

## INSULA DI SANTA MARIA FORMOSA

inizio – fine lavori  
aprile 1997 – novembre 2002  
progetto  
ing. Fausto Frezza con ing. Celio Fullin,  
ing. Walter Gobetto, geom. Davide Toniolo  
importo lavori  
6.898.925,89 euro  
appaltatore  
associazione temporanea di imprese Savarese  
Costruzioni spa e Vincenzo Capriello sas  
subappaltatori  
Sacaim spa, Sicil Costruzioni snc  
indagini classificazione fanghi  
campionamento CNR di Venezia  
analisi Enichem – SIA di Porto Marghera  
certificato Assessorato all'ecologia del Comune  
di Venezia  
indagini geognostiche  
geologo Alessandro Carraio  
direzione lavori  
ing. Fausto Frezza con ing. Celio Fullin  
ing. Walter Gobetto  
arch. Gianluca Bevilacqua  
arch. Matteo Fiorindo

Insula spa  
direzione tecnica  
ing. arch. Ivano Turlon  
responsabile intervento  
geom. Giuliano Molon e arch. Michele Regini  
assistente tecnico  
geom. Elisabetta Pegoraro  
e geom. Marcello Chiosi

## ISOLA DI BORGOLOCO POMPEO MOLMENTI

inizio – fine lavori  
gennaio 2002 – dicembre 2002  
progetto  
ing. Guido Zanovello (Studio Altieri)  
importo lavori  
514.847 euro  
appaltatore  
associazione temporanea d'impres  
Pfaiffer e figlio srl, 3P costruzioni e restauri srl,  
Elettrosud srl  
subappaltatori  
MB Euganea pavimentazioni srl  
direzione lavori  
ing. Guido Zanovello con ing. Romano Fabbro  
coordinamento sicurezza  
ing. Guido Zanovello

Insula spa  
direzione tecnica  
ing. arch. Ivano Turlon  
responsabile intervento  
ing. Dino Cimoli  
assistente tecnico  
geom. Raffaele Gozzo

## AREA TEATRO MALIBRAN

### 1° lotto

inizio – fine lavori  
marzo 2001 – maggio 2001  
progetto  
arch. prof. Antonio Foscari Widmann Rezzonico  
importo lavori  
132.664,37 euro  
appaltatore  
Sacaim spa  
direzione lavori  
arch. prof. Antonio Foscari Widmann Rezzonico  
coordinamento sicurezza  
geom. Adriano Ciani  
  
Insula spa  
direzione tecnica  
ing. arch. Ivano Turlon  
responsabile intervento  
ing. Lorenzo Bottazzo  
assistente tecnico  
geom. Enrico Ballarin

### 2° lotto

inizio – fine lavori  
giugno 2001 – settembre 2001  
progetto  
arch. prof. Antonio Foscari Widmann Rezzonico  
importo lavori  
119.687,03 euro  
appaltatore  
associazione temporanea di imprese  
Savarese Costruzioni spa e Vincenzo Capriello sas  
direzione lavori  
ing. Fausto Frezza  
coordinamento sicurezza  
ing. Fausto Frezza

Insula spa  
direzione tecnica  
ing. arch. Ivano Turlon  
responsabile intervento  
geom. Giuliano Molon  
assistente tecnico  
geom. Elisabetta Pegoraro

### 3° lotto

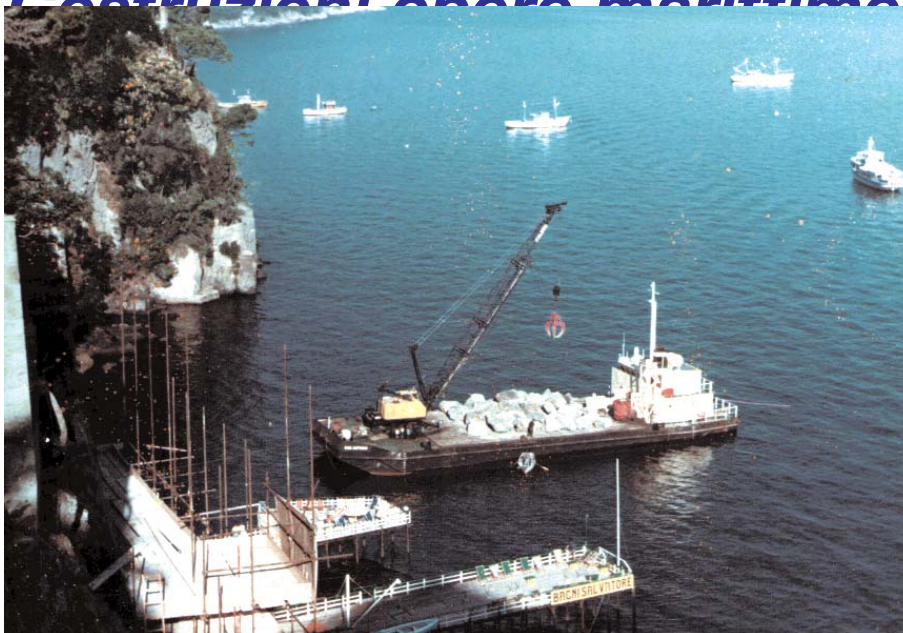
inizio – fine lavori  
aprile 2002 – settembre 2002  
progetto  
arch. prof. Antonio Foscari Widmann Rezzonico  
importo lavori  
218.672,46 euro  
appaltatore  
Pacella Pietro Impresa Costruzioni  
subappaltatori  
Carlucci sas  
direzione lavori  
geom. Riccardo Fontana  
coordinamento sicurezza  
geom. Adriano Ciani

Insula spa  
direzione tecnica  
ing. arch. Ivano Turlon  
responsabile intervento  
ing. Lorenzo Bottazzo  
assistente tecnico  
geom. Enrico Ballarin



# Savarese Costruzioni spa

**Costruzioni opere marittime**



via G. Melisurgo, 15 - 80133 Napoli  
tel. 081 5520357 - fax 081 4203284  
[savaresecostruzioni@libero.it](mailto:savaresecostruzioni@libero.it)

# *I principali interventi di manutenzione dell'insula*

di FAUSTO FREZZA e GIANLUCA BEVILACQUA

**L'**estensione in superficie e nel tempo del cantiere dell'insula di Santa Maria Formosa ha comportato di affrontare una serie di problematiche progettuali, tecniche e logistiche che hanno costituito una notevole esperienza nel campo particolare della manutenzione urbana del centro storico veneziano.

*Dal momento della progettazione alla esecuzione dei vari lotti del cantiere, si è acquisita una tale massa di conoscenze in materia che certamente costituisce un patrimonio da utilizzare nel futuro sia da parte dei professionisti che da parte delle imprese che vi hanno operato, oltre che da parte della stessa società Insula che ha la responsabilità tecnica e gestionale dell'intero "progetto integrato rii".*

*È impossibile nel poco spazio offerto da questo Quaderno presentare una esauriente esposizione tecnica delle varie fasi del lungo lavoro. D'altro canto, gran parte delle operazioni attuate sono le stesse che sono state condotte in altri precedenti cantieri di Insula ed illustrate quindi in precedenti Quaderni.*

*Può essere utile, tuttavia, anche per un lettore non addetto ai lavori, oltre che descrivere alcuni specifici interventi, conoscere taluni particolari aspetti attinenti all'introduzione di metodologie e tecniche più recenti e in alcuni casi innovative, pur nel rispetto dei principi fondamentali del restauro funzionale che ispirano l'intera operazione di manutenzione urbana operata da Insula. Secondo questi principi, da sempre concordati con gli organi di tutela dei beni architettonici e ambientali, va preservato e tutelato l'esistente, ricorrendo solo in casi particolari ai rifacimenti e alle sostituzioni.*

*Le tematiche che di più hanno richiesto uno sforzo interpretativo e di scelta tecnologica riguardano le operazioni di infissione e di estrazione delle palancole Larsen per la messa in asciutto dei rii, anche in confronto al tradizionale sistema delle ture, l'utilizzo delle iniezioni di leganti colloidali per il recupero chimico-fisico e meccanico dei muri di sponda sommersi (proseguendo un dibattito già svolto in precedenti "Insula Quaderni"), gli interventi di rialzo della pavimentazione in alcune aree significative dell'insula ai fini della riduzione dell'impatto degli allagamenti provocati dalle acque alte, fino all'utilizzo di nuovi materiali per il restauro e consolidamento dei ponti in ghisa (tema sul quale l'arch. Ceriolo porta più avanti un approfondimento specifico). Sono interventi settoriali con propri obiettivi e tecniche, che devono tuttavia inserirsi in un progetto unitario e integrato. Questo è l'aspetto più suggestivo e complesso al tempo stesso del lavoro che è stato compiuto.*

## ***Dal progetto alla realizzazione di cantiere***

In un progetto di restauro, qualsiasi sia il manufatto oggetto dell'intervento, il primo passo che il progettista deve compiere è quello di approfondire il suo livello di conoscenza non solo dal punto di vista geometrico dimensionale ma anche per ciò che riguarda la sua storia, le sue caratteristiche fisiche e chimiche, le condizioni statiche e le azioni a cui è sottoposto.

Pertanto anche nel caso dell'intervento integrato dell'insula di Santa Maria Formosa il primo approccio alla stesura del progetto esecutivo è stato quello di definire quali fossero i dati necessari alla conoscenza di un organismo così vasto e complesso composto da migliaia di tessere: palazzi, ponti,

fondamente, campi, ecc. Poiché buona parte dei dati necessari alla stesura del progetto riguardava manufatti che si trovano al disotto del livello del medio mare, quasi sempre ricoperti da decine di centimetri di sedimenti, si è provveduto a una campagna di rilievi visivi dello stato di conservazione dei paramenti fondazionali e di facciata degli elementi prospicienti i rii, effettuati in condizioni di bassa marea. Tale fase propedeutica, realizzata dagli stessi progettisti, ha permesso di trarre i primi importanti elementi di riferimento per la definizione delle fasi progettuali articolate per indagini, rilievi e per la successiva redazione del progetto esecutivo inteso come predisposizione di elaborati grafici e contabili per l'appalto dei lavori.



Pertanto, sulla base dei primi rilievi visivi e fotografici si è potuto programmare una campagna completa di indagini atte all'acquisizione di tutti gli ulteriori dati necessari per la stesura del progetto.

### *Le indagini preliminari al progetto*

Il primo elaborato, redatto in forma di schede sintetiche, è stato il rilievo di tutti i manufatti pubblici prospicienti i rii, quali rive, fondamente e ponti, restituito in scala 1:20, riportando oltre alle caratteristiche geometriche dei manufatti anche indicazioni sui materiali, su tutte le emergenze di spicco quali parapetti, lampioni, pili porta bandiera anelli e pali di ormeggio, eventuali manufatti in legno quali pontili, passerelle e altri elementi tipici dell'architettura minore veneziana funzionali alla mobilità acquea. A questo si è affiancato il rilievo altimetrico rispetto allo zero mareografico di Punta della Salute, necessario per il controllo dei livelli di esondazione legati al fenomeno delle alte maree. Nei lavori di restauro è di fondamentale importanza concertare gli interventi, le scelte progettuali, dei materiali e delle metodologie con i tecnici della Soprintendenza per i beni architettonici; pertanto sono stati individuati tutti gli edifici dell'area tutelati secondo le leggi n° 364 del 1909, n° 1089 del 1939 e n° 171 del 1973, in modo tale da essere pronti ad attuare tutte quelle procedure necessarie all'ottenimento delle autorizzazioni anche nel caso di varianti o di interventi progettati in corso d'opera. Altro aspetto di notevole peso, come è stato precedentemente rilevato citando l'esperienza di

Santa Maria di Zobenigo, riguarda la conoscenza della rete di sottoservizi posata nel sottosuolo. La sua razionalizzazione e il suo ammodernamento, come è noto, costituiscono elementi essenziali del progetto integrato. È necessario pertanto procedere al rilievo delle reti idrica, elettrica, dell'illuminazione pubblica, telefonica e di distribuzione gas. È necessario inoltre conoscere esattamente la collocazione della rete dei "gatoli" e degli altri collettori fognari.

Si è provveduto quindi all'individuazione dei diversi tracciati distinguendo le vecchie linee abbandonate da quelle più recenti ancora in uso: questa operazione, apparentemente banale, si rivela nella realtà alquanto complessa in quanto non esiste un archivio che documenti lo sviluppo cronologico della posa in opera e dei successivi interventi di estensione, sostituzione e ammodernamento della rete dei sottoservizi a Venezia. La precisione di questo tipo di rilievo risulta essere particolarmente importante in corrispondenza dei ponti dove lo spazio a disposizione per le diverse linee si riduce notevolmente e le sezioni delle condutture devono confrontarsi con le necessità strutturali dei ponti. Ulteriore operazione propedeutica è la raccolta dei dati relativi alla mobilità acquea e al censimento degli spazi a servizio dei vari operatori (quali Vesta e la categoria dei gondolieri) e in concessione a privati e a strutture pubbliche. È evidente che tali dati sono necessari per la programmazione dell'intervento, in pratica per definire una sequenza di chiusura dei rii che arrechi il minor disagio possibile alle attività economiche della città e che non impedisca il regolare svolgimento dei servizi di emergenza pubblica quali idroambulanze, vigili del fuoco, polizia.

Altri rilievi fondamentali sono quelli risultanti dalle indagini geognostiche e dalle prove geotecniche che sono finalizzate alla caratterizzazione dei terreni dal punto di vista geomeccanico – e quindi alla comprensione delle caratteristiche fisiche e meccaniche del sottosuolo – e a determinare la portanza delle fondazioni o la spinta dei terreni nel caso di muri di sponda. Questo tipo di indagini permette, inoltre, di determinare la permeabilità dei suoli e il livello della falda, tutti dati necessari alla corretta esecuzione di casseri e mantelletti per la messa in asciutto dei rii. Per quest'ultima operazione è necessario procedere al rilievo planobatimetrico dei rii con la restituzione delle sezioni batimetriche, per definire e quantificare le operazioni di pulizia e scavo atte a ripristinare la



*Prelievo di una carota,  
rio di San Giovanni Laterano, aprile 1998*

sezione ideale individuata in -1,80 m sul medio mare (slmm) di profondità della cunetta centrale.

Infine si ricorda che è stato a suo tempo eseguito un campionamento dei fanghi per la loro caratterizzazione ambientale: i campioni di fango prelevati dal fondo di ciascun tratto di rio sono stati sottoposti ad analisi chimica da parte del Cnr, dall'Asl e dall'Università degli studi di Venezia (dipartimento di scienze ambientali), al fine di classificare i sedimenti in base ai requisiti e ai criteri del Dpr 915/82 e della legge 360/91; ciò per individuare l'opportuno sito per il loro smaltimento.

Una volta completata la fase delle indagini preliminari sopra descritta, è stata sviluppata una serie di elaborati grafici che fossero in grado di interfacciare e sintetizzare tutti i dati raccolti superando problemi di scala e di rappresentazione. Si è quindi redatta una mappa tematica sulla quale sono state sinteticamente riportate tutte le informazioni necessarie al controllo della progettazione e alla programmazione dei lavori in relazione al coordinamento fra i vari soggetti che con competenze diverse interagivano con l'esecuzione dei lavori.

Tale strumento ha anche reso possibile un monitoraggio continuo sull'andamento dei lavori, nonché di effettuare le immancabili integrazioni e modifiche che durante il loro corso si sono rese necessarie a causa dei numerosissimi imprevisti incontrati.

Al fine di individuare in maniera univoca i singoli manufatti o tratti di rive, per non incorrere in errori a causa delle omonimie della toponomastica veneziana e per una veloce individuazione di ogni edificio, ponte, riva, fondazione, ecc. è stato attribuito un codice numerico e un simbolo grafico. In questo modo la mappa ha funzione di indice per gli elaborati del progetto esecutivo in cui, per ragioni di scala, i singoli interventi vengono riportati su schede.

### ***L'organizzazione del cantiere***

I cantieri d'acqua per la loro vastità e complessità richiedono un'attenta pianificazione e organizzazione preliminare.

Una volta definito con tutte le autorità competenti il tratto di canale da mettere in asciutto ed eventualmente predisposte opere provvisorie quali pontili, passerelle e idranti necessarie a garantire la continuità dei servizi, si rende necessario definire gli spazi da adibire all'accatastamento dei materiali e delle macchine oltre che individuare le vie per l'approvvigionamento dei materiali.

Si fa quindi richiesta di occupazione di spazio pubblico per la realizzazione di uno o più assiti cercando di mediare tra le esigenze dell'impresa esecutrice e le necessità dei cittadini in particolar modo di commercianti ed esercenti.

La possibilità di accatastare nelle immediate vicinanze del cantiere tutti i materiali necessari alle lavorazioni previste, senza essere costretti a continui e onerosi trasporti rappresenta una grande economia in termini di costi e di tempo.

Per la realizzazione del cassero, oltre a tutti gli accorgimenti tecnici di cui si parla più avanti, un aspetto che deve essere preso in considerazione è la posizione dove collocare le pompe per la messa in asciutto; infatti nonostante tali macchinari siano conformi alle normative, la necessità di tenerle in funzione anche la notte ha richiesto spesso la realizzazione di appositi schermi per ridurre ulteriormente l'inquinamento acustico.

Una volta in asciutto, sul letto del canale, in adiacenza dei due fronti, si predispongono le passerelle di servizio e quindi si procede alla pulizia



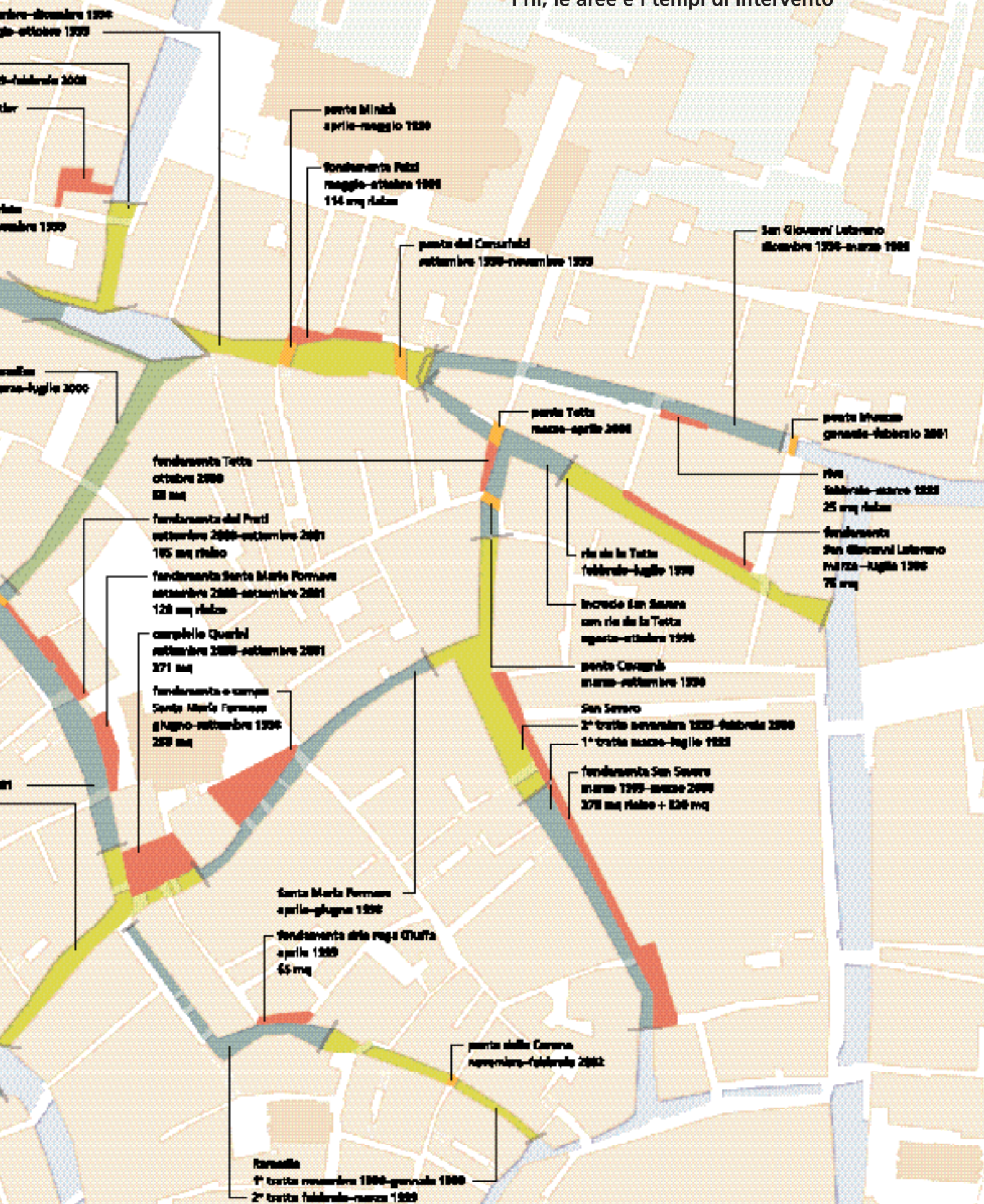
***La passerella provvisoria realizzata durante il restauro di ponte delle "Paste", giugno 2000***







## L'isola di Santa Maria Formosa: i rii, le aree e i tempi di intervento







*Interventi sui sottoservizi sui ponti dei "Giocattoli" e dell'Olio, marzo 1999 e settembre 2001*

dei paramenti murari con eventuale rimozione mediante scavo a mano di accumuli di fango al piede dei fabbricati.

Si può quindi realizzare l'accurato rilievo di tutto lo sviluppo del canale valutando gli stati di degrado e di dissesto e riportando la posizione di tutti gli scarichi in modo tale da definire puntualmente tutti gli interventi necessari.

### ***La realizzazione delle opere***

La fase realizzativa, che per la sua vastità e articolazione (si veda il dettaglio dei vari interventi nella mappa precedente) può essere considerata l'intervento prototipo tra quelli eseguiti da Insula spa, ha visto in massima parte l'applicazione delle previsioni progettuali per quanto riguarda gli interventi di manutenzione mentre per quanto riguarda gli interventi volti a risolvere problemi di ordine statico, come i gravi dissesti riscontrati, hanno richiesto la definizione volta per volta di interventi specifici.

In particolar modo nei casi in cui si è reso necessario il rifacimento di interi tratti di fondamento o muri di sponda, si è preferito all'uso diffuso di calcestruzzo, come previsto nel progetto, tecniche classiche volte alla ricostruzione di manufatti in muratura piena eventualmente inserendo dei cordoli in c.a. di ridotta sezione al piede delle fondazioni.

Discorso a parte meritano gli interventi sui ponti che hanno sollevato sempre notevoli problematiche legate alle esigenze strutturali spesso contrastanti con quelle delle reti dei sottoservizi che li attraversano.

Inoltre, molto spesso su ponti che interessano nodi cruciali della viabilità pedonale cittadina come il "ponte dei giocattoli" e il "ponte Coin", attraversati da condotte idriche e di gas di primaria importanza, la definizione degli interventi oltre che considerare le necessità fisiche del manufatto ha riguardato le modalità operative e la tempistica al fine di non creare disagi al flusso pedonale oltre che scompensi nell'erogazione dei servizi.

Oltre ai ponti in muratura, dove la tipologia di intervento resta sostanzialmente sempre la medesima, si è intervenuti su alcuni ponti in ghisa, importanti testimonianze di una precisa epoca storica, per i quali è stato fatto uso di tecniche e materiali innovativi, preservando gli elementi strutturali originali sia sotto il punto di vista dell'immagine che per quanto riguarda la loro funzione primaria.

### **Modalità di messa in asciutto dei rii**

Le prime testimonianze sulla messa in asciutto dei canali veneziani per la pulizia e scavo dei fondali risalgono al XIII secolo e avevano dato origine a una consuetudine che ciclicamente, con un periodo di circa dieci anni, portava alla pulizia di tutti i canali cittadini.

Anche la cosiddetta tecnica *a umido* è di antica tradizione ma è sempre stata utilizzata solamente per brevi tratti o per scavi puntuali quando la messa in asciutto non era perseguibile.

Infatti, lo scavo in asciutto assicura la possibilità di effettuare un preciso controllo delle strutture murarie prospicienti il canale e quindi il loro ripristino, la verifica della compatibilità delle sezioni di scavo con le quote di imposta delle fondazioni della riva e dei fabbricati nonché il risanamento dei collettori fognari.

Pertanto la prassi era quella di pulire i rii per sezioni contigue messe in asciutto grazie a casseri lignei realizzati da un doppio allineamento, di circa 60 cm di interasse, di pali di rovere lunghi circa 4 m e diametro 20 cm. All'interno venivano disposti orizzontalmente dei tavoloni e quindi si riempiva il cassero di caranto, un'argilla sovraconsolidata presente nella laguna di Venezia, che garantiva l'impermeabilità del sistema; per tenere il manufatto in assetto ed evitare lo spanciamento venivano poste delle travi orizzontali collegate tra loro da funi. Il lavoro veniva completato dai mantelletti, dei segmenti di cassero che, sul lato opposto a quello da mettere in asciutto, raccordavano il cassero con le due rive per evitare infiltrazioni. In concomitanza della bassa marea si provvedeva a sigillare definitivamente il cassero e quindi si procedeva a prosciugare il rio contrastando la pressione idrica esterna con dei puntelli messi a contrasto sulle fondazioni da risanare.



**Rio dei Mendicanti, chiusura con palancole, gennaio 2000**

### **Dalla tradizione dei casseri in legno alle moderne palancole Larsen**

La tecnica dei casseri in legno (ture) è rimasta in uso per secoli, praticamente invariata, fino ai primi decenni del Novecento. Essa richiedeva tuttavia un gran dispendio di manodopera, per cui si resero necessarie, con l'aumento del costo del lavoro, altre tecnologie più moderne e meno costose, attraverso l'introduzione delle palancole Larsen<sup>1</sup>.

Queste palancole, così chiamate dal nome del suo inventore, furono importate per la prima volta dalla Germania dall'ingegner Focardi e soppiantarono velocemente i casseri tradizionali in legno che richiedevano una continua manutenzione oltre che la sorveglianza giorno e notte da parte di operai preposti che controllavano la tenuta e azionavano le pompe. L'infissione delle palancole avveniva per mezzo di battipalo meccanico che con colpi di un pesante maglio permetteva la loro penetrazione per circa 2 m, necessari a garantire la tenuta e prevenire effetti di sifonamento. Più recentemente è stata introdotta una nuova modalità di infissione basata non più su colpi del maglio, ma su vibrazioni trasmesse alla palanca da una macchina

<sup>1</sup> Negli anni trenta del secolo scorso, l'ingegner Eugenio Miozzi, assieme all'allora ingegnere capo del Genio civile Dino Alessi, promosse degli studi e delle prime realizzazioni di opere che, a loro giudizio, avrebbero potuto risolvere i problemi di pulizia dei canali. I due tecnici con il contributo del prof. Alessandro Ori, direttore dei servizi sanitari comunali, individuando come causa primaria dei cattivi odori provenienti dai canali la sedimentazione e la decomposizione di materie organiche vegetali e animali, ritenevano che l'unica soluzione fosse quella di puntare a un periodo più breve di permanenza dei fanghi sul fondo dei canali. Realizzavano così le prime pavimentazioni dei fondi di tratti di canali delimitati da gargami in pietra per una rapida ed ermetica chiusura; questi interventi, a parere dei progettisti, oltre a consolidare con il calcestruzzo della platea le fondazioni degli edifici, permettevano l'uso di mezzi meccanici per la pulizia del fondo senza incorrere nel rischio di scavi troppo profondi o di danni ai manufatti. Interventi di questo tipo furono realizzati tra il rio di San Luca e il bacino Orseolo negli anni immediatamente precedenti il secondo conflitto mondiale e avrebbero dovuto essere completati dalla realizzazione di condotte fognarie collocate nel fondo dei canali minori, attraverso le quali allontanare i liquami nei canali di grande portata. Il tipo di intervento, da più parti criticato, dopo il conflitto non fu più ripetuto a favore della ripresa dei metodi tradizionali coadiuvati dall'introduzione di innovazioni quali le palancole Larsen, i battipali meccanici, i carrelli su binari e le macchine scavatrici.





*Infissione di palancole in rio di San Severo, novembre 1999*

idrodinamica che, in termini più efficaci, riprende quelle oscillazioni che venivano impresse manualmente ai pali alternativamente ai colpi del battipalo.

*Modalità e tecnologia di infissione ed estrazione delle palancole tipo Larsen*

Nell'insula di Santa Maria Formosa i casseri e relativi mantelletti di chiusura terminale sono sempre stati realizzati con palancole tipo Larsen infisse con vibratore idrodinamico.

La lunghezza della palancolata metallica scelta per la chiusura dei tratti di canale è stata di 5,5 m con profili da 100/120 daN/mq.

La lunghezza della palanca è stata definita in funzione di due parametri: il primo relativo alla quota di protezione contro le alte maree (1,5 m circa sul medio mare tenendo conto dell'onda dovuta al transito dei natanti 1,3+0,2 m); il secondo in relazione alla profondità di infissione necessaria per evitare pericolosi sifonamenti (eccessive profondità risulterebbero però dannose in fase di estrazione),

tenendo in considerazione che a 10 m circa sotto il medio mare risulta frequente individuare un livello costituito da argilla, il già citato caranto, caratteristica del passaggio tra il Pleistocene e l'Olocene, il cui consolidamento si è avuta a seguito di un lungo periodo di emersione.

Pertanto generalmente la profondità di infissione – a distanza minima di 2 m circa dai paramenti spondali – è stata di circa 2 m dal fondo del canale essendo generalmente la quota dell'alveo dei rii di circa -1,8 m slmm, mentre in prossimità delle strutture fondazionali degli edifici e delle fondamenta la chiusura con mantelletti ha richiesto gradualmente di fermarsi sopra i massi fondazionali.

I mantelletti comunque vengono realizzati di larghezza e geometria tali da compensare con la propria inerzia la ridotta profondità di infissione. L'infissione e successiva estrazione avviene con apparecchiatura adeguata alle prescrizioni di capitolato e formata sostanzialmente da centralina, vibratore e mezzo di sollevamento.

Il direttore lavori ha definito di volta in volta la disposizione planimetrica e la forma della palancolata in base agli accordi assunti con i vari enti interessati dalla viabilità pedonale e acqua (vigili del fuoco, gondolieri, trasportatori, servizi ambientali, ecc.) nonché alle emergenze specifiche dello stato di degrado visivamente individuabili in condizione di bassa marea anche con riferimento ai rilievi fatti propedeuticamente all'intervento.

Da evidenziare inoltre che i tratti rettilinei paralleli al fronte dei fabbricati e delle fondamenta vengono sempre adeguatamente estesi oltre gli angoli al fine di scongiurare pericolosi sifonamenti attraverso gli stessi.

Come sopra accennato i tratti di cassero vengono preferibilmente realizzati ortogonalmente al rio (interclusione diretta del tratto di rio), mentre nei casi di incroci particolari dove per necessità di percorrenza dei natanti non risulta possibile l'adozione di tale soluzione vengono realizzati tratti di cassero rettilineo paralleli ai fabbricati, puntellati sui fabbricati stessi per contrastare la spinta idrostatica.

Le terminazioni dei casseri vengono concluse con mantelletti generalmente a forma triangolare riempiti con argilla per ottenere la perfetta tenuta idraulica, previa disposizione di geotessuto per ridurre al massimo la frequenza di ricarica dell'argilla.

Qualsiasi operazione relativa alla realizzazione dei casseri di interclusione dei rii, oltre alla dotazione di

attrezzature adatte (in particolare vibratori a frequenza variabile), richiede l'utilizzo di personale specializzato in grado di governare le sequenze operative che caso per caso vengono a definirsi durante la fase di infissione.

Dopo aver individuato la posizione specifica per la realizzazione, la quale dipende direttamente dalle condizioni al contorno, quali presenza di muri spondali particolarmente degradati o dissestati, anditi d'angolo di edifici, situazioni specifiche che potrebbero dar innesco a fenomeni di sifonamento o filtrazioni veloci con asporto di materiale, si passa all'infissione delle palancole.

Anche la disponibilità di contrastare la sommità della palanca al fine di renderla adeguatamente efficiente nei confronti della spinta idrostatica risulta determinante per l'assetto. In tal senso esistono due possibilità: la più economica, che consiste nel contrastarsi sulle strutture murarie degli edifici adiacenti; la seconda, più onerosa, che consiste nell'ingfiere ortogonalmente al cassero, dalla parte interna o esterna a seconda dei casi, più elementi Larsen opportunamente intervallati atti a



*Chiusura di un rio con cassero ligneo*

creare i necessari controventi.

La vibrazione indotta alla palanca produce una pellicola lubrificante fra superficie del fango attraversato e quella della palanca rendendo maggiormente agevole l'infissione rispetto ad altri sistemi, quali i casseri lignei classici con pali battuti. Per contro la vibrazione può propagarsi attraverso gli strati attraversati alle fabbriche vicine; tuttavia l'elevata frequenza di infissione rispetto a quella propria degli edifici interessati scongiura che possa esserci trasmissione di vibrazioni dannose per la statica degli edifici medesimi.

L'operazione di estrazione delle palancole avviene con le stesse modalità di infissione.

L'estrazione con il vibratore risulta sempre agevolata dalla formazione della pellicola lubrificante, tuttavia l'adesione fra l'acciaio e il terreno non viene completamente eliminata ed è questa che, quando il peso del terreno soprastante non riesce più a controbilanciarla, crea il sollevamento di quella parte di terreno in adiacenza. Tale quantità di terreno rimane comunque molto modesta poiché, come detto sopra, l'effetto lubrificante palanca-terreno viene coadiuvato dalla vibrazione trasmessa dal vibratore alla palanca.

Pertanto l'utilizzo delle palancole per la realizzazione dei casseri allo stato attuale risulta ancora il più opportuno rispetto agli altri due possibili in ambiente veneziano: casseri (ture) in pali battuti o casseri realizzati con lo "still worker". La presenza di strati limosabbiosi immediatamente al di sotto del piano fondale delle sponde e dei fabbricati induce a prescrivere la massima attenzione nell'esecuzione degli interventi al fine di impedire assestamenti e sifonamenti a seguito del prolungarsi della messa in asciutto dei rii. Pertanto nella programmazione delle fasi di intervento, compatibilmente con la morfologia dei canali e le necessità legate alla navigazione, si è sempre cercato di limitare lo sviluppo dei tratti interclusi e messi in asciutto al fine di contenere temporalmente i lavori in 90 – 120 giorni, periodo individuato dalla pratica storica come intervallo tra gli inizi di due cantieri adiacenti.

#### *Il cassero ligneo (tura)*

Nel rio di San Provolo, in prossimità dell'incrocio con rio del Vin, trovandosi nella necessità di realizzare un cassero in un punto in cui l'accesso del pontone con il vibroinfissore non era possibile per la ridotta larghezza del rio, è stato necessario



riprendere la tecnica antica della tura in legno realizzata come sopra accennato con una doppia fila di pali battuti.

Le due file di pali disposti uno adiacente all'altro sono state poste a una distanza di circa 60 cm per ottenere la solidarizzazione. È stato quindi disposto sull'intera altezza un tavolato su ambo le file rivestito all'interno con del geotessuto.

I due allineamenti così realizzati sono stati collegati per punti con cordino d'acciaio in modo da renderli collaboranti nei confronti dell'azione generata dalla spinta idrostatica, riempiendo lo spazio interno fra i due allineamenti con caranto in modo da ottenere la perfetta tenuta della barriera così realizzata.

Nella fase di messa in assetto con la disposizione dei collegamenti trasversali e il tavolato di tenuta sono stati utilizzati i sommozzatori che hanno permesso così una maggiore velocità di esecuzione. Volendo fare un confronto fra il metodo della tura in legno con quello del palancolato Larsen, si può affermare che il primo presenta l'unico l'inconfutabile vantaggio di adattarsi a tutti i casi



*Rio del Mondo Novo, consolidamento del muro di sponda con malte colloidali, giugno 2001*

possibili, ma risulta sicuramente svantaggioso sotto tutti gli altri aspetti.

### ***Il consolidamento delle sponde e il restauro dei ponti***

L'isola di Santa Maria Formosa ha rappresentato il più vasto cantiere messo in opera nell'ambito del "progetto integrato rii". Proprio dalla esperienza ricavata nella sua lunga conduzione è maturata la decisione di operare nel futuro con cantieri meno estesi e meno impattanti sulla vita cittadina.

L'estensione delle sponde dei canali scavati a secco è stata pari a 2,9 km e quella delle fondamenta è stata di 0,8 km. Il numero dei ponti coinvolti nelle operazioni di manutenzione sono stati ben 16.

La filosofia dell'intervento manutentorio, come si è detto, è stata quella di preservare il più possibile l'esistente evitando rifacimenti e sostituzioni. Il sistema dell'iniezione di malte colloidali nel caso della manutenzione dei muri di sponda e l'adozione di nuovi materiali come le fibre aramidiche e i polimeri nel caso dei ponti in ghisa sono interessanti esempi di tecnologie innovative per il restauro funzionale di infrastrutture antiche. Su questi particolari aspetti si espongono di seguito alcune osservazioni.

### ***I muri di sponda***

Le indagini hanno evidenziato che la maggior parte dei muri di sponda è soggetta a un avanzato degrado, con un diffuso deterioramento fisico dei materiali, mentre risultavano poco manifesti fenomeni di dissesto, nel senso di una compromissione statica del manufatto.

Le previsioni progettuali quindi hanno mirato a una manutenzione dei manufatti tramite smontaggi di elementi lapidei, pulizia, stuccature, interventi di scuci-cuci, integrazioni: tutte lavorazioni tradizionali di restauro; a queste sono stati affiancati interventi con metodologie più recenti quali le iniezioni in bassa pressione di malte colloidali a ritiro compensato.

Laddove, in seguito alla messa in asciutto dei canali e all'asporto del fango in eccesso, sono emerse delle condizioni di grave dissesto, si sono progettati interventi di ricostruzione dei massi fondazionali per cantieri successivi poggiati su zatteroni lignei con eventuale integrazione ed estensione della palificata; questa tecnica completamente tradizionale è stata talvolta integrata con la realizzazione di cordoli in cemento armato a protezione del piede della fondazione.



*Degrado del muro di sponda in rio di San Giovanni Laterano, gennaio 1999*

Le tecnologie che attualmente vengono utilizzate per il recupero chimico-fisico e meccanico delle murature, nel rispetto della morfologia delle strutture esistenti senza procedere in modo generalizzato alla loro sostituzione, è quella delle iniezioni a bassa pressione di leganti colloidali, le cui proprietà chimiche sono state nel corso degli ultimi anni formulate in modo specifico in termini di compatibilità per ciascuna tipologia di manufatto, in grado di rigenerare l'efficienza originaria dei leganti costituenti le malte.

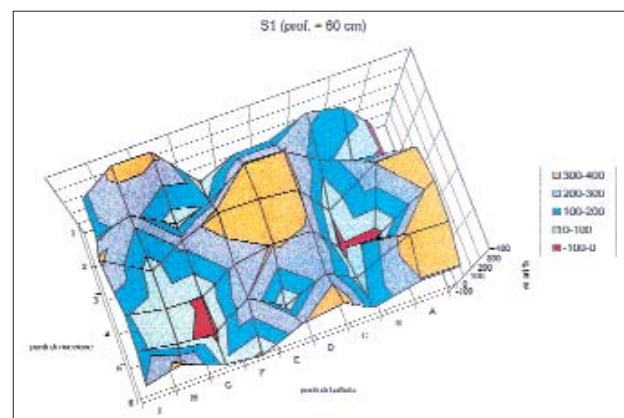
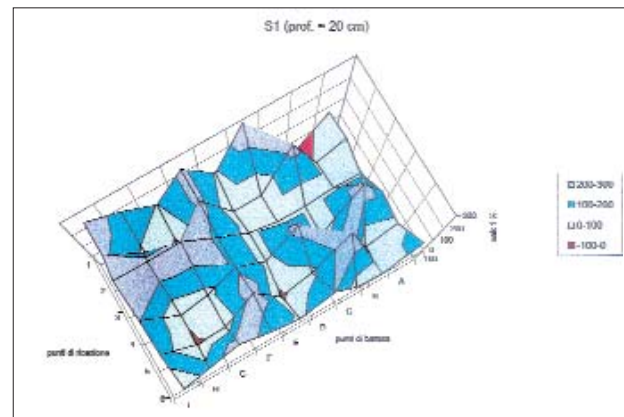
Andando ad applicare questa tecnologia agli edifici veneziani sia per le strutture murarie in elevazione sopra il medio mare che per quelle parzialmente immerse come le strutture fondazionali, ci si trova a operare in un contesto particolarmente delicato e complesso sia per l'aspetto architettonico dell'edilizia storica lagunare sia per l'aggressività dell'ambiente in cui si opera.

A differenza delle strutture in elevazione, le strutture immerse o parzialmente immerse, fondazioni o fondamenti, sono sottoposte ad aggressione chimico-fisico e meccanica, azione quest'ultima propria del moto ondoso. Il complesso di queste cause sinergicamente associate induce un effetto distruttivo amplificato, in particolare in corrispondenza degli incroci fra i rii o di loro brusche deviazioni e restringimenti.

Il recupero strutturale di dette parti edilizie richiede una particolare attenzione affinché la scelta dell'intervento possa raggiungere lo scopo progettuale del recupero nel rispetto della valenza storico-architettonica dell'ambiente. In quest'ottica, sin dagli inizi del cantiere dell'insula di Santa Maria

Formosa è stata posta grande attenzione agli interventi di consolidamento delle strutture immerse con la tecnologia delle iniezioni di malte colloidali specificamente diversificate in relazione alla matrice strutturale che ciascuna parte presentava sia nella scelta dei formulati chimici che nella definizione delle modalità tecnologiche di applicazione.

Per far questo, non ci si è limitati allo studio delle schede tecniche dei prodotti o alle prove meccaniche e chimiche di laboratorio ma si è dato corso a uno studio sperimentale compiuto direttamente in cantiere con l'esame delle caratteristiche chimico-fisiche dei prodotti di iniezione, delle apparecchiature utilizzate, della disposizione geometrica dei fori di iniezione del loro diametro e profondità, dei tempi per l'effettuazione delle singole operazioni, correlandoli alle resistenze meccaniche successivamente rilevate con prove



**Prove soniche ante e post consolidamento su paramenti murari in rio del Piombo. I grafici illustrano l'incremento percentuale delle caratteristiche meccaniche dei paramenti murari rilevato alla profondità di 20 e 60 cm attraverso la misura della velocità di un impulso meccanico (indagini eseguite da Tecniter srl - centro ricerche applicate Ingegneria civile ed industriale)**





*Il ponte di Consafelzi restaurato, dicembre 1999*

soniche o attraverso esame visivo diretto su carote prelevate in sito, senza dimenticare tuttavia il parametro economico che per interventi così estensivi presenta un grado di sensibilità decisamente determinante per la scelta finale del prodotto<sup>2</sup>.

I laboratori chimici delle numerose ditte produttrici di materiali per iniezione hanno partecipato con entusiasmo allo studio del problema, coinvolgendo in modo attivo le loro organizzazioni tecnico-scientifiche, per la definizione di formulati aventi caratteristiche chimiche e fisiche compatibili sia con i materiali e le strutture degli edifici da consolidare sia con l'ambiente salmastro in cui le fondazioni sono immerse. In effetti, per le caratteristiche sopra menzionate, la città di Venezia fornisce un severo banco di prova per il testaggio di prodotti mirati prevalentemente al mantenimento e al recupero delle caratteristiche originarie dei materiali

tradizionalmente utilizzati nell'edilizia storica.

La sperimentazione è stata effettuata su campioni, tratti di fondamente e fondazioni individuati come significativi e rappresentativi delle varie tipologie di costruzioni veneziane, palazzi ed edilizia minore, che presentando matrice strutturale differente richiedono approcci di studio diversi.

Varie ditte hanno proposto quindi prodotti studiati per soddisfare le caratteristiche prestazionali richieste dalla direzione lavori, i quali sono stati sistematicamente controllati nella loro fase di applicazione e testati a ciclo di lavorazione concluso con apparecchiatura sonica in grado di definire l'efficacia del prodotto attraverso la restituzione di un diagramma tridimensionale (tomografia sonica) indicante il grado di riempimento ottenuto alle varie profondità, e quindi valutare l'effettivo recupero dell'omogeneità iniziale e delle originali riserve di resistenza meccanica.

<sup>2</sup> I risultati di questo studio sono stati pubblicati in "Insula Quaderni", *I muri di sponda*, 9, 2001.

<sup>3</sup> In merito alle modalità di intervento sui ponti, si veda: I. Turlon, *I ponti veneziani*, in "Insula Informa", 4, 1999, pp. 4-5; idem, *I ponti veneziani*, in "Insula Informa", 5, 1999, p. 7; M. Regini, *La manutenzione dei ponti in muratura* e I. Turlon, *La manutenzione dei ponti in ghisa*, in "Insula Quaderni", 3, 2000, pp. 61-63, 65-70.

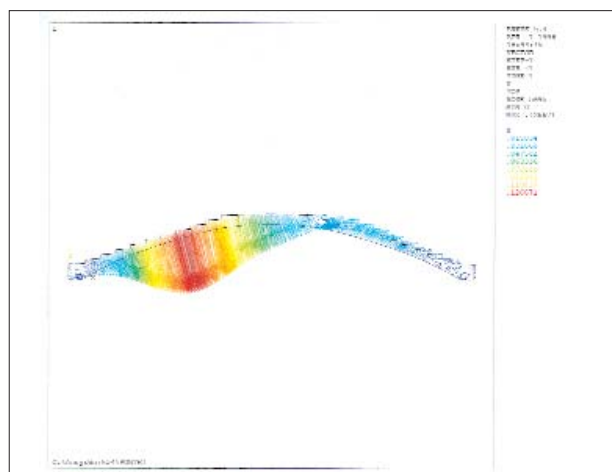
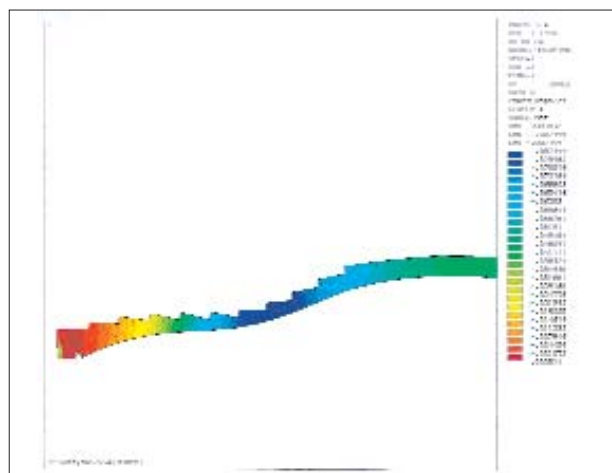
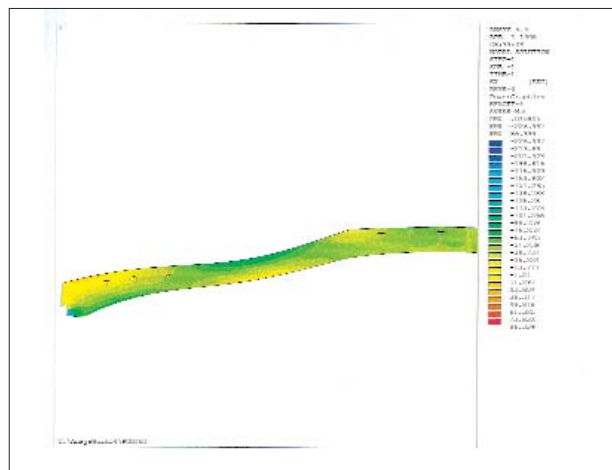
### *I ponti in ghisa: due casi di intervento con tecnologie innovative*

In altre pubblicazioni di Insula sono state descritte le impostazioni progettuali e le tecniche di restauro dei ponti in muratura veneziani<sup>3</sup>. In questa occasione appare interessante riferire alcuni esempi di intervento per il recupero statico funzionale dei ponti, caratterizzati da un'elevata specificità. Tale riferimento è ai ponti ottocenteschi in ghisa e ferro e all'applicazione di moderne tecnologie di restauro, partendo da una precisa valutazione dell'efficienza degli elementi costitutivi, tali da garantire il massimo grado di conservazione materica delle membrature strutturali, con interventi peraltro localizzati solo dove necessario.

Gli approcci progettuali di questo tipo, messi in atto nel cantiere di Santa Maria Formosa, riguardano due casi, condotti a poca distanza l'uno dall'altro, nei ponti di Consafelzi e della Corona.

**Ponte di Consafelzi.** È un ponte in ghisa, che attraversa il rio del Pestrin in prossimità della biforcazione dei due rami del rio di San Giovanni in Laterano; realizzato nel 1852 dalla Fonderia Collalto di Mestre, è costituito da tre arcate che coprono la luce di 11 m circa, collegate fra loro da traversi e da altre strutture secondarie sostenenti i gradini. Come tutti i ponti in ghisa costruiti in quel periodo, si presentava in uno stato avanzato di ossidazione, generalizzato, con particolare intensità agli appoggi e in tutte le parti di giunzione nonché con le strutture secondarie di sostegno dei gradini ormai irreparabilmente compromesse, conseguenza diretta della totale mancanza di manutenzione e da occasionali interventi di riparazione con metodologie improprie, quali la saldatura con elettrodi non specificatamente idonei. È stato quindi realizzato un modello matematico agli elementi finiti, fedelmente riproducente la geometria delle parti strutturali, successivamente studiato con il codice di calcolo numerico Ansys che ha permesso di determinare gli stati tensionali locali e definire di conseguenza gli interventi correttivi solo dove necessario.

In questo senso l'intervento è consistito nella sostituzione delle strutture secondarie di sostegno dei gradini, riprodotte secondo il disegno originario con fusione in ghisa, nella sostituzione delle "vaschette" costituenti le pedate – in precedenza di ferro, con superficie di calpestio in asfalto – con altre in acciaio inox con pedata in lastra di trachite, nella completa pulizia di tutte le superfici esposte



***L'utilizzo del codice di calcolo agli elementi finiti, Ansys, ha permesso la determinazione puntuale degli stati tensionali e deformativi nelle varie condizioni di carico, individuando in modo preciso i punti sui quali intervenire con le tecnologie di consolidamento più idonee per il recupero conservativo del ponte dei Consafelzi. Dall'alto: mappatura degli stati tensionali lungo l'asse x; mappatura delle deformazioni verticali per condizione di carico simmetrico; deformazione vettoriale nella condizione di carico asimmetrico***





*Il degrado delle arcate del ponte di Consafelzi, settembre 1998*

con spazzolatura, sabbiatura (in modo da ottenere la completa rimozione dello strato ossidato) e trattamento protettivo e verniciatura a finire. Solo localmente sono stati effettuati interventi di riparazione e ripristino della continuità strutturale, prevalentemente con la disposizione di elementi minuti collegati a parti sane con perni e bulloni. Discorso a parte merita lo studio eseguito sui tipi di collante per il fissaggio della trachite alle vaschette in acciaio inox, in quanto le loro grandi dimensioni, unite alla volontà di mantenerle il più possibile sottili, hanno richiesto un'attenta valutazione sugli stati tensionali che vengono a prodursi a seguito delle azioni cicliche e dinamiche per il passaggio dei pedoni e di eventuali carrelli per il trasporto di cose. In tal senso oltre allo studio agli elementi finiti sono state fatte delle prove di adesione per vari collanti, allo scopo di individuare il prodotto più adeguato nonché di definire con precisione il tipo di preparazione da attuarsi per le superfici dell'acciaio e della trachite, onde ottenere le capacità prestazionali richieste.

*Ponte della Corona.* Sostanzialmente differente è stato il tipo di intervento attuato per il ponte in ghisa della Corona sul rio del Remedio, realizzato nel 1851 anch'esso dalla Fonderia Collalto, in tre arcate ribassate di luce 4,20 m, molto più contenuta di quella di Consafelzi. L'originale impalcato in pietra era stato sostituito in epoca recente con lamiere in acciaio inox ricoperte di catrame sostenute da una struttura sopraelevata in profili a C che aveva reso necessaria la modifica dei collegamenti del parapetto alle strutture principali;

queste ultime riportavano i segni di molti interventi casuali e spesso invasivi che avevano portato a un decadimento vistoso dell'efficienza statica originale. Proprio per ripristinare la funzione portante degli archi, fortemente compromessi, evitando di sottoporre la ghisa ai violenti stress conseguenti agli stati di coazione termica procurati dalle saldature, è stato studiato dall'arch. Laura Ceriolo, con la consulenza del prof. Angelo Di Tommaso e con il contributo delle aziende Dupont e Seal, un rinforzo con materiali compositi, consistente nel placcaggio con fibre aramidiche e polimeri disposti sulle parti non direttamente visibili. (Si veda, più avanti, l'articolo di Laura Ceriolo per una descrizione dettagliata della tecnologia adottata).

Il vantaggio che ne è derivato dall'adozione di questa tecnica è stato l'aumento dei margini di capacità portante della struttura ripristinando la continuità strutturale nei punti fratturati e/o attraversati da fessurazioni, conferendo nel contempo alla ghisa, notoriamente materiale fragile e difficilmente saldabile, la capacità di resistere agli urti. L'intervento è consistito quindi nella rimozione della sovrastruttura e di tutte le protesi che nel tempo erano state introdotte per il recupero delle capacità portanti compromesse dalle numerose fatturazioni presenti, nella pulizia di tutte le superfici dallo strato di ossido e nell'applicazione di fibre aramidiche, come studiate dai progettisti arch. Ceriolo e prof. Di Tommaso, e nella ricostruzione della struttura di impalcato in vaschette di acciaio inox livellate con impasto di inerti e resina epossidica caricato con pigmenti adatti a ottenere il colore concordato con la Soprintendenza e una superficie antisdrucchiolo.

### *Interventi di protezione locale dalle acque medio-alte*

Nell'ambito del "progetto integrato rii", uno degli obiettivi del programma di manutenzione dei centri storici è quello cosiddetto della "difesa locale dalle maree medio-alte". Questa particolare strategia di intervento ha avuto particolare peso e rilevanza specialmente dopo che il Comitato interministeriale di indirizzo, coordinamento e controllo per la salvaguardia di Venezia (noto come "Comitatone") ha deliberato nel marzo 2001 "di verificare in tempi rapidi, d'intesa con la Soprintendenza, la possibilità sotto il profilo della difesa architettonica, e fatta salva, ogni ulteriore valutazione di ordine geotecnico, di elevare l'attuale quota di 100 cm delle difese locali costituite dalle 'insule' a quote

superiori, tendendo a 120 cm”<sup>4</sup>.

In realtà, Insula fin dai suoi primi interventi aveva adottato questa prassi già prevista dal “progetto integrato rii” e peraltro frequentemente utilizzata anche nel lontano passato. Naturalmente le condizioni odierne sono completamente mutate e questo tipo di intervento trova un obiettivo limite nella necessità di non interferire con i contesti architettonici e ambientali della città. È pertanto evidente che ogni intervento di rialzo della pavimentazione pubblica deve essere sottoposto alla verifica e approvazione delle autorità competenti, nella fattispecie la Soprintendenza per i beni architettonici e per il paesaggio.

È altrettanto evidente che un intervento di tal genere è facilmente attuabile nel momento in cui interi tratti di fondamente e rive vengono completamente rimossi e sconvolti dalle operazioni di manutenzione, per il risanamento delle sponde e la razionalizzazione delle reti di sottoservizi. Attuare un “recupero altimetrico” del piano di calpestio significa esporre i percorsi pedonali a un minor numero di allagamenti.

Il beneficio è tangibile e immediato, misurabile dal numero degli allagamenti evitati (che in media si riducono tra la metà e un quarto rispetto alla situazione precedente), mentre i costi sono assai relativi date le evidenti economie di scala che si verificano. L'utilità di questa operazione nel più generale contesto di difesa di Venezia dalle acque alte è ormai incontestabile, essendo chiari i suoi limiti e la sua circoscritta efficacia alle maree che non superano le quote di 100-120 cm sullo zero mareografico, che come è noto sono le più frequenti. I primi interventi di rialzo delle pavimentazioni sono stati adottati da Insula nell'ambito dei lavori nell'insula del Ghetto, caratterizzata da lunghe fondamenta (Capuzine, Ormesini, della Misericordia) relativamente basse (tra quota +84 e +102 cm slmm) e quindi frequentemente soggette alle esondazioni. Ad esempio, nel caso della fondamenta degli Ormesini è stato realizzato nel 1998 un rialzo medio di 17 cm (da +96 a +113 cm slmm) che ha significato mediamente un abbattimento dell'80% degli eventi di marea negli anni successivi.

In seguito, anche nelle successive “insule” si è frequentemente intervenuti nelle situazioni più

adatte con interventi di recupero altimetrico. In alcuni casi specifici (Percorso dei Tolentini, rio terà San Leonardo, l'area di San Rocco-San Tomà, più recentemente salizzata San Salvador e intorno alla chiesa dei Miracoli) il rialzo della pavimentazione assume un'importanza prevalente e prioritaria nel contesto di interventi diversi e integrati.

Nell'ambito dei lavori dell'insula di Santa Maria Formosa sono stati effettuati in questo campo tre principali interventi rispettivamente ubicati su fondamenta San Severo, su un percorso che comprende le fondamenta dei Preti e Santa Maria Formosa e infine in corte del Cafetier.

L'esigenza di progettare e realizzare interventi così delicati in corso d'opera ha richiesto l'organizzazione di uno staff articolato al fine di eseguire i rilievi architettonici e planoaltimetrici con particolare attenzione all'alzato degli edifici, di contattare e concordare gli interventi con i privati e contemporaneamente istruire le pratiche presso la Soprintendenza, il Comune e tutti gli organi competenti per poter passare nel minor tempo dal progetto all'esecuzione senza causare rallentamenti alla programmazione del cantiere.

#### *Fondamenta San Severo*

Questo è stato il primo intervento di rialzo realizzato nell'ambito del cantiere dell'insula di Santa Maria Formosa e si è rivelato anche il più complesso sia per il carattere di pregio degli edifici prospicienti che proprio per la caratteristica di intervento pilota. La fondamenta di San Severo che va da calle larga San Lorenzo fino al ponte di San Severo presentava un notevole tratto con livelli inferiori a +1 m slmm, con molte soglie ben al disotto della quota di protezione.

Al fine di redigere il progetto è stato effettuato il rilievo planoaltimetrico della pavimentazione della fondamenta in relazione alle quote delle soglie e agli architravi degli accessi agli edifici e alle quote delle pavimentazioni e soffitti dei locali al piano terra. Dalla restituzione del rilievo è emerso che su uno sviluppo complessivo di 128 m, circa 65 m si trovavano a una quota inferiore a +1 m slmm di Punta della Salute; inoltre su 16 civici presenti lungo detto tratto, 7 si trovavano in corrispondenza di pavimentazione pubblica a quota inferiore a +1 m e di questi 4 avevano anche la soglia d'ingresso posta

<sup>4</sup> Una sintesi dei risultati delle ricerche compiute da Insula, per conto del Comune, e dall'Isp, per conto del Consorzio Venezia Nuova, sono stati pubblicati rispettivamente in *I “rialzi”*, “Insula Quaderni”, 5, e in *Difese locali*, “Quaderno Isp 01”, entrambi editi nel 2000.





*La fondamenta San Severo a restauro ultimato: l'innalzamento del paramento di sponda è stato realizzato con l'inserimento di mattoni pieni del tipo a mano, marzo 2001*

a quota inferiore a +1 m slmm.

Considerati i molti edifici di pregio come palazzo Otteboni, palazzo Querini, un bel palazzetto rinascimentale e un palazzetto neoclassico dal rivestimento in pietra bugnato, si è optato per un intervento "leggero" sul costruito, ma che al contempo riducesse il numero degli episodi annuali di esondazione.

Il compromesso è stato individuato nella quota +1,05 m slmm alla quale innalzare la copertina in pietra d'Istria, raccordando quindi la pavimentazione con il piede dei fabbricati con una pendenza compresa tra 1 e 1,5% per garantire lo sgrondo diretto delle acque piovane in canale. L'innalzamento del paramento di sponda è stato ottenuto mediante l'inserimento di mattoni pieni del tipo a mano e dove l'innalzamento è stato inferiore ai 3-4 cm, dello spessore cioè della tavella in cotto, mediante spessori variabili delle malte di allettamento.

Gli inserti sono stati collocati generalmente al disotto della listolina di coronamento, così da ottenere una localizzazione sempre riconoscibile e

tale da non modificare l'attuale immagine del paramento.

Il riposizionamento degli elementi lapidei, eseguito dopo la pulizia e la rimozione di tutti gli elementi metallici è stato effettuato con l'inserimento di arpesi in acciaio inox. Ugualmente per la ringhiera in ferro con colonnine in ghisa si è provveduto alla rimozione, pulizia, trattamento passivante e verniciatura e quindi posa in opera con fusione in piombo.

Ultimato l'intervento sugli spazi pubblici, programmato in modo tale da garantire in tutti i momenti la percorribilità della fondamenta, si è dato corso agli interventi sugli ingressi privati. È stata questa la parte più delicata per il progettista, il direttore dei lavori e l'impresa, dal momento che occorreva soddisfare le esigenze diverse di più proprietari, spesso non coincidenti né tra condomini né con quelle dell'opera di interesse pubblico. Una volta concordato l'intervento, ottenute le autorizzazioni, definiti e approvvigionati i materiali, spesso cosa non facile dovendo integrare pavimentazioni realizzate in epoche diverse, non

restava che programmare l'intervento in modo tale da realizzare, dove possibile, i lavori di modifica dei portoni in un solo giorno. Infatti è di prioritaria importanza che ogni sera venga ripristinata la chiusura dei portoni in modo da garantire la sicurezza degli immobili ed evitare costi aggiuntivi di guardiania notturna.

Nel dettaglio, a San Severo le opere negli ingressi privati hanno interessato quattro edifici per un totale di 7 civici: 5003, 5004, 5006, 5007, 5008, 5009 e 5010. Nei casi dei civici 5003-5006-5007-5008-5010 il tipo di intervento è risultato particolarmente semplice in quanto i proprietari degli immobili avevano già provveduto, in tempi recenti, a eseguire degli interventi di difesa delle alte maree innalzando la pavimentazione interna con l'esecuzione di bussole o scalini di raccordo con la soglia.

Di conseguenza l'intervento nelle proprietà private si è limitato al lieve accurato della soglia e al riposizionamento della stessa alla quota di progetto, superiore alla quota del selciato pubblico di 2 cm al fine di garantire la funzione di "battiacqua" e il rifacimento della pavimentazione della bussola. Veniva infine modificato il portone, riducendone l'altezza complessiva, riposizionando la ferramenta di sostegno, attacco e chiusura, i campanelli e le buche delle lettere al fine di permetterne un ottimale utilizzo.

Per l'intervento al civico 5009, dove la pavimentazione del grande androne in macigni di trachite era in parte posta a quota inferiore rispetto a quella di progetto della fondamenta, si è dovuto innalzare la pavimentazione su tutta la larghezza del fronte per una profondità di circa 6 m, oltre naturalmente all'esecuzione degli interventi già descritti per i civici precedenti.

Un caso a parte è rappresentato dall'intervento eseguito in corrispondenza del civico 5003, dove l'innalzamento del selciato stradale a +1,08 m slmm e conseguentemente della soglia d'ingresso a +1,1 m slmm, avrebbe comportato un'altezza utile media d'ingresso di circa 198 cm. Considerato che il primo architrave in pietra presentava una differenza di quota tra i due appoggi di 6 cm circa, è risultato conveniente effettuare l'accurato smontaggio dello stesso e il successivo riposizionamento mantenendo, come quota minima, la quota dell'appoggio sinistro (a +3,11 m slmm). Tale variazione ha permesso sia il risanamento di una situazione statica incerta sia di mantenere un'altezza utile del vano di ingresso pari a 2,10 m.

L'intervento di rialzo effettuato sulla fondamenta

San Severo ha permesso di ridurre il numero dei casi di esondazione (basandosi sui dati degli anni precedenti) di oltre il 50% rispetto al passato.

#### *Fondamenta dei Preti e Santa Maria Formosa*

La fondamenta dei Preti si sviluppa lungo rio del Mondo Novo dal ponte de le Bande fino al ponte dei Preti; su di essa hanno diretto affaccio 7 civici di cui 2 con soglia a quota inferiore a +1,20 m slmm. Lo sviluppo complessivo della fondamenta è di 198 mq interamente pavimentati in masegni di trachite posati a giunto unito a eccezione di isolati rappezzi eseguiti a giunto fugato; il parapetto è in muratura a due teste e coronamento in pietra d'Istria. Lo smaltimento delle acque meteoriche avviene per naturale deflusso verso il canale; non è presente quindi una rete di raccolta delle acque bianche. In seguito al rilievo si sono riscontrate, nel tratto più stretto della fondamenta, quote altimetriche inferiori a +1,1 m slmm, con minimo di +0,96 m slmm.

L'intervento ha richiesto in primo luogo il rifacimento uguale all'esistente della riva in muratura che si presentava in precarie condizioni statiche, con vistosi spanciamenti, e il conseguente rifacimento del parapetto con mattoni fatti a mano come per la riva e la riposa del coronamento in pietra d'Istria. Per quanto riguarda la pavimentazione pubblica, è stata prevista la realizzazione di un percorso che unisce il ponte del Paradiso, il ponte dei Preti e la riva a quota non inferiore a +1,18 m slmm, con pendenza della pavimentazione di circa il 2% per garantire il naturale deflusso delle acque verso il rio. Nel tratto di fondamenta antistante i civici 5849 e 5850, di larghezza compresa tra 5,5 e 7,15 m, il displuvio è stato realizzato nel centro della fondamenta introducendo 2 nuove forine a ridosso dei palazzi che comunque restano accessibili con maree fino +1,2 m.

Nel tratto più stretto, verso il ponte dei Preti, il percorso in quota si sviluppa a ridosso dei fabbricati rendendo necessario l'intervento su due ingressi privati, civici 5843 e 5845. Le lavorazioni all'interno degli edifici hanno riguardato solo le soglie e le bussole, con il rifacimento delle pavimentazioni uguali al preesistente. Il restauro con modifica dei portoni ha compreso la sostituzione della ferramenta, la modifica delle inferriate e dei sopraluca e l'esecuzione di lavori complementari (battiscopa, rivestimenti, gradini e simili).

Il rialzo per circa 7 cm della pavimentazione in corrispondenza del ponte dei Preti ha comportato la





*Posa della astolina di coronamento in fondamenta dei Preti, rialzata a +1,20 m slmm, febbraio 2001*

necessità di intervenire sulla prima rampa del ponte al fine di assorbire la differenza di dislivello nelle prime 7 alzate che sono passate così da 15 a 14 cm; in tal modo si è evitata la creazione di un gradino con alzata anomala che può rivelarsi alquanto pericoloso per chi vi transita.

Proseguendo lungo fondamenta dei Preti verso la chiesa di Santa Maria Formosa si arriva alla fondamenta omonima, caratterizzata da una grande riva a gradini in pietra d'Istria di fronte al sagrato sul lato meridionale della chiesa stessa. In questo contesto il progetto di rialzo si è rivelato abbastanza facile poiché a fronte della quota della copertina piuttosto bassa, tra +1,01 e +1,08 m, la quota al piede degli edifici che si affacciano nella fondamenta varia tra +1,37 e +1,56 m. Questo ha permesso l'innalzamento della copertina a +1,20 m pur garantendo la pendenza della pavimentazione del 2% su tutto il campo antistante la chiesa in modo da permettere lo sgrondo delle acque piovane in canale.

Alla semplicità del progetto è corrisposta una fase realizzativa abbastanza complessa. Infatti, è stato necessario lo smontaggio di tutti gli elementi lapidei

della riva, la loro numerazione, la pulizia, la rimozione degli elementi metallici quali grappe, perni e zanche e l'integrazione con tasselli degli elementi danneggiati per finire con il successivo rimontaggio a quota di progetto, inserendo il nuovo corso integrativo a quota inferiore al livello del medio mare. Particolare attenzione è stata posta al basamento dell'asta portabandiera adiacente alla riva; è stata, anche per questo elemento, necessaria la rimozione e il restauro, provvedendo anche alla verifica strutturale rinforzandone il dado di fondazione per garantire la stabilità del pilo alle azioni del vento.

#### *Corte del Cafetier*

La corte del Cafetier, in prossimità di San Giovanni e Paolo, con affaccio sul rio dei Mendicanti, rappresenta un caso molto differente da quelli precedentemente descritti, in quanto si tratta innanzitutto di una realtà di minor pregio architettonico. Questo intervento non ha significato un mero rialzo della pavimentazione come modo di ridurre gli allagamenti, ma anche il riordino del sottosuolo e in particolare del sistema di raccolta e

scolo delle acque meteoriche: un altro caso, quindi, di intervento integrato di manutenzione e risanamento. Infatti, la corte, che presentava quote altimetriche inferiori a +1 m slmm su tutta la superficie con punti inferiori a +0,80 m slmm, oltre a presentare un degrado elevatissimo della pavimentazione, non disponeva di una rete per lo smaltimento delle acque meteoriche e la sua conformazione a schiena d'asino provocava, in concomitanza di piogge, il ristagno dell'acqua in corrispondenza delle soglie lungo il lato nord. Nella corte hanno diretto affaccio sette civici; un'altra abitazione si trova nella calle che collega la corte con calle delle Erbe e ulteriori due nel ramo di calle che si affaccia sul rio dei Mendicanti. Lo sviluppo complessivo della corte e dei due rami di calle è di circa 174 mq.

Il progetto realizzato, dopo la stesura di differenti soluzioni, è consistito nella realizzazione di una linea per lo smaltimento delle acque meteoriche con compluvio e forine al centro della corte in modo da garantire un percorso a quota non inferiore a +1,14 m slmm lungo il perimetro della corte che permette l'accesso ai diversi ingressi privati. Ad eccezione del civico 6404 (con soglia già a +1,15 m slmm) e del 6406, si è rispettata la quota della soglia realizzando sulla pavimentazione esterna una bussola dotata di due forine. L'intervento si è concluso con l'innalzamento della riva d'acqua sul rio dei Mendicanti a quota +1,15 m slmm.

### ***Il restauro della fondamenta in pietra d'Istria a San Giovanni Laterano Ramo Basso***

Un intervento che merita un particolare cenno è quello che ha interessato il restauro della fondamenta prospiciente il rio di San Giovanni Laterano Ramo Basso, che si sviluppa lungo la riva nord per una lunghezza di 60 m circa e una larghezza di circa 1,65 m collegando ponte Cappello con calle di San Giovanni in Laterano. Tale intervento, infatti, è stato caratterizzato dall'uso di materiali innovativi, dimostrandone la compatibilità con la conservazione dell'aspetto e della funzione preesistenti. Tipologicamente diversa dalle fondamente classiche veneziane, quella in oggetto si presenta come una sorta di passerella sospesa, in quanto costituita da lastroni di pietra di spessore 10 cm circa posati a sbalzo su barbacani in pietra d'Istria posti a interasse di 160 cm circa. Questi, composti da due elementi monolitici semplicemente sovrapposti, hanno dimensioni di 40x35x147 cm e 40x34x88 cm, mentre la lastra che costituisce impalcato e piano di

calpestio, sporge di 20 cm dalla mensola più alta e presenta dimensioni in pianta di 160x167 cm. Prima dell'intervento, la passerella si trovava in un pessimo stato di consistenza fisico e di conseguenza anche statico. Le lastre dell'impalcato presentavano i problemi maggiori in quanto lungo tutta la fascia verso il muro, per una larghezza di circa 20 cm, era stata demolita per permettere il passaggio della condotta dell'acquedotto ricoprendo tutto con uno strato di asfalto di qualche centimetro di spessore. Molti dei sottostanti barbacani avevano perso la loro efficienza statica a causa di fratturazioni e inoltre gli agganci del parapetto in ferro si presentavano irrimediabilmente compromessi sia per il cedimento della pietra che per l'ossidazione del metallo.

### ***L'uso della fibra di carbonio a base polimerica***

Lo stato degli elementi lapidei, assieme alla richiesta della Soprintendenza di procedere all'esecuzione di interventi aventi come filosofia di principio il mantenimento e la conservazione dell'esistente, hanno fatto propendere verso l'adozione di tecnologie moderne che fossero compatibili con quelle tradizionali in modo da permettere il recupero completo del manufatto.

Per il recupero della funzione statica degli elementi



***L'intervento con fibre di carbonio per il restauro dei barbacani, giugno 1998***





***Il pessimo stato di consistenza fisico delle lastre di impalcato in pietra d'Istria di fondamenta San Giovanni Laterano, ramo basso, giugno 1998***



***La fondamenta a restauro ultimato, settembre 1998***

lapidei, soddisfacendo le caratteristiche di resistenza prescritte dalle normative vigenti, senza attribuire quindi al materiale lapideo capacità di resistenza a trazione, si è scelto di utilizzare le lamine in fibra di carbonio a base polimerica. Questa è una tecnica che utilizza materiali da poco introdotti nelle tecnologie del recupero statico di manufatti edilizi di particolare pregio storico artistico, quali lamine, teli e barre in fibra di carbonio CFRP in sostituzione dell'acciaio per l'effettuazione di placcaggi strutturali, al quale risultano preferibili, perché a fronte di una maggiore resistenza a trazione presentano peso e spessori decisamente più contenuti, nonché una maggiore facilità di applicazione (incollaggio diretto). La valutazione delle caratteristiche di resistenza e degli stati tensionali è stata ottenuta attraverso

calcoli statici effettuati con l'utilizzo del codice di calcolo Ansys.

Tale codice agli elementi finiti ha permesso la modellazione matematica realistica dalla quale si è potuto derivare in modo rigoroso la definizione dello stato tensionale dei singoli elementi prima e dopo l'intervento.

Per la ricomposizione minuta delle parti disgregate o demolite si è operato con i metodi classici, realizzando tassellature e utilizzando colle a base di resina epossidica o in certi casi, per fortuna non numerosissimi, realizzando connessioni con perni in acciaio inox a completa scomparsa. Inoltre sono stati rimossi dalla pietra tutti gli elementi in ferro e, nel caso di necessità, sostituiti con altri di acciaio inox. Le modalità operative hanno richiesto, in primo luogo, lo smontaggio di tutte le lastre dell'impalcato che è stato effettuato mediante sollevamento con martinetti poggianti su un ponteggio realizzato appositamente. Per il rinforzo delle lastre di impalcato sono state utilizzate le lamine di carbonio Carbodur (CFRP) S 512 (lamina a base di polimeri rinforzati con fibre al carbonio con resistenza a trazione di 2400 N/mm<sup>2</sup> e modulo di elasticità di 150.000 N/mm<sup>2</sup>), disposte all'intradosso della lastra di impalcato in numero di 3 previa rettifica della superficie per ottenere la complanarità e rendere sicuro l'incollaggio eseguito con adesivo Sikadur 30.

I barbacani fratturati sono stati riparati con perniature cieche in acciaio inox AISI 316, fissate con resina epossidica o arpesi sempre in acciaio inox AISI 316 fissati con piombo. Sono stati quindi rinforzati nella parte estradosso dell'elemento superiore, con la disposizione di una lamina Carbodur (CFRP) S 512 incollata con Sikadur 30 inserita per un tratto di circa 20 cm entro la muratura di sostegno.

Al fine di ottenere una ripartizione uniforme dei carichi sui barbacani, fra questi e le lastre lapidee sono state disposte delle lamine di piombo per ottenere il livellamento e la compensazione delle asperità superficiali proprie della pietra.

Il risultato ottenuto ha rispettato appieno quanto previsto dal progetto e cioè il mantenimento e la conservazione dell'esistente migliorando le caratteristiche meccaniche del manufatto senza alterare l'aspetto originale.