

ROMA E IL TEVERE.

IL CROLLO DEI MURAGLIONI PER LA PIENA DEL 1900: CAUSE E PROVVEDIMENTI

DOI: 10.17401/lexicon.s.3-damelio-federico-cacciotti-grieco

Maria Grazia D'Amelio

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

damelio@uniroma2.it

Francesco Federico

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

federico@ing.uniroma2.it

Martina Cacciotti

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

cacciotti@ing.uniroma2.it

Lorenzo Grieco

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"

lorenzo.grieco@uniroma2.it

Abstract

Rome and the Tiber. The Collapse of Sections of the Embankment During the Flood of 1900. Causes and Measures

The walls enclosing the Tiber in Rome succeeded in preventing the frequent inundations of the city. The constructive boldness and the size of this technological enterprise highlight the experimentation of a complex hydraulic and geotechnical project, whose testing was made possible by a fortuitous event. In December 1900 a flood tested the stability of the structures built so far, causing the collapse of some sections of the embankments, and suggesting the setting up of a statical upgrade. Indeed, as a result of the high river levels, the retaining structures were exposed to exceptional hydraulic forces. Correspondingly, the foundations soils were subjected to large drag forces by the water flowing at high rate, that developed erosive phenomena. The contribution investigates the causes underlying the collapses and analyzes the structural and construction measures that were later adopted to ensure the stability of the embankments.

Keywords

Architecture, Construction, Rome, Tiber, Embankments, Flood, Hydraulic Engineering.

«Per le continue piogge di questi giorni il Tevere torbido, violento e sinistramente ululante passò sotto i ponti, toccandone quasi la sommità degli archi, e trascinando nella sua corsa vertiginosa tronchi d'alberi, pagliai, zolle di terra e bestie morte. [...] Il Foro Traiano, il Foro romano e il Pantheon fin oltre all'obelisco, inondati; anche le tombe reali vennero deturpate dalle acque limacciose. [...] Il peggio fu poi, che, nel calare giù il Tevere, le acque avendo corrose le fondamenta dei muraglioni, che alla sua destra si stendevano dal ponte Garibaldi fino al ponte Cestio, per un bel tratto questi si rovesciarono nel fiume strascinandosi dietro e la terra smossa e gli alberi e i fanali. Fu uno spettacolo orrendo! Infinita gente trasse a vederlo. Lo scoscendimento avvenne il 3 novembre verso le 9 di sera».

«La Civiltà Cattolica», serie XVII, fasc. 1207, Roma, 23 novembre - 6 dicembre 1900.

L'inalveamento del Tevere

Alla fine dell'Ottocento, la canalizzazione del Tevere urbano entro nuovi argini murari e spondali provocò, per molti, una cesura nel rapporto millenario tra Roma e il suo fiume. Tuttavia, anche prima, il corso d'acqua era visibile a tratti, cioè dai ponti e laddove gli edifici sorti per aggregazione lungo il fiume lasciavano posto a discese puntuali, a rive o a

giardini, come quello della villa di Agostino Chigi alla Lungara la cui estensione è registrata nella celebre incisione di Giuseppe Vasi¹.

La narrazione vuole che il fiume di colpo si trovò stretto e nascosto in un profondo profilo golenale artificiale che annullò le sinuosità e le variazioni di ampiezza che lo avevano caratterizzato. Nonostante le critiche, l'intervento riuscì a porre fine ai cronici allagamenti di Roma, dotando la città di uno dei suoi più ambiziosi sistemi infrastrutturali, che «né la Roma degli Imperatori, né la Roma dei Papi» erano riuscite a compiere². Le frequenti inondazioni della città avevano più volte suggerito la regimazione del fiume, per la quale furono elaborati molti progetti a partire dal XVI e XVII secolo. Solo all'indomani dell'annessione di Roma al Regno d'Italia, tra il 27 e il 29 dicembre 1870, una piena straordinaria del fiume di 17,22 m misurati all'idrometro di Ripetta, rese improcrastinabile la decisione di intervenire sulle modalità di controllo e di contenimento delle acque del fiume, al fine di ridurre il rischio di futuri devastanti straripamenti nell'area urbana³. Della piena del 1870, che in molte zone aveva raggiunto il primo piano dei palazzi e oltre sino ai 3,7 m, è stato di recente costruito un modello dinamico del dilagamento nella città (avvenuto nei vari modi, con le acque "tranquille come un lago" o ruscellanti o ancora impetuose come un fiume) per

delinearne l'estensione aerea, volumetrica e temporale, partendo da dati idrografici e topografici⁴.

L'inalveamento del fiume con la realizzazione delle arginature e opere idrauliche complementari durò cinquant'anni. Il cantiere iniziò avendo chiaro l'obiettivo ma non esattamente le scelte precise per raggiungerlo. Si trattava infatti di un'opera complessa per dimensioni territoriali e per tecniche adottate, nonché per impegno economico, chiarificato solo nel tempo, più che imponente per l'imberbe stato italiano (a consuntivo il costo è stato di 105 milioni di lire)⁵. Le competenze interdisciplinari necessarie a quest'impresa colossale, che procedeva lenta nel ventre della città, furono le stesse utili a rileggere e orientare il progetto nel suo compiersi.

Nel 1871, istituita una apposita commissione per valutare i provvedimenti da adottare, furono esaminate differenti proposte progettuali⁶. Alcune prevedevano la deviazione del corso del fiume in un nuovo alveo da costruire fuori dal nucleo urbano (peraltro ridiscusse anche durante l'attuazione del progetto). Altre suggerivano la costruzione di un sistema di arginature murarie per contenere in sicurezza il Tevere nel suo attraversamento della città⁷.

Tra le varie soluzioni, l'assetto ideato dall'ingegnere Raffaele Canevari (1828-1900)⁸, fu ritenuto il più adeguato: esso manteneva inalterato il corso del fiume e affidava la difesa della città alla costruzione di un esteso sistema di arginature e muraglioni, unito a provvedimenti tesi ad aumentare la capacità dell'alveo al fine di consentire il rapido deflusso della corrente di piena⁹.

Infatti, parallelamente alla costruzione dei muraglioni, il primo progetto di Canevari prevedeva l'esecuzione di diverse lavorazioni, finalizzate a modernizzare le infrastrutture fluviali, viarie e fognarie della capitale, riprendendo proposte di secoli precedenti come quelle (1599 e 1608) ipotizzate da Carlo Maderno o da Paolo Ferreri¹⁰. Ad esempio, per un tratto di circa 7 km dalla località Albero Bello nei pressi di Sant'Andrea in via Flaminia al ponte della Ferrovia Roma-Pisa, Canevari suggeriva: la demolizione delle case sul ciglio del fiume, tagli (in alcuni punti anche di 50-60 m), rinterri, sbancamenti e riporti di terreni. Tali operazioni avrebbero consentito di rettificare le rive e ottenere un alveo dalla larghezza costante, al piede dei muraglioni, di 100 m. Inoltre, si prevedevano altri interventi, come: la normalizzazione delle sezioni; la rimozione dei ruderi del ponte Trionfale e di eventuali rottami nell'alveo, nonché dei materiali residui di discariche come quella al Ghetto; lo scavo del fondo, da Ripetta fino a Porta Portese, per ottenere una pendenza di 0,40 m per km; il rialzamento delle quote del piano urbano fino a 1,20 m sopra il livello della piena appena avvenuta; la canalizzazione sotterranea delle acque di superficie.

Sebbene economicamente più gravoso di altre ipotesi valutate, il progetto di Canevari comportava vantaggi anche su altri fronti. Infatti, il piano ipotizzava una canalizzazione degli scarichi fognari mediante collettori paralleli alle sponde, potenziava la rete viaria tramite la creazione dei Lungotevere (intesi come un sistema di arterie stradali larghe 14 m affiancati da percorsi pedonali alberati e da una quinta costruita porticata nei tratti Vallati e Sanzio, poi ineseguita) e garantiva la navigazione del fiume. Infine, tramite la costruzione di banchine su tutto il tratto urbano, aumentava le aree per l'attracco in linea di imbarcazioni e per lo svolgimento di attività mercantili, particolarmente ridotte dopo la chiusura del porto di Ripetta¹¹. La sistemazione delle sponde, di cui i muraglioni costituiscono la parte più visibile, comprendeva in realtà un più vasto sistema di arginature, lungo 31 km, di cui 16 km in sponda destra e 15 km in sponda sinistra, cui vanno aggiunti altri 14 km di barriere lungo gli affluenti del Tevere. Presupposto della creazione di tale sistema difensivo era quello di lasciar invariati il tracciato dei tronchi a monte e a valle del tratto urbano, la cui portata era modificata mediante bacini di espansione¹². Nel tratto centrale, era prevista la costruzione di nuovi argini lungo entrambe le sponde del fiume, dai Sassi di San Giuliano all'Acqua Acetosa fino all'area in prossimità della basilica di San Paolo, secondo sei tipologie, differenti per altezze, geometrie e materiali. In breve, lungo il tratto urbano gli argini erano pensati, per il loro equilibrio, a sponda verticale verso il terrapieno e inclinata verso l'esterno (I-IV tipo); da Marmorata alle mura di Roma (850 m) gli argini erano modellati con una scarpata a 45° rivestiti da blocchi di tufo (V tipo); dalle mura allo sbocco al mare (10 km) la golena era sistemata con terrapieni lasciati a vista (VI tipo) [fig. 1].

Lungo il tratto centrale, dove l'alveo del fiume era limitato dallo sviluppo urbano circostante, i muraglioni presentavano una sezione trapezoidale, con la parete verticale verso il terrapieno di altezza variabile da 10 m a 12 m e la parete verso il fiume inclinata con rapporto 1 a 6 [fig. 2].

La geometria delle sezioni era giustificata dal fatto che le acque,

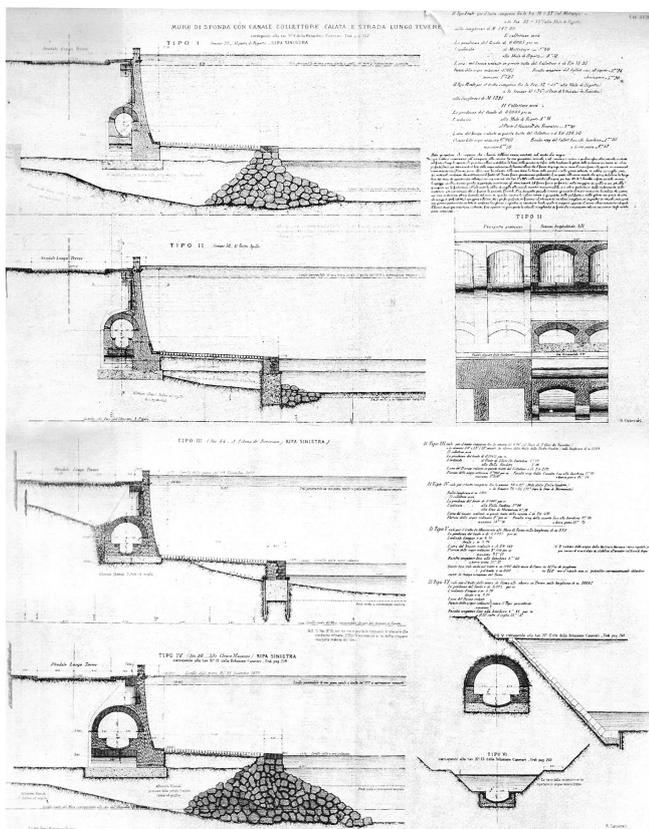


Fig. 1. Tipi di muri di sponda e canale collettore proposti nel progetto di Canevari, 1875 (da P. Frosini, *Il Tevere...*, cit., tavv. XVIII A e XVIII B).

elevandosi nell'alveo, avrebbero esercitato una contropinta che avrebbe avuto per effetto quello di spostare la curva delle pressioni verso l'interno. I muri sarebbero stati realizzati in pietrame di tufo, legati da malta pozzolanica, e rivestiti da un mantello di travertino a grandi blocchi con apparecchiatura isodoma, dallo spessore medio di 30 cm. Due collettori fognari, realizzati a tergo del muro, avrebbero raccolto le acque di scarico, a sinistra dal fosso della Rondinella (Parioli) a Mezzo Cammino per 10 km e a destra da piazza d'Armi alla Magliana per 11 km; al piede del manufatto, le banchine, profonde circa 8 m, avrebbero consentito di usufruire di attracchi sul fiume, oltre a impedire danni provocati dai gorghi.

Il progetto Canevari, tuttavia, non era definitivo e, negli anni che precedettero l'inizio dei lavori, subì modifiche consistenti. In particolare, cambiarono l'assetto del tratto dell'Isola Tiberina e la configurazione dei ponti Sant'Angelo, Sisto e Cestio, per i quali si ipotizzarono parziali demolizioni per aprire arcate più ampie¹³. Che il progetto non fosse puntualmente applicabile in ogni sua parte era evidente ancora nel 1890 quando, a oltre un decennio dall'inizio dei lavori, si rese necessario un ulteriore, considerevole finanziamento, poiché «la previsione [...] non aveva avuto per base un progetto definitivo ma solo un concetto generico dello scopo, senza una esatta idea delle opere con cui lo scopo si sarebbe conseguito»¹⁴. Addirittura qualche anno prima, nel 1882, si valutava ancora la fattibilità di una soluzione ibrida, poi esclusa, con la deviazione di parte del corso del fiume per i prati di Castello. Nel frattempo, i lavori degli argini avevano preso l'avvio nei primi mesi del 1877. Iniziate nei pressi della Farnesina, dove si aveva una strozzatura dell'alveo ridotto a 58 m, le opere furono affidate a 23 ditte mediante appalti e subappalti, proseguendo con quattro serie di lavori ottimizzati in corso d'opera. I cantieri di demolizione, scavo e costruzione, affollarono le sponde del Tevere per diversi decenni. Il compimento del progetto fu infatti rallentato da difficoltà tecniche e amministrative. Queste erano legate soprattutto alle lungaggini negli espropri, in particolare per quelli effettuati in prossimità dell'ospedale e del manicomio di Santo Spirito, oltre alle difficoltà economi-

che che, già a dicembre 1877, avevano portato a una rideterminazione delle priorità nelle opere da realizzare.

Per esempio, contestualmente all'adozione delle fondazioni dei muraglioni di sponda – ad aria compressa mediante cassoni metallici con riempimento in calcestruzzo di selce – il Consiglio superiore dei Lavori pubblici nel 1877 aveva deciso di differire la costruzione delle banchine¹⁵. Previste al piede sia per la protezione degli argini sia per gli attracchi, le banchine furono sostituite con presidi puntuali, realizzati con parziali sassaie nei tratti più esposti allo scalzamento per l'urto della corrente. Le sassaie avrebbero dovuto costituire il “nucleo delle future banchine”, da costruire in tempi successivi, sebbene al 1900 non fossero ancora state realizzate¹⁶.

La piena del 1900

La costruzione dei muraglioni lungo il tronco urbano non era ancora terminata quando, tra il novembre e il dicembre del 1900, la città fu colpita da piogge torrenziali.

Nei cinque giorni precedenti al 2 dicembre si misurarono

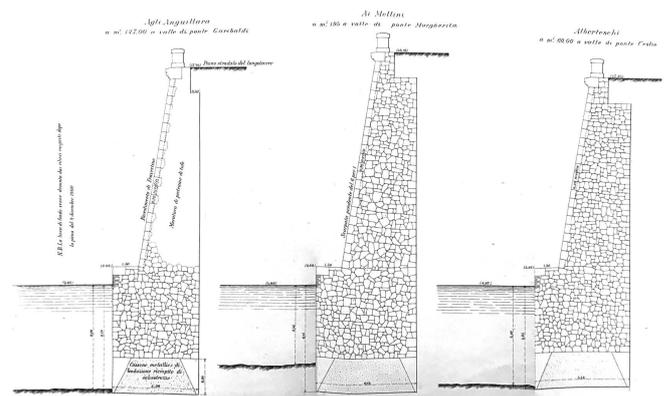


Fig. 2. Sezione del muraglione in sponda destra del Tevere (da L. Cozza, *La riattivazione del ramo del Tevere...*, cit., tavola allegata alla relazione della seconda sotto-commissione).

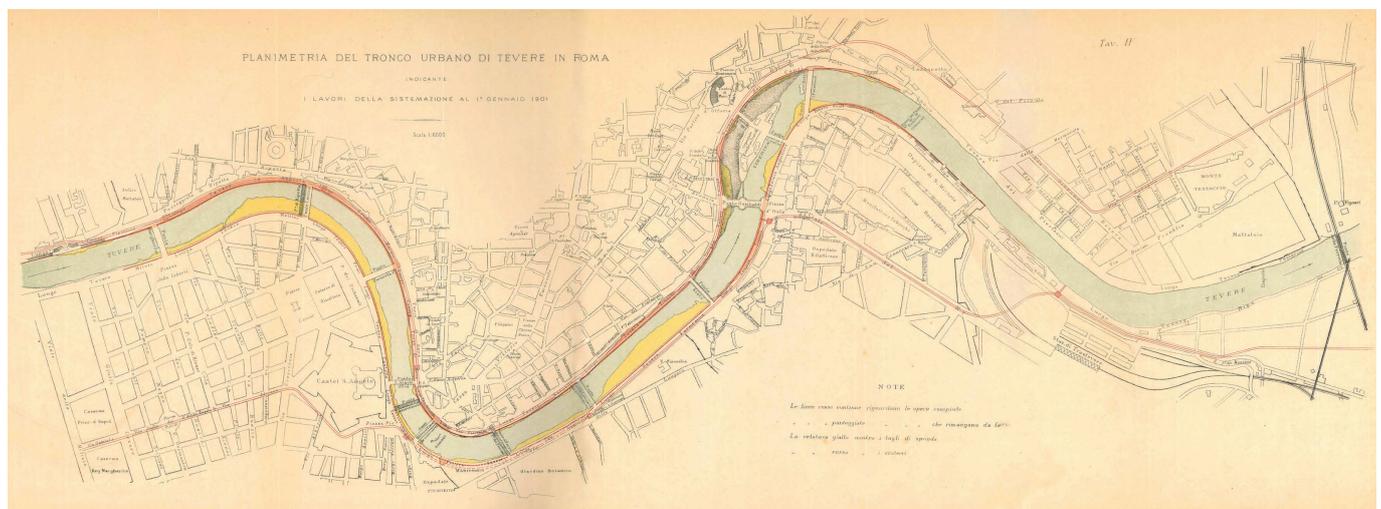


Fig. 3. «Planimetria del tronco urbano del Tevere in Roma indicante i lavori della sistemazione al 1° gennaio 1901» (da Atti della Commissione nominata dal Ministero dei Lavori Pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere, cit., Tav. II).

388,8 mm di pioggia e, nel solo bacino del basso Tevere, l'altezza di pioggia fu circa 150 mm [fig. 3]¹⁷. L'alluvione fece registrare un massimo del livello delle acque il 2 dicembre, quando l'idrometro di Ripetta segnò quota 16,17 m. La piena del 1900 raggiunse un livello inferiore rispetto alla piena del 1870, grazie alle opere realizzate che ridussero di circa 1,35 m l'altezza cui le acque sarebbero salite [fig. 4]; tuttavia gravò su un alveo fluviale in cui le acque erano già ingrossate per le precipitazioni dei giorni precedenti. Il Tevere era infatti ricolmo delle acque piovute nel basso bacino, che non riuscivano a essere smaltite prima dell'afflusso dalle piene dall'alto bacino. Per il deflusso ottimale delle acque il fiume avrebbe avuto bisogno di spazio maggiore di quello che l'alveo offriva prima e dopo ponte Cestio. Soprattutto, il deflusso era limitato dall'ostruzione nel ramo sinistro dell'Isola Tiberina, che formava un'ampia curva più lunga della destra di 1/7 ed era pressoché totalmente interrato. Per questo motivo, l'enorme massa d'acqua transitò interamente nel ramo destro, che presentava una sezione ridotta, soltanto 70 m circa, rispetto al tratto a monte che era stato allargato sino a 100 m. Di conseguenza, le forti correnti scavarono con impeto il fondo, originando gorghi e vortici turbolenti che insidiarono la stabilità dei muraglioni¹⁸. Il contenimento delle acque dovuto alla presenza dei muraglioni produsse un incremento della velocità di deflusso; l'in-

cremento di velocità, a sua volta, indusse l'erosione dei terreni del fondo alveo, al piede del muro, sino al raggiungimento dei piani di posa delle sottofondazioni [fig. 5]. I danni più gravi, visibili nel corso della piena e durante la fase di ritiro delle acque, avvennero in corrispondenza dell'Isola Tiberina sulla sponda destra. Essi interessarono tre tratti dei muraglioni dall'andamento quasi rettilineo, investiti dall'urto della corrente che il gomito della sponda sinistra a monte di ponte Garibaldi aveva prodotto, il cui impeto era accresciuto dalla grande pila del ponte stesso che obbligava le acque a incanalarsi nella luce di destra¹⁹. Al lungotevere Mellini, ovvero il tratto lungo 545 m tra ponte Margherita e ponte Cavour, si verificarono lesioni con andamento verticale, specificamente fessure di 4-5 mm aperte in corrispondenza dei giunti dei blocchi di travertino del paramento; tali lesioni furono monitorate tempestivamente dal Genio Civile con biffe che rivelarono movimenti della struttura anche dopo l'evento disastroso. Presso il lungotevere degli Anguillara, cioè nel tratto di 240 m da ponte Garibaldi a ponte Cestio, erano crollati 125 m di muraglione. La porzione relitta, danneggiata e traslata rispetto la posizione originaria, fu in parte demolita e in parte incamiciata nella ricostruzione del presidio murario [fig. 6]²⁰. Al lungotevere degli Alberteschi, ovvero nel tratto di 117,76 m tra ponte Cestio e ponte Palatino, verso il centro si era verificato uno spostamento della struttura, superiore al metro, che non si era interrotto dopo l'evento²¹.

Dalla descrizione dei danni emerge inoltre che, al colmo della piena, al lungotevere degli Anguillara, si era formata al livello stradale (17,26 m) una grande depressione circolare di oltre 10 m di diametro, in prossimità della scala a monte di ponte Cestio. Essa si era propagata e si era approfondita rapidamente fino a raggiungere oltre sei metri di dislivello dal piano del lungotevere²². La depressione era stata causata dagli scalzamenti del fondo, provocati da gorghi profondi anche oltre 9 m

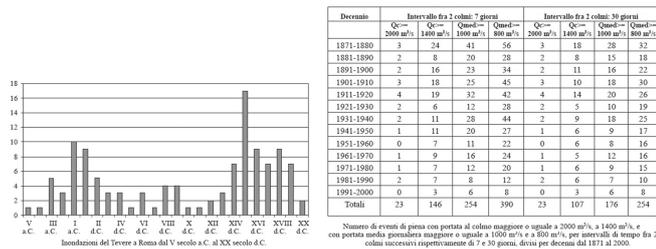


Fig. 4. Eventi di piene del Tevere dal 1870 ad oggi.

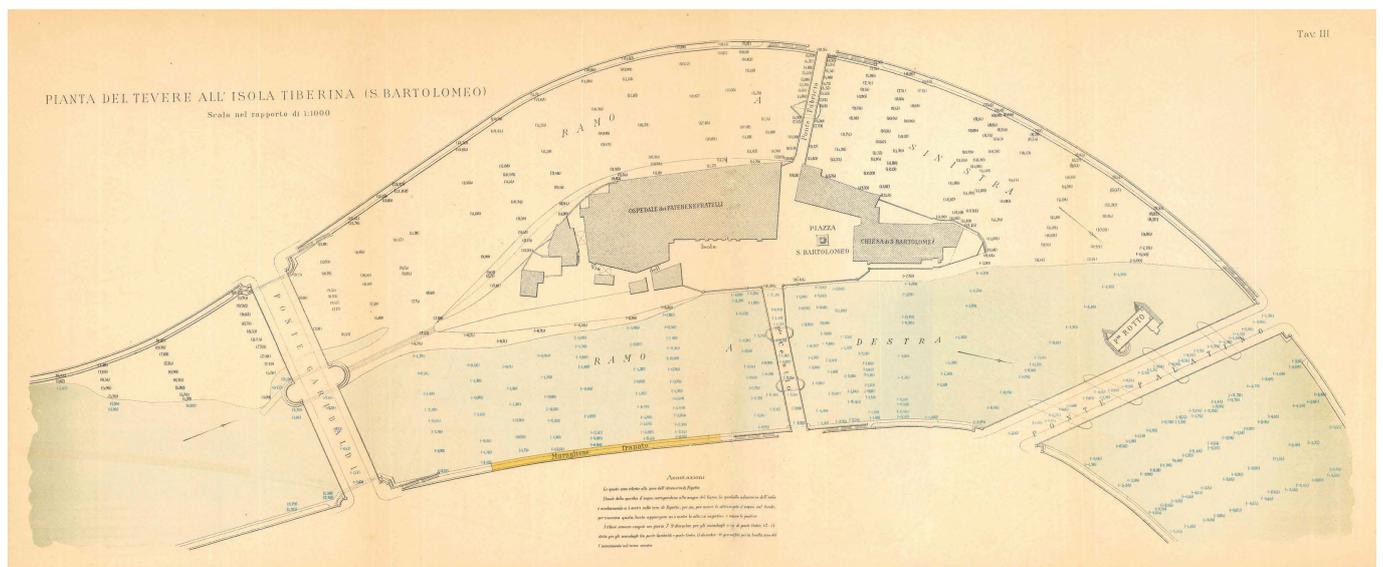


Fig. 5. «Pianta del Tevere all'Isola Tiberina (S. Bartolomeo)» (da Atti della Commissione nominata dal Ministero dei Lavori Pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere, cit., Tav. III).

originati sotto il piano di posa della fondazione dei muraglioni. Piano di posa che, nel tratto del lungotevere degli Anguillara, era posto dai 6 ai 9 m sotto il piano di magra, su un fondo costituito da sabbia finissima mescolata ad argilla. Sempre nello stesso tratto, dopo il ritiro della piena, attraverso l'apertura di un ampio squarcio nei muraglioni, la terra retrostante era scivolata nel fiume. Alla depressione della strada, dopo qualche ora era seguita la spaccatura e la rotazione del muraglione che, diviso in tre enormi ammassi murari,

era crollato nel fiume, ponendo a nudo il retrostante terrapieno che minacciava di scoscendere [fig. 7].

I tratti presentavano caratteri pressoché comuni, considerato che il tipo di muraglioni adottato era il medesimo (vale a dire a sezione trapezia, con la parete verso il terrapieno verticale, mentre l'esterna inclinata di 1/6) con la sola altezza diversa (nel tratto fra i ponti Garibaldi e Palatino il presidio murario decresceva da 12 a 10,60 m e nel tratto del lungotevere dei Mellini da 11,62 a 12,11 m).

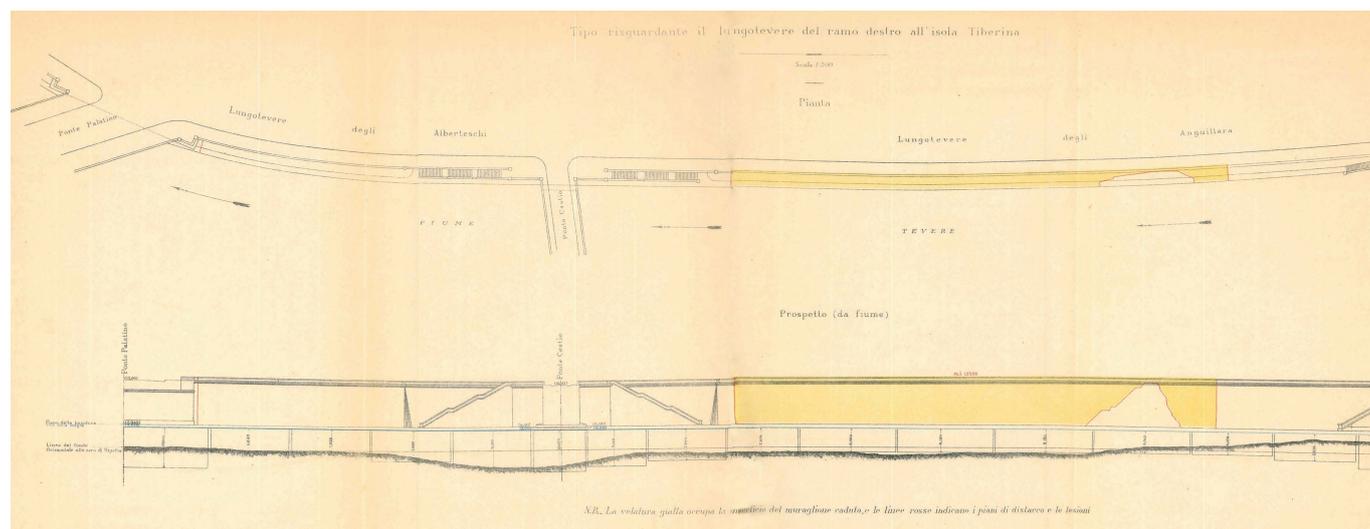


Fig. 6. «Tipo riguardante il lungotevere del ramo destro all'Isola Tiberina» (da Atti della Commissione nominata dal Ministero dei Lavori Pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere, cit., Tav. IV).

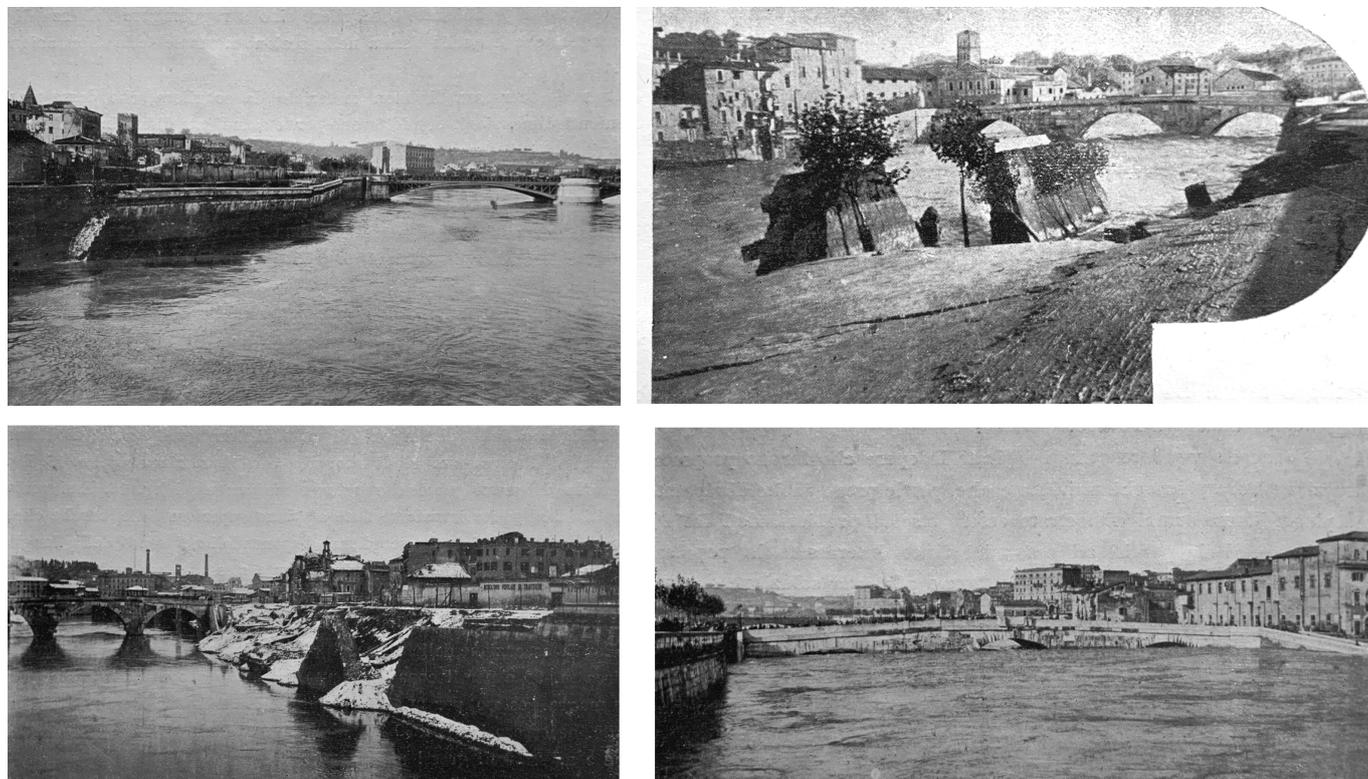


Fig. 7. Foto di Dante Paolucci da «L'illustrazione Italiana», XXVII, 50, 16 Dicembre 1900.

Per comprendere le cause del crollo dei tratti sopra descritti, una commissione nominata all'indomani del disastro, ne aveva indagato la consistenza, vagliando la qualità d'esecuzione, per individuare errori di progettazione e negligenza nella conduzione dei lavori.

Vista l'impossibilità di verificare la qualità costruttiva delle fondazioni con indagini puntuali, la commissione dedusse la loro corretta realizzazione dalla perfetta continuità, suggerita dalla precisione dell'apparecchiatura isodoma del rivestimento in travertino.

Diversamente, per lo spiccato della struttura furono condotte indagini estese volte ad accertare la realizzazione a regola d'arte mediante saggi sulle porzioni di muro crollate e su quelle rimaste in piedi. I saggi rivelarono che i materiali erano di ottima qualità, che le malte avevano fatto completamente presa e che la muratura in pietrame di tufo era stata fabbricata senza vacui. La stessa modalità del crollo anticipava queste conclusioni, visto che i muri non si erano sgretolati o frantumati, ma caduti in grandi pezzi.

Il crollo dei Muraglioni

L'analisi geotecnica condotta a posteriori, sulla base dei parametri e dei sondaggi ricavati dalla letteratura e dalle fonti dell'epoca, ha permesso di ricostruire con sufficiente attendibilità le fasi del crollo.

Per analizzare la stabilità dei muraglioni è stato necessario conoscere la geometria e la natura degli stessi, le caratteristiche meccaniche delle terre e dei terreni di fondazione, la successione degli eventi. Dalle planimetrie disponibili si evince che in corrispondenza delle zone sede di dissesto, i collettori furono realizzati a notevole distanza dal muraglione e che nel lungotevere degli Anguillara furono eseguiti imponenti tagli di sponda (in giallo), senza aggiunta di materiale di riporto [fig. 8].

Sono state svolte numerose simulazioni numeriche a ritroso di stabilità globale concentrando l'attenzione sulla sezione tipo del muraglione nel lungotevere degli Anguillara perché una estesa porzione di tale manufatto crollò per rotazione nel 1900. I dati numerici dimensionali considerati sono l'altezza della sezione di muro di tufo dallo spiccato di fondazione pari a 11,24 m (H_{tufo}) e la larghezza di 3,4 m a livello della risega, l'altezza complessiva del muro pari a 18,56 m (H_{muro}), comprendendo l'altezza della fondazione in tufo (5,36 m: H_{fond}) e quella della sottofondazione in calcestruzzo di calce e selce (2,0 m: H_{sfond}); la larghezza della sottofondazione era pari a 4,9 m (B).

Le analisi sono state condotte considerando la presenza di sabbie limose (SL) fino alla profondità 13,9 m dal piano di campagna e di argille limose (AG) del fondo alveo. Gli altri parametri sono il livello del fiume Tevere nella condizione di magra (5,78 m sullo zero di Ripetta) e la superficie libera della falda nel terrapieno orizzontale, e con livello coincidente con quello della formazione alluvionale (3,24 m sullo zero di Ripetta). Nelle ipotesi ammesse (condizione di magra), i coefficienti di sicurezza allo scorrimento, al ribaltamento e al carico limite devono ovviamente risultare superiori all'unità, rappresentate negli schemi qui pubblicati [fig. 10].

Il muraglione aveva conservato la sua stabilità per i primi 16 anni dalla costruzione, anche se, presumibilmente, con ridotti margini di sicurezza riferiti ad alcuni Stati Limite. Infatti, considerate tutte le condizioni sfavorevoli, i calcoli eseguiti nella condizione di piena del 1900 avevano dimostrato un sottodimensionamento dei muraglioni nello spessore alla risega, che avrebbe dovuto essere di 5,71 m contro quello realizzato di soli 3,40 m²³. Il calcolo fu eseguito dai tecnici della commissione in una sezione a valle di ponte Garibaldi, a 127 m dal suo asse, vicinissima al punto di rottura.

La differenza era non lieve, ma si contava sul fatto che la concorrenza di tutte le condizioni sfavorevoli, sebbene possibile in astratto, fosse poco probabile, tanto che i muraglioni avevano già resistito in situazioni peggiori di quelle previste in fase di progettazione

Di conseguenza, le analisi sono state correlate a condizioni ordinarie di piena adottando valori tipici dei parametri fisico-meccanici dei terreni di fondazione e delle terre del terrapieno desunti dalla letteratura tecnica [fig. 9].

Secondo i rapporti dell'epoca, la rovina del tratto di muraglio-

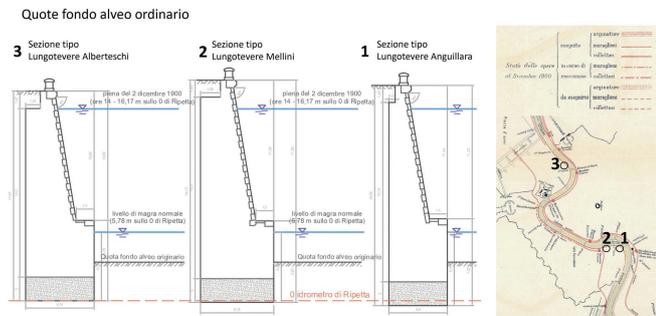


Fig. 8. Caratteristiche dei muraglioni costruiti dopo il 1870 e individuazione delle tipologie sulla pianta raffigurante lo stato dei lavori di sistemazione del Tevere a dicembre del 1900 (da G. Sacheri, La sistemazione del Tevere Urbano, cit., 16, tav. XIV, fig. 1).

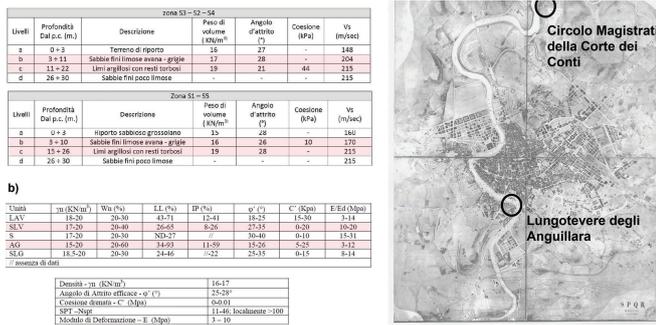


Fig. 9. Risultati indagini geonostiche riportate nel "Seminario di Studio" Interventi di ripristino spondale negli alvei fluviali: un esempio applicativo sulla sponda sinistra del fiume Tevere, Circolo Magistrati della Corte dei Conti - 3 dicembre 2014; b) Parametri geotecnici rappresentativi delle unità dei depositi alluvionali del Tevere (da Corazza et alii e da Campolunghi et alii, 2007, 2008). LAV: limi argillosi verdastri; SLV: sabbie limose e limi sabbiosi verdastri; S: sabbie medio grossolane; AG: argille limose più o meno torbose; SLG: sabbie limose e limi sabbiosi grigiastri, Riporti. Sulla destra: individuazione delle aree relative al Circolo Magistrati e al Lungotevere degli Anguillara sulla Pianta di Roma disegnata dal 3° Genio militare nel 1900.

ne degli Anguillara fu dovuta al profondo scalzamento della fondazione, indotto dall'erosione dell'alveo, almeno fino alla quota del piano di posa, e alla corrispondente insufficienza dei richiesti margini di sicurezza statica del manufatto. È importante anche sottolineare che il crollo del muraglione non si manifestò in concomitanza del colmo della piena, bensì durante il suo deflusso.

L'innesco e l'avanzamento dei fenomeni erosivi in fondazione, manifestati con la depressione del terrapieno nella condizione di colmo, causato dal progressivo abbassamento della quota del fondo alveo a ridosso del muraglione fino a raggiungere il piano di posa della fondazione, contestualmente alla riduzione delle azioni idrauliche (decremento della spinta stabilizzante) e al possibile incremento delle tensioni efficaci nel terrapieno di monte per condizioni di parziale saturazione (incremento della spinta destabilizzante), determinarono la riduzione dei margini di sicurezza al ribaltamento, sino al raggiungimento della condizione di collasso, quando il livello del Tevere era sceso a 10,75 m sullo zero di Ripetta (inferiore al livello max 16,17 m).

La possibile evoluzione del fenomeno può essere così sinteticamente descritta:

nella condizione di colmo della piena, le azioni della corrente fluviale e del terreno di fondazione risultano stabilizzanti per ciascun stato limite;

in tale condizione di colmo (16,17 m sullo zero di Ripetta), caratterizzata da una marcata azione stabilizzante nei confronti del muraglione, si innescano tuttavia i fenomeni erosivi in fondazione, denunciati dall'avvallamento del terrapieno. Quest'ultimo non manifesta spostamenti e condizioni di degrado, lesioni osservabili;

la riduzione della quota del fondo alveo (erosione), fino al raggiungimento della quota del piano di posa della fondazione, e la progressiva riduzione del livello della piena fino a 10,75 m sullo zero di Ripetta, rispettivamente annulla l'azione stabilizzante esercitata dallo strato di valle del terreno di fondazione (azione passiva) e riduce l'azione stabilizzante del livello idrico nell'alveo;

la progressiva riduzione dei coefficienti di sicurezza, fino al valore unitario, determina il collasso della struttura [fig. 11].

Le analisi eseguite attraverso schemi semplificati hanno permesso di individuare e definire quantitativamente il ruolo dei fattori dominanti nel crollo del muraglione, valutandone inoltre l'effetto delle possibili modifiche, quale la progressiva erosione del terreno al piede del muro (profondità di erosione "d") che produce una riduzione dei coefficienti di sicurezza; il livello di piena che al colmo produce una marcata azione stabilizzante nei confronti del muraglione, mentre per livelli inferiori, esercita una minore azione stabilizzante.

In definitiva, la combinazione di questi due fattori potrebbe avere determinato il crollo del muraglione, per raggiungimento degli Stati Limite corrispondenti al carico limite del sistema fondazione - terreno e/o al ribaltamento [fig. 12].

Per indagare su tale condizione, è stato svolto un ciclo di analisi, considerando costanti le azioni agenti (peso proprio, spinta, livello del fiume a quota 10,75 m sullo zero di Ripetta). Risulta significativa la riduzione del coefficiente di sicurezza

globale al carico limite, in funzione della profondità di erosione "d", con raggiungimento delle condizioni geotecniche di rottura per carico limite del sistema muraglione-fondazione-terreno, per "d" pari circa a 3,0 - 3,4 m.

La rovina del muraglione avvenne dove si concentrarono le peggiori condizioni idrauliche, per molteplici motivi.²⁴ Oltre a mancare in quel tratto, come del resto ovunque, le indispensabili banchine di presidio al piede dei muraglioni, l'erosione del fondo, che non aveva le stesse caratteristiche qualitative di

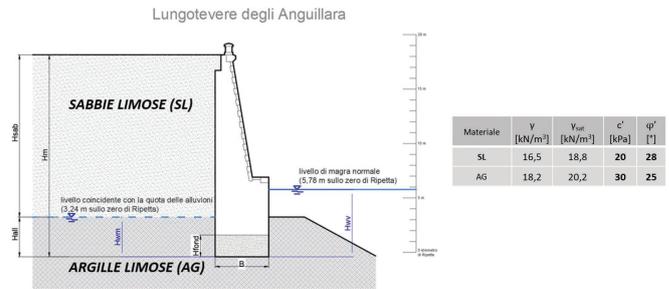


Fig. 10. Ipotesi condizione iniziale del sistema geotecnico e parametri fisico-meccanici delle terre e dei terreni a contatto con il muraglione degli Alberteschi.

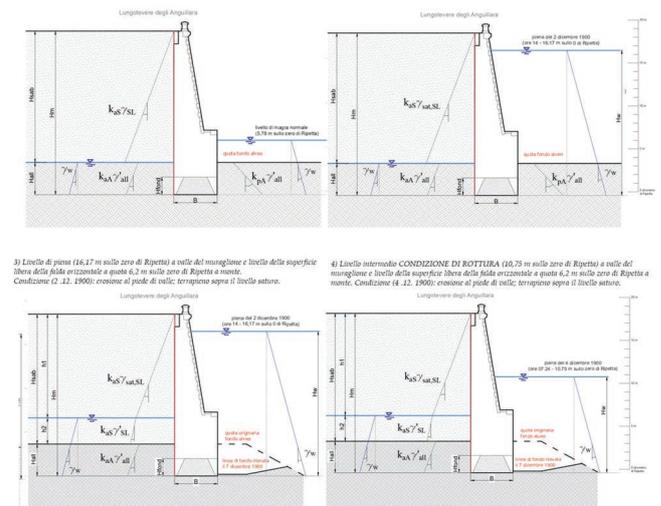


Fig. 11. Evoluzione della corrente fluviale e dell'erosione al piede - piena 1900.

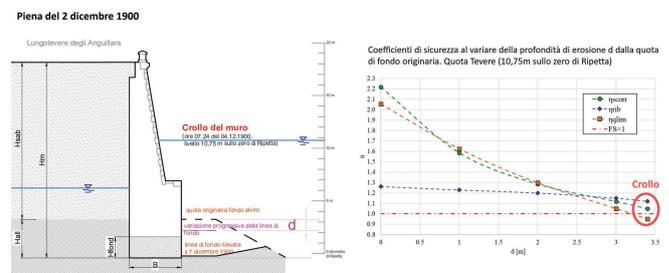


Fig. 12. Stima delle condizioni di sicurezza del muraglione dell'Anguillara durante la fase di decrescita del livello del fiume sino a 10,7 m dallo zero di Ripetta (erosione progressiva del fondo alveo sino al piano di fondazione).

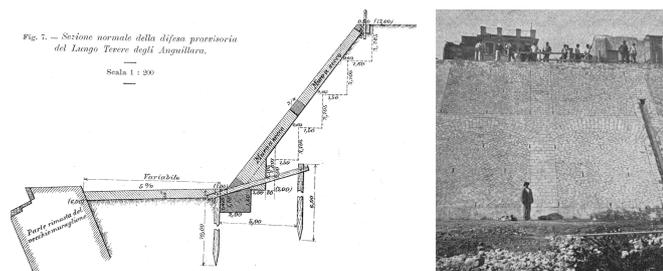


Fig. 13. A. Sezione normale della difesa provvisoria del Lungo Tevere degli Anguillara. B. Vista del muro di difesa (da L. Cozza, La riattivazione del ramo del Tevere, cit., p. 14).

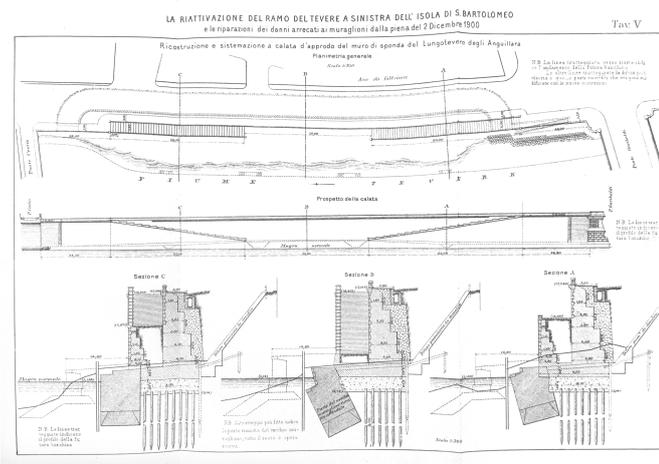


Fig. 14. Ricostruzione e sistemazione a calata d'approdo del muro di sponda del Lungotevere degli Anguillara (da L. Cozza, La riattivazione del ramo del Tevere, cit., Tav. V). (da L. Cozza, La riattivazione del ramo del Tevere, cit., p. 14).

un terreno di riporto, era accresciuta dalla riduzione della larghezza dell'alveo da circa 100 m a circa 70 m, ossia al solo ramo destro dell'Isola Tiberina, nonché dai moti vorticosi che, generati dal pilone centrale di ponte Garibaldi, colpivano con violenza il muraglione agli Anguillara. Dopo il crollo di quest'ultimo, fu realizzato un sostegno di difesa provvisorio, rivestendo le terre franate con una scarpa di pilastri collegati da archi in muratura di malta, e riempiti da una muratura in pietrame di tufo a secco [fig. 13].

La ricostruzione

L'opera di arginatura del Tevere aveva comportato un tale coinvolgimento economico e politico che la rovina del tratto tra ponte Garibaldi e ponte Cestio, in aggiunta a ulteriori lesioni puntuali di grado minore, sollevò una accesa polemica circa l'operato dei tecnici e delle imprese appaltatrici responsabili dei lavori. La commissione d'inchiesta chiamata a esaminare le cause del crollo fu incaricata anche di accertare le eventuali responsabilità in fase di progetto e di esecuzione, nonché di individuare i provvedimenti per riparare i danni e impedire il ripetersi degli eventi²⁵.

Riguardo le cause, si determinò che i danni fossero ascrivibili unicamente all'erosione dell'alveo e alle ridotte altezze delle basi delle fondazioni, peraltro appoggiate su un fondo "mobile" (propriamente leggero, sciolto e sabbioso) quale quello del Tevere, non compensato da alcun presidio. Venne dunque escluso dolo «tanto nello studio, nella compilazione e nell'esecuzione dei relativi progetti, quanto da arte delle imprese»²⁶. Inoltre, risultò evidente che i fenomeni vorticosi si fossero manifestati solo dopo la costruzione degli argini. Di qui la convinzione che fosse sufficiente intervenire sulle fondazioni,

Ripristino e rinforzo del muro di sponda del Lungotevere degli Alberteschi

Sezione in corrispondenza di uno dei contrafforti

Sezione sull'asse di uno degli archi

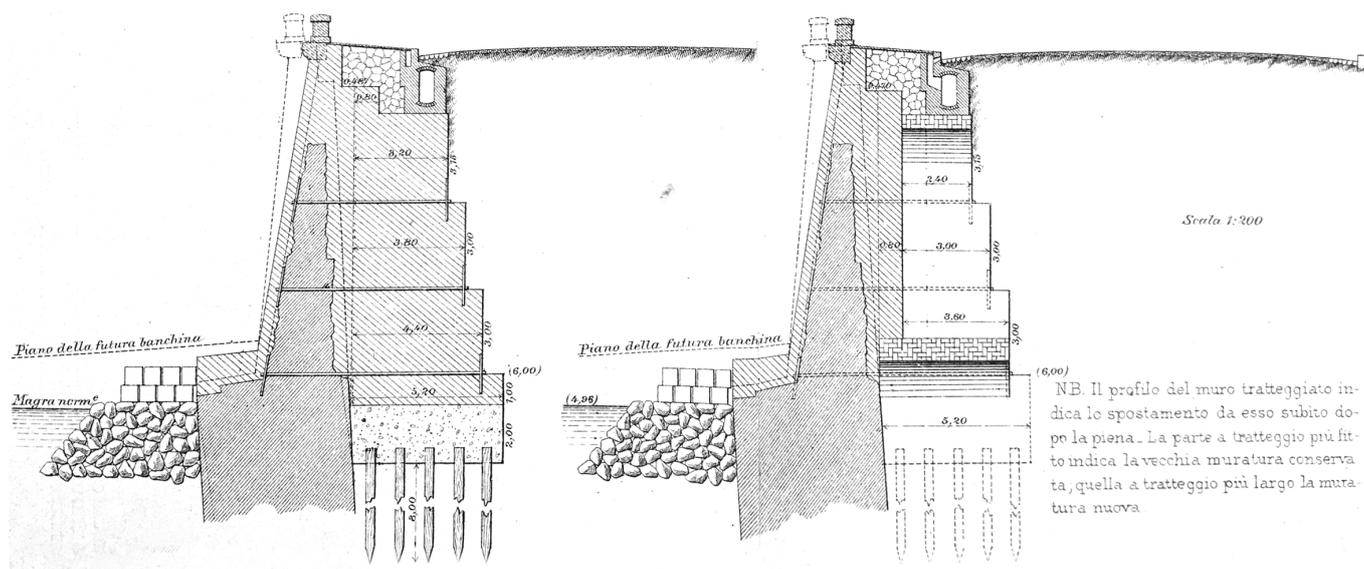


Fig. 15. Ripristino e rinforzo del muro di sponda del Lungotevere degli Alberteschi: sezione in corrispondenza dei contrafforti (da L. Cozza, La riattivazione del ramo del Tevere, cit., Tav. IV).

anche con strutture di protezione ridotte in altezza, «era quasi universale, anche presso i tecnici più competenti»²⁷.

L'alluvione fu un severo collaudo delle opere realizzate ed evidenziò l'insufficienza nel garantire adeguati margini di sicurezza in situazioni critiche. Gli eventi che ne seguirono sollevarono perplessità sul progetto, o meglio su alcune decisioni prese per economia del cantiere, e si arrivò a ventilare l'idea dello sbancamento dell'intera Isola Tiberina. In effetti, la valutazione dei danni determinò modifiche tecniche alle opere in completamento e a quelle già realizzate, per impedire futuri danni ai muraglioni nel tratto urbano²⁸. Soprattutto, fu ripensata la configurazione del tratto nei pressi dell'Isola Tiberina, cioè quello più esposto ai rischi²⁹.

Dapprima vennero condotti lavori d'urgenza e riparazioni provvisorie, come la riduzione del carico del terrapieno a tergo dei muraglioni, reso molle dall'acqua, che attraverso gli interstizi dei cassoni esercitava una notevole spinta agendo come causa secondaria, ma concomitante con lo scalzamento³⁰. Al lungotevere degli Anguillara furono rimosse le terre franate e stabilizzate a scarpata quelle rimaste. Il terrapieno fu rivestito da muratura di pietrame di tufo a secco, stabilizzata da una intelaiatura di pilastri e archi. Il muro di sponda fu ricostruito in posizione arretrata rispetto a quella originaria di circa 7 m [fig. 14].

Similmente, presso il Lungotevere degli Alberteschi, il muro crollato fu inglobato in una nuova costruzione, per la quale fu

prevista la realizzazione di una banchina [fig. 15].

Urgenti furono i lavori di consolidamento del fondo a Ponte Cestio, fortemente eroso dall'impeto della corrente di piena, mediante gabbionate e scogliere sino a raggiungere l'altezza dei cinque metri sotto magra, vale a dire la quota fissata nella sezione della sistemazione del fiume [fig. 16]³¹.

Il ramo del Tevere a sinistra dell'Isola Tiberina fu riattivato, rimuovendo i detriti (100.000 mc trasportati e riversati in differenti punti nel fiume senza comprometterne la navigabilità) secondo l'andamento del *thalweg*, vale a dire il tracciato definito dalle linee dove le acque avevano avuto maggiore corso³². Al posto delle scalinate furono predisposte due calate, della larghezza di 4 m e con pendenza del 15%, utili alle imbarcazioni il cui attracco era previsto, secondo il progetto originario, lungo le banchine. I muraglioni investiti dai danni furono difesi con gabbionate e sassaie che dovevano costituire il primo nucleo delle banchine da costruirsi.

Tra i provvedimenti di difesa, proprio la costruzione delle banchine rappresentò uno tra i più urgenti presidi da realizzarsi lungo il Tevere urbano, come aveva provato il "collaudo" naturale della piena del 1900. Allo stesso tempo, esse migliorarono la fruizione del fiume restituendo ai cittadini, almeno in parte, la possibilità di tornare a soffermarsi sulle sue sponde, senza tuttavia la minaccia di quelle cicliche inondazioni che per molti anni avevano scandito la vita della città.

Note

Questo scritto è stato ideato dagli autori, che ne hanno discusso congiuntamente i vari aspetti; si attesta che la redazione del paragrafo "L'inalveamento del Tevere" spetta a Maria Grazia D'Amelio; "La piena del 1900" a Martina Cacciotti; "Il crollo dei muraglioni" a Francesco Federico; "La ricostruzione" a Lorenzo Grieco.

¹ Solo per un incompleto ragguaglio bibliografico per il rapporto tra l'Urbe e la città vedi; C. D'ONOFRIO, *Il Tevere. L'isola tiberina, le inondazioni, i molini, i porti, le rive, i muraglioni, i ponti di Roma*, Roma 1980; M. M. SEGARRA LAGUNES, *Il Tevere a Roma. Storia di una simbiosi*, Roma 2004. Una delle sale del Museo di Roma è dedicata al Tevere e alla costruzione dei muraglioni; in essa sono i dipinti di Giulio Aristide Sartorio, Norberto Pazzini, Carlo Ferrari, Eva Quarantajo Pio Bottoni, Antonio Donghi, Francesco Trombadori e altri che testimoniano i lavori di inalveazione del fiume: https://www.museodiroma.it/it/nuovoallestimento/come_muoversi_nel_museo/roma_si_trasforma_frammenti_dalla_citta_sparita (cons. 15 gennaio 2022). Più in generale P. BERSANI, M. BENCIVENGA, *Le piene del Tevere a Roma dal V secolo a.C. all'anno 2000*, Roma 2001 con bibliografia di riferimento https://speleology.files.wordpress.com/2012/06/piene_tevere_roma.pdf (cons. 15 gennaio 2022).

² G. SACHERI, *La sistemazione del Tevere Urbano, i suoi muraglioni e l'Isola Tiberina*, «L'Ingegneria Civile e le arti industriali», a. XXVII, 15-16, 1901, pp. 225-240 e 241-252.

³ F. BRIOSCHI, E. NARDUCCI, A. BETOCCHI, *Le inondazioni del Tevere in Roma*, s.l. 1876 (estratto dalle «Memorie della R. Accademia dei Lincei»). Allo zero dell'idrometro di Ripetta che è a circa un metro sul livello del mare, sono riferiti i livelli dei vari stati d'acqua del fiume che vanno dalla magra ordinaria (m 5.80) a quella massima appunto dell'alluvione del 1870 (m 17,22).

⁴ K. LELO, F. PALAZZO, *L'alluvione di Roma nel 1870. Una ricostruzione con tecniche G.I.S.*, in «MEFRIM», 118/1, 2006, pp. 61-71.

⁵ Il finanziamento dell'opera è congiunto: agli importi messi a disposizione del Governo, si aggiungono quelli del Comune e della provincia di Roma.

⁶ *Atti della commissione istituita con decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 1° gennaio 1871 per studiare e proporre i mezzi di rendere le piene del Tevere innocue alla città di Roma*, Roma 1872. I lavori della commissione vanno dal 10 gennaio al 7 dicembre del 1871 svolti in 19 adunanze.

⁷ P. BARILARI, *Intorno ai provvedimenti per liberare la città di Roma dalle inondazioni del Tevere e al modo di mandarli ad effetto* Firenze 1872 (estratto da «Nuova Antologia»); A. BACCARINI, *Sull'altezza di piena massima nel Tevere urbano e sui provvedimenti contro le inondazioni*, Milano 1875.

⁸ R. CANEVARI, *Note alla relazione Canevari per studiare e proporre i mezzi di rendere le piene del Tevere innocue alla città di Roma*, s.l. 1871; R. CANEVARI, *Relazione alla commissione idraulica per gli studj del Tevere*, Roma 1873 (estratto dagli *Atti della commissione...*).

⁹ Sulla costruzione dei muraglioni si veda anche V. TARSELLI, *I muraglioni del Tevere. Come Roma perse il legame con la sua anima*, tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria e Tecniche del Costruire, Università di Roma Tor Vergata, relatori M. G. D'Amelio, Z. Rinaldi, a.a. 2015/2016; M.G. D'AMELIO, F. FEDERICO, M. CACCIOTTI, L. GRIECO, «Bianchi, monotoni e uggiosi»: *La costruzione dei muraglioni del Tevere e la piena del 1900*, in pubblicazione. Il termine *muraglioni*, con cui si indica questa monumentale infrastruttura idraulica, comparve nella deliberazione del consiglio comunale del 14 febbraio 1877, durante un dibattito sul tipo di muro di sponda da adottare, indi passò nel linguaggio comune per indicare gli argini in muratura che delimitano il fiume nel suo tratto urbano. Il progetto originario di Canevari prevedeva: la costruzione di una platea a Ponte

Milvio; l'arginatura del Tevere superiore dai sassi di San Giuliano alla città da ambo i lati; la costruzione di muri di sponda nel tratto urbano fino all'altezza di 1,20 m sul pelo di una piena simile a quella appena accaduta; l'allargamento dell'alveo a 100 m fra le sommità dei muri di sponda; la soppressione di uno dei due rami del fiume all'Isola Tiberina; l'aggiunta di un'arcata a ponte Sant'Angelo, la demolizione dei resti di ponte Rotto e ricostruzione di un nuovo ponte; la rimozione di rottami e ostacoli esistenti nell'alveo; la costruzione di due collettori paralleli alle sponde; l'arginamento della sponda sinistra. Sotto a San Paolo. Il costo stimato era stato di 32.4 milioni di lire portati a un massimo di 60 milioni di lire con la legge del 6 luglio del 1875 che dichiara i lavori del Tevere di pubblica utilità.

¹⁰ Il progetto Canevari subì modifiche anche importanti durante gli anni della costruzione, dal 1877 al 1928; in questa sede per brevità di trattazione si sono operate semplificazioni.

¹¹ R. CANEVARI, *Studi per la sistemazione del Tevere nel tronco di Roma* (Relazione alla Commissione), Roma 1875.

¹² P. FERRI, *La costruzione dei muraglioni del Tevere: variazione delle sponde a Tor di Nona, nei documenti dell'Archivio Storico Capitolino e dell'Archivio di Stato di Roma*, in «Il tesoro delle città», VII, 2011/12 [2013], pp. 153-167.

¹³ Sommariamente i lavori prendono avvio con un primo appalto per la rimozione dei ruderi e rottami nel tronco a valle di ponte Sant'Angelo; con un secondo per l'allargamento dell'alveo alla Farnesina; con un terzo per il taglio della sponda sinistra e il muro di sostegno alla regola; con un quarto per il taglio della sponda destra da ponte Sisto ai ruderi dei cosiddetti bagni di Donna Olimpia a Tor de' Specchi. Del 13 febbraio 1878 è la costituzione della Commissione di vigilanza incaricata di redigere le relazioni annuali dell'andamento dei lavori al Ministero dei Lavori Pubblici, pubblicate negli *Atti della Commissione nominata dal Ministro dei Lavori Pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere e proporre i necessari provvedimenti* (Decreto 15 dicembre 1900), Roma 1901, pp. 127-247.

¹⁴ *Ivi*, p. 112.

¹⁵ *Ivi*, p. 118.

¹⁶ *Ibidem*.

¹⁷ E. PERRONI, *La piena del Tevere del dicembre 1900*, Roma 1901.

¹⁸ A. BETOCCHI, *L'isola Tiberina e i lavori del Tevere*, Roma 1900.

¹⁹ G. SACHERI, *La sistemazione del Tevere Urbano, i suoi muraglioni e l'Isola Tiberina*, in «L'ingegneria Civile e le arti industriali», a. XXVII, 15-16, 1901.

²⁰ Esso era stato costruito nel 1884, con fondazioni ad aria compressa raggiungendo una profondità sotto il piano di magra da 6 a 7,84 m e nei pressi di ponte Garibaldi 9 m. Questi dati e gli altri che seguono sono tratti da *Atti della Commissione nominata dal Ministro dei Lavori Pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere e proporre i necessari provvedimenti* (Decreto 15 dicembre 1900), Roma, 1901, pp. 127-247.

²¹ Le fondazioni al lungotevere degli Alberteschi raggiunsero profondità da 5,84 e 9,95 sotto il piano di magra e il fondo dell'alveo in quel tratto ha la quota variabile fra i 6 e i 7 m. I muraglioni poggiavano in un terreno incoerente.

²² *Il crollo del Lungotevere degli Anguillara*, in «L'illustrazione Italiana», 50 (1900), pp. 410-413.

²³ *Atti della Commissione nominata dal Ministro dei Lavori Pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere e proporre i necessari provvedimenti* (Decreto 15 dicembre 1900), Roma, 1901, pp. 223-247.

²⁴ G. TORRICELLI, *Sulla caduta del muraglione del Tevere in Roma e sul calcolo dei muri di sostegno per le sponde dei corsi d'acqua*, Bologna 1901 (estratto dalla «Rivista Tecnica Emiliana», 11-12/1900 e 1/1901). M. BARONI, *La piena del Tevere del 1900*, in «Il Politecnico», 50, 1902, pp. 71-81.

²⁵ Per i componenti della commissione d'inchiesta nominata con Decreto Ministeriale del 11 dicembre 1900 vedi G. SACHERI, *La sistemazione del Tevere Urbano, i suoi muraglioni e l'Isola Tiberina*, in «L'ingegneria Civile e le arti industriali», a. XXVII, 15-16, 1901, pp. 225-240 e 241-252: 225.

²⁶ *Atti della Commissione nominata dal Ministro dei Lavori Pubblici per riferire sui danni ai muraglioni del Tevere e proporre i necessari provvedimenti* (Decreto 15 dicembre 1900), Roma, 1901, p. 145; vedi anche le *Conclusioni* nello stesso volume, pp. 165-171.

²⁷ *Ivi*, p. 139.

²⁸ A. BETOCCHI, *I muri di sponda del Tevere. La causa dell'avvenuto disastro. I provvedimenti da adottarsi*, Roma 1901.

²⁹ P. FROSINI, *La liberazione dalle inondazioni del Tevere*, «Capitolium», 7-8, 1968; P. FROSINI, *Il Tevere. Le inondazioni di Roma e i Provvedimenti presi dal Governo Italiano per evitarle*, Roma 1977. G. SACHERI, *La sistemazione del Tevere Urbano, i suoi muraglioni e l'Isola Tiberina*, in «L'ingegneria Civile e le arti industriali», a. XXVII, 15-16, 1901, pp. 225-240 e 241-252; L. COZZA, *La riattivazione del Ramo del Tevere a sinistra dell'Isola di S. Bartolomeo e le riparazioni dei danni arrecati ai muraglioni dalla piena del 2 dicembre 1900*, Roma 1907, *passim*.

³⁰ Lo scarico del terrapieno avviene nel tratto degli Alberteschi, riversando il materiale nel fiume, e contemporaneamente si predispongono gabionate e scogliere. L. COZZA, *La riattivazione del Ramo del Tevere a sinistra dell'Isola di S. Bartolomeo...*, cit., p. 9.

³¹ *Ivi*, pp. 10-11.

³² *Ivi*, pp. 15-16.