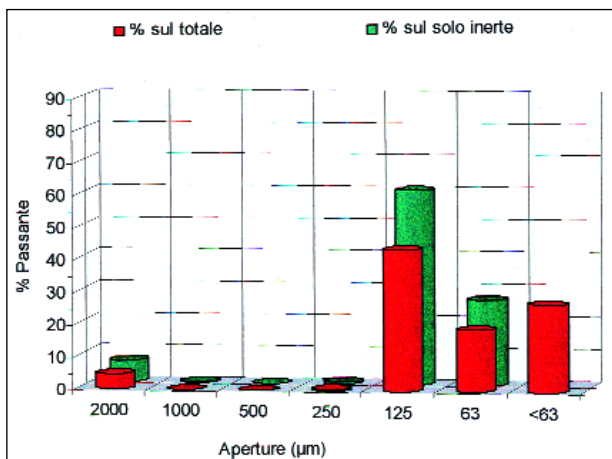
analisi eseguite

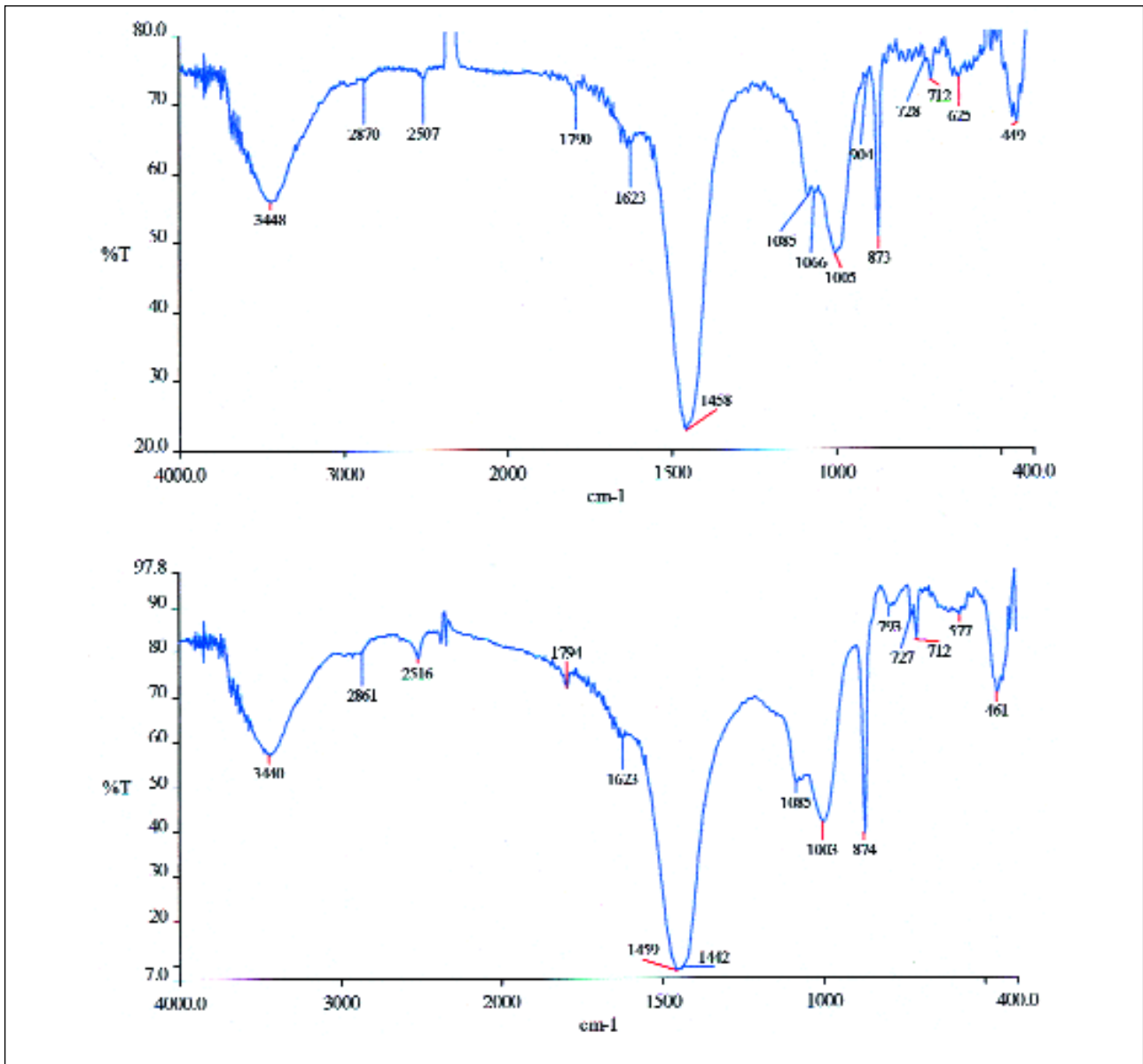
- osservazione al microscopio ottico di sezioni lucide trasversali (NorMaL 12 e 14/83)
- analisi granulometrica
- analisi spettrofotometriche all'infrarosso (FT-IR)
- determinazione gas volumetrica della CO₂ (NorMaL 32/89)



Campione A4: sezione lucida trasversale (30x)

Si tratta di un frammento di laterizio del 1° corso di mattoni appena dietro al bolognino lapideo sul quale è presente una porzione di malta di allettamento. In questo caso l'adesione tra l'impasto e il laterizio risulta essere scarsa data l'alta friabilità della malta. L'impasto si presenta come un prodotto friabile e confezionato con inerti verdi e marroni appartenenti alle classi granulometriche dell'arenaceo fine e molto fine con buona classazione. Di forma per lo più subarrotondata a media sfericità, i clasti non presentano alcuna orientazione e sono distribuiti omogeneamente nell'impasto. L'addensamento, a una stima visiva, risulta essere medio (30% circa). La granulometria presenta una distribuzione degli inerti concentrata sugli intervalli 63-125 µm e 125-250 µm, che da soli costituiscono l'86% sul totale dei clasti. Inoltre il rapporto legante/inerte risulta essere pari a 1:2,7, valore che rientra nei rapporti delle malte tradizionali. Mediante la spettrofotometria FT-IR si è individuata la presenza di carbonato di calcio, carbonato doppio di calcio e magnesio (dolomite), silicati tra i quali si notano argille e plagioclasti. Come risulta evidente la composizione a livello qualitativo appare simile al campione A2 con una quantità maggiore di calcite. Questo viene confermato anche dalla sezione lucida che infatti presenta una maggiore quantità di legante (calcite) rispetto al campione A2. Si è ripetuta un'analisi spettrofotometrica





Diagrammi spettrofotometrici della FT-IR del campione A4

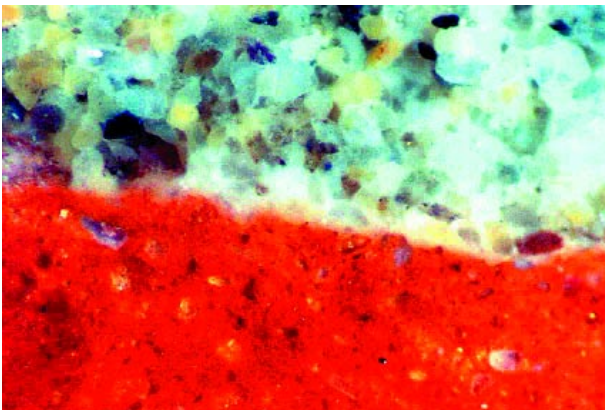
sulla frazione più fine dell'impasto ottenuta dopo l'analisi granulometrica, lo spettro ottenuto individua una composizione simile al precedente con una quantità minore di silicati dovuta al fatto che gli inerti della malta (picco a 790 cm^{-1}) sono stati trattenuti dai setacci a dimensione maggiore. Rimangono ben evidenti gli altri picchi dei silicati e questo può essere dovuto sia alla presenza di residui di terre, sia a una certa idraulicità della malta iniziale. L'analisi calcimetrica si fonda sulla reazione tra il carbonato di calcio ed una soluzione acida, la reazione libera anidride carbonica che viene raccolta in un sistema tarato e se ne misura il

volume occupato. Mediante la legge universale dei gas e conoscendo la stechiometria della reazione avvenuta si può così ottenere il tenore di calcite presente nel campione. I dati ottenuti, riportati in tabella e riferiti alla calcimetria su una porzione della frazione fina, mostrano la presenza del 44,6% di carbonato di calcio.

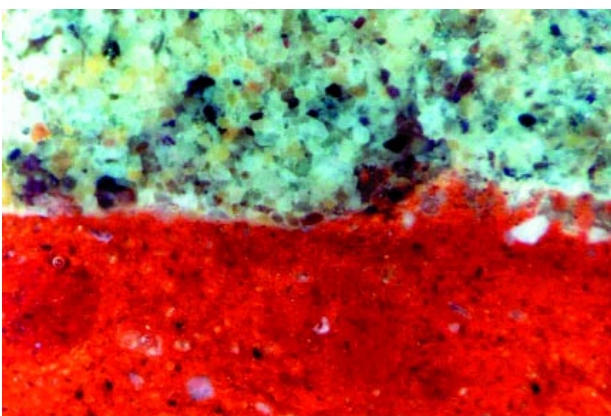
peso del provino (g)	volume CO_2 (ml)	% CaCO_3
0,50	55	44,6

analisi eseguite

- osservazione al microscopio ottico di sezioni lucide trasversali (NorMaL 12 e 14/83)
- analisi granulometrica
- analisi spettrofotometriche all'infrarosso (FT-IR)
- determinazione gas volumetrica della CO₂ (NorMaL 32/89)



Campione AT21: sezione lucida trasversale (15x)



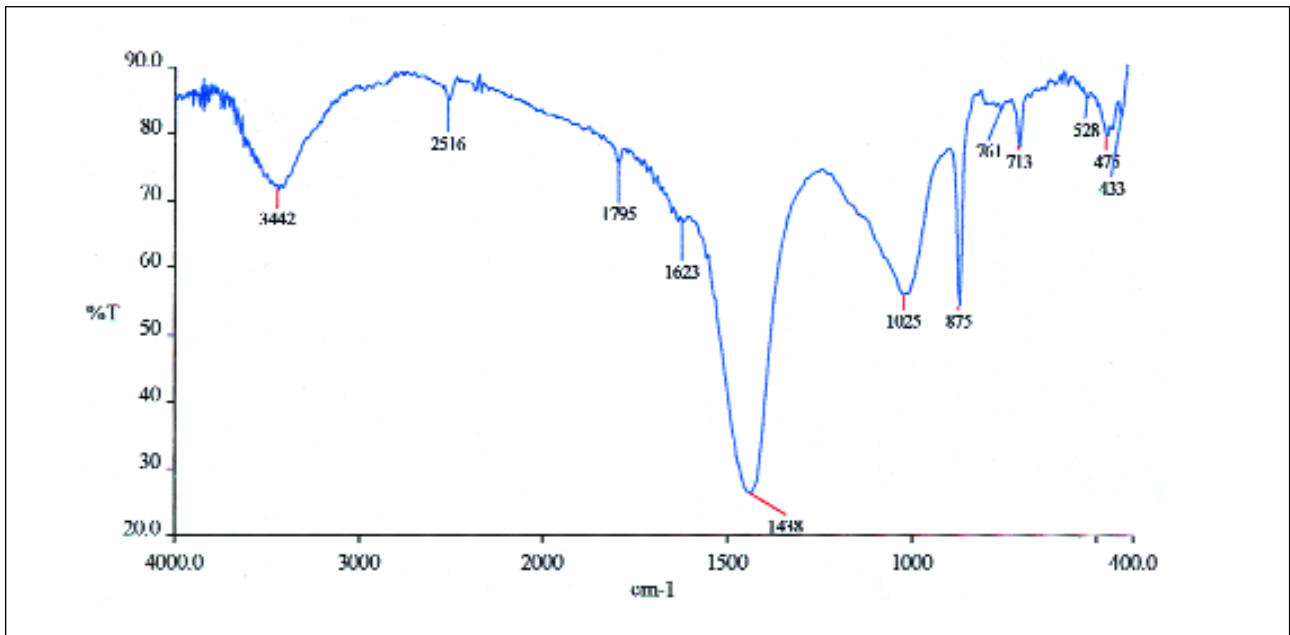
Campione AT21: sezione lucida trasversale (30x)

Si tratta di un frammento di mattone sulla cui superficie è presente una porzione di malta di colore grigio. Osservando la zona di contatto tra i due prodotti si nota che l'adesione sembra essere buona nonostante la notevole friabilità dell'impasto maltizio, nel quale si nota una deficienza di fase legante probabilmente asportata dall'azione dell'acqua.

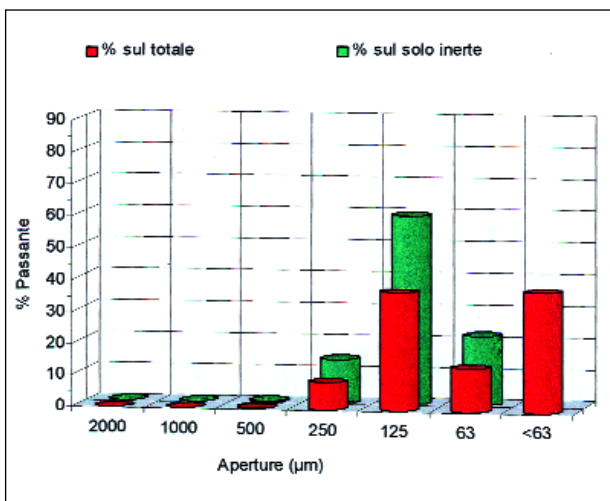
La malta risulta confezionata con inerti grigi, marroni e verdi delle classi granulometriche dell'arenaceo medio, fine e molto fine, con una buona classazione. I clasti, distribuiti omogeneamente nell'impasto, mostrano forma subarrotondata a medio-alta sfericità con un addensamento alto (sopra il 50%).

La granulometria conferma la buona classazione degli inerti riscontrata già nell'osservazione della sezione lucida trasversale confermando soprattutto la presenza di clasti dell'arenaceo fine e molto fine. La frazione sottile (minore di 63 µm) risulta contenuta: ciò è dovuto alla scarsità di legante già sottolineata. Su questa porzione è stata svolta un'analisi spettrofotometrica FT-IR, il cui risultato individua la presenza di carbonato di calcio e silicati attribuibili alla presenza di intrusioni argillose che in assenza del legante hanno trovato accesso.

Si è proceduto in un secondo tempo a una determinazione volumetrica della CO₂ tramite attacco acido. Questa analisi permette di ottenere a livello quantitativo la concentrazione



Diagrammi spettrofotometrici della FT-IR del campione AT21



di carbonato di calcio presente nel campione. Al fine di permettere una caratterizzazione migliore tale analisi è stata svolta sia su una frazione dell'impasto completo sia sulla frazione sottile. I risultati riportati nella tabella a fianco rivelano che nella frazione sottile la concentrazione di carbonato è mediamente del 54,2%. Una volta effettuato il campionamento dei materiali da sottoporre ad analisi chimico-fisiche realizzate in laboratorio, si procede alla descrizione degli stessi campioni secondo il metodo di seguito proposto.

Le schede descrivono alcuni campi indicando principalmente:

- tipologia del materiale campionato
- elenco delle analisi eseguite sul materiale
- immagine, se è possibile e necessario, delle sezioni lucide con ingrandimenti
- rappresentazione dei grafici e/o diagrammi risultanti dalle analisi stesse
- fotografia in scala 1:1 del campione o del sito nel quale è stato rinvenuto.

peso del provino (g)	volume CO ₂ (ml)	% CaCO ₃
0,50	55	44,6

Risultati complessivi

L'intera campagna di ricerca ha innanzitutto fornito una copiosa serie di dati di diversa natura (chimico-fisica, fisico-meccanica e di diagnostica strutturale), la cui interpretazione fornisce indicazioni comportamentali utili ai fini della "manutenzione urbana" di una città come Venezia caratterizzata da una presenza diffusa del patrimonio storico e architettonico, nell'ottica più volte ricordata di una conservazione intesa come ripristino globale della funzionalità urbana. Si espongono di seguito le principali risultanze della ricerca con riferimento ai seguenti temi prioritari:

- classificazione delle strutture murarie e tipologie di degrado
- prove diagnostiche e loro efficacia
- tipologie dell'intervento di manutenzione
- tecnica dell'iniezione consolidante
- verifiche di cantiere

Tipologie murarie e loro degrado. I dati ottenuti dalle campagne di cantiere consentono la riconoscibilità di diverse tipologie murarie permettendone una classificazione. Dallo studio sono emersi due casi:

- muro in mattoni con un rivestimento in pietra d'Istria (il caso di palazzo Zorzi in rio di San Severo);
- muro costituito completamente in mattoni e privo di rivestimento (il caso della fondamenta pubblica in rio di San Severo e rio della Pietà).

Le verifiche sulle fondazioni dell'edificio del caso del rio di San Severo costituiscono un insieme di dati non comparabili in quanto non confrontabili con altre tipologie strutturali; dunque sono da considerarsi come dati ottenuti e utilizzabili in futuro per una comparazione con altri di acquisizione successiva.

L'ambiente in cui si trovano a sussistere le rive e i manufatti veneziani è un ambiente particolarmente aggressivo, che costantemente e pesantemente influisce sui processi di degrado delle strutture. Dilavamento degli impasti superficiali da parte delle acque, azione fisico-meccanica da parte sia del moto ondoso che dall'avvicinarsi delle maree e aggressione chimico-fisica dei sali marini costituiscono solo alcuni dei differenti fattori di degrado a cui sono esposte le strutture prospicienti i canali veneziani. Il dilavamento delle acque ad esempio agisce in modo superficiale ma l'azione chimico-fisica dei sali si trasforma in degrado strutturale nel momento in cui danneggia il sistema

costruttivo.

Nei casi di cantiere verificati sono emersi stati di fatto e di degrado differenti:

- sul muro di sponda in rio di San Severo il paramento in mattoni più esterno aveva subito degrado chimico sulla malta legante e meccanico per l'assenza di mattoni, senza tuttavia che sia stato ritrovato alcun danno strutturale;
- sul muro di sponda in rio della Pietà è stato riscontrato principalmente un danno dovuto all'azione chimico-fisica superficiale; solo nelle vicinanze degli scarichi fognari sono stati rinvenuti alcuni cedimenti di tipo strutturale.

Invece sulle fondazioni di palazzo Zorzi in rio di San Severo, dove non è stata rilevata alcuna situazione di degrado, si è agito sulle sigillature tra i conci in pietra del paramento della fondazione.

La diversificazione degli stati esistenti suggerisce la necessità di realizzare preventivamente a ogni intervento una diagnosi specifica per la definizione della situazione di degrado al fine di individuare e definire un successivo intervento di manutenzione il più idoneo possibile alla struttura.

Le indagini diagnostiche. Le analisi diagnostiche precedenti all'intervento di manutenzione sono in generale utili per acquisire informazioni sulla conformazione e sullo stato di degrado della muratura e dei materiali che la costituiscono e per comprendere l'ambito nel quale si svolge l'intervento. Le successive indagini post intervento sono finalizzate invece a una valutazione sull'efficacia della metodologia di restauro impiegata.

Per quanto riguarda l'esperienza nei cantieri di ricerca le prove hanno fornito i seguenti risultati:

– **rio di San Severo.** Le indagini chimico-fisiche sulla muratura – avvenute attraverso lo studio dei carotaggi – rilevano che si tratta di una muratura particolarmente degradata con una quasi totale assenza di malta di allettamento nei campioni prelevati; dal punto di vista dello stato di conservazione, le malte rivelano una porosità abbastanza sostenuta a conferma dell'esistenza di processi di dissoluzione lungo la linea della porosità fino al collasso (figg. 9 e 10).

Sui medesimi carotaggi le prove fisico-meccaniche hanno valutato l'assoluta mancanza di monoliticità della muratura. Sulla stessa muratura le prove soniche hanno fornito velocità medie attribuibili generalmente a murature in discreto/buono stato di consistenza senza dichiarare sostanziali



Fig. 9 - Esecuzione di un carotaggio su muro di sponda



Fig. 10 - Carotaggio, un campione prelevato

variazioni anche a intervento avvenuto. Le prove soniche in trasparenza e la tomografiaonica hanno invece verificato l'effetto dell'iniezione muraria con picchi nella velocità di campo proprio in corrispondenza delle cannule di iniezione.

– **rio della Pietà.** La realizzazione della trincea per le prove soniche in trasparenza e la tomografiaonica hanno consentito di osservare lo stato

interno della muratura anche attraverso la valutazione dell'adesione della malta di allettamento e del mattone. Frammenti di legante sono stati osservati con il microscopio a fibre ottiche dimostrando che solo in alcune zone comprese tra il rivestimento lapideo e i mattoni si concentra il maggior numero di lacune e vuoti causati dall'azione dilavante dell'acqua lagunare. Le prove soniche hanno condotto, in questo caso, a valutare positivamente l'uso della tomografiaonica a scapito delle prove in superficie soprattutto per la presenza del paramento di bolognini in pietra d'Istria.

Alla luce dei risultati ottenuti, una campagna di indagine preliminare che preveda prove non distruttive risulta essere davvero opportuna. Ma le prove eseguite hanno dimostrato di non essere tutte significative allo stesso modo: nel caso delle prove soniche di superficie, infatti, l'incremento in termini di consistenza del muro è legato solamente alla continuità della superficie (determinato dalla presenza o meno dei giunti di malta) e non dà alcuna informazione sul suo stato interno.

Differentemente, le prove soniche di trasparenza e la tomografiaonica sono risultate fondamentali nell'individuare stati di degrado interni e cavità presenti: sarà positivo indicarle quali indagini diagnostiche principali per l'attività di cantiere (figg. 11 e 12).

L'esecuzione della trincea, quale metodo per il sondaggio e l'ispezione del muro di sponda è un metodo consigliato: la possibilità di osservare *de visu* la tessitura interna e di compiere indagini non distruttive approfondite (tomografiaonica e prove soniche in trasparenza) aiuta sicuramente nella diagnosi delle strutture.

Un'indagine diagnostica preventiva allargata su più fronti sembra perciò divenire utile non solo per una progettazione mirata e più efficace nel cantiere in atto, ma anche per implementare la quantità globale dei dati esistenti che se interpretati aumenteranno le informazioni e le conoscenze sull'attività complessiva; nei cantieri non ancora avviati si potrebbe imporre alle ditte esecutrici alcune indagini, come ad esempio:

- esecuzione di una trincea
- realizzazione di prove soniche e/o tomografiaonica
- analisi chimico-fisiche sui leganti
- carotaggi

Tutti i dati così ottenibili potrebbero costituire nel prossimo futuro una banca dati, la cui



Fig. 11 e 12 - In rio della Pietà l'ispezione all'interno della muratura di sponda è avvenuta in momenti successivi: lo smontaggio di un bolognino in pietra d'Istria, il prelievo di micro campioni di materiale, il carotaggio della muratura retrostante, l'ispezione interna attraverso l'endoscopio

interpretazione fornirebbe un insieme di risultati tecnici valutabili singolarmente o in modo interdisciplinare: per ogni sistema costruttivo sarà possibile valutare di volta in volta l'aspetto chimico, meccanico o relativo ai risultati di prove soniche.

Le varie tecniche di manutenzione dei muri di sponda. Data la peculiarità compositiva e tipologica dei muri, sia di sponda che di fondazione, dei rii veneziani, l'intervento di manutenzione sulle strutture è finalizzato principalmente al ripristino della connessione tra i paramenti e alla formazione di una barriera protettiva dal degrado chimico-fisico e meccanico soprattutto della parte a contatto con l'acqua dei canali.

Per questo motivo le tecniche di intervento sono diversificate principalmente in funzione della tipologia di muratura e della diagnosi compiuta; tali tecniche sono principalmente:

- la ristilatura dei giunti
- la tecnica del “cuci-scuci”
- l'iniezione consolidante

L'operazione di ristilatura dei giunti risulta importante anche quando è realizzata da sola e non associata alla tecnica delle iniezioni (fig. 13). La ristilatura consente di riempire i vuoti dovuti al degrado dell'azione dell'acqua, produce continuità sulla parete del paramento e aumenta lo stato di consistenza complessivo del muro, ma solo sul suo strato superficiale; nel caso la ristilatura sia associata all'intervento di iniezione, essa diviene un sistema sigillante che chiude il percorso distributivo della miscela e aumenta la continuità della sezione più esterna, riducendo anche la quantità di prodotto immesso. La corretta saturazione della muratura è

perciò favorita se l'intera operazione, per quanto semplice, sia svolta con particolare cura. La tecnica del “cuci-scuci” è stata utilizzata in particolare sull'area del muro di sponda in rio della Pietà. Nel caso di un muro meno protetto, e di fatto soggetto a molteplici fattori di degrado sia chimico-



Fig. 13 - Ristilatura dei giunti in rio della Pietà

fisico che fisico-meccanico, è fondamentale verificarne lo stato di conservazione e quindi considerarne l'aspetto della sicurezza strutturale per evitare cedimenti strutturali e instabilità del muro sostituendo le parti ammalorate con elementi integri.

La tecnica delle iniezioni consolidanti. Nella tipica realtà veneziana, l'intervento di consolidamento attraverso iniezioni si attua non solo per incrementare le caratteristiche di resistenza meccanica del muro, ma anche come intervento sulla parte più esterna della sezione del muro, tesa a migliorare le proprietà di protezione dal degrado chimico, fisico e meccanico del paramento a contatto con le acque dei canali.

L'applicazione della tecnica delle iniezioni ha dimostrato l'esistenza di più di una metodica, in corrispondenza alle diverse situazioni di degrado. In rio di San Severo, durante la prima campagna di cantiere, l'iniezione (fig. 14) è stata limitata allo strato più esterno delle murature (15-25 cm) e in rio della Pietà, sia nel muro di sponda che in quello di fondazione, a quello più centrale (40-50 cm).

In particolare, nelle zone di fondamenta pubblica, tale tecnica è stata realizzata in combinazione con altre tipologie tradizionali di ripristino, quali la sostituzione muraria ("cuci-scuci") e la ristilatura dei giunti di malta.

Nel caso di rio di San Severo l'avanzato stato di degrado della muratura (mattoni e malta), rivelatosi nella fase di prosciugamento dei canali, ha suggerito, inoltre, la realizzazione di un "intonaco di sacrificio" per il contenimento strutturale durante la fase di riempimento delle cannule e che nella zona inferiore del paramento murario costantemente immerso è stato lasciato in opera a protezione della sponda anche a lavori ultimati.

Quantità e profondità dei fori d'iniezione. Spesso non è possibile individuare e stabilire a priori, in fase di progettazione, la quantità, la dimensione dei fori e la loro profondità. Se, infatti, uno degli scopi di questa metodologia è il riempimento dei vuoti e delle lacune all'interno del muro, non è possibile individuare con precisione il luogo dove è maggiore la necessità di intervento. E se anche una parte del muro fosse smontabile permettendo l'indagine visiva al suo interno, sarebbe comunque una condizione specifica di quella particolare sezione senza consentire la conoscenza della fattura completa della struttura.



Fig. 14 - Realizzazione dei fori per le iniezioni in rio della Pietà

Una maggiore quantità di informazioni può invece essere reperita attraverso la realizzazione di qualche carotaggio che abbia almeno un diametro di 5 cm. La disposizione proponibile per i carotaggi è secondo una maglia casuale, ma se sono compiute adeguate prove soniche in trasparenza o tomografiche è possibile individuare i luoghi dove sono più significativi i vuoti e indagare con il carotaggio proprio quel sito.

Per un'indagine preventiva appare comunque illusorio utilizzare esclusivamente esami non distruttivi (prove soniche di superficie), che è opportuno siano affiancati da una campagna di carotaggi.

Si tratta comunque di un procedimento che va approfondito: anche un metodo come questo che a prima vista sembra banale va verificato; infatti sarebbe utile comprendere se, ad esempio, la cannucchia da iniezione debba raggiungere il fondo del foro oppure solo la parte iniziale o ancora procedere dal fondo alla superficie proprio durante l'iniezione del materiale.



Fig. 15 - Il muro di sponda in rio della Pietà durante la fase dell'iniezione

Il prodotto da iniezione. Non era obiettivo della ricerca stabilire se il prodotto da iniezione, generalmente inteso, dovesse essere solo materiale per il riempimento delle lacune oppure legante per la coesione tra gli elementi eterogenei che costituiscono la tessitura muraria.

Naturalmente, essendo la valutazione sulla metodologia complessiva il principale scopo della ricerca, i prodotti sui quali sono state compiute le analisi sono esattamente quelli specifici previsti dal progetto di restauro.

In ogni caso, nonostante l'interesse per il tema, alla luce dei fatti questa esperienza non consente di dare una risposta poiché sono stati rilevati due casi limite non confrontabili tra loro:

- un muro di sponda in cui per differenti motivi (principalmente presenza di acqua del carotaggio, tempo di maturazione del prodotto non rispettato) non è stato rinvenuto il materiale iniettato (rio di San Severo);
- un secondo muro di sponda dove non solo è stato rinvenuto il materiale iniettato, ma questo ha anche dimostrato buone capacità coesive tra bolognini in pietra d'Istria e parete in mattoni (rio della Pietà).

Sarebbe buona norma, comunque, fare attenzione alla quantità di prodotto iniettato per accertare le difformità tra la stima effettuata in fase di progettazione e la condizione di cantiere.

Le valutazioni sul tipo e tempo di stagionatura hanno posto in evidenza che, per controllare l'efficacia del prodotto a iniezioni avvenute, sono

necessari tempi e modalità che dipendono dalla tipologia dei formulati.

In merito ai prodotti incontrati, con la riva asciutta, ad esempio, possono essere sufficienti molto meno di 28 giorni per effettuare i controlli post iniezione: è il caso del prodotto 1 che a 30 giorni di stagionatura all'aria porge valori di resistenza a compressione pari a 2,5 volte quelli riportati nella scheda di impiego; con riva bagnata, viceversa, si dovrebbero attendere almeno 45 giorni. Utilizzando il prodotto 2 risulta indifferente il grado di imbibizione della riva, canale asciutto o bagnato; il prodotto però necessita di almeno 30 giorni di stagionatura prima dei controlli sull'efficacia del consolidamento.

L'analisi sul comportamento dei vari prodotti per le miscele da iniezione permette di valutare le diverse tipologie di prodotto esistenti e i differenti ambiti di applicazione. Nella prima fase di indagine, ad esempio, per un ritardo nella consegna della scheda tecnica del prodotto non sono state chiarite le specifiche da tenere in considerazione per la realizzazione delle analisi. Alla luce di tutti i dati ottenuti e dalla conoscenza acquisita sui prodotti sarebbe opportuno e interessante riuscire ad analizzare e confrontare molte tra le miscele industriali esistenti comparandone il comportamento sia sul campo che in laboratorio: i dati acquisiti sono già molti e varrebbe la pena di non accantonarli (fig. 16).

La valutazione globale sui prodotti stabilisce comunque che tutti quelli esistenti possiedono i requisiti sufficienti per espletare l'azione indicata nella scheda tecnica, in primo luogo la capacità di riempimento delle lacune all'interno della struttura. Non essendo tuttavia tra gli obiettivi della ricerca, non è stato possibile valutare se nel tempo avvenga incompatibilità tra materiali iniettati e materiali preesistenti e alla luce dei risultati ottenuti non è possibile stabilirne la durata e il grado di reversibilità. Sarà interessante proporre tale tematica tra i possibili sviluppi della ricerca.

Quantità e dosaggio d'acqua della miscela di iniezione. La quantità di acqua e il controllo dell'immissione dell'acqua stessa nella miscela della pompa di iniezione (controllo della pressione di iniezione) sono tra i parametri principali di interesse del progetto. L'acqua è infatti uno degli elementi responsabili dei risultati delle prove fisico-meccaniche sui provini in laboratorio. Una seppur contenuta variazione del rapporto tra quantità di acqua di impasto e prodotto utilizzato porta alla

produzione di un materiale con peggiori caratteristiche meccaniche e differenti proprietà chimico-fisiche. Se ne deduce che il controllo nell'esecuzione della miscela risulta fondamentale soprattutto per mantenere inalterati il più possibile i requisiti imposti dal produttore.

Il confronto tra le prove sui campioni prelevati in cantiere e quelli miscelati in laboratorio ha inequivocabilmente dimostrato l'importanza del dosaggio di acqua.

Se si prevede che la riva consolidata venga bagnata in tempi brevi, diviene allora fondamentale per il tecnico preposto alla direzione dei lavori prescrivere e mettere in essere il controllo sulla quantità d'acqua di miscelazione che deve, quanto più possibile, corrispondere alle indicazioni del produttore. I materiali utilizzati presentano tutti caratteristiche idrauliche sia pure con una diversa velocità di maturazione.

Il risultato delle iniezioni. La ricerca messa a punto non può dare risposta concreta a questa questione; infatti, a più di tre mesi dall'iniezione,



Fig. 16 - Il controllo sulla pompa per l'iniezione

alcuni dei prodotti iniettati nell'area di ricerca non erano ancora consolidati.

Partendo dal presupposto che l'obiettivo minimo è in ogni caso quello di riempire i vuoti interni alla muratura, allora è necessario e sufficiente rispettare le caratteristiche della miscela utilizzata. Le ricerche di laboratorio stabiliscono che ogni miscela è valutabile in funzione del tipo di legante che la contraddistingue e della percentuale di acqua della propria composizione chimica. È in ogni caso considerato un buon risultato poter affermare che la miscela stessa non perda nel tempo le sue caratteristiche.

I dati ottenuti non rendono possibile un confronto sulla base della capacità di penetrazione tra i due cantieri realizzati perché, come già detto, il comportamento del prodotto iniettato è stato completamente diverso: in rio di San Severo, dalle verifiche post iniezione (carotaggi) non si è rinvenuto nulla del materiale, mentre in rio della Pietà si è potuto fare un confronto tra ante e post iniezione in quanto nei carotaggi era presente la miscela iniettata.

Tali dati costituiscono già il punto di partenza per interpretazioni successive più ampie a patto che venga predisposta una idonea banca dati.

Il controllo del cantiere. La sperimentazione avvenuta all'interno di cantieri di manutenzione già attivi ha condotto al controllo delle attività di cantiere, dimostrando che l'effettiva costante presenza durante le operazioni garantisce una percentuale più elevata di adeguamento dell'intervento al progetto stabilito e perciò una maggior probabilità di riuscita dell'attività stessa. Di fatto il controllo di cantiere è risultato oltremodo fondamentale per le verifiche compiute sul materiale iniettato. Un maggior controllo delle singole fasi (rispetto della quantità di acqua indicata dalla scheda tecnica del materiale, rispetto della pressione, ecc.) ha garantito un miglior risultato.

La professionalità. Un ulteriore tema davvero fondamentale è quello costituito dalla professionalità di chi opera nel cantiere per la realizzazione delle iniezioni. Allo stato attuale, infatti, non esiste la figura professionale specializzata, il professionista delle iniezioni, che esegua secondo un capitolato più o meno preciso l'intera operazione; e non esiste nemmeno la figura del collaudatore che compia verifiche prima che il canale sia nuovamente riempito di acqua. Potrebbe

divenire interessante in un prossimo futuro definire il ruolo e i compiti di queste due figure professionali a garanzia della riuscita del processo di iniezione complessivo.

Le verifiche. Si intende con verifiche le operazioni di controllo a intervento avvenuto. Nel caso fossero eseguite dimostrerebbero l'ineccepibilità dell'intervento stesso. Un suggerimento interessante può essere quello di verificare i cantieri già conclusi. Ad esempio, effettuare carotaggi casuali sia verticali che orizzontali su una parete iniettata consentirebbe non solo di realizzare prove di carico sul materiale estratto, ma anche un'ispezione endoscopica sullo stato del muro post iniezione verificando l'adesione del materiale alla muratura.

La norma UNI 196-1. Infine un cenno sull'applicabilità della norma UNI 196-1 relativa ai prodotti per iniezioni che non risulta, nel nostro caso, troppo rispondente. La norma, infatti, è riferita alla determinazione della resistenza meccanica dei cementi, i cui provini sono formati da un impasto di malta plastica costituito, in massa, da una parte di cemento e tre parti di sabbia. I provini formati con i leganti da iniezione oltre alla sabbia contengono additivi chimici, e le miscele differiscono dalla malta plastica per fluidità, velocità di presa e idraulicità. A tal proposito sarebbe utile che nelle schede prodotto fosse quantomeno specificato il tipo di stagionatura dei provini; oppure, se il produttore, per la commercializzazione ritiene che la stagionatura debba avvenire in acqua, dovrebbe indicare tempi di prova diversi dai classici 28 giorni che sono dedotti e riferiti esclusivamente all'indurimento del calcestruzzo. Peraltro, è soprattutto l'elevata fluidità, e dunque la capacità di penetrazione, specifico e fondamentale requisito per un prodotto per iniezioni, a richiedere metodologie di stagionatura diverse da quelle normate per i provini di malta plastica.

Procedura "controllata" per le iniezioni consolidanti i muri di sponda

Nella particolare realtà veneziana, dunque, le iniezioni di miscele consolidanti destinate alle strutture prospicienti rii e canali (muri di sponda e di fondazione degli edifici), oltre alla normale funzione di riempimento dei vuoti (siano essi costituiti da fessure o da cavità insite nella struttura muraria) assumono un ruolo fondamentale per la conservazione, intesa come ripristino globale della

funzionalità urbana. Per la peculiarità compositiva e tipologica dei muri di sponda e di fondazione (costituiti solitamente da un paramento interno di muratura in pietra o mattoni e rivestimento esterno in pietra d'Istria), l'intervento si configura anche come iniezione "superficiale", finalizzato essenzialmente al ripristino della connessione tra i paramenti e alla formazione di una barriera protettiva dal degrado chimico, fisico e meccanico dello strato a contatto con le acque dei canali. In tale contesto, l'esito dell'iniezione coinvolge numerosi aspetti legati a tutte le fasi significative dell'intervento (concezione, progetto, esecuzione). Osservazioni in sito ed evidenze sperimentali hanno rivelato la necessità fondamentale di applicare metodi di controllo, oltre alla natura del prodotto iniettato anche prima, durante e dopo l'applicazione della tecnica di intervento stesso, per la valutazione dell'efficacia o meglio compatibilità di tutte le fasi. Tali procedure si avvalgono di metodologie sperimentali non invasive (prove soniche), debolmente distruttive (prove con i martinetti piatti) o a carattere distruttivo (carotaggi e/o smontaggi per ispezioni visive, comunque spesso ripristinabili), che sono state verificate nel corso della ricerca sui cantieri campione di rio di San Severo e di rio della Pietà.

Nell'ambito di tale quadro va quindi intesa la proposta di una procedura "controllata" delle iniezioni, come di seguito descritta.

1 Indagini conoscitive sulla muratura

- definizione dello scopo dell'intervento nel contesto murario in cui si opera
- realizzazione di una ricerca storica appropriata che definisca la natura della struttura muraria, la tecnica costruttiva ed eventuali interventi di manutenzione che abbiano modificato lo stato originario
- rilievo dello stato di fatto: geometria, tipologia, materiali, degrado
- ispezioni puntuali mediante carotaggi ed endoscopie e/o smontaggio di elementi murari successivamente riposizionati
- indagini chimico-fisiche sui materiali (sia costitutivi che di allettamento)
- scavo di una trincea
- esecuzione di prove soniche in zone campione della muratura da iniettare (prove in trasparenza e tomografia sonica in particolare)

2 Progetto dell'intervento

Le informazioni ottenute mediante la fase preliminare di diagnosi della struttura muraria consentono la definizione del progetto di intervento incidendo, in particolare su aspetti di:

- definizione e valutazione del prodotto da iniettare e dei materiali (miscela da iniezione, malta da ristilatura e sigillatura dei giunti appropriate alla tipologia in esame);
- definizione del processo di applicazione d'iniezione (quantità d'acqua, pressione di iniezione, distribuzione, spaziatura e profondità dei fori, lunghezza di penetrazione delle cannule di adduzione);
- organizzazione del cantiere: l'esecuzione delle prove soniche in trasparenza e per le elaborazioni tomografiche richiede la realizzazione di una trinca a tergo del muro nella zona di controllo, che consenta l'introduzione di un operatore in sicurezza. Tale scavo dev'essere mantenuto operativo per tutta la durata del processo d'iniezione e fino a consolidamento avvenuto, per la verifica a posteriori.

3 Controllo dell'esecuzione

Di fondamentale importanza è la supervisione del processo d'iniezione nella fase esecutiva dell'intervento. In particolare, è necessario effettuare operazioni di controllo in relazione a:

- distribuzione della miscela iniettata: il grado di diffusione dell'iniezione può essere determinato attraverso il rilievo dei percorsi di distribuzione, evidenziati dalle fuoriuscite di prodotto dalle cannule adiacenti a quella di adduzione corrente; a tale scopo è opportuno prevedere cannule di controllo interposte a quelle di iniezione o posizionate nelle pareti non iniettate (ad esempio a tergo del muro, in corrispondenza della trinca);
- misura delle quantità di miscela iniettate: il computo delle quantità dei costituenti la miscela (prodotto in polvere, acqua) può essere verificato dalla misura dei tempi di iniezione, in relazione alla pressione impiegata;
- pressione di iniezione: al fine di evitare scompensi o danneggiamento in alcune zone del muro, è importante mantenere tale parametro costante durante tutto il processo d'iniezione.

4 Verifica dell'efficacia

La verifica dell'efficacia dell'intervento si avvale del confronto dei risultati ottenuti mediante l'applicazione delle stesse metodologie impiegate

durante la fase di diagnosi:

- prove soniche, eseguite in particolare in trasparenza e/o mediante tomografia;
- determinazione e prove chimico-fisiche per la valutazione sull'adesione dei materiali iniettati
- misure di porosità sul materiale
- ispezioni puntuali mediante carotaggi ed endoscopie e/o smontaggio di elementi murari successivamente riposizionati. Questi controlli puntuali dovrebbero essere localizzati nelle aree significative individuate dalle diagnosi post-intervento: potrebbe essere realizzato ad esempio almeno un carotaggio ogni 50 m.

Un piano delle iniezioni, cioè una procedura controllata, potrà evitare ad esempio la casualità della quantità e della ubicazione dei fori. Anche nel caso in cui il progetto del restauro del canale sia già stato depositato, nei primi giorni di canale in asciutto si dovrebbe poter realizzare un "campo di prova" a scopo diagnostico. Un *campo* di questo genere, se ben pianificato, si risolverebbe nell'arco temporale di 4-5 giorni lavorativi e favorirebbe non solo una maggiore conoscenza delle diverse sezioni del muro, ma una più corretta esecuzione dell'intervento di ripristino soprattutto se affiancato dall'interpretazione delle ulteriori indagini. In particolare l'applicazione di una procedura di esecuzione consente l'acquisizione di dati strutturati metodologicamente: per esempio se tale acquisizione anche dei soli dati relativi alle prove soniche fosse programmata per tutti i cantieri in essere, si avrebbe una banca dati che, interpretata, fornirebbe una conoscenza complessiva del comportamento nel tempo delle strutture murarie di sponda a Venezia.

Futuri sviluppi di ricerca

L'esperienza delle due campagne di studio e d'indagine descritte in queste pagine ha dimostrato la complessità di realizzare studi mirati di ricerca nell'ambito di cantieri operativi e in tempi ristretti. Ad esempio nel caso di rio di San Severo, l'apertura al traffico del canale è avvenuta dopo appena 24 giorni dall'iniezione; nel caso di rio della Pietà le indagini diagnostiche sulla muratura attraverso le prove soniche non sono comparabili allo stesso modo poiché per alcuni settori sono avvenute solo dopo la ristilatura dei giunti o addirittura a iniezione avvenuta. La valutazione metodologica dovrebbe poter essere libera il più possibile da vincoli imposti, e poter seguire quelle correzioni di rotta

suggerite dai risultati parziali successivi.

Ai fini di conseguire sempre maggiori conoscenze è auspicabile realizzare altre prove e successive verifiche, in un canale periferico, meno condizionato dall'urgenza della riapertura e dove sia possibile sperimentare senza vincoli logistici. Sarebbe infatti auspicabile poter approfondire la ricerca sia nell'ambito metodologico della diagnosi che nella direzione dell'intervento esecutivo, sviluppando principalmente alcuni tra i seguenti temi:

- l'indagine sui materiali per le iniezioni prodotti dalle diverse ditte esecutrici
- la verifica della compatibilità dei materiali stessi sulle strutture murarie esistenti, stabilendone la capacità di riempimento e il potere legante
- lo studio dei parametri nella progettazione di un prodotto da iniezione specifico per ogni tipologia muraria e realizzazione di un confronto tra i prodotti esistenti e il loro comportamento sulla muratura
- i criteri di definizione del reticolo di posa delle cannule per l'iniezione e l'immissione del prodotto nelle cannule stesse
- i metodi di controllo e collaudo sulla muratura a iniezione avvenuta in differenti e successivi periodi
- la definizione dei requisiti delle figure professionali specializzate, comprendendone il ruolo e i compiti all'interno del processo.

È in ogni caso chiaro che, sia per i criteri (modalità) con cui si è svolta sia per i temi affrontati, questa indagine si configura nel suo complesso come punto di partenza e ben le si addice l'appellativo di "ricerca pilota".

Certamente le prove effettuate sia nella fase di cantiere che nei diversi laboratori, sono quelle che la direzione scientifica ha ritenuto le più valide e indicative al raggiungimento degli scopi iniziali, ma le occasioni di verifica – solo due campagne di limitate dimensioni in due cantieri – non forniscono una quantità di dati sufficiente ad approfondire del tutto la tecnica delle iniezioni consolidanti.

Per questo motivo ci si augura, partendo dalle informazioni e dagli spunti di notevole interesse che questo studio ha prodotto, di avere l'opportunità di promuovere ulteriori sviluppi e ampliamenti di questo filone di ricerca.

¹ La ricerca, coordinata dal Consorzio Venezia Ricerche (dott. Roberto Pippa e dott.ssa Francesca Zannovello), si è avvalsa della direzione scientifica del prof. Guido Biscontin dell'Università di Ca' Foscari di Venezia, dipartimento di scienze ambientali, del prof. Claudio Modena dell'Università degli studi di Padova, dipartimento di costruzioni e trasporti, del prof. Federico Zago dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia, dipartimento di scienza e tecnica delle costruzioni e del dott. Guido Driussi di Arcadia Ricerche srl. Insula è stata rappresentata dal suo direttore tecnico, arch. ing. Ivano Turlon.

Per la conduzione delle indagini e delle prove di laboratorio hanno operato:

- Arcadia Ricerche srl per il complesso delle indagini chimico-fisiche sui materiali consolidanti;
- Laboratorio di prove dei materiali dell'Istituto Universitario di Architettura di Venezia per le analisi fisico-meccaniche sui materiali;
- Dipartimento di costruzioni e trasporti dell'Università degli Studi di Padova per le indagini diagnostiche con prove non distruttive;
- Laboratorio provinciale di prove dei materiali da costruzione di Verona per la diagnosi sulle fondazioni attraverso l'uso di martinetti piatti;
- Geotecnica Veneta srl per l'indagine geognostica.

² *Rapporto finale* che sintetizza il percorso di ricerca, ne descrive i contenuti in modo sintetico, riporta i principali temi di conclusione e una proposta di procedura controllata per il consolidamento tramite iniezioni. Gli allegati sono: *Allegato 1*: Indagine chimico-fisica sui materiali provenienti dal muro di sponda e di fondazione del rio di San Severo. *Allegato 2*: Indagine chimico-fisica sui campioni provenienti dal cantiere di rio della Pietà.

Allegato 3: Controllo dell'efficacia del consolidamento mediante iniezioni su un muro di sponda e di fondazione nel rio di San Severo. Applicazione delle tecniche diagnostiche semidistruttive: prove soniche in trasparenza, superficiali e tomografia sonora.

Allegato 4: Controllo dell'efficacia del consolidamento mediante iniezioni su un muro di sponda nel rio della Pietà. Applicazione delle tecniche diagnostiche semidistruttive: prove soniche in trasparenza, superficiali e tomografia sonora.

Allegato 5: Analisi meccaniche sui carotaggi effettuati in rio di San Severo. Due tipi di legante per iniezioni in rio della Pietà.

Appendice a: Relazioni tecniche relative ai due carotaggi effettuati da Geotecnica Veneta nel cantiere di rio di San Severo.

Appendice b: Relazione tecnica sulla prova effettuata con i martinetti piatti doppi sulle fondazioni di palazzo Zorzi in rio di San Severo dal Laboratorio provinciale di prove dei materiali di Verona.

Com'era. Per una



nuova



era.



ALBARIA INIEZIONE VENEZIA

Per la conservazione delle strutture murarie immerse e a contatto con acqua di mare MAC ha creato ALBARIA INIEZIONE VENEZIA, il prodotto più specifico per la tecnologia delle iniezioni in versione **anti-dilavamento, tixotropico, resistente ai sali (solfati, cloruri, nitrati,...) e rispettoso dell'ambiente marino.**

L'approccio perseguito da MAC nel settore del recupero delle opere murarie, storiche e non, consiste nell'affermare la stretta corrispondenza tra i fenomeni di degrado e la scelta dei materiali impiegati per la risoluzione delle problematiche manifestate.

La logica ha come elemento fondamentale l'**analisi** del danno, successivamente l'individuazione della **tecnica di intervento** e di conseguenza la **scelta del materiale** nel rispetto della compatibilità chimico-fisica e meccanica con l'oggetto di intervento.

La gamma dei prodotti Albaria comprende calci idrauliche naturali, pozzolaniche, malte premiscelate da muro, malte fluide da iniezione e finiture di grassello di calce e ai silicati di potassio.

MAC spa

Modern Advanced Concrete

31100 Treviso - Via Vicinale delle Corti, 21 - Tel 0422 304251 - Fax 0422 300806 - 0422 421802
www.mac-mbt.com / e-mail mactv@mac-mbt.com