



Le indagini diagnostiche per il consolidamento strutturale delle sponde dei rii

di PIER PAOLO ROSSI

Nell'ambito delle attività di manutenzione ordinaria e straordinaria del "progetto integrato rii" promosso da Insula è previsto il risanamento e il consolidamento delle fondazioni e del sottosuolo urbano di Venezia partendo dallo scavo dei rii. Una progettazione attenta degli interventi di risanamento richiede una conoscenza approfondita delle caratteristiche dell'edificio prospiciente i rii e dello stato di conservazione delle strutture murarie. La fase di progettazione deve quindi essere preceduta da un'indagine diagnostica volta ad analizzare in dettaglio le caratteristiche strutturali e meccaniche delle murature, le tipologie di degrado e dissesto che interessano i paramenti murari e la loro intensità.

L'approccio metodologico proposto per lo studio delle caratteristiche strutturali delle sponde dei rii è stato sviluppato e messo a punto attraverso una serie di indagini eseguite nelle insule di San Giacomo dell'Orio, Santa Maria Mater Domini e San Trovaso e si articola in due diverse fasi.

Si procede in prima fase a una analisi visiva delle facciate degli edifici prospicienti i rii e dell'intera fascia spondale, utilizzando periodi di bassa marea particolarmente favorevoli. I risultati di questa analisi sono riportati in apposite schede le quali, oltre a consentire una rapida consultazione, possono essere facilmente inserite in un sistema informativo dedicato a tutti gli aspetti riguardanti la manutenzione dei rii.

La prima fase di indagine consente di evidenziare le strutture murarie che presentano anomalie o condizioni strutturali particolarmente gravose; queste strutture saranno oggetto di indagini diagnostiche più approfondite (seconda fase) che consentiranno di valutarne appieno le caratteristiche strutturali utilizzando specifiche metodologie di prova.

L'attività di indagine diagnostica non deve essere disgiunta dal monitoraggio strutturale. Gli edifici che presentano intensi stati fessurativi o hanno

subito vistosi processi deformativi devono essere tenuti sotto attento controllo strumentale durante gli interventi di consolidamento della fascia spondale. In questo modo il monitoraggio, oltre a garantire le necessarie condizioni di sicurezza del cantiere, diviene strumento di progettazione in grado di guidare in corso d'opera le soluzioni progettuali per adattarle al reale comportamento deformativo della struttura.

Indagini diagnostiche di prima fase

Sulle facciate prospicienti i rii viene eseguita preliminarmente un'indagine di tipo visivo allo scopo di evidenziare i fenomeni fessurativi e deformativi che possono condizionare il comportamento statico dell'edificio e di rilevare l'entità dei fenomeni di degrado presenti sui paramenti murari. L'indagine viene estesa anche ai muri ortogonali alla facciata prospiciente il rio per rilevare l'eventuale mancanza di connessione fra le murature portanti dell'edificio.

Rilievo delle facciate degli edifici prospicienti i rii.

Nel corso del rilievo dello stato di degrado e dissesto delle strutture murarie, particolare attenzione viene dedicata ai seguenti aspetti:

- presenza di fessure correlabili a problematiche strutturali, con l'indicazione grafica della loro estensione e l'indicazione quantitativa della loro apertura (millimetrica o centimetrica);
- evidenti fenomeni di distacco tra la parte corticale e il nucleo delle murature oppure tra pareti affiancate o male ammorsate;
- fenomeni di degrado di notevole estensione o profondità;
- fenomeni deformativi quali cedimenti differenziali o scostamenti dalla verticalità.

Poiché la limitata larghezza dei rii non consente di eseguire in modo speditivo rilievi fotogrammetrici delle facciate o fotopiani, le informazioni relative al quadro fessurativo e ai fenomeni di degrado vengono riportate su riprese fotografiche raddrizzate delle facciate. Si crea in tal modo per

ciascun edificio una scheda contenente, oltre alle foto, tutte le informazioni relative ai fenomeni fessurativi, deformativi e di degrado. Per ciascun edificio viene riportata una prima valutazione di carattere preliminare in merito alle condizioni statiche dell'edificio in relazione alla previsione di comportamento durante gli interventi di scavo dei rii.

Si è ritenuto opportuno definire alcuni semplici criteri di classificazione delle strutture cercando di operare una suddivisione per gruppi omogenei contraddistinti da colori diversi:

verde

Nella facciata prospiciente il rio e nella relativa fascia spondale non si osserva un significativo quadro fessurativo o deformativo.

giallo

Nella facciata prospiciente il rio e nella relativa fascia spondale si osserva un quadro fessurativo o deformativo di moderata entità. Le zone interessate dai fenomeni fessurativi o deformativi dovranno essere tenute sotto controllo nel corso degli interventi di scavo dei rii.

rosso

Nella facciata prospiciente il rio e nella relativa fascia spondale si osserva un marcato quadro fessurativo o deformativo. Si richiede un costante controllo nel corso degli interventi di scavo dei rii anche con l'ausilio di sistemi di monitoraggio strutturale.

nero

L'edificio presenta vistosi fenomeni deformativi e precarie condizioni di stabilità tali da richiedere l'esecuzione di una perizia statica e l'installazione di opere di presidio provvisori prima dell'inizio degli interventi di scavo. Sarà indispensabile eseguire ogni intervento di presidio e di scavo dei rii sotto controllo strumentale.

Negli edifici contrassegnati col colore giallo si consiglia di eseguire una ricognizione di tutte le strutture portanti interne ed esterne prima di dare inizio agli interventi di scavo del rio.

Negli edifici contrassegnati col colore rosso, la ricognizione di tutte le strutture portanti dovrà essere accompagnata da un rilievo di dettaglio del quadro fessurativo e dalla eventuale installazione di un sistema di monitoraggio per il controllo dell'apertura delle principali lesioni durante gli interventi di scavo del rio.

L'installazione di un sistema di monitoraggio diviene

indispensabile negli edifici contrassegnati col colore nero non solo durante gli interventi di scavo, ma anche nella fase di installazione delle opere di presidio provvisori prima di dare avvio al cantiere.

Su ogni scheda (fig. 1) sono riportati, oltre ai riferimenti identificativi di ciascun edificio, le seguenti informazioni:

- planimetria con indicazione dell'ubicazione dell'edificio;
- caratteristiche geometriche delle principali lesioni (estensione, apertura, inclinazione);
- osservazioni sulle tipologie di degrado delle superfici murarie;
- osservazioni sulle condizioni di degrado delle strutture in aggetto (canne fumarie e balconi);
- rilievo dello scostamento dalla verticalità a diverse altezze mediante filo a piombo
- descrizione delle problematiche strutturali con giudizio sintetico in merito alle condizioni statiche dell'edificio;
- indicazione in merito a eventuali indagini diagnostiche di seconda fase o necessità di installazione di un sistema di monitoraggio strutturale.

Relativamente agli edifici interessati da vistosi quadri fessurativi o deformativi, sono riportate nelle schede anche alcune riprese fotografiche di dettaglio che illustrano i particolari più significativi.



Rilievo dello stato di degrado della fascia spondale.



Prima di dare inizio agli interventi di scavo dei rii è indispensabile eseguire un dettagliato rilievo dello stato di degrado della fascia fondale nei periodi di bassa marea nei quali il livello dell'acqua raggiunga una quota almeno pari a circa -0,40 m dal livello del medio mare.

La mappatura dello stato di degrado viene riportata su un rilievo geometrico di tipo speditivo nel quale sono indicati: l'ingombro delle facciate prospicienti i rii, la geometria delle porte d'acqua, la posizione degli scarichi fognari e l'indicazione del livello del medio mare.

Con il preciso intento di fornire ai progettisti un quadro di informazioni il più possibile completo e dettagliato, si procede al rilievo di tutti i materiali che compongono la muratura e alla mappatura dei diversi tipi di degrado e dissesto con una quantificazione delle superfici interessate.

Le condizioni di degrado e dissesto osservate sui paramenti murari sono state classificate nel modo seguente:

	RILIEVO DELLO STATO DI DEGRADO DEGLI EDIFICI PROSPICIENTI I RII INSULA DI SAN TROVASO - VENEZIA			Committente: INSULA SpA
	Oggetto: Rilievo delle facciate prospicienti i rii			Data: Aprile 2001
N° edificio: 12	Rio: Rio de San Barnaba	Segmento: BARNABOGR01/12	N. Scheda: ST S012/1	

	RILIEVO FENOMENI DI DEGRADO																	
	QUADRO ISSUATIVO	DEGRADO DELLE SUPERFICI L'edificio presenta un diffuso degrado dell'intonaco e della muratura.																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SIGLA</th> <th>ESTEN.</th> <th>APERTURA</th> <th>INCLINAZ.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>a</td> <td>P.T. - 1°P</td> <td>3-5 mm</td> <td>subverticale e inclinata 45°</td> </tr> <tr> <td>b</td> <td>1°P - 2°P</td> <td>3-5 mm</td> <td>subverticale e inclinata 45°</td> </tr> <tr> <td>c</td> <td>P.T. - 2°P</td> <td>5-10 mm</td> <td>Subverticale</td> </tr> </tbody> </table>	SIGLA	ESTEN.	APERTURA	INCLINAZ.	a	P.T. - 1°P	3-5 mm	subverticale e inclinata 45°	b	1°P - 2°P	3-5 mm	subverticale e inclinata 45°	c	P.T. - 2°P	5-10 mm	Subverticale	INDAGINI DIAGNOSTICHE E MONITORAGGIO Riconoscimento e rilievo del quadro fessurativo di tutte le strutture portanti esterne e interne. Installazione di un sistema di monitoraggio di tipo manuale per il controllo delle principali lesioni; il sistema sarà costituito da una serie di basi di misura per estensimetro meccanico di tipo fisso.	
SIGLA	ESTEN.	APERTURA	INCLINAZ.															
a	P.T. - 1°P	3-5 mm	subverticale e inclinata 45°															
b	1°P - 2°P	3-5 mm	subverticale e inclinata 45°															
c	P.T. - 2°P	5-10 mm	Subverticale															
DESCRIZIONE DELLE PROBLEMATICHE STRUTTURALI																		
1. Mancante 2. E' presente un cedimento di entità compresa tra 5 e 15 cm, estensione 2 m La canna fumaria presenta sintomi di distacco e degrado profondo																		
<p style="text-align: right;">  Nella facciata prospiciente il rio e nella relativa fascia spondale, si osserva un marcato quadro fessurativo o deformativo. Si richiede un costante controllo nel caso degli interventi di scavo dei rii anche con l'ausilio di sistemi di monitoraggio strutturale. </p>																		





RILIEVO FUORI PIOMBO (profilo x-z)										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>QUOTA</th> <th>MISURA F/PIOMBO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 m.m.</td> <td>0,0 cm</td> </tr> <tr> <td>2,2 m</td> <td>18,0 cm</td> </tr> <tr> <td>4,0 m</td> <td>22,0 cm</td> </tr> </tbody> </table>	QUOTA	MISURA F/PIOMBO	1 m.m.	0,0 cm	2,2 m	18,0 cm	4,0 m	22,0 cm		
QUOTA	MISURA F/PIOMBO									
1 m.m.	0,0 cm									
2,2 m	18,0 cm									
4,0 m	22,0 cm									
RILIEVO FUORI PIOMBO (profilo y-y)										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>QUOTA</th> <th>MISURA F/PIOMBO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 m.m.</td> <td>0,0 cm</td> </tr> <tr> <td>2,2 m</td> <td>9,0 cm</td> </tr> <tr> <td>4,0 m</td> <td>12,0 cm</td> </tr> </tbody> </table>	QUOTA	MISURA F/PIOMBO	1 m.m.	0,0 cm	2,2 m	9,0 cm	4,0 m	12,0 cm		
QUOTA	MISURA F/PIOMBO									
1 m.m.	0,0 cm									
2,2 m	9,0 cm									
4,0 m	12,0 cm									

FOTO 1 	
--	--




	CRACKS DELLE FONDAZIONI RIFERIMENTO NUMERICO ALLA NOTA OVE VENGONO DESCRITTE L'ESTENSIONE E L'ENTITA' DEL CEDIMENTO
	ZONE INTERESSATE DA FENOMENI DI SPACCIAMENTO
	RIFERIMENTO ALLA RIPRESA FOTOGRAFICA DI DETAGLIE

Fig. 1 - Rilievo dello stato di degrado delle facciate prospicienti i rii: scheda tipo di un edificio dell'insula di San Trovaso

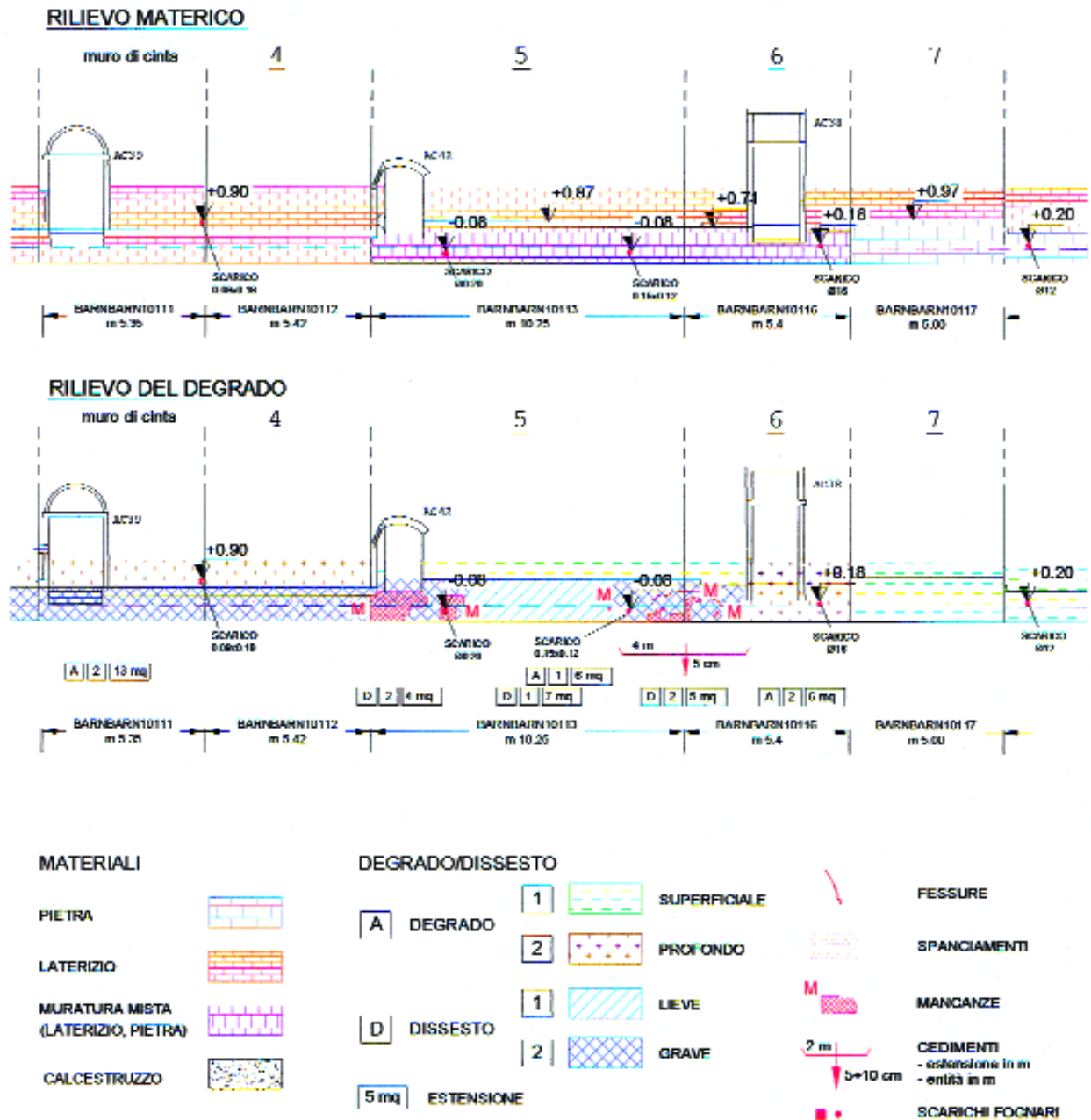


Fig. 2 - Rilievo dello stato di degrado della fascia spondale in un tratto del rio de San Barnaba

A *degrado* (deterioramento fisico e chimico dei materiali che compongono la muratura)

A.1 *degrado superficiale* (interessa lo strato più corticale del paramento murario per uno spessore di pochi centimetri e richiede interventi di ordinaria manutenzione)

A.2 *degrado profondo* (interessa uno strato di muratura di spessore maggiore fino a 5-10 cm e richiede interventi di straordinaria manutenzione o locali integrazioni del paramento murario)

D *dissesto* (dovuto a fenomeni deformativi subiti

dal paramento murario esterno quali: lesioni, rotazioni, rigonfiamenti, cedimenti differenziali)

D.1 *dissesto lieve* (richiede locali interventi di manutenzione straordinaria o di “cuci-scuci”)

D.2 *dissesto grave* (richiede il rifacimento del paramento murario)

Nelle tavole relative ai rilievi dello stato di degrado della fascia spondale sono inoltre riportate le seguenti informazioni:

– mancanze (dovute a crollo della parte corticale del paramento murario);

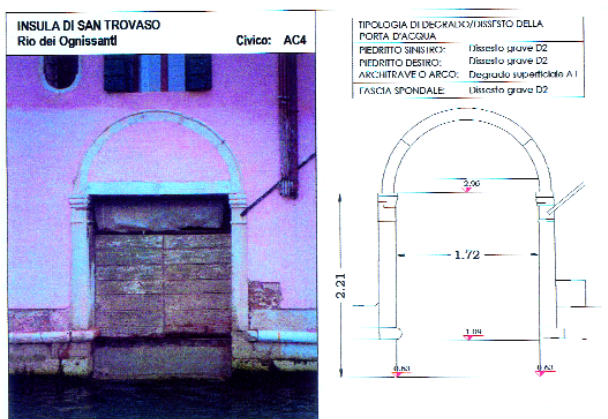


Fig. 3 - Rilievo geometrico delle porte d'acqua e analisi del degrado

- lesioni di tipo strutturale che interessano la fascia spondale;
- fenomeni di spanciamento del paramento murario;
- cedimenti differenziali (con indicazione della lunghezza del tratto interessato dal cedimento e la stima dell'entità del cedimento);
- posizione e dimensioni degli scarichi fognari.

In fig. 2 è riportato, a titolo di esempio, il rilievo del degrado della fascia spondale in un tratto del rio de San Barnaba.

Rilievi di dettaglio vengono eseguiti anche per le porte d'acqua (fig. 3) e per le rive d'acqua (fig. 4); le informazioni raccolte nel corso dei rilievi vengono ordinate in apposite schede che contengono foto, rilievo geometrico e valutazione dello stato di degrado.

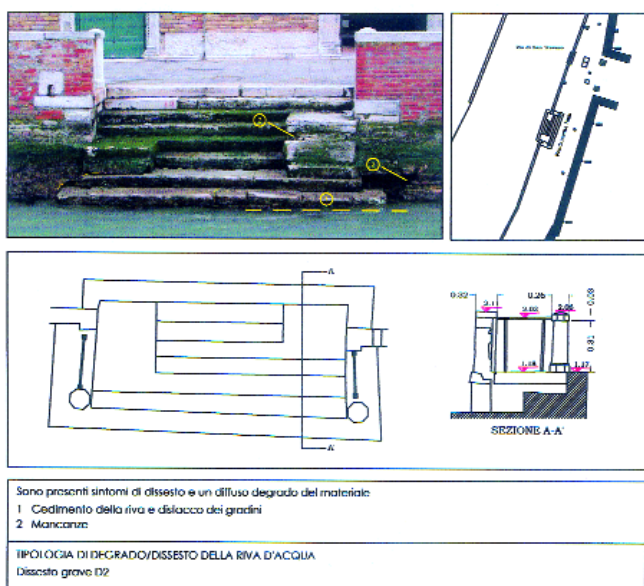


Fig. 4 - Rilievo geometrico delle rive d'acqua e analisi del degrado

Indagini diagnostiche di seconda fase

Al termine della prima fase di indagine sopra descritta, è possibile individuare le strutture murarie che richiedono un approfondimento delle conoscenze in merito alle problematiche strutturali e scegliere le tipologie di indagine diagnostica più idonee per la soluzione dei diversi problemi. Questa esigenza si presenta quando le condizioni statiche di un edificio sono particolarmente gravose o quando si deve procedere alla progettazione di interventi di consolidamento strutturale.

È opportuno rilevare che le tecniche di indagine diagnostica utilizzate in fase progettuale per la caratterizzazione delle strutture murarie possono essere impiegate anche durante i lavori per la qualifica degli interventi di consolidamento.

Carotaggi meccanici e prospezioni con sonda televisiva.

Allo scopo di analizzare la composizione e la tessitura muraria, vengono eseguiti carotaggi meccanici, di diametro compreso fra 50 e 76 mm, utilizzando attrezzature di perforazione di tipo leggero provviste di carotieri a parete sottile con utensili al diamante (fig. 5). I carotaggi vengono eseguiti sia sulle strutture di fondazione, fino a individuare il piano di posa delle fondazioni e le sottostanti strutture lignee, sia in direzione orizzontale sulle strutture in elevazione. Oltre a fornire preziose informazioni sulle condizioni strutturali della parte interna delle murature e sull'indice dei vuoti, i carotaggi meccanici consentono anche di prelevare campioni di muratura da sottoporre a prove di laboratorio per analizzarne le caratteristiche fisiche, chimiche e meccaniche.

Sovente, soprattutto nel caso di murature molto scadenti, l'acqua utilizzata per le operazioni di carotaggio produce un sensibile dilavamento della malta di allettamento per cui i campioni estratti risultano completamente disaggregati e di difficile interpretazione. In questi casi è indispensabile analizzare la superficie laterale del foro mediante sonda televisiva a colori la quale consente di identificare con chiarezza i materiali che compongono la muratura e di misurare le dimensioni delle cavità e delle lesioni presenti all'interno del corpo murario (fig. 5).

L'uso combinato del carotaggio meccanico e del rilievo con sonda televisiva costituisce un prezioso strumento di indagine per la qualifica degli interventi di iniezione delle murature.



Fig. 5 - Carotaggio meccanico nelle murature e rilievo con sonda televisiva

Misure di velocità sonica. La misura della velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali all'interno di un corpo murario consente di valutarne le caratteristiche di densità e di stimarne quindi il grado di ammaloramento. L'impiego di queste misure è in generale limitato allo studio delle murature in elevazione mediante misure per trasparenza (con emettitore e ricevitore sui paramenti murari contrapposti) o per rifrazione (con emettitore e ricevitore sullo stesso paramento). Più difficile risulta l'utilizzo di questa tecnica per l'analisi (mediante carotaggio sonico o misure di *cross-hole*) delle murature di fondazione poiché la presenza di acqua può falsare sensibilmente i risultati delle misure.

L'esecuzione di misure soniche nella stessa porzione di muratura prima e dopo gli interventi di consolidamento mediante iniezioni consente di fornire utili informazioni in merito all'incremento di densità raggiunto con questo tipo di intervento. Può essere pertanto utilizzato come metodo di analisi di tipo speditivo per la qualifica degli interventi di iniezione a condizione però che le misure di velocità sonica siano messe a confronto in alcuni punti con i risultati forniti dai carotaggi meccanici.

Analisi delle caratteristiche meccaniche. La progettazione di eventuali interventi di consolidamento strutturale degli edifici prospicienti i rii richiede la conoscenza dei parametri che definiscono il comportamento meccanico delle murature. Queste informazioni possono essere raccolte in modo speditivo, utilizzando la tecnica di

prova del martinetto piatto la quale consente di determinare le caratteristiche di deformabilità della muratura e lo stato di sollecitazione presente nel punto di prova.

Nella prima fase di prova, mediante l'inserimento di un sottile martinetto piatto all'interno di un taglio eseguito con disco diamantato, si misura lo stato di sollecitazione. L'inserimento di un secondo martinetto piatto parallelo al primo consente di determinare le caratteristiche di deformabilità del campione di muratura interposto fra i due martinetti (fig. 6). In fig. 7 si riportano a titolo di esempio i risultati ottenuti su un edificio dell'isola di San Giacomo dell'Orio. I diagrammi delle deformazioni assiali e trasversali ottenuti in tre diversi punti di prova permettono di osservare un comportamento deformativo diverso delle tre murature interessate dalle prove; la prova 1 ha interessato una muratura originaria con buone caratteristiche meccaniche mentre in corrispondenza della prova 2 la muratura presenta una deformabilità più elevata a causa di un più accentuato degrado. La muratura interessata dalla prova 3 è stata oggetto di un recente intervento di consolidamento e presenta una rigidità molto elevata.

È opportuno sottolineare che questa prova di deformabilità può essere utilizzata con successo per la qualifica degli interventi di iniezione delle murature. Il confronto fra i risultati delle prove eseguite prima e dopo gli interventi consente di valutare l'incremento del modulo di deformabilità ottenuto mediante le iniezioni di consolidamento.

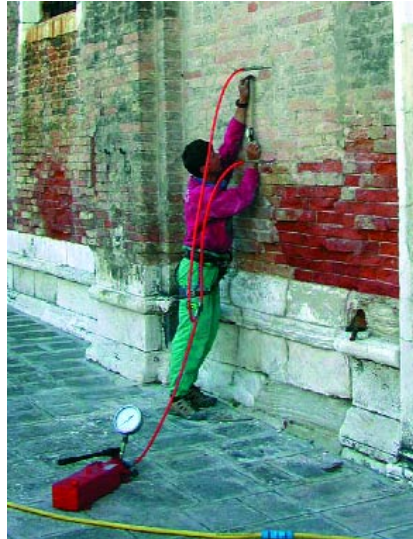
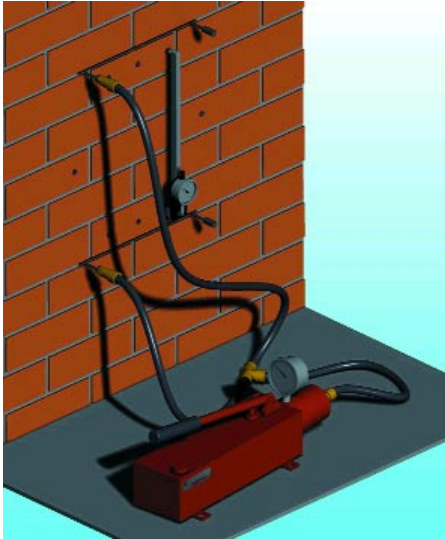


Fig. 6 - Schema della prova con martinetti piatti per la misura dello stato tensionale e analisi delle caratteristiche di deformabilità. Nella foto è visibile l'esecuzione di una prova sulla facciata della chiesa di Santa Maria Maggiore

Monitoraggio strutturale

Nel corso delle indagini di prima fase sulle facciate prospicienti i rii, si individuano gli edifici che richiedono una particolare attenzione nel corso dei lavori di scavo (edifici contrassegnati con i colori rosso e nero). Prima di dare inizio ai lavori, tutte le murature esterne e interne di questi edifici devono essere esaminate con particolare attenzione allo scopo di individuare le deformazioni e le lesioni che potrebbero condizionare il comportamento strutturale durante gli interventi sui rii. Lo strumento più efficace per garantire le necessarie condizioni di sicurezza per gli edifici e per il cantiere è quello di installare un sistema di

monitoraggio in grado di verificare il comportamento deformativo dell'edificio durante i lavori. Nella maggior parte dei casi si consiglia di installare un sistema di monitoraggio a lettura manuale che non richiede protezioni particolarmente gravose e risulta compatibile con le operazioni di cantiere. Negli edifici di importanza storica e architettonica, che presentino complesse problematiche di tipo strutturale, si richiede invece l'installazione di un monitoraggio automatico in grado di controllare in continuo il comportamento deformativo della struttura. Questa esigenza è particolarmente sentita nel

caso di campanili interessati da vistosi scostamenti dalla verticalità causati da cedimenti differenziali delle strutture di fondazione.

Monitoraggio di tipo manuale. Il controllo del comportamento deformativo di un edificio durante i lavori può essere effettuato utilizzando strumenti di misura meccanici di tipo rimovibile oppure installando trasduttori elettrici fissi con apparecchiatura di lettura di tipo rimovibile.

Misura dell'apertura delle lesioni

La metodologia di misura più semplice prevede l'impiego di un estensimetro meccanico rimovibile il

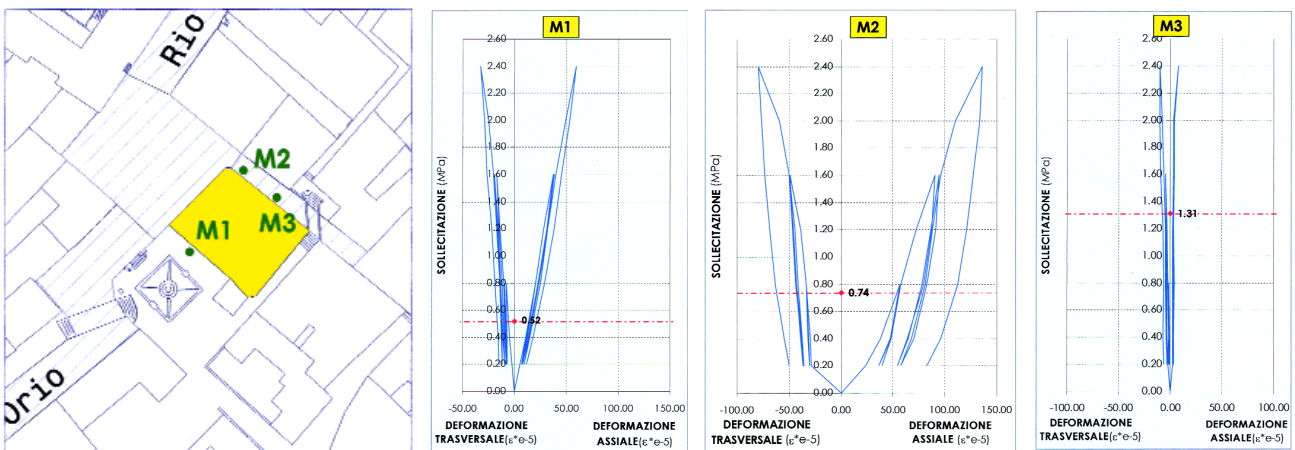


Fig. 7 - Risultati delle prove con martinetti piatti eseguite su un edificio dell'insula di San Giacomo dell'Orio: diagrammi delle deformazioni assiali e trasversali in funzione della sollecitazione applicata. Nei diagrammi è indicato con linea tratteggiata lo stato tensionale misurato col martinetto piatto

quale, durante la fase di lettura, viene posizionato su una base di misura di lunghezza 200 mm costituita da due dischetti metallici incollati sulla muratura da parti opposte rispetto alla lesione. L'impiego di due basi di misura consente di valutare, oltre all'apertura della lesione, anche lo scorrimento relativo. Questa tecnica non richiede alcuna protezione delle basi di misura e può essere gestita con grande facilità dal personale di cantiere. Nei punti di difficile accesso o nelle strutture di maggiore importanza storica e architettonica è necessario installare trasduttori elettrici di tipo fisso i quali sono collegati a un pannello di misura predisposto per il collegamento con

l'apparecchiatura elettrica di lettura di tipo rimovibile. In fig. 8 è riportato un esempio di questa applicazione con il dettaglio della strumentazione. Anche in questo caso le misure periodiche degli strumenti possono essere facilmente gestite dal personale di cantiere.

Misura dello spostamento relativo fra le murature verticali

Nelle strutture interessate da operazioni di cantiere nelle quali non sia possibile prevedere sistemi di protezione per strumenti di misura di tipo fisso, la misura dello spostamento relativo delle strutture verticali viene effettuata mediante l'impiego di

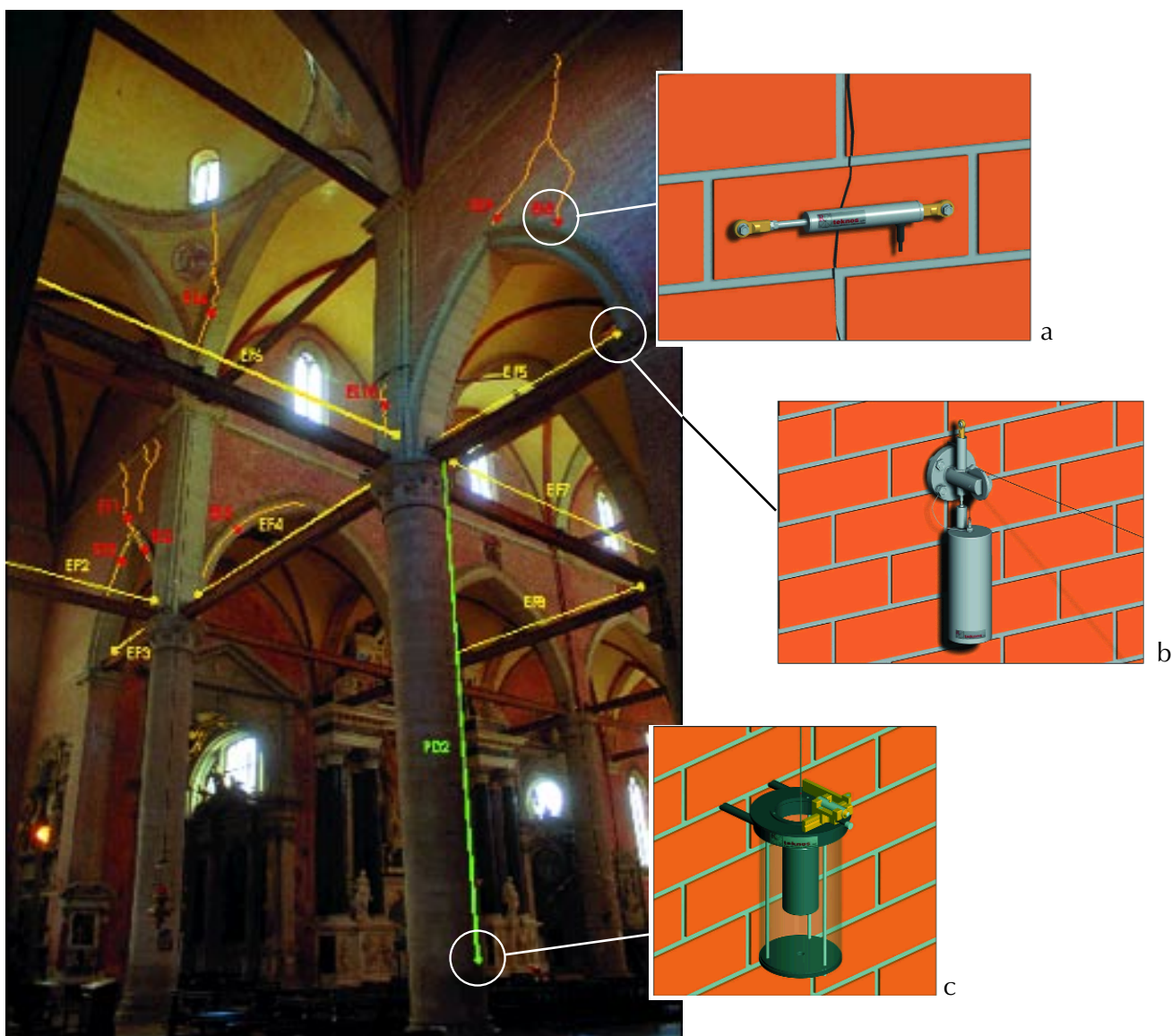


Fig. 8 - Sistema di monitoraggio a lettura manuale installato nella chiesa dei Santi Giovanni e Paolo:
a- estensimetro elettrico per la misura dell'apertura delle lesioni
b- estensimetro a lunga base con trasduttore elettrico per la misura dello spostamento relativo fra le colonne
c- pendolo diretto a lettura manuale per la misura degli spostamenti assoluti della sommità delle colonne



Fig. 9 - Sistema di monitoraggio a lettura manuale installato nella chiesa dei Santi Giovanni e Paolo: apparecchiatura elettrica di tipo rimovibile per il rilievo periodico delle misure

speciali estensimetri meccanici rimovibili a filo o a nastro i quali sono vincolati, durante la lettura, a perni metallici cementati nella muratura. Questi strumenti possono essere utilizzati su basi di misura di lunghezza fino a 15 m circa.

Nelle zone di difficile accesso e quando sia possibile garantire un'adeguata protezione per gli strumenti, vengono di norma installati estensimetri a filo a lunga base provvisti di trasduttore elettrico, del tipo illustrato in fig. 8. Le misure periodiche vengono eseguite con l'apparecchiatura di misura rimovibile illustrata in fig. 9 la quale è provvista anche di trasduttore per la misura della temperatura dell'aria.

Misura dello spostamento assoluto delle strutture verticali

La misura dello spostamento assoluto in direzione orizzontale delle strutture murarie di notevole altezza e in particolar modo dei campanili prospicienti i rii deve essere eseguita mediante l'impiego di pendoli diretti.

Il sistema più economico per eseguire questa misura prevede l'impiego di un pendolo a lettura manuale provvisto di dispositivo laser per l'individuazione

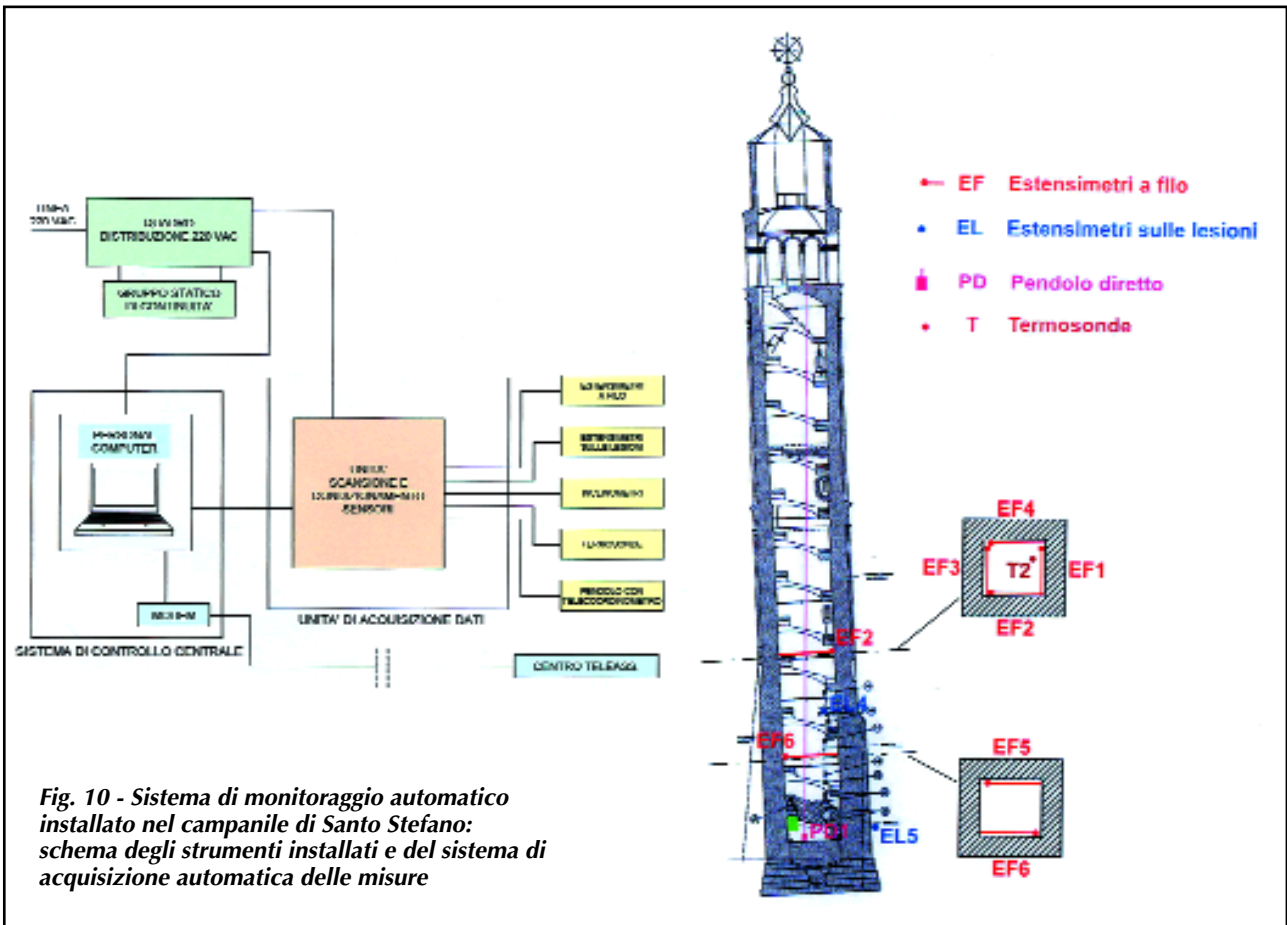


Fig. 10 - Sistema di monitoraggio automatico installato nel campanile di Santo Stefano: schema degli strumenti installati e del sistema di acquisizione automatica delle misure

della posizione del filo rispetto al sistema di riferimento (vedi particolare “c” di fig. 8). Il pendolo è in grado di rilevare le due componenti di spostamento secondo due assi ortogonali e le letture possono essere facilmente eseguite anche da personale di cantiere.

Una precisione decisamente maggiore può essere ottenuta utilizzando un pendolo provvisto di telecoordinometro per il rilievo automatico della posizione del filo. Questo strumento è predisposto, oltre al collegamento a un sistema di acquisizione di tipo automatico, anche per l'esecuzione di misure periodiche con la centralina di misura rimovibile illustrata in fig. 9.

Monitoraggio di tipo automatico. Come già in precedenza osservato, può presentarsi talvolta l'esigenza di tenere sotto costante controllo, durante le operazioni di cantiere, un edificio di grande pregio oppure un edificio interessato da problemi strutturali particolarmente delicati. Ciò vale in particolar modo per i campanili soprattutto quando siano interessati da fenomeni di rotazione conseguenti a cedimenti differenziali dei terreni di fondazione.

In questo caso gli strumenti di controllo del comportamento deformativo della struttura devono

essere collegati a un sistema di acquisizione automatica dei dati in grado di fornire in tempo reale le informazioni direttamente al cantiere oppure a un centro di controllo remoto.

Relativamente ai campanili, che rappresentano le strutture di gran lunga più vulnerabili nel caso di interventi nel rio adiacente, la strumentazione di misura deve comprendere necessariamente un pendolo diretto con telecoordinometro per la misura dello spostamento assoluto della sommità del campanile. Completano la strumentazione, estensimetri a lunga base per la misura delle deformazioni trasversali delle pareti ed estensimetri per il controllo dell'apertura delle lesioni. Per una corretta interpretazione dei dati è necessario inoltre un sistema di rilievo delle temperature dell'aria e della muratura.

A titolo di esempio si riporta in fig. 10 lo schema del sistema di monitoraggio installato sul campanile di Santo Stefano per conto della Soprintendenza per i Beni Architettonici di Venezia. Nella stessa figura è pure riportato lo schema del sistema automatico di acquisizione dei dati il quale consente di rilevare i dati direttamente nell'unità centrale installata nel campanile oppure di trasmetterli via *modem* a un'unità installata negli uffici preposti alla conservazione del monumento.

Soluzioni per il
recupero funzionale
di opere di
interesse storico

FORMULATI BASE CALCE

SOLUZIONI
TECNOLOGICHE
AVANZATE



Prodotti per
bioarchitettura e
soluzioni

decorative
COCCIO PESTO

CALCE NATURALE



Soluzioni per la
riqualificazione di
aree degradate

GEOCOMPOSTI BENTONITICI

RESINE POLIURETANICHE
IDROESPANSIVE



Prodotti per
l'impermeabilizzazione

SISTEMI BENTONITICI

SISTEMI SINTETICI