

Materiali e Strutture

PROBLEMI DI CONSERVAZIONE

nuova serie anno I numero 2 2003



SOMMARIO

Editoriale	87
M. Berti <i>La conservazione delle strutture continue nei sistemi bastionati moderni</i>	93
C. Caneva, S. Viskovic <i>Dinamica di evoluzione del danno da cristallizzazione salina su materiali lapidei</i> <i>Metodo con Emissione Acustica</i>	111
P. Catalano, I.A. Rapinesi, G. Gerardi, M.R. Giuliani, F. Verginelli <i>Studio del microclima per la conservazione della Mummia di Grottarossa</i>	135
C. Bartolomucci <i>La documentazione su base informatica per la conoscenza e la conservazione</i> <i>programmata del patrimonio culturale</i>	163
S. Rinaldi <i>Materiali e metodi di restauro dei dipinti nel trattato di Theodore Turquet</i> <i>De Mayerne</i>	175

Rivista semestrale fondata da Giovanni Urbani

Nuova serie (III), anno I, numero 2, 2003

Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 602 dell'11, 11, 2002

*Comitato di direzione:*Giovanni Carbonara, Paolo Fancelli (*direttore responsabile*), Antonino Gallo Curcio, Giorgio Torraca*Coordinamento:*

Mara Nimmo

Comitato di redazione:

Gabriella Andreoli, Alessandra Filippini, Mariabianca Paris

Progetto grafico:

Anna Maria Zamboni

Tutti i diritti sono riservati. È vietata la riproduzione integrale degli articoli, tranne quando espressamente autorizzata dalla direzione della rivista

La rivista è di proprietà dell'Università di Roma «La Sapienza»

© Dipartimento di Storia dell'Architettura, Restauro e Conservazione dei Beni architettonici, Università di Roma «La Sapienza», Piazza Borghese, 9 - 00186 Roma

Nella presente sede, si
 un tema così vasto, art
 Il soggetto investe, in p
 legame tra mezzi e fini
 Il non disgiunto aspet
 conflitti attuali e quell
 no mondiale e delle oc
 democrazia e gli asset
 le interstatali. I primi
 tica, datano senza dub
 spiccano, per la loro
 Saint-Pierre, di J.J. Ro
 tale saggio Per la pac
 ovvio che le implicazio
 ché tutte le attività un
 striale, dalle istituzion
 nella sua logica intrin
 inevitabile), ma a volte
 te ad uno spettro ampl
 conflitti "umanitari" a
 imporre un modello di
 damenti detti "intellig
 La nuova ed inedita, p
 dopo la "guerra fredda
 che e non solo, impon
 né il classico K. von
 "non violenza", non s
 quella dei nostri A. Ca
 sono qui da ramment
 A.Huxley. Sino, poi, ab
 ders, di N. Chomsky, d
 Dal pericolo gravissim
 1962, in ragione della
 Così, si assiste oggi a
 anche a scontri endem

La conservazione delle strutture continue nei sistemi bastionati moderni

Maurizio Berti

Le soluzioni tecniche e costruttive impiegate per la realizzazione di mura di difesa intorno alle città vanno sostanzialmente ascritte al XVI secolo, in funzione dell'efficienza del contrasto nei confronti dei devastanti effetti della sempre più potente artiglieria adottata nelle offensive armate. Gli apparati difensivi divennero, in particolare, degli organismi assai complessi, costituiti da strutture murarie sofisticate (pareti, volte, gallerie) e terrapieni. Nel saggio, sono discussi gli aspetti caratteristici della loro conservazione strutturale, fondandoli sulle indagini circa le soluzioni costruttive originali, il loro sviluppo, il loro stato odierno. Questo lavoro è basato sulle esperienze di progetto e sugli studi condotti dall'autore in funzione degli interventi di restauro eseguiti sulle cinquecentesche mura difensive di Padova.

Premessa

Il sistema bastionato di Padova ha un'estensione di circa undici chilometri. Fu realizzato perché la Repubblica Veneta attribuì a Padova un ruolo strategico per la salvezza dello Stato durante la guerra contro Massimiliano d'Asburgo, agli inizi del XVI secolo. Oggi il Comune di Padova, per conservare tale monumento, concepito e costruito con le risorse di uno Stato, può disporre solo delle limitate risorse d'una amministrazione pubblica locale.

Da quindici anni, tuttavia, il municipio mantiene costanti iniziative per conservare e valorizzare le mura urbane che, nei decenni precedenti, erano state quasi del tutto trascurate. Il risultato più apprezzabile raggiunto negli ultimi tempi è la messa a punto delle procedure operative di un articolato piano di manutenzione programmata, che rende possibile la custodia d'una architettura tanto complessa e di così vaste dimensioni, tramite l'impiego di risorse relativamente modiche, ma costanti (fig. 1). Con interventi manutentivi modesti, ma annuali, è infatti possibile ridurre drasticamente il degrado e, allo stesso tempo, procrastinare e cadenzare i singoli restauri secondo ben delineate gerarchie d'urgenza¹.

Gli studi, i progetti e le provvidenze finora eseguite hanno indicato come prioritarie

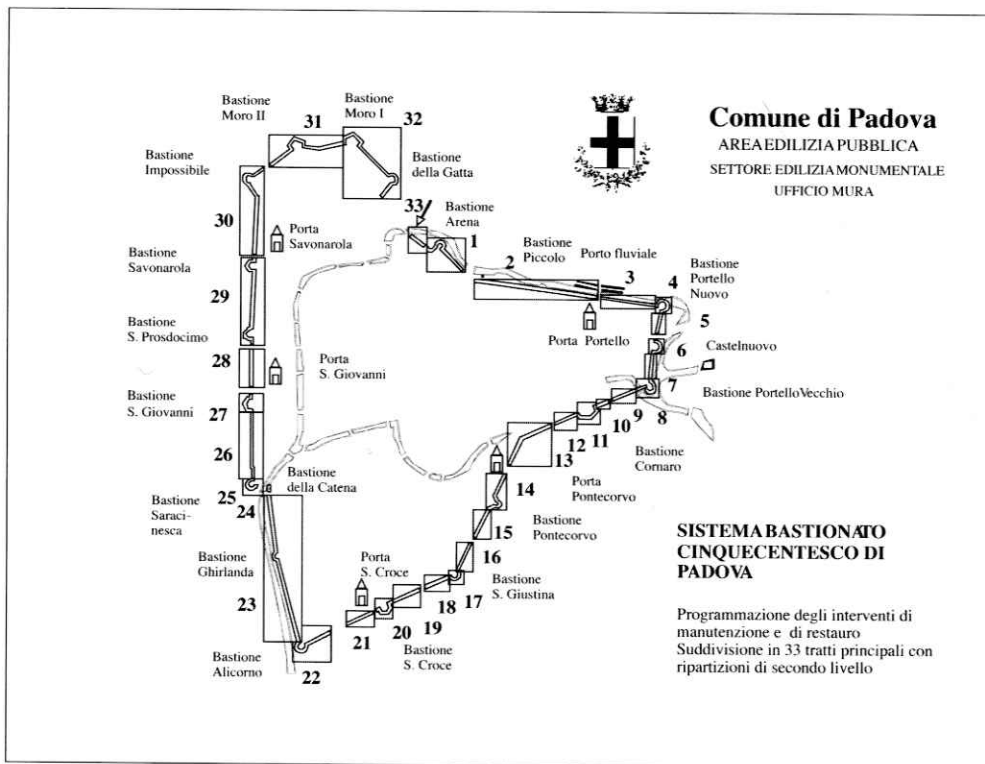


Fig. 1 La suddivisione del sistema bastionato in settori di controllo.

anche alcune opere d'intervento strutturale, tanto che perfino l'indispensabile restauro della camicia laterizia dovrebbe essere preceduto da un sistematico e approfondito controllo dell'intera compagine muraria. La lunga osservazione dei fenomeni di degrado, infatti, ha chiarito che la stessa conservazione delle superfici a vista dipende dallo stato dell'intera compagine medesima, costituita di materiali come il laterizio o la pietra di cava, ma, soprattutto, di terra. I terrapieni delle mura di Padova sono stati rimossi per lunghi tratti. Nei primi anni di questo secolo sono stati spianati quelli del settore nord-ovest del circuito per dar luogo a case operaie secondo i diffusi principi sociali riformatori dell'epoca. I terrapieni superstiti hanno tuttavia subito nel tempo assestamenti, erosioni e trasformazioni, con effetti diversi sulle strutture murarie cui sono addossati. In qualche caso si sono accertati fenomeni preoccupanti d'instabilità come, ad esempio, su alcuni bastioni (fig. 2).

1 Il perfezionamento delle difese

Due efficaci casi possono assumersi quali estremi del contesto storico italiano entro cui collocare le complesse tipologie costruttive del sistema difensivo padovano: le fortificazioni a Mondavio (1501), di Francesco di Giorgio Martini e la fortezza rea-

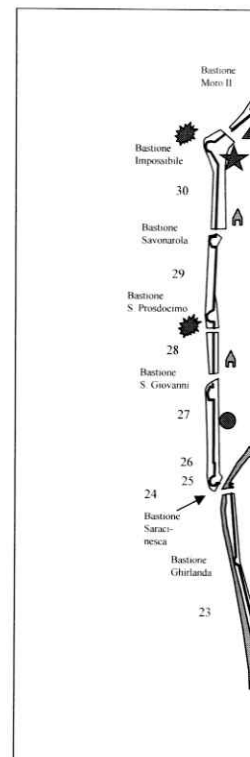


Fig. 2 Sistema bastionato: tipologia delle cause primarie.

le di Palmanova (1514), di Francesco di Giorgio Martini, un riferimento difensivo "trattatistico" e realizzato con un sistema bastionato su principi tecnici. Dalla trattatistica cinquecentesca si è soprattutto sull'argomento delle tecniche d'offesa e di difesa, e maggiormente s'impegnano le tecniche difensive si basano sulla capacità d'assorbire i colpi più antichi e collaudati, e si basano sui bastioni per l'efficacia della mina (fig. 3). Probabilmente il trattamento progettuale dei bastioni di Lanteri da Paratico.

Comune di Padova
 EDILIZIA PUBBLICA
 EDILIZIA MONUMENTALE
 UFFICIO MURA

ABASTIONATO
 CENTESCO DI

azione degli interventi di
 one e di restauro
 ne in 33 tratti principali con
 di secondo livello

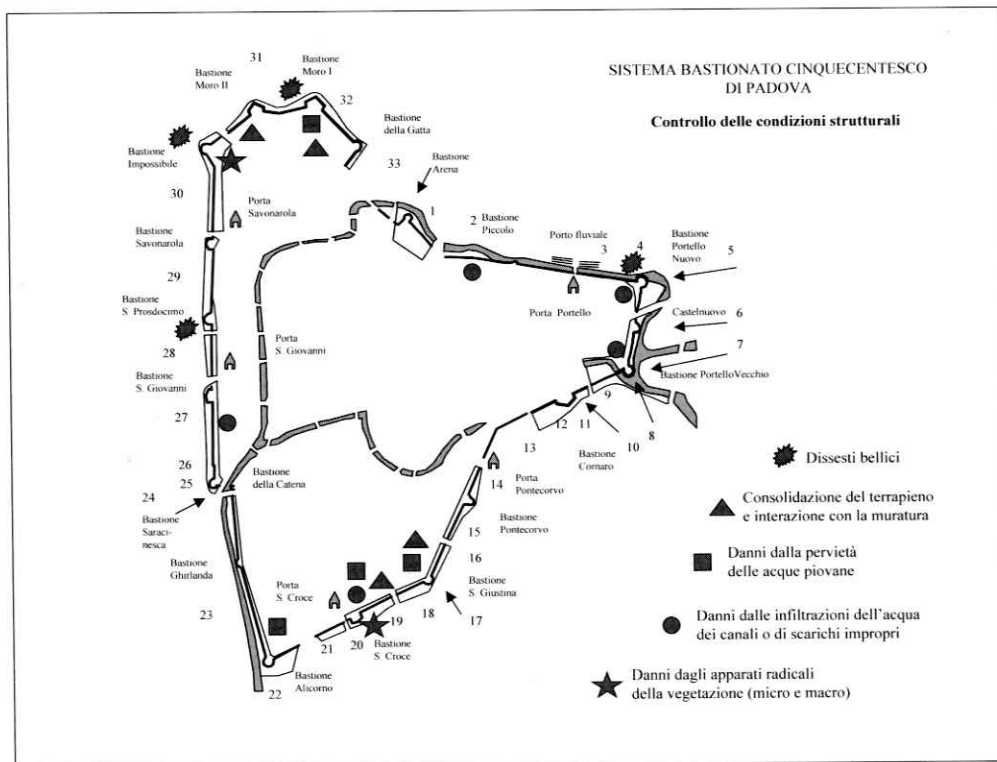


Fig. 2 Sistema bastionato padovano: presenze accertate di fenomeni di degrado o dissesto strutturali e tipologia delle cause principali.

l'indispensabile re-
 un sistematico e ap-
 osservazione dei fe-
 one delle superfici a
 ostituita di materiali
 terrapieni delle mura
 di questo secolo sono
 luogo a case operaie
 pieni superstiti hanno
 ni, con effetti diversi
 ono accertati fenome-
 ni (fig. 2).

storico italiano entro
 difensivo padovano: le
 rtini e la fortezza rea-

le di Palmanova (1593), di Giulio Savorgnan. Nel primo dei due esempi abbiamo un riferimento difensivo, molto diffuso nell'Italia centrale, di concezione "geometrica" e realizzato con materiali e strutture edilizi; nel secondo esempio il modello è basato su principi tecnologici che contemplano prevalenti opere in terra.

Dalla trattatistica cinquecentesca emerge che l'ingegneria militare si sviluppa soprattutto sull'argomento dei sistemi difensivi. Al contrario, per lungo tempo, mezzi e tecniche d'offesa restano immutati nella potenza d'effetto. Il tema sul quale maggiormente s'impegnarono gli ingegneri militari, con buona conoscenza sia delle tecniche difensive sia di quelle offensive, fu il perfezionamento delle cortine nella capacità d'assorbimento dei proiettili d'artiglieria. Tuttavia furono conservati tutti i più antichi e collaudati accorgimenti necessari ad ostacolare prese di mano dirette mediante scalate o scavi di mine, come fra l'altro la collocazione e la geometria dei bastioni per l'efficace controllo dei tratti rettilinei di cortina e le gallerie di contromina (fig. 3).

Probabilmente il trattatista che meglio ci può far intendere la consapevolezza previsionale dei progettisti e dei costruttori di sistemi bastionati più evoluti fu Giacomo Lanteri da Paratico. Il Lanteri pubblicò a Venezia nel 1559 un trattato sulle fortifi-

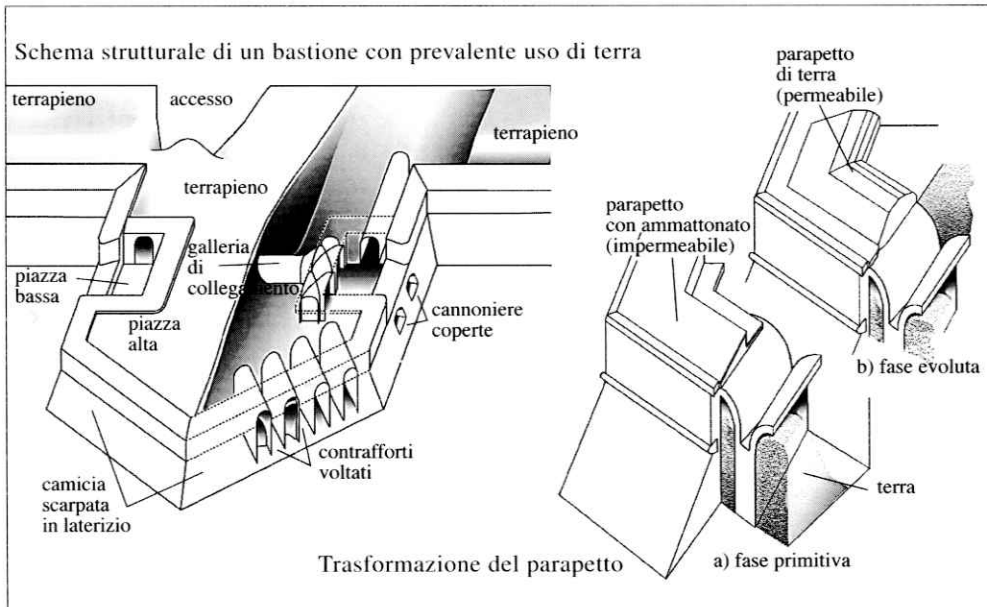


Fig. 3 Ricostruzione schematica di un bastione secondo le concezioni dell'ingegneria militare nel terzo-quarto decennio del Cinquecento.

cazioni di terra. Nell'introduzione si legge che egli stava elaborando anche un ulteriore trattato sulle fortificazioni in muratura che però non fu pubblicato². L'idea di perfezionare le difese con materiali edili tradizionali perdurò, nonostante fosse ampiamente riconosciuto che solo la terra aveva adeguate proprietà d'assorbimento dei proiettili delle armi da fuoco. Infatti non dappertutto, in Europa, era possibile l'impiego di grandi masse di terra; ad esempio, lungo le coste marine, in particolare quelle mediterranee, e nelle isole le mura di difesa sono costruite senza l'impiego della terra stessa, in quanto di non facile reperibilità.

1.1 Muratura e terra

L'utilizzo della terra rimanda alla grande tradizione europea della costruzione delle arginature dei fiumi. Tecniche affidabili furono messe a punto fin dai primi decenni dell'undicesimo secolo, ma il loro perfezionamento ebbe attenzione scientifica almeno sino alla fine dell'Ottocento. Riguardo a Padova ed alla sua Università ricordiamo gli studi di Gustavo Bucchia circa i profili da adottare sui monti artificiali di terra al fine del controllo delle spinte, studi connessi alle opere di bonifica idraulica. Sulla interazione strutturale fra la muratura e la terra di un sistema bastionato il Lanteri compone un intero capitolo: «Che ordine si dee tenere havendo da fare un riparo à canto à qualche muro». Egli osserva quanto sia precaria la condizione di un muro accostato ad un terrapieno. Il problema principale è ovviamente la spinta esercitata dal terreno contro il muro, azione che si manifesta e si evolve nel tempo

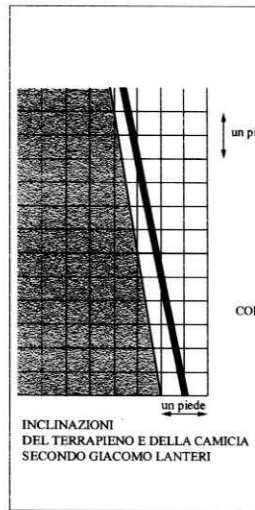


Fig. 4 Pendenze differenti del terrapieno e della camicia secondo Giacomo Lanteri.

in maniera complessa, i processi naturali, i processi naturali. Tale sollecitazione del muro almeno da un lato è sostenuta da tralicci di legname disposti in modo da resistere alle deformazioni alla scarpatura del terrapieno. La muratura sarà composta dai due profili la muratura sarà composta dai due profili la muratura sarebbe spazio verso il... Trattati di cortina che... pio, a Lucca, Jesi, Fe... sistema bastionato mo... ni. La terra è assesta... funzione regolarizzar...

1.2 Bastioni e baluardi

Alcune parti dei siste... tre. Il comportamento... termina fenomeni rel... bastioni o dei baluar... ottimizzate anche per... menti di terra, elevat... sporto e piani di lav...

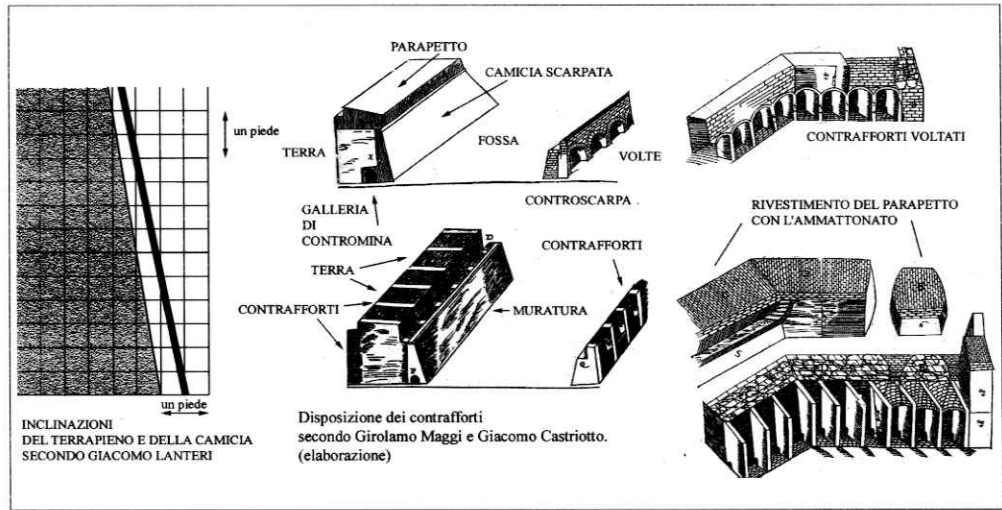
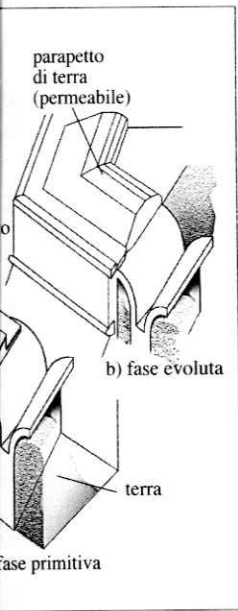


Fig. 4 Pendenze differenti per il terrapieno e il muro della cortina secondo Giacomo Lanteri. Disposizione dei contrafforti secondo Girolamo Maggi e Giacomo Castriotto. (elaborazione)

in maniera complessa in funzione di svariati parametri, quali le condizioni ambientali, i processi naturali di compattazione, i cedimenti del sistema terreno-muro. Tale sollecitazione deve essere prevenuta. Egli suggerisce che il terrapieno sia staccato dal muro almeno un palmo e che la sua confezione sia eseguita per strati, armati di legname disposto verticalmente ed orizzontalmente, con lo scopo di ridurre le deformazioni alla sola direzione verticale. Lanteri prevede che l'inclinazione della scarpa del terrapieno proceda di un piede ogni sei d'altezza, mentre per l'inclinazione della muratura sarà adottato il rapporto di uno a cinque. Nella sovrapposizione dei due profili la maggior inclinazione del rivestimento leggero in muratura lascerebbe spazio verso il basso all'ingrossamento dell'unghia del terrapieno³ (fig. 4). Trattati di cortina che corrispondono a queste prescrizioni sono osservabili, per esempio, a Lucca, Jesi, Ferrara e sono collocabili nella maturità tecnica e formale del sistema bastionato moderno, a motivo dell'incamiciatura sottile applicata ai terrapieni. La terra è assestata nella sua forma ottimale, mentre la camicia in cotto ha una funzione regolarizzante e di protezione generica dagli agenti meteorologici.

1.2 Bastioni e baluardi

Alcune parti dei sistemi difensivi moderni presentano complessità maggiori di altre. Il comportamento di un terrapieno addossato ad una cortina laterizia lineare determina fenomeni relativamente modesti. Al contrario nei riempimenti di terra dei bastioni o dei baluardi sono riconoscibili speciali ed elaborate soluzioni tecniche, ottimizzate anche per le necessità dei cantieri di costruzione. Ad esempio, i riempimenti di terra, elevati di pari passo con le murature, servivano come rampe di trasporto e piani di lavoro; ed ancora, in particolare, con la terra di riempimento si

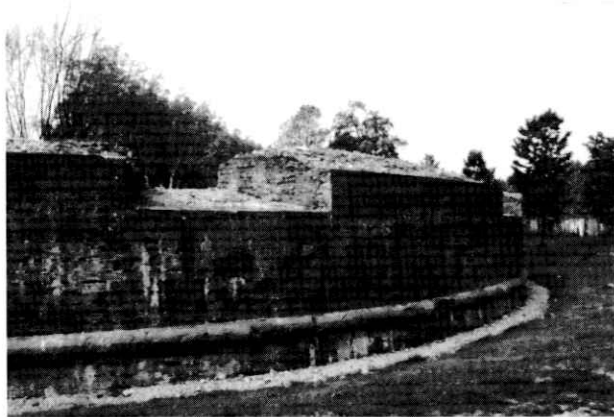


Fig. 5 Il vecchio bastione Santa Croce delle mura di Lucca, inglobato dal nuovo baluardo, assume la funzione di cavaliere.

predisponavano le controforme per allestire le volte in mattoni fra un contrafforte e l'altro.

Durante gli anni in cui fu costruito il sistema padovano, dal 1509 al 1556, si può ancora considerare una distinzione tra bastione e baluardo; tuttavia, sulla base delle ricerche e delle definizioni di Carlo Promis, si può affermare che tale differenza di termini tendesse a scomparire sino a diventare ininfluenza nella designazione del manufatto militare già prima della metà del Cinquecento. A tal proposito notiamo l'illuminante caso di Lucca, dove i primitivi bastioni rotondi furono successivamente inglobati entro il più vasto e ribassato baluardo pentagonale munito di spalle. Così i vecchi bastioni, emergenti al centro della piazza alta del nuovo baluardo, assumono la nuova funzione di cavaliere⁴ (fig. 5).

Durante la guerra di Cambrai, l'impostazione del sistema difensivo padovano fu assai rapida e l'acconciamento dei ripari e dei bastioni di terra avvenne probabilmente senza quegli accorgimenti strutturali che più tardi il Lanteri avrebbe sistematizzato. Sull'argomento il Promis sinteticamente scrive:

«La città fu ripresa dai Veneziani il 17 luglio dell'anno 1509: gli alleati di Cambrai vi posero il campo nei primi giorni di settembre; ebbero dunque i Veneziani un mese e mezzo appena per compiere le infinite opere di difesa che vi scorsero necessarie.»⁵.

Il 17 settembre 1509 iniziò l'offensiva di Massimiliano contro Padova e Francesco Guicciardini ci ha lasciato una descrizione del memorabile assalto che tali difese dovettero subito sopportare:

«Non haveva mai né in quella età, né forse in molte superiori veduto Italia tentarsi oppugnazione, che fusse di maggiore aspettatione ... tirava il dì seguente per tutto ferocemente l'artiglieria, la maggior parte della quale per la grossezza sua, e per la quantità grande della polvere, che se gli dava, passati i ripari, rovinava le case prossime alle mura, e già in molte parti era gittato in terra spatio grandissimo di mura-

glia, e quasi spianato.
E Girolamo Maggi:
«Per l'assedio di Padova
buono avvertimento
coperta di quella, co
ti, per non essere be
passato da un grossi
colpo venne rotta un
C'è una nota nei dia
pinione di fra' Gio
avrebbe sopportato i
«A dì 18 [febbraio
Monzeleze, et disse
maxime a la Porta d
men, era stà termina
Questa notizia è trop
dova il bastione pen
le diffusione. In ogn
tare. Egli era stato i
fra il 1492 e il 1494
per le difese d'oltr
che a Parigi al serviz
dova e a Treviso nel
sul principio second
ro dell'artiglieria da
È opinione che, finc
stati, per vocazione
le difese erano di te
di Albrecht Dürer i p
tuiti da spesse e gig
mine e la configuraz
tate le difese pentag
però che sull'appara
Promis promuove la
scarpate in muratura

2 I baluardi di Padova

A Padova, durante g
gegneri e condottieri
prevalente muratura
dell'Italia centrale. I
costruttiva, molto sia

glia, e quasi spianato un bastione fatto alla parte d'Ognissanti.»⁶.

E Girolamo Maggi:

«Per l'assedio di Padova il bastione della Gatta fatto fare dal Zitolo da Perugia per buono avvertimento di Marco Manini, fuori della porta di Coalunga, per rivellino, e coperta di quella, col fondamento nel fosso sopra pali, & assoni su quelli conficcati, per non essere ben calcato per la troppa fretta, benché fusse grosso braccia 12 fu passato da un grossissimo pezzo d'artiglieria del campo dello Imperadore; dal qual colpo venne rotta una gamba al sudetto Zitolo.»⁷.

C'è una nota nei diari di Marin Sanudo ove si riferisce, un po' ermeticamente, l'opinione di fra' Giocondo su quest'ultimo bastione che, qualche mese più tardi, avrebbe sopportato il potente assalto degli imperiali:

«A dì 18 [febbraio 1509]. Vene fra' Jocondo inzegner stato a Treviso, Padoa, et Monzeleze, et disse quanto havìa visto, et l'opinion sua zercha il fortifichar Padoa maxime a la Porta di Coalonga. Vorìa far li muri a cantoni, per più sicurtà etc. Et tamen, era stà terminato prima farli dreti etc.»⁸.

Questa notizia è troppo evasiva per dedurre che fra' Giocondo abbia proposto a Padova il bastione pentagonale con considerevole anticipo sui tempi della sua generale diffusione. In ogni caso questi era un esperto e ben documentato ingegnere militare. Egli era stato impiegato come tale dal duca di Calabria nel napoletano, dove, fra il 1492 e il 1494, fu in contatto con Francesco di Giorgio, e dalla Serenissima per le difese d'oltremare e per quelle di terraferma. Tra i due incarichi era stato anche a Parigi al servizio del re di Francia. Pertanto certamente le proposte fatte a Padova e a Treviso nel 1509 dovettero basarsi su criteri tecnici aggiornati e fra questi sul principio secondo cui solo i terrapieni potessero essere la difesa più adatta al tiro dell'artiglieria da fuoco⁹.

È opinione che, fino ai primi anni del Cinquecento, i paludamenti difensivi siano stati, per vocazione o tradizione, differenti fra il nord e il sud dell'Europa. Al nord le difese erano di terra strutturata, al sud di muratura. Tuttavia nel trattato militare di Albrecht Dürer i propugnacoli in difesa dai tiri dell'artiglieria nemica sono costituiti da spesse e gigantesche muraglie. Dal nord il Promis fa derivare anche il termine e la configurazione del baluardo che s'impone in Italia quando vengono adottate le difese pentagonali fornite di piazze basse e alte sui fianchi. Bisogna dire però che sull'apparato geometrico, se non materiale, del baluardo pentagonale il Promis promuove la paternità di Francesco di Giorgio, propagatore delle difese scarpate in muratura.

2 I baluardi di Padova e l'intervento nel bastione Santa Croce

A Padova, durante gli anni dell'assetto definitivo della cortina, furono presenti ingegneri e condottieri memori o partecipi della concezione costruttiva delle difese a prevalente muratura; perlomeno tutti coloro che provenivano dalle scuole militari dell'Italia centrale. Inoltre, si può ritenere che, per ragioni logistiche e d'economia costruttiva, molto sia stato conservato delle primitive difese in terra; e, d'altro lato,

che alcuni settori del circuito murario, probabilmente, non siano neppure stati adattati alla tipologia del terrapieno. Il circuito che la cartografia padovana, a partire dal Seicento, ci suggerisce essere lineare e intrinsecamente coerente, in realtà è costituito da episodi di differente tecnologia ed età. La Rocca per esempio, col suo doppio affaccio verso l'interno e verso l'esterno della città, conserva interamente le prerogative edili e architettoniche riscontrabili nel castello Tramontano di Potenza, ossia quelle dei sistemi di difesa pre-moderni. Le mura di Padova sono un'architettura complessa, dunque, dove la notevole massa di terra dà origine, con le murature dei diversi tratti, a comportamenti strutturali differenti e con specifici problemi di restauro.

Nella messa a punto d'una metodologia di conservazione appropriata ai differenti tipi di struttura, di cui sopra s'è proposto un rapido cenno descrittivo, sono stati osservati nel bastione Santa Croce due particolari elementi: il parapetto e i contrafforti.

Quando nel 1989 il Comune di Padova decise di dare nuovo impulso, con proprie risorse finanziarie, al recupero della cinta urbana ancora sepolta e disgregata dalla vegetazione, le immagini prevalenti delle mura erano quelle suggestive ricavate dalle carte e dalle rappresentazioni antiche. Il programma di recupero avviato sul bastione Santa Croce prevedeva un'ampia e differenziata ricerca che potesse, al suo termine, consentire la redazione d'un progetto esecutivo di restauro, ma fornire altresì informazioni dirette sulla condizione formale e strutturale del monumento. In effetti i dati raccolti in questo cantiere hanno permesso di migliorare la conoscenza non solo di questo bastione ma anche dell'intero circuito murario (fig. 6).

All'avvio degli studi, il luogo era ancora chiamato la montagnola, a motivo della fitta boscaglia che ricopriva l'intero bastione. Un elemento certo era la data incisa sulla faccia sud-occidentale: 1548. L'attribuzione del monumento a Michele Sanmicheli, da parte d'alcuni storici, ed un noto rilievo ottocentesco suggerirono inizialmente l'idea che la strada del ripristino architettonico dello "stato d'origine" fosse percorribile.

Man mano che avanzavano gli studi e le indagini sul campo, la certezza di poter raggiungere una condizione immaginata come originaria venne meno. Risultavano infatti già problematici sia un restauro limitato al solo controllo della vegetazione spontanea sia l'attribuzione alla struttura di un'accettabile sicurezza statica.

2.1 Il parapetto

Fra i primi lavori intrapresi per il riconoscimento e la liberazione materiale del bastione vi fu il disboscamento della fitta vegetazione che prosperava sullo spesso strato di terra in sommità. Inizialmente fu trattata solo quella parte di vegetazione il cui apparato radicale interferiva con la compagine muraria delle facce sottostanti. La presenza del camminamento di ronda sul bordo delle facce e dei fianchi del bastione, nonché alcune tracce delle due garitte riscontrabili nel rilievo ottocentesco del Ronzani, hanno fatto riflettere a lungo sui caratteri formali e funzionali di quella che appariva come un'evidente trasformazione. Decisa l'eliminazione totale della vegetazione, il cui apparato radicale danneggiava comunque la muratura, restava

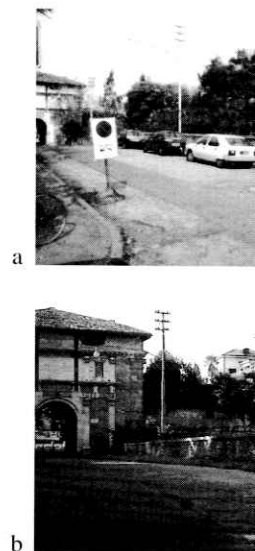


Fig. 6 Il bastione Santa Croce. a) Veduta generale; b) Dettaglio dell'architrave.

da definire un profilo di restauro che fosse efficace per la parte superiore. Per varie ragioni non fu possibile, sulle fonti archivistiche, individuare i dati del fianco e della faccia d'intonaco in luogo di riferimento, ancora senza risposta allo spoglio dell'ammattimento ai migliorati sistemi. Alla fine del secolo, il titolo del suo trattato sui difetti delle fortezze, difese antiche, intendeva le questioni rotondi. Il Conte di... «E per discorrere alquanto sulle questioni, le addimando le mura sopra al cordone senza manifesta rovina, dove avrebbe a veria fare.».

Il Lorini risponde che la parte superiore al cordone di piazza alta, uno spazio di gallerie di difesa. Ma

no neppure stati adattati ad una situazione moderna, a partire dal momento, in realtà è costantemente, col suo doppioposto, conserva interamente le caratteristiche del montano di Potenza, che sono un'architettura originale, con le murature e i contrafforti.

Propriamente ai differenti interventi, sono stati osservati i contrafforti.

Impulso, con proprie iniziative, è disgregata dalla vegetazione e suggestive ricavate dal recupero avviato sul sito che potesse, al suo restauro, ma fornire alle esigenze del monumento. In seguito a migliorare la conoscenza del monumento (fig. 6).

La signora, a motivo della incertezza era la data incisa sul monumento a Michele Santese suggerirono inizialmente "stato d'origine"

La certezza di poter ottenere, in meno. Risultavano il controllo della vegetazione e la sicurezza statica.

La situazione materiale del bastione prosperava sullo spesso strato di vegetazione il cui peso sulle facce sottostanti. Le murature e dei fianchi del bastione sul rilievo ottocentesco erano stati eliminati e funzionali di quella eliminazione totale delle murature, restava

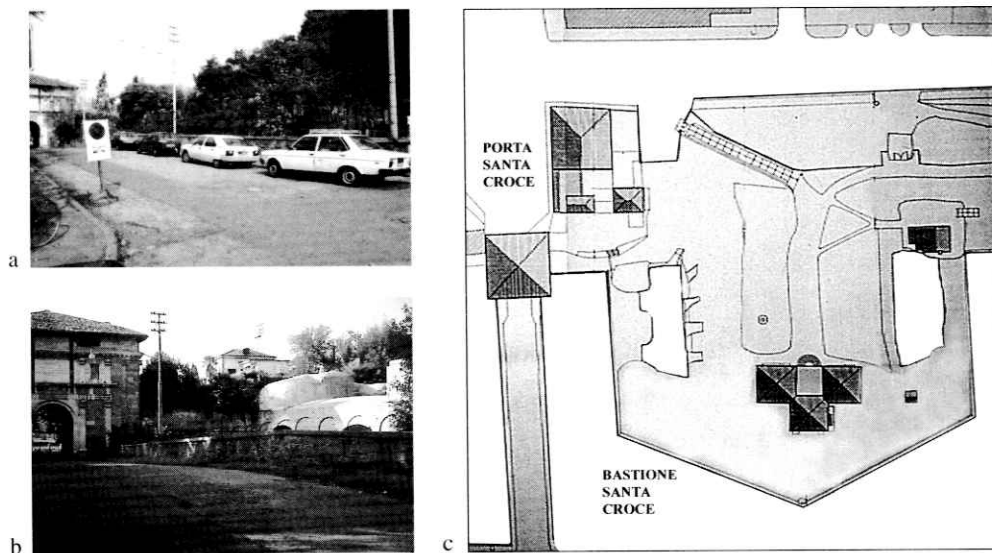


Fig. 6 Il bastione Santa Croce: a) prima e b) dopo l'intervento di rimozione della vegetazione; c) planimetria.

da definire un profilo del parapetto e della piazza alta, con o senza terra; ma che fosse efficace per la preservazione futura del monumento¹⁰.

Per varie ragioni non fu possibile trarre utili indicazioni dall'ampia ricerca condotta sulle fonti archivistiche e a stampa. Una decisione fu comunque presa per i parapetti del fianco e della faccia orientati a sud-est, con la stesura uniforme di un manto d'intonaco in luogo della precedente coltre di terra. Ma su quest'argomento resta ancora senza risposta un interrogativo: se quella coltre di terreno sopra un parapetto spoglio dell'ammattionato a spina di pesce sia oppure no una soluzione d'adeguamento ai migliorati sistemi difensivi della seconda metà del Cinquecento.

Alla fine del secolo, infatti, il nobile fiorentino Buonaiuto Lorini scriveva un capitolo del suo trattato d'architettura militare per proporre alcuni rimedi a ricorrenti difetti delle fortezze. Fra gli argomenti esposti prospettava gli aggiornamenti delle difese antiche, intendendo le difese fortificate della prima ora, quelle dotate di bastioni rotondi. Il Conte, interlocutore nel *Dialogo* dell'autore, dice:

«E per discorrere alquanto d'intorno alle difese usate in queste così fatte Fortificazioni, le addimando la causa per la quale fu fabricata quella parte di muraglia posta sopra al cordone senza scarpa, e così rovinosa per essere scoperta, & esposta a manifesta rovina, dove al parer mio questa opera fa contrario effetto di quello, che doveria fare.».

Il Lorini risponde che probabilmente l'interruzione del declivio della scarpa nella parte superiore al cordone era data dalla necessità di conservare, a vantaggio della piazza alta, uno spazio sufficientemente ampio alla manovra dei pezzi delle artiglierie di difesa. Ma giustamente egli rilevava che tal sistema applicato ai primitivi

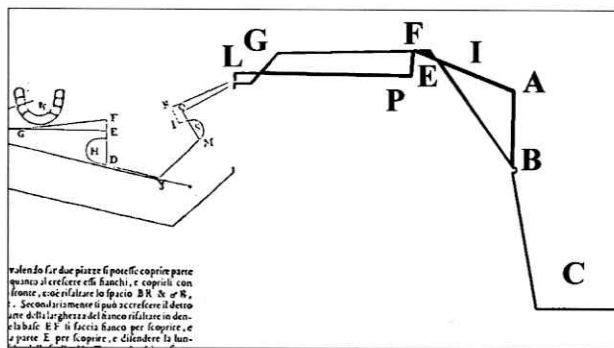


Fig. 7 Illustrazione di Bonaiuto Lorini sulla modifica dei vecchi parapetti in muratura con opere di terra. (elaborazione)

baluardi comportava un notevole impiego di materiali edili, soprattutto nell'allestimento delle facce:

«... la qual grossezza soleva essere fatta tutta di muraglia sopra a' volti, che si sostentavano nelle larghezze de' contraforti, ovvero speroni [è il caso del bastione Santa Croce], la quale era opera delle più deboli, e di maggior spesa, che si potesse fare; nondimeno il suo rimedio sarà facilissimo, perché tagliando sopra il cordone la scarpa BF [eliminata cioè la verticalità della porzione superiore della cortina] si avrà assicurato l'alzato di fuori BA dalle rovine ... e per il parapetto si deve tirare la grossezza FG fatta con la semplice terra.»¹¹ (fig. 7).

Nel bastione Santa Croce non è stata abbattuta la porzione di muratura verticale sopra il cordone rendendola obliqua, ma solo modificata la conformazione del superiore piano inclinato del parapetto che, privato del rivestimento in mattoni ordinati a spina di pesce, è stato rivestito da una spessa coltre di terra atta all'assorbimento dei colpi dell'artiglieria nemica. Questa soluzione è auspicata comunemente dagli ingegneri militari cinquecenteschi. Un caso simile di ridotta trasformazione della parte alta del bastione può essere osservato nelle vedute di Bernardo Bellotto della città di Dresda, intorno al 1750. Un'applicazione, quasi letterale, delle trasformazioni dei primitivi parapetti dei bastioni cinquecenteschi suggerite dal Lorini, è visibile sul bastione di porta Terraferma a Zadar (fig. 8). La loro condizione è simile, per alcuni aspetti, a quella del bastione di porta Santa Croce a Padova.

2.2 I contrafforti voltati delle facce e dei fianchi

Girolamo Maggi, nel suo trattato sulle fortificazioni, parla dei contrafforti e richiama Vitruvio, il Sanmicheli, Tartaglia, il Capitan Frate da Modena e Leon Battista Alberti:

«Vuole lo Alberti che da un contrafforte a' l'altro si tirino archi, ò volte che le vogliam chiamare, & che gli spatij si riempino di creta mescolata con paglia; ... M. Michel San Michele Veronese voleva che si facessero le volte à contra forti, che venissero fino al piano della piazza di sopra di quelle, e si tirasse il parapetto con-



Fig. 8 Il bastione sanmicheli

giunto con quello del
se il corridoio [la ban
Nel bastione Santa C
no, tre archi dei cont
struttivo risulta del tu
la particolarità dei va
terra. Qui ogni soluzi
stione del parapetto tr
sformazione sarebbe p
ca prossima all'Ottoc
Per quel che riguarda
portante ruolo statico
stanza di oltre quattr
prevedeva nelle difese
ribassato, per assestar
l'altezza del terrapien
viamente ben prima d
terreno) svolgere il co



a
Fig. 9 Bastione Santa Croce



Fig. 8 Il bastione sanmicheliano di porta Terraferma a Zadar.

giunto con quello della muraglia in tutto grosso [la larghezza] piedi 18 e che restasse il corridoio [la banchetta] di piedi 10.»¹².

Nel bastione Santa Croce sono stati parzialmente esplorati, liberandoli dal terrapieno, tre archi dei contrafforti tra un fianco e la faccia contigua. L'apparecchio costruttivo risulta del tutto simile a quello sanmicheliano citato dal Maggi, compresa la particolarità dei vani strombati verso l'interno a favorire il contenimento della terra. Qui ogni soluzione di restauro non può che ricollegarsi alla precedente questione del parapetto trasformato rispetto alla sua primitiva condizione; e questa trasformazione sarebbe potuta avvenire tanto alla fine del Cinquecento quanto in epoca prossima all'Ottocento (fig. 9).

Per quel che riguarda l'interazione terreno-struttura muraria, appare evidente l'importante ruolo statico esercitato dalle volte di collegamento fra i contrafforti. A distanza di oltre quattrocento anni dalla costruzione del bastione, come il Lantieri prevedeva nelle difese di terra, il terrapieno a ridosso della muratura delle facce si è ribassato, per assestamento naturale, nella proporzione di almeno un decimo dell'altezza del terrapieno stesso. Le volte costruite su terra hanno dovuto quindi (ovviamente ben prima che si raggiungesse la situazione di compattezza attuale del terreno) svolgere il compito di sostegno totale del parapetto e di tutti i carichi (an-



Fig. 9 Bastione Santa Croce: a) indagini sul parapetto in terra; b) scavo presso i contrafforti.

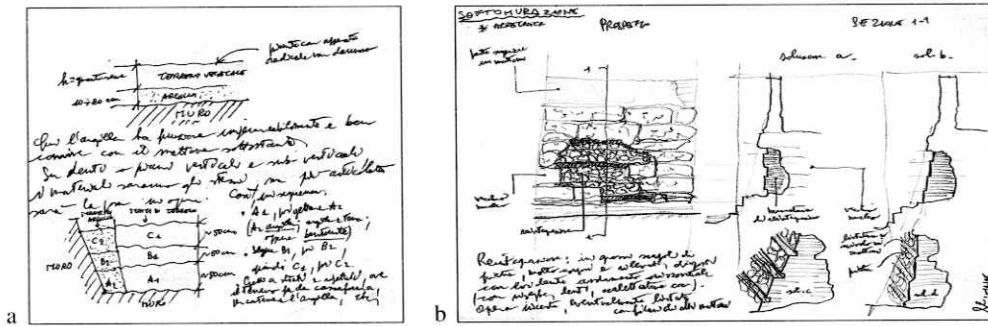


Fig. 10 Appunti preliminari all'intervento sul bastione San Prodocimo: a) proposte per la stesura di una coltre di terra con funzione anche impermeabilizzante; b) proposte, in alternativa, per la sottomurazione delle porzioni di calcestruzzo, già minate, a rischio di crollo.

che di quelli dovuti alle manovre e agli spari con i cannoni) a questo applicati. Non si tratta quindi solo d'elementi di "chiusura" e di "confinamento" del terrapieno, ma di robuste strutture che hanno svolto con successo rilevanti funzioni statiche. Reca preoccupazione per la stabilità la trasformazione del parapetto che, privato della copertura in mattoni a spina di pesce e ricoperto di terra non sufficientemente impermeabile all'acqua, ha subito un grave processo di disfacimento della tessitura muraria. Alcuni mattoni già sono caduti essendosi sfilati dall'intradosso. E questa, purtroppo, è una delle rare cause di collasso di un sistema voltato. La fenomenologia riscontrata nel bastione Santa Croce è visibile, dalla pubblica via, anche nel bastione Moro II (1530-32). Più complessi sono i casi strutturali dei bastioni San Prodocimo (1528 ?) e Moro I (1530-32), ancora oggetto di studio. Il bastione San Prodocimo fu minato dagli occupanti francesi nel 1801. Le cariche esplosive ebbero effetti notevoli riuscendo a disgregare i muri di calcestruzzo delle facce che raggiungono lo spessore di cinque metri. Sono stati eseguiti un attento ri-

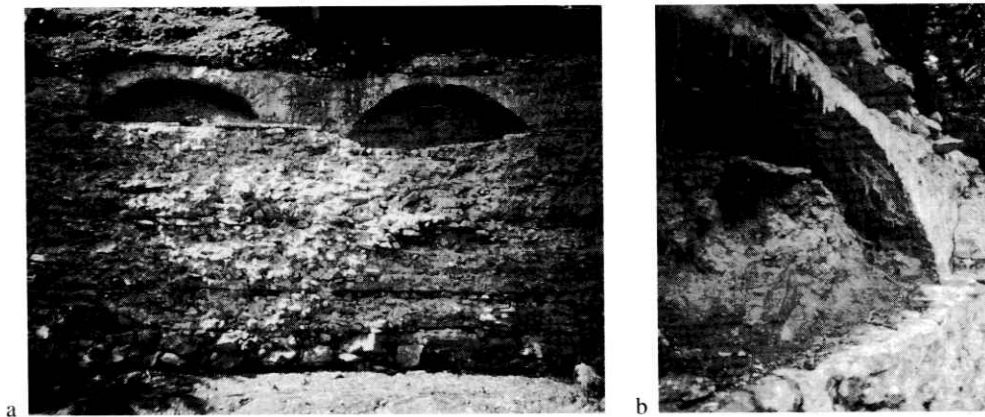


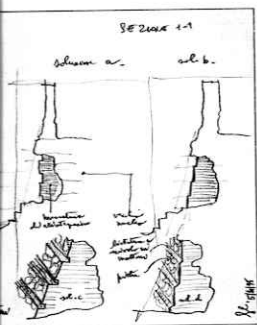
Fig. 11 Volte dei contrafforti delle facce dei bastioni: a) Moro II e b) Moro I.

Fig.12 Casematte del bastione San Prodocimo. Le casematte sono strutture sotterranee passanti.

lievo e alcune "carote" di terreno per il controllo statico che consenta al pubblico (Fig. 10). Analogamente si è verificato lo stato della struttura, dopo il terremoto mondiale, nel 1944. La causa di una precedente esplosione nel bastione San Prodocimo, da attribuirsi a Moro I richiede con maggiore evidenza ambienti è ospitata l'attiva

2.3 Le altre strutture

Oltre ai contrafforti volti, le facce dei bastioni ne comportano altri. Le casematte sono quelle costruzioni aderenti alla cortina di manovra o di ricovero, che consentono la protezione strutturale pressoché avvolta dai muretti di terra, ispezionabili agevolmente per la manutenzione. Semplici e robuste, sono sovente permessi per la loro leggerezza e, soprattutto, di fronte alle coltri di terra e alle cariche, nonostante si tratti d'archi. Sono stati conservati i resti di molti dei metodi conservati. Le cannoniere coperte dalla cortina. Anche



a) proposte per la stesura di un'alternativa, per la sottomu-

a questo applicati.

rinamento" del terrapienamento" del terrapienamento rilevanti funzioni statidel parapetto che, privadi terra non sufficiente di disfacimento della sfilati dall'intradosso. E sistema voltato.

visibile, dalla pubblica sono i casi strutturali dei era oggetto di studio.

esi nel 1801. Le cariche uri di calcestruzzo delle ati eseguiti un attento ri-



oro I.

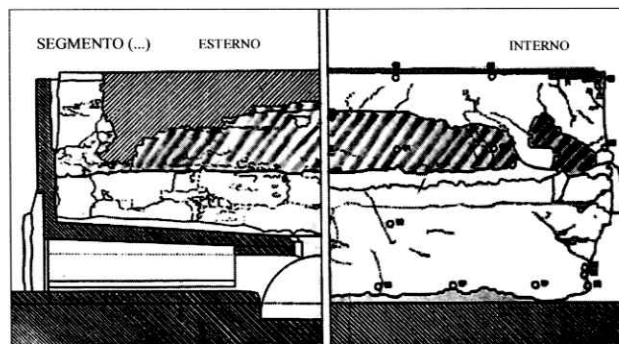


Fig.12 Casematte del bastione San Prodocimo: disgregazione delle facce e rilevamento delle lesioni passanti.

lievo e alcune "carotature" sulle fondazioni, per redigere un progetto di consolidamento statico che conservi gran parte delle deformazioni della struttura, ma che permetta al pubblico la visita dei suoi ambienti sotterranei in piena sicurezza (fig. 10). Analogamente sarà eseguito il rilievo, specialmente orientato a conoscere lo stato della struttura, del bastione Moro I, colpito da bombe durante l'ultimo conflitto mondiale, nel 1944. La tipologia di alcune lesioni farebbe tuttavia pensare ad una precedente esplosione che potrebbe essere stata causata, come per il bastione San Prodocimo, da cariche esplosive poste in cavità interne. Fra i bastioni citati, il Moro I richiede con maggiore urgenza l'intervento strutturale poiché nei suoi ambienti è ospitata l'attività di un Istituto assistenziale.

2.3 Le altre strutture continue

Oltre ai contrafforti voltati, in specie presenti nei bastioni (fig. 11), le mura moderne comportano altri luoghi notevoli con strutture voltate: le casematte, le cannoniere, le gallerie di contromina, le fondazioni a ponte.

Le casematte sono quegli ambienti voltati che, anche a più livelli, nei bastioni o in costruzioni aderenti alle cortine o alle porte urbane, costituivano in origine i luoghi di manovra o di ricovero dei difensori e dei loro attrezzi bellici. La loro conservazione strutturale presenta aspetti simili a quelli dei contrafforti voltati, essendo anch'esse avvolte dai terrapieni. Le casematte hanno tuttavia il vantaggio d'essere ispezionabili agevolmente, seppure non destinate in origine ad una normale frequentazione. Semplici controlli visivi periodici sulla progressione dei dissesti possono sovente permettere di evitare l'allestimento di costosi impianti di monitoraggio e, soprattutto, di accertare la capacità inibitoria rispetto all'acqua dei terrapieni e delle coltri di terra stese sull'estradosso delle volte. Per queste particolarità e nonostante si tratti d'argomenti strutturali, dev'essere ribadita, in tali casi, l'efficacia dei metodi conservativi basati sulla manutenzione programmata (fig. 12).

Le cannoniere coperte sono perlopiù vani voltati con strombatura verso l'esterno della cortina. Anche nei sistemi bastionati più evoluti, ossia in quelli ove l'impiego

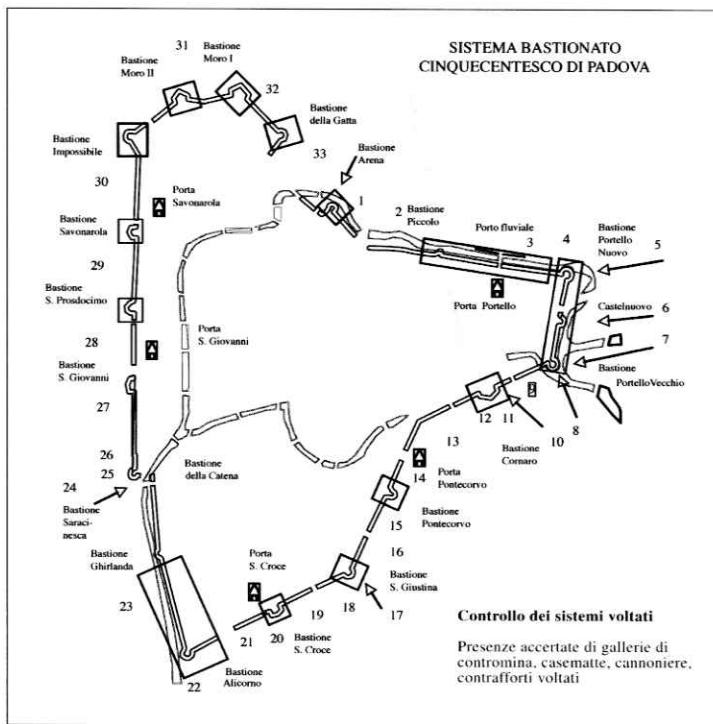


Fig. 13 Presenza accertata di ambienti voltati lungo il sistema bastionato padovano.

della terra è prevalente rispetto ai materiali edili, le cannoniere sono costruite con ridondante uso di muratura ben strutturata. Per questo motivo, a meno che non si presentino casi di grave dissesto per subsidenze o eventi accidentali, lo stato di conservazione delle cannoniere è generalmente accettabile.

Le gallerie di contromina sono cunicoli voltati in muratura che, nel caso dei sistemi bastionati più recenti, ancor'oggi visibili, ad esempio, nella cittadella di Torino, costituiscono - nel sottosuolo e a diversi livelli - reti complesse. La loro funzione, diretta o indiretta, era d'intercettare eventuali scavi di gallerie eseguiti dal nemico per penetrare nella città. I condotti del sistema padovano delineano un circuito relativamente semplice ma, si suppone, completo lungo l'intero perimetro delle mura. Non esiste ancora un vero e proprio rilievo. È stata tuttavia accertata direttamente l'esistenza di tali gallerie, in molti tratti del perimetro, con varie dimensioni e di vario tipo. Esse danno testimonianza di come differenti porzioni delle mura di Padova abbiano avuto forme d'ingegneria militare specifiche secondo l'epoca della loro costruzione o ricostruzione, nel rispetto delle più opportune tendenze dell'arte difensiva, messe a punto durante il trentennio della loro costruzione (fig. 13).

Dall'osservazione diretta dei luoghi sono emersi alcuni problemi conservativi d'ordine generale e specifico. Una condizione incontrovertibile sembra aver pregiudicato la frequentazione al pubblico d'alcuni tratti significativi di gallerie nel settore

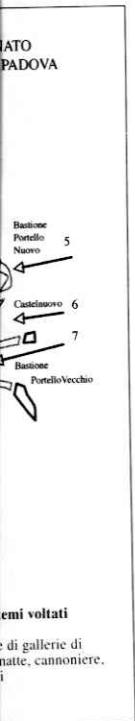


Fig. 14 Una volta della struttura...

nord-est del circuito m...
 Infatti l'attuale regime...
 medio dell'acqua più...
 centesca, con l'effetto...
 tore sud-est, invece, s...
 potranno essere elimi...
 chi domestici fatti defl...
 Sono stati osservati du...
 Croce (fig. 14). L'esist...
 teresse poiché, ad esem...
 servati nelle casematte...

3 Conclusioni

In sostanza, come sem...
 questo specifico ambito...
 ca storica, analisi tecnic...
 cura, condizione necess...
 Questi avranno un car...
 quanto più l'indagine s...
 portata a fondo, con pe...
 La soluzione ideale, te...
 dizioni di stabilità ann...
 grammata" nel tempo, ...
 nascimentali di Padova...
 Un singolare problema...
 mura nel tempo, per ra...
 tuzione di finiture mur...



padovano.

niere sono costruite con
ativo, a meno che non si
cidentalmente, lo stato di con-

che, nel caso dei sistemi
a cittadella di Torino, co-
sse. La loro funzione, di-
e eseguiti dal nemico per
eano un circuito relativa-
perimetro delle mura. Non
certata direttamente l'esi-
rie dimensioni e di vario
ni delle mura di Padova
ndo l'epoca della loro co-
tendenze dell'arte difen-
ione (fig. 13).

problemi conservativi d'or-
e sembra aver pregiudica-
ivi di gallerie nel settore

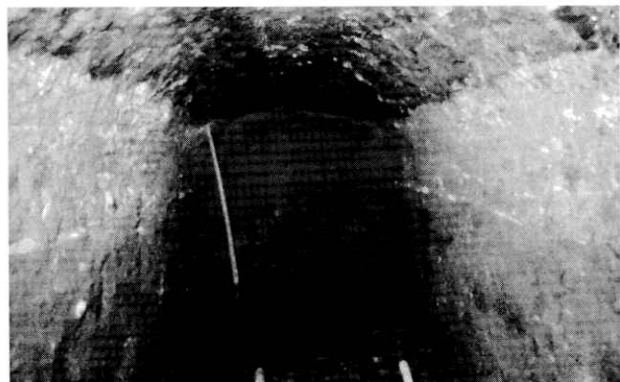


Fig. 14 Una volta della struttura di fondazione del bastione Santa Croce.

nord-est del circuito murario, dove il fiume Piovego scorre a contatto della cortina. Infatti l'attuale regime idraulico delle acque interne della città prevede un livello medio dell'acqua più alto di circa cinquanta centimetri rispetto alla quota cinquecentesca, con l'effetto di un allagamento permanente delle gallerie stesse. Nel settore sud-est, invece, sono stati individuati abusi di carattere igienico-edilizio che potranno essere eliminati con semplici ordinanze amministrative: si tratta di scarichi domestici fatti defluire direttamente nel condotto di contromina.

Sono stati osservati due casi di fondazioni a ponte nel fianco sud del bastione Santa Croce (fig. 14). L'esistenza di questa tipologia nel sistema padovano è d'un certo interesse poiché, ad esempio, potrebbe agevolare la comprensione d'alcuni dissesti osservati nelle casematte del bastione Portello Nuovo e nel bastione Santa Croce stesso.

3 Conclusioni

In sostanza, come sempre avviene nel campo del restauro, si vede come, anche in questo specifico ambito applicativo ed architettonico, la stretta connessione fra ricerca storica, analisi tecnica e funzionale, conoscenza strutturale si ponga quale base sicura, condizione necessaria ma non sufficiente, per la definizione degli interventi. Questi avranno un carattere tanto più spontaneamente conservativo e rispettoso quanto più l'indagine sulla consistenza materiale e figurale del manufatto sarà stata portata a fondo, con perfezionamenti anche in corso di cantiere.

La soluzione ideale, tecnicamente tutt'altro che difficile ma legata piuttosto a condizioni di stabilità amministrativa e finanziaria, è quella di una "manutenzione programmata" nel tempo, già illustrata, sempre con riferimento al caso delle mura rinascimentali di Padova, in un precedente numero di questa stessa rivista.

Un singolare problema critico è quello costituito dalle trasformazioni subite dalle mura nel tempo, per ragioni di perfezionamento delle tecniche difensive. La sostituzione di finiture murarie con altre in terra, da un lato, rappresenta una testimo-

nianza storica di sicuro interesse, dall'altro, introduce elementi di debolezza intrinseca e di più facile deperibilità sotto l'azione degli agenti atmosferici. Da qui lo stimolo a perfezionare ulteriormente le soluzioni conservative, adattandole sapientemente alle realtà dei singoli casi e situazioni¹³.

(Ricevuto: 10, 3, 2003)

Note

1 L'argomento della manutenzione programmata sulle mura di Padova è stato trattato in un precedente numero di questa stessa rivista. Si veda G. Carbonara, M. Berti, *La manutenzione programmata come forma di restauro: il caso delle mura di Padova*, *Materiali e Strutture*, IV (1995), 3, pp. 89-106.

2 Sulle tecniche elaborate da Giacomo Lanteri per la modellazione dei terrapieni nelle fortificazioni si veda anche M. Berti, *Conservazione dei sistemi bastionati cinquecenteschi. Conservazione delle loro superfici in laterizio. Esperienze nella città di Padova*, in *Atti del Convegno di Studi su Le superfici dell'architettura: il cotto. Caratterizzazione e trattamenti*, Bressanone 30 giugno-3 luglio 1992, a cura di G. Biscontin, D. Mietto, Libreria Progetto Editore, Padova 1992, pp. 677-689.

3 G. Lanteri, *Duo libri ... Del modo di fare le fortificazioni di terra intorno alle Città, & alle Castella per fortificarle ...*, appresso Bolognino Zaltieri, Vinegia 1559, p. 64.

4 Si tratta dei cavalieri del baluardo Santa Croce e del baluardo San Martino.

5 C. Promis, *Della origine dei moderni baluardi. Memoria storica IV*, in Francesco di Giorgio Martini, *Trattato di architettura civile e militare*, Tip. Chirio e Mina, Torino 1841, pp. 305-311. Nello stesso testo si confrontano le argomentazioni sulle definizioni di «bastione» e «baluardo», alle pp. 319-326.

6 M.F. Guicciardini, *Della historia d'Italia*, presso Gio. Antonio Vertano, Venezia 1580, Libro VIII, cap. XI, p. 235.

7 G. Maggi, J. Castriotto, *Della fortificazione*

della città, appresso Rutilio Borgominiero, Venezia 1564, Libro III, p. 107.

8 Trascrizione di Raffaello Brenzoni in R. Brenzoni, *Fra Giovanni Giocondo veronese. Verona 1435 - Roma 1515*, Olschki, Firenze 1960, p. 35.

9 Si veda la chiara e completa ricostruzione della figura di Fra Giocondo in V. Fontana, *Fra' Giovanni Giocondo architetto 1433 c. 1515*, Neri Pozza, Vicenza 1988.

10 Cfr. *Le fabbriche civili, ecclesiastiche e militari di Michele Sanmicheli disegnate e incise da Francesco Ronzani e Girolamo Luciolli*, G. Antonelli, Venezia 1832.

11 B. Lorini, *Delle fortificazioni*, presso Antonio Rampazzetto, Venezia 1596, pp. 98-99.

12 G. Maggi, J. Castriotto, cit., pp. 26 e 30.

13 Per alcuni dati richiamati in questo articolo si fa generico riferimento a C. Modena, *Relazione statica e prospezioni geognostiche sul bastione S. Prosdocimo*, 1994 (dattiloscritto presso il Settore Edilizia Monumentale del Comune di Padova). Puntuali argomentazioni di carattere conservativo sono riprese da G. Carbonara, *Bastioni S. Croce e S. Prosdocimo. Relazioni e metodi*, 1993-96 (manoscritto presso il Settore Edilizia Monumentale del Comune di Padova). In relazione ai temi di carattere strutturale, cfr. *Sistema bastionato cinquecentesco di Padova. Programmazione degli interventi di manutenzione e di restauro. Suddivisione in 33 tratti principali con ripartizioni di secondo livello*, Padova 1998-99 (dattiloscritto presso il Settore Edilizia Monumentale del Comune di Padova).

L'Autore:

Maurizio Berti, architetto, Comune di Padova.

Summary

Fifteen years after the construction of the kilometers of earthwork, the implementation of administrative resources is a drastic and urgent priority in most cases. In most cases, the problem of earthwork erosion and structure. The study of military systems, in both technical and modern treatise on interaction. He understands the main problem in a complex condition. As a means of detached construction, both vertical and horizontal. Lanteri proposed six of height, the superimposed cladding core. Sections of and Ferrara technical protects in. As to the vaults built over four a subsidiary consequent

Summary

Fifteen years ago the City Council of Padova (Padua) initiated a programme for the conservation of the city walls, a system of fortifications about eleven kilometres long which had been badly neglected over the preceding decades. The implementation of a maintenance schedule allowed the local administration to face a massive conservation problem relying only on its own resources as the annual routine of inspection and minor works reduced drastically the overall deterioration rate and directed the attention to single urgent problems that required immediate solution and so could receive first priority in the restoration programme.

In most cases, consolidation of the wall structure appears to be the most urgent problem as the exposed brick or stone masonry is in most cases the facing of an earth core and, in the course of time, the earthwork underwent compaction, erosion and other transformations which had a serious impact on the wall structures against which it was built.

The study of the abundant 16th century literature on fortifications shows that military engineering at the time concentrated on the development of defence systems, while for a long time offensive weapon remained relatively unchanged in both technology and effectiveness.

The writer who best illustrates the ideas of the designers and the builders of the modern rampart system was Giacomo Lanteri da Paratico who published a treatise on fortifications in Venice in 1559 and devoted an entire chapter to the interaction between masonry and earthwork.

He underlines the precarious condition of a wall built against an earthwork, the main problem being that the action of the earth on the masonry evolves in time in a complex way, depending on several parameters such as the environmental conditions, the earth compaction and the subsidence of the earth-wall system. As a means to solve the problem he suggests that the earthwork should be detached from the wall by the distance of at least a palm and that the construction should be carried out in layers reinforced with wood positioned both vertically and horizontally, with the aim of reducing vertical deformations. Lanteri prescribed the inclination of the earthwork scarp as one foot in every six of height while the inclination of the masonry had the ratio of one to five. In the superimposition of the two profiles, the greater inclination of the light brick cladding would leave space below allowing an expansion of the earthwork core.

Sections of walls corresponding to this prescription were found in Lucca, Jesi and Ferrara and show the technique of cladding earthworks at its most mature technical level; the earth is settled in its optimal form while the cladding protects it against the action of the environment.

As to the interaction of earth and masonry structures, the important role of the vaults built between the buttresses becomes clear. As Lanteri foresaw, to-day, over four hundred years after construction, the natural compaction has caused a subsidence of the earthwork of at least one tenth of its height and, as a consequence, the vaults built on earth had to support the whole weight of the

*parapet and of the other accidental loads (people, cannon etc.).
To-day the stability of the top of the parapet is a cause of concern because, after the removal of the herring-bone brick cladding that was substituted by an earth cover, it is insufficiently waterproof and is causing a process of disintegration of the underlying masonry; a few bricks have already fallen from the intrados of the vaults (and this is one of the very few things that may cause the collapse of a vault).*

Dinamic cristallizzazi Metod

*L'afflusso di sali so
che portano a danne
il danno non è anco
po. La cristallizzazi
generare, nel mater
sono essere rilevate
In questo lavoro, vie
rizzazione dei fenom
na, indotti su matton
un sale tipico come i
la soluzione salina e
l'Emissione Acustica
matiche. I risultati h
strato particolarment*

1 Introduzione

I materiali porosi, com
terioramento quando in
lità o sali con forme id
zione, cristallizzazione
do il materiale e l'amb
dei parametri microclin
interpretato tramite un
zione salina è influenz
zioni saline all'interno
e tipologia delle superfi