

UN PO
DI CARTE

Scala metrica nel rapporto di 1 a 50000

LA DINAMICA FLUVIALE
DEL PO NELL'OTTOCENTO
E LE TAVOLE
DELLA COMMISSIONE BRIOSCHI

A cura di Ireneo Ferrari
e Maurizio Pellegrini



La commissione Brioschi, passata alla storia con il nome di chi ne progettò e diresse i lavori, l'eminente matematico Francesco Brioschi, fu istituita, a seguito di due piene devastanti del Po nel corso del 1872, con Regio Decreto del 16 febbraio 1873, al fine di prendere i provvedimenti... più acconci per difendere le pianure padane dalle inondazioni. Gli elaborati della Commissione, in particolare le 89 tracce delle sezioni del fiume, dall'Oltrepò Pavese sino alla bocca del Po di Tolle, hanno un interesse scientifico essenziale per lo studio dell'evoluzione recente delle dinamiche fluviali: tutti i rilievi cartografici e i rilievi dei profili trasversali e longitudinali del Po da più di ottant'anni sono eseguiti con riferimento alle tracce di quelle sezioni. Un altro importante contributo della Commissione riguarda l'individuazione di sezioni di misura delle portate, una tecnica che da allora ha integrato la pratica del semplice rilevamento su scale idrometriche delle altezze dell'acqua entro l'alveo. Questo volume arricchisce il dettaglio della documentazione analitica con la raccolta del *Po di Carte*, che riunisce le raffinate incisioni artistiche degli elaborati grafici della Commissione.

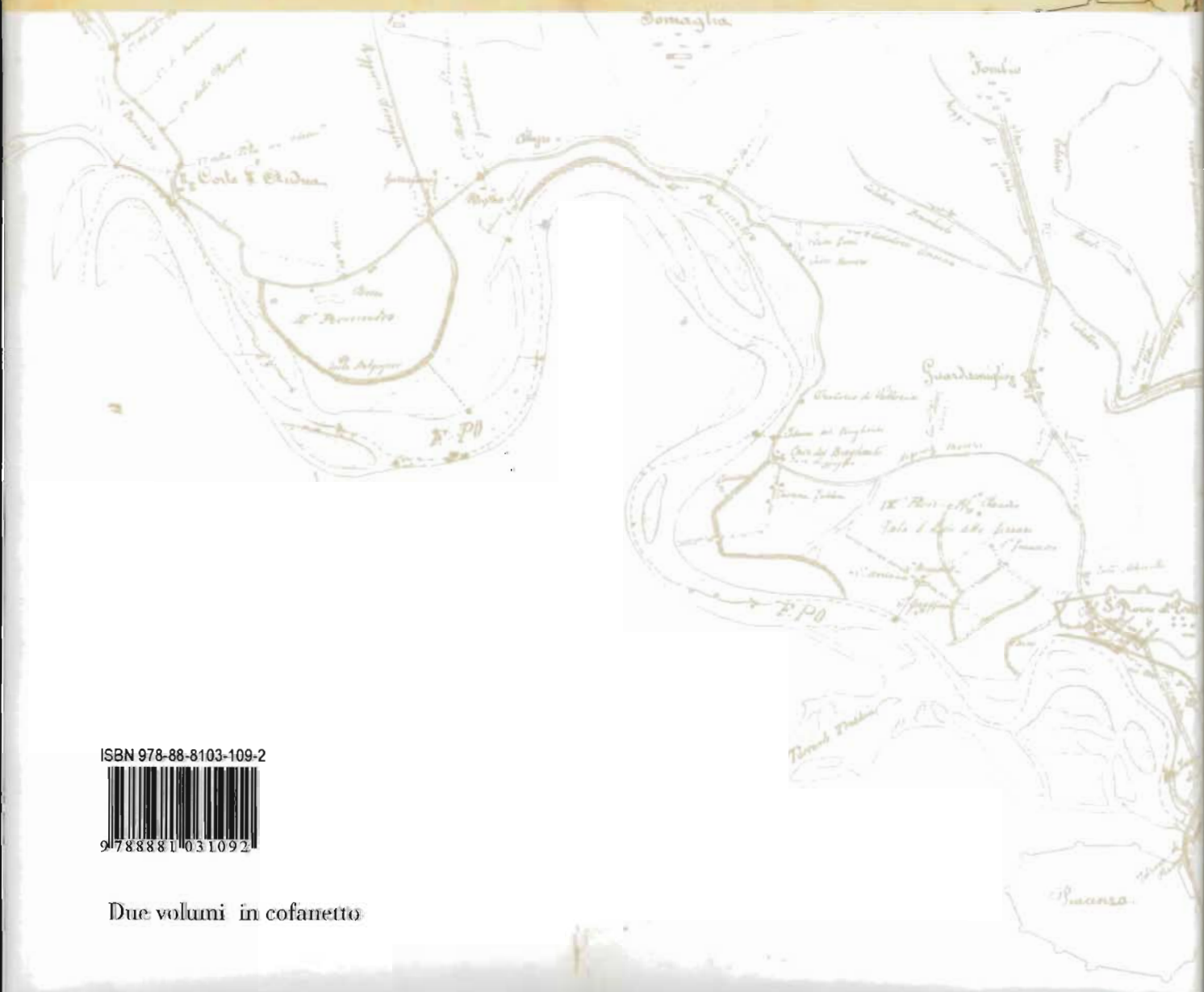
La ricostruzione "fotografica" del fiume nei primi anni Settanta dell'Ottocento ha stimolato vari livelli di indagine. È analizzata anzitutto la sequenza di piene del Po, con rotte e allagamenti rovinosi di estese aree della pianura dal Pavese al mare, che si sono succedute negli ultimi tre secoli: dal 1705, anno di un imponente evento alluvionale, alla grande piena del 1951, la maggiore mai verificatasi da quando esistono rilevamenti idrometrici, fino alle due piene recenti del 1994 e del 2000. È approfondita la discussione sui fattori che hanno contribuito al progressivo aggravamento dei fenomeni di piena che hanno interessato il Po per almeno 250 anni, fino a metà Novecento. All'effetto di cambiamenti climatici, verificatisi a partire dal XVI secolo, con aumento sensibile delle precipitazioni su Alpi ed Appennini, si è sovrapposto quello di attività antropiche di pesante impatto ambientale: da un lato l'intenso disboscamento nelle aree collinari e montane ha determinato un notevole innalzamento dell'alveo per l'aumento del trasporto solido; dall'altro l'erezione di argini sempre più alti ha portato a una marcata pensilità del fiume e ad una riduzione dell'efficienza dell'alveo della bassa pianura a trattenere la massa di acqua che vi era incanalata.

Si è indagato anche su altri fronti. Gli undici contributi in cui è strutturato il volume sono il frutto di un serio impegno interdisciplinare. Il fiume e il suo contesto territoriale sono rivisitati, con attenzione particolare all'Ottocento, non solo per gli aspetti idraulici e geomorfologici, ma anche sotto il profilo economico e sociale: è ricostruita la storia della navigazione sul Po, sono descritti i cambiamenti del paesaggio, raccontata la vita dei borghi d'acqua rivi-raschi. La riflessione si sposta, infine, sulle profonde trasformazioni che nell'ultimo cinquantennio hanno mutato la fisionomia del fiume, rendendo più complessi i problemi di una gestione delle sue risorse che sia compatibile con la sicurezza idraulica e la molteplicità degli usi (dalla navigazione all'utilizzo delle acque a scopi civili, irrigui, idroelettrici...), ma anche con obiettivi di ripristino dell'integrità dell'ecosistema. Il futuro del Grande Fiume, che in passato era conosciuto come *Ἡράκλειος Πάδος*, *Bondenum*, *Lirōnis*, e che oggi per tutti è il Po, dipende dal coraggio e dalla capacità di scelte giuste per riattivare le sue straordinarie funzioni ambientali e sociali, preservando i tanti elementi di pregio storico e naturalistico che ancora lo connotano.



Ireneo Ferrari è Professore Ordinario di Ecologia dal 1990. Ha diretto per più anni il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università di Parma, ove attualmente è titolare dei corsi di Ecologia e Biodiversità. Dal 1995 al 1998 è stato presidente della Società Italiana di Ecologia. Svolge ricerche su ecologia dello zooplankton di acque dolci e salmastre e di ambienti marini costieri e su problemi di valutazione di qualità ambientale e gestione delle zone umide e degli ecosistemi fluviali. È autore di oltre 150 articoli scientifici. Rappresenta l'Università di Parma nel consiglio direttivo del Consorzio Nazionale Interuniversitario per le Scienze del Mare. Ha partecipato ad attività di formazione e ricerca nel campo dell'educazione ambientale ed è coordinatore del comitato tecnico-scientifico del CIDIEP. Fa parte del comitato scientifico di WWF Italia e del Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale.

Maurizio Pellegrini è Professore Ordinario di Geologia Applicata presso l'Università di Modena e Reggio Emilia, ha iniziato l'attività universitaria nel 1964, Libero Docente in Geologia nel 1970; ha svolto incarichi direttivi e di consulenza in Istituti di ricerca del CNR; dal 1980 è stato nominato Professore di ruolo di Geologia Applicata presso l'Università degli Studi di Bologna, dove ha ricoperto la carica di Direttore dell'Istituto di Geologia. Dal 1985 insegna presso le Facoltà di Agraria e di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali di Modena e Reggio Emilia. È autore di oltre 170 pubblicazioni; svolge incarichi di consulenza, in materia di frane e stabilità di centri abitati, nell'ambito del GNDICI-CNR. e per conto della Regione Emilia-Romagna. È titolare di convenzioni istituzionali con Enti Territoriali e Servizi tecnici. Collabora con riviste, case editrici nel settore divulgativo.



ISBN 978-88-8103-109-2



9 788881 031092

Due volumi in cofanetto



ARPA
Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente

CIDIEP
Centro di documentazione, informazione
educazione ambientale e ricerca sull'area padana

Redazione *Laura Berti*
Coordinamento editoriale *Giuliana Manfredi*

Progetto grafico e copertina
BosioAssociati, Savigliano (CN)

ISBN 978-88-8103-109-2

© 2007 Edizioni Diabasis
via Emilia S. Stefano 54 I-42100 Reggio Emilia Italia
telefono 0039.0522.432727 fax 0039.0522.434047
info@diabasis.it www.diabasis.it

Un Po di carte

La dinamica fluviale del Po nell'Ottocento
e le tavole della Commissione Brioschi

A cura di

Ireneo Ferrari e Maurizio Pellegrini

Allegati

Tavole cartografiche

CD Rom



Edizioni Diabasis

Presentazione

Dopo circa cinque anni dal trasferimento degli Uffici Compartimentali del Servizio Idrografico e Mareografico del Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali alle corrispondenti strutture operative regionali, *Un Po di carte* rappresenta un'ulteriore testimonianza di come le amministrazioni regionali, territorialmente interessate al bacino idrografico del fiume Po, si siano impegnate a risollevarle le sorti dell'idrografia e dell'idrologia del Grande Fiume, garantendo l'operatività delle strutture ereditate e instaurando rapporti di collaborazione interregionale a salvaguardia dell'unitarietà della gestione del bacino.

Il Servizio IdroMeteorologico dell'ARPA Emilia-Romagna vuole così dare il suo contributo alla pubblicazione, in una pregevole veste editoriale, di alcuni elaborati della Commissione Brioschi che descrivono la situazione del fiume Po verso la fine dell'Ottocento con rilievi cartografici, profili trasversali e longitudinali di grande importanza tecnica per lo studio delle dinamiche fluviali. Le riproduzioni del materiale illustrativo della Commissione Brioschi sono altresì accompagnate da un'ampia rivisitazione del fiume Po nel XIX secolo, che ne descrive le caratteristiche tra tecnica idraulica, navigazione, economia, storia dei borghi rivieraschi e paesaggio.

Questa raccolta di documenti e memorie viene a costituire uno straordinario patrimonio documentario, illustrato da un'équipe specialistica di studiosi, coordinati dal professor Maurizio Pellegrini. Gli studi condotti nell'ambito di questa iniziativa vengono pubblicati presentando con rigore scientifico gli aspetti idrografici del medio e basso corso del Po, dalla Lombardia al mare, all'epoca della Commissione Brioschi, auspicando allo stesso tempo che inducano il lettore a sviluppare interessi ulteriori.

Un ringraziamento particolare va rivolto al dottor Giuseppe Gavioli, responsabile del CIDIEP, che ha promosso questo lavoro presso l'Ufficio Idrografico del Po di Parma, ora Area Idrologia del Servizio IdroMeteorologico dell'ARPA Emilia-Romagna e all'ingegner Luigi Ciarmatori, Direttore dell'Ufficio Idrografico del Po al momento della transizione in ARPA Emilia-Romagna.

Stefano Tibaldi

Direttore Servizio IdroMeteorologico
ARPA Emilia-Romagna

Prefazione

Per iniziativa di Luigi Ciarmatori vede oggi la luce questa opera, che illustra una gran parte del lavoro svolto dalla famosa Commissione Brioschi, nominata con Regio Decreto nel 1873 a seguito delle due rovinose alluvioni del Po verificatesi nell'anno precedente. Questa Commissione doveva «[...] suggerire i provvedimenti che reputasse più acconci per difendere la pianura padana dalle inondazioni». Di essa fecero parte «uomini insigni nell'idraulica», di alcuni dei quali sono rimasti fermi nel tempo i grandi meriti tecnici e scientifici nel campo delle scienze idrauliche. Oltre a Brioschi la Commissione comprendeva i nomi di Lombardini, Bucchia, Barilari, Giuliani, Turazza e Lanciani. Questi studiosi esaminarono, con perizia e acume, ma anche con passione, ogni aspetto della complessa dinamica dell'alveo del Po, così come si era andata configurando nel corso degli ultimi due secoli, nonché le interazioni di questo processo con i territori attraversati dal fiume, suggerendo le soluzioni tecniche ritenute adeguate per controllarne i rischi.

I numerosi autori degli studi, che formano questa monografia, hanno eseguito una precisa ricostruzione filologica delle varie componenti che costituiscono il tema generale su cui si è misurata la Commissione Brioschi: l'idrologia e le piene del Po, con un riferimento particolare a quelle del 1872, le rotte arginali, le alluvioni conseguenti, il monitoraggio idrologico, la morfodinamica della rete idrografica del sistema Po, la navigazione, la cartografia storica ecc. L'opera si conclude con indicazioni critiche sulle sistemazioni future del Po.

Il folto stuolo di studiosi che hanno trattato questi argomenti hanno diversa estrazione culturale, com'era inevitabile, trattandosi di un lavoro di natura squisitamente interdisciplinare: geologi, ingegneri idraulici, urbanisti, economisti. Mi corre l'obbligo di segnalare i nomi di tre di questi autori: l'ingegnere Luigi Ciarmatori per la felice iniziativa intrapresa quando era ancora attivo l'Ufficio Idrografico del Po, i professori Maurizio Pellegrini e Ireneo Ferrari per l'impegnativo lavoro di coordinamento e sintesi svolto.

Io credo che quest'opera sia non solo meritoria, in quanto contribuisce alla diffusione, a un pubblico più vasto di quello costituito dai soliti "esperti della materia", di un momento culturale delle scienze idrauliche di enorme interesse; ma sia anche di sicura utilità nella ricerca di soluzioni "acconce" ai di-

versi problemi idrici del Po (problemi che nel frattempo si sono ingigantiti), sia per dovizia di informazioni che essa contiene, che sono immediatamente spendibili, sia per l'acume critico con cui i problemi vengono presentati.

Mi piace concludere questa presentazione con queste parole di Ferrari e Pellegrini “[...] *Tutte queste grandi piene del Po, con le relative rotte ed esondazioni, inoltre, possedevano una caratteristica molto preoccupante: ciascun evento tendeva a superare il precedente per intensità, per le altezze raggiunte dalle acque di piena all'interno delle arginature*”. Queste parole mi ricordano quelle che Giulio De Marchi scrisse in una memoria presentata ad un Congresso nell'aprile del '52: “[...] *le piene del Po sono andate progressivamente aumentando nel corso degli ultimi secoli, ed è pure certo che esse aumenteranno ancora in avvenire [...] Dopo ogni piena disastrosa si procede alla ricostruzione degli argini danneggiati e ad un loro generale sopralzo [...] Senonché l'esame obiettivo dei fatti porta a riconoscere che le arginature, da sole, non possono costituire la soluzione definitiva e sicura del problema della difesa dalle inondazioni [...]*”. De Marchi suggeriva in proposito di riferirsi a “*nuovi indirizzi difensivi [...] nel caso di eventi eccezionali, ma sempre possibili, di fronte ai quali le arginature esistenti siano decisamente insufficienti [...]*”.

Ugo Majone

Professore Emerito di Idrologia presso il Politecnico di Milano
Presidente Associazione Idrotecnica Italiana

Guida alla lettura

Ireneo Ferrari, Maurizio Pellegrini

È noto come dopo i disastri delle numerose rotte avvenute nell'anno 1872 lungo le arginature del Po, il governo, preoccupato dal dubbio che erasi in molti ingenerato, se rispondesse ancora alle trasformate condizioni del bacino del Po il sistema delle antiche difese, addivenne alla nomina d'una Commissione composta di uomini insigni nella idraulica, affidandole l'incarico di studiare e suggerire i provvedimenti che reputasse più acconci per difendere le pianure padane dalle inondazioni. La Commissione, nominata con regio decreto risultò così composta: Elia Lombardini, Francesco Brioschi, Gustavo Bucchia, Pacifico Barilari, Antonio Giuliani, Domenico Turazza, Filippo Lanciani.¹

Con Regio Decreto del 16 Febbraio 1873 fu istituita, infatti, la Commissione, passata alla storia con il nome di chi materialmente diresse e promosse l'intero lavoro, Francesco BRIOSCHI: a essa partecipavano anche il famoso ingegnere ELIA LOMBARDINI, ormai molto anziano per il metro dell'epoca (aveva quasi 80 anni), che aveva scritto decine d'articoli sull'idrografia padana e sui fiumi d'Italia, d'Europa e anche sul Nilo, e DOMENICO TURAZZA, nomi che gli Autori di questo volume avranno occasione di citare tante volte.

Il secolo XIX era cominciato male per la Pianura del Po, con una piena e allagamenti disastrosi nel 1801, in prosecuzione di una situazione che era stata già quasi insostenibile nel secolo precedente, quando per almeno otto volte (1705, 1719, 1729, 1733, 1755, 1772, 1777, 1799) il fiume aveva allagato estese aree della Pianura, dal Pavese sino al mare: le alluvioni del 1705 si estesero per circa 1000 km², come quella che interesserà quasi 250 anni dopo il Polesine. Il secolo XIX era stato ancor peggio; dopo la piena del 1801, se n'erano registrate altre nel 1802, 1803, 1807, 1808, 1810, 1811, 1812, 1823, 1839, 1840, 1841, 1843, 1846 (primavera e autunno), 1857, 1868 e, infine, le due piene del 1872, le peggiori di tutte, che furono decisive per la costituzione della Commissione. Tutte queste grandi piene del Po, con le relative rotte ed esondazioni, inoltre, possedevano una caratteristica molto preoccupante: ciascun evento tendeva a superare il precedente per intensità, per le altezze raggiunte dalle acque di piena all'interno delle arginature. Questa tendenza sarebbe in seguito continuata nel 1879 e poi nel 1917 e nel 1951. A questo proposito, invitiamo il lettore a visitare la città di Ferrara, non solo per essere stata il principale porto fluviale del Po sino al Rinascimento, ma soprattutto per il suo *Padimetro*, posto in Piazza Martiri della Libertà, sulla colonna d'angolo del Palazzo Comunale, che reca incisi, sulla pietra del Biancone di Verona, tutti i livelli delle acque del Po dal 1705 al 1951, sintetizzando molto bene le vicende del Grande Fiume tra Settecento e Novecento e, in definitiva, i contenuti di questo volume. Il libro ha come primo obiettivo quello di pubblicare gli elaborati della Commissione Brioschi, i quali, purtroppo, ci sono pervenuti mancanti di molte parti cartografiche e della Relazione: il loro interesse, da un punto di vista strettamente tecnico, è veramente importante, perché "fotografano" la situazione del fiume nel 1873 circa. Occorre ricordare, infatti, che tutti i rilievi cartografici e dei profili trasversali e longitudinali, che si sono succeduti dal 1923 sino a oggi, hanno mantenuto costanti le tracce delle sezioni trasversali che si succedono dal-

la località di Bastida de' Dossi nell'Oltrepò Pavese sino alla bocca del Po di Tolle, nell'area deltizia: anche oggi, dunque, costituiscono un documento d'utile raffronto per lo studio delle dinamiche fluviali. Un'intera sezione è dedicata inoltre alla messa a punto delle tecniche di misura delle portate nella sezione di Fossadalbero, nel Ferrarese, una sorta di "guida" per i Servizi Tecnici (Genio Civile), che si andavano costituendo nel Regno d'Italia, per passare dalle *scale idrometriche* sino ad allora impiegate, che consentivano di misurare le sole altezze dell'acqua entro l'alveo del fiume, a *sezioni di misura delle portate*, utili per una reale interpretazione delle piene. Al fine di poter prendere, come si prefiggeva la Commissione Brioschi, quei *provvedimenti che reputasse più acconci per difendere le pianure padane dalle inondazioni*. Tutti questi documenti non sono solo interessanti per la scienza idraulica e la sua storia, ma si lasciano anche ammirare per il raffinato e dettagliato disegno, oggi inimmaginabile per qualsiasi studio tecnico, ma che all'epoca utilizzava l'espressione delle incisioni artistiche. Le riproduzioni delle (poche) planimetrie rinvenute, delle sezioni del fondo e le "sperimentazioni" di Fossadalbero sono state inserite fuori testo, entro la scatola che contiene anche il volume. A corredo del materiale illustrativo della Commissione Brioschi, sono stati redatti undici capitoli, che contengono note descrittive dettagliate delle sezioni e, soprattutto, nel loro insieme, costituiscono una rassegna articolata di taglio interdisciplinare sul tema delle dinamiche fluviali del Po nell'Ottocento e su argomenti correlati, come gli aspetti economici, la navigazione e la storia dei borghi d'acqua rivaschi. Insomma, è stata tentata una rivisitazione del fiume durante il XIX secolo, tra tecnica idraulica, storia e paesaggio. Gli undici contributi sono stati ordinati e tra loro integrati, in modo da organizzare un unico "racconto" sul Po nell'Ottocento e sulle sue caratteristiche, riportando alla fine del volume un elenco bibliografico di tutte le opere citate. Nei testi sono state inserite note esplicative per i concetti e i termini tecnici meno usuali e di più difficile comprensione, cercando di mantenere un linguaggio accessibile anche a chi non è specialista delle diverse discipline trattate.

Esaminiamo ora i contenuti dei singoli capitoli.

Il Capitolo 1 (*Introduzione: le grandi piene del 1872 e la Commissione Brioschi*), scritto da Luigi CIARMATORI, tratta delle grandi piene dell'Ottocento e in particolare delle due piene che nel maggio e nell'ottobre 1872 allagarono, rispettivamente, circa 700 km² e 830 km² di campagne nella provincia di Ferrara, nell'Oltrepò mantovano e nella provincia di Modena: l'acqua giunse a oltre 30 km di distanza, a sud del Po, devastando una delle campagne più fertili della pianura in destra al fiume. L'eco suscitata dalle disastrose piene del 1872, come si è accennato, fu decisiva per la costituzione della Commissione Brioschi. I dati riportati dall'Autore sugli edifici distrutti e sull'entità dei danni subiti dalle popolazioni che dovettero abbandonare le proprie case sono davvero impressionanti; nell'atrio del Municipio di Bondeno (FE) sono conservate alcune epigrafi commemorative di quegli eventi e nel fianco sud dell'edificio sono impressi i livelli massimi raggiunti dall'acqua esondata.

Graziella SIBRA, che è stata anche curatrice di uno splendido volume sulla cartografia ottocentesca del Po (AUTORI VARI, a cura di SIBRA G., 2004), del quale quest'opera è una sorta di continuazione, è l'Autrice del Capitolo 2 (*Ricomposizione di una storia per un progetto di territorio fluviale*), fondamentale per la comprensione dell'origine del materiale tecnico della Commissione Brioschi. Si tratta della *ricomposizione di una storia* cartografica, che inizia nel 1811 a Milano, durante il periodo napoleonico, sulle orme degli studi di autori francesi, in particolare di César-François Cassini (1714-1784), che sono stati gli iniziatori della moderna cartografia tecnica. Già allora, all'inizio dell'Ottocento, era molto sentita la necessità di una carta dedicata al Po, come condizione indispensabile per avviare sul fiume studi scientificamente fondati. Il progetto sarà ripreso nel 1821 e proseguito, con modifiche successive, sino al 1872, dapprima sotto l'Impero Asburgico, e dopo nel Regno d'Italia. La grande, bellissima carta pubblicata nel volume curato da Sibra sarà di importanza fondamentale

per gli studi idrografici di Elia Lombardini (1840, 1867-1868), com'ebbe a dichiarare questo grande studioso. Il materiale cartografico, prodotto nell'ambito della Commissione Brioschi, com'è sottolineato nelle conclusioni del capitolo, costituisce il primo documento moderno per una conoscenza delle dinamiche fluviali, su cui, ieri come oggi, fondare l'elaborazione e applicazione di modelli gestionali mirati non solo alla sicurezza idraulica, ma anche a un uso ottimale della grande risorsa ambientale rappresentata dal Po.

La "storia" narrata da Maurizio PELLEGRINI nel Capitolo 3 (*Evoluzione della rete idrografica e dell'alveo del Po*) parte da tempi più lontani rispetto a quelli della cartografia idraulica. Fa riferimento a tempi geologici, anche se non lontanissimi ("solo" gli ultimi 800.000 anni). Vi è ricostruita l'evoluzione della rete idrografica padana: vi si racconta come il Po, al variare del clima e quindi del livello dei mari, abbia spostato la sua foce dall'odierna pianura parmense sin quasi a Pescara. In epoca romana il fiume aveva già quasi occupato l'attuale posizione almeno sino all'ingresso nel Ferrarese: solo nel 1152, dopo la famosa rotta di Ficarolo, il fiume assumerà un tracciato sostanzialmente simile a quello attuale. Percorsi del fiume, tipi d'alveo e geometrie delle sezioni, così come appaiono dalla cartografia ottocentesca e, in particolare, dalle Tavole della Commissione Brioschi, sono stati esaminati e confrontati con le situazioni odierne: sono state individuate e discusse le possibili cause dei "mali" del fiume nell'Ottocento, e dei peggioramenti riscontrati nel secolo successivo.

Nell'Ottocento il Po era anche la principale via di comunicazione dell'intera Pianura Padana, interconnessa sempre per idrovía con la Laguna di Venezia e con tutte le principali città venete, da Padova sino a Treviso: le ripetute piene del XVIII e XIX secolo determinarono anche una crisi nella navigazione, crisi che si aggravò pesantemente a partire dalla seconda metà dell'Ottocento. È quanto è esposto nel Capitolo 4 (*Navigare il Po, tra passato e futuro*) da Ivano GALVANI, Direttore dell'AR-NI, l'Agenzia Regionale di Navigazione Interna, e da Maurizio PELLEGRINI: il primo degli Autori, ovviamente, è interessato ai problemi del presente e del futuro della navigazione, mentre il secondo si è cimentato in una ricostruzione storica di viaggi su fiumi e canali nei secoli passati. Le barche, almeno quelle di maggiori dimensioni, e dal 1820 anche a vapore, dovevano destreggiarsi tra grandi banchi di sabbia in un alveo *mobile* per le grandi e ripetute piene. Un viaggio su barca a vapore da Cavanella Po sino a Milano durava due (lungi) giorni, dall'alba del primo sino alla mezzanotte del secondo, *salvo casi straordinari*, molto frequenti, che potevano protrarre ulteriormente la durata. Navigare il fiume riguardava anche i grandi mulini natanti: nel 1905 erano 85, distribuiti dalla zona di Stradella sino al Taglio di Viro; saranno soppressi nel 1911 con apposito Decreto. Il presente e futuro della navigazione appaiono incerti come nell'Ottocento, ma per motivi diversi: non più per le grandi piene, piuttosto per le eccessive magre estive causate in buona misura dai forti prelievi irrigui dei canali dei Consorzi di Bonifica; d'altra parte, l'indeterminatezza e la fumosità, anche sotto il profilo tecnologico, dei grandi progetti di rilancio della navigazione, non sembrano per ora consentire di guardare con ottimismo a questa prospettiva.

Il Capitolo 5 (*Borghi di riva lungo il Po, nella cartografia dell'Ottocento*), a cura di Vittorio DEGLI ESPOSTI, costituisce un piacevole viaggio lungo il Po, tra storia recente e architettura, alla scoperta di tanti borghi pieni di fascino, la cui ragion d'essere fu il Po medesimo. Borgo Polesine e Zibello, Pomponesco, Guastalla, Luzzara, Pontelagoscuro, Francolinello, Polesella, Ariano, Mesola e Goro meritano senz'altro una visita per le loro caratteristiche architettoniche e urbanistiche, che in alcuni casi indicano un'origine lontana, in epoca romana, come nel caso di Pomponesco, e per l'ambiente idrico circostante. Città d'acqua, dunque, rappresentate in pianta sulla cartografia tecnica dell'Ottocento, con incisioni colorate di grande fascino artistico, che risalta anche più al confronto con le carte di cui oggi possiamo disporre, anche se sapientemente colorate e precisissime come le ultime edizioni delle Tavole del-

l'IGMI², che lasciano trasparire un uso del territorio che assegna al fiume un ruolo marginale. Suzzara e Luzzara, ad esempio, con i loro idronimi forse derivati dalla *Zara*, ci testimoniano un'insularità, tra fiumi, che risale all'VIII secolo d.C. e perdurò sino al 1480 circa: ne restano tracce, oggi, negli "scolatori" o colatori, con grandi meandri corrispondenti ad alvei abbandonati del Po Vecchio.

Gabriele CANALI, nel Capitolo 6 (*L'agricoltura padana e l'acqua nella seconda metà del XIX secolo*), descrive il quadro economico dell'agricoltura italiana e padana in particolare, in relazione ancora al problema delle acque, con riferimenti finali alla creazione dei Consorzi di Bonifica. L'Ottocento, in generale, per l'agricoltura italiana ha rappresentato un periodo di grande crisi, che ha avuto riflessi politici notevoli. Le cause furono molteplici: nella prima metà del secolo furono determinanti la frammentazione politica del territorio e la politica economica perseguita dall'Austria nel Lombardo-Veneto; ma anche in seguito, dopo l'Unità, intervennero pesanti fattori di crisi, associati alle politiche daziarie dei governi centrali, alla contrastata gestione delle opere di bonifica, alla rapida evoluzione delle tecnologie, soprattutto nel settore dei trasporti, e alle ripercussioni nei settori della commercializzazione dei prodotti agricoli. L'Autore accenna anche all'analisi di variabili climatiche e idrografiche, ancora poco studiate nell'ambito dell'economia agraria e nella storia dell'agricoltura e dell'alimentazione.

Il Capitolo 7 (*Le rotte nel tratto emiliano del Fiume Po*), scritto da Paolo MIGNOSA, dopo il capitolo iniziale di L. CIARMATORI, riconduce l'esposizione al tema delle rotte e alluvioni del Po nell'Ottocento. L'Autore fornisce, nella prima parte del suo contributo, un quadro generale delle rotte avvenute nell'arginatura maestra del Po nel secolo XIX dal Ticino al mare e delle inondazioni verificatesi nel comparto Parma-Enza conseguenti a rotte arginali nel XIX e XX secolo. Nella seconda parte, invece, analizza possibili scenari di rischio idraulico per il medesimo tratto di pianura parmense, sulla base dell'attuale topografia, condizionata non solo dall'andamento altimetrico delle campagne, ma anche dai tanti rilevati che contrassegnano oggi quel territorio, dai canali alle strade e alle ferrovie. Dell'alluvione simulata, che ci auguriamo non avvenga mai, né lì né altrove, e resti solo un esperimento di interesse teorico e scientifico, tenendo conto su base statistica di un possibile evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni (possibile ripetizione ogni 200 anni), è documentata l'evoluzione nello spazio e nel tempo.

Il Capitolo 8 (*Idrologia padana all'epoca della Commissione Brioschi*), scritto da Baldasare BACCHI, focalizza l'attenzione proprio sul tema centrale del volume, gli studi idrologici sul Po nell'Ottocento: l'Autore presenta una sintetica rassegna di biografie di ingegneri idraulici famosi, che operarono negli Stati pre-unitari, nel periodo napoleonico e in quello successivo della Restaurazione, e individua una serie di problemi idraulici che furono oggetto di discussione fra esperti, come l'inalveamento del Reno o lo scarico diretto in mare del Canale di Burana in Provincia di Ferrara. Illustra poi qual era lo stato dell'arte per il controllo dei fiumi, che era essenzialmente effettuato con l'impiego di scale graduate poste sugli argini dei fiumi, che consentivano solo la misura dei livelli idrometrici. Le stazioni pluviometriche, allora dette "udometriche" (dal greco *ὑδρο-τος*, anziché dal latino *pluvia*-ae), erano solo una decina, ubicate nelle città più importanti, presso osservatori astronomici e meteorologici, e quindi fornivano informazioni solo parzialmente indicative degli afflussi ai bacini; la validità delle estrapolazioni a zone vicine dipendeva dalla conoscenza che il tecnico incaricato di effettuarle aveva delle situazioni meteo-climatiche locali dei diversi siti considerati. L'Autore ci fa notare, con una punta d'ironia, come nell'Ottocento la sensibilità dei migliori ingegni fosse tale da condurre a buon fine, con semplici elaborazioni e induzioni, stime di livello e di portata, che oggi richiedono l'uso di strumenti di calcolo piuttosto complicati. Mancavano, invece, metodi attendibili per le misure della portata dei fiumi, affidate a formule empiriche o a rilevamenti locali e saltuari mediante la determinazione della velocità della corrente con mulinelli e aste

ritrometriche, semisommerse ma galleggianti, in modo da poterne misurare la velocità di spostamento. Sono pagine, queste scritte da Bacchi, di estremo interesse per la storia di una scienza, l'idraulica fluviale, che all'epoca era relativamente nuova e che in area padana aveva in Guglielmini, Lombardini, Turazza e Brioschi i suoi massimi esponenti. Questo capitolo termina con un'interessante descrizione dell'evoluzione storica della morfologia del fiume.

Sulle origini e gli sviluppi dell'idrometria del fiume Po è il titolo del Capitolo 9, scritto da Stefano ORLANDINI, che sviluppa, in pratica, i temi affrontati nel capitolo precedente. La trattazione riguarda principalmente la descrizione dei contenuti degli elaborati tecnici della Commissione Brioschi, che costituiscono una sorta di manuale illustrato per la determinazione delle scale delle portate, da prendere come esempio per tutte le sezioni di misura del Po. Lo strumento utilizzato, come si legge anche nel capitolo scritto da Bacchi, consisteva in scale idrometriche semplici ma molto belle: erano incise nella pietra del Biancone veronese. La sezione di misura sperimentale era ubicata in Provincia di Ferrara, presso Fossadalbero, circa 7 km a valle di Pontelagoscuro. La Commissione aveva compreso che per potere studiare la dinamica fluviale fosse indispensabile *misurare* le portate, per seguire la propagazione delle piene lungo l'asta fluviale, per capire le cause della frequenza di questi eventi e della crescita continua dei livelli idrometrici. L'illustrazione delle tecniche di misura e dei contenuti delle tavole è accompagnata da una breve storia degli strumenti di rilevamento e dei loro ideatori. Anche questo capitolo contribuisce significativamente alla conoscenza dei progressi tecnici e scientifici che hanno segnato l'evoluzione dell'idraulica padana. Il contributo di Stefano Orlandini costituisce, dunque, non solo un'interessante rassegna dell'idraulica padana nel corso del tempo, ma accenna anche alle tecniche di misura attuali sul Po e su quelle impiegate negli Stati Uniti, il paese all'avanguardia per l'idraulica fluviale, e a quello che si *potrebbe* fare nel Po.

Il Capitolo 10, *Le alluvioni del Po: alla ricerca delle cause*, scritto da B. BACCHI, S. ORLANDINI e M. PELLEGRINI, cerca di dare una risposta al quesito che si erano posti gli ingegneri idraulici dell'Ottocento su quali fossero le cause delle tante piene del Po e dei suoi affluenti e per quale motivo, già dal 1705, ogni piena superasse il livello delle precedenti, con una tendenza che si sarebbe invertita solo dopo il 1951. Il dibattito scientifico fu aspro, con toni anche duri, come nel contrasto che oppose il Lombardini al Brighenti, studioso autorevole, questo ultimo, proveniente dall'ex legazione pontificia bolognese. Per il Lombardini non c'erano dubbi: la causa del fenomeno delle piene sempre più aggressive era da ricondurre all'intenso disboscamento nei bacini idrografici, un processo che s'intensificò ulteriormente con la diffusione delle macchine a vapore. Il Manfredi intervenne nella disputa suggerendo un'ipotesi, quella di una tendenza di lungo periodo all'aumento delle precipitazioni, che il Lombardini ritenne inconsistente. D'altra parte, come ci ricorda BACCHI nel Capitolo 8, mancavano in quel periodo misure sistematiche delle precipitazioni e delle portate dei corsi d'acqua. In assenza di questi dati diventa problematico, anche oggi, dare una risposta argomentata al quesito iniziale. L'orientamento attuale, in ogni modo, è quello di considerare con attenzione i cambiamenti climatici che si ebbero durante quei secoli. Dal 1580 circa, Alpi e Appennini furono interessati da un periodo freddo e piovoso, che in Nord Europa era iniziato già più di un secolo prima. È ragionevole pensare che, per effetto del cambiamento di clima, aumentassero le portate di piena dei corsi d'acqua, non solo del Po, ma di tutti i fiumi italiani ed europei. Aumento delle precipitazioni e disboscamento concorsero a incrementare sensibilmente il trasporto solido (i detriti asportati dalla montagna e trasportati dalla corrente fluviale sino al mare), con conseguente innalzamento del fondo dell'alveo. Nel Po si era aggiunto, per altro da molti secoli, l'effetto di un potente fattore antropico: l'uomo per recuperare nuovi spazi all'agricoltura aveva arginato il fiume, costringendolo entro spazi sempre più ristretti; la massa d'acqua incanalata raggiungeva in tempi più brevi l'alveo della bassa pianura, da cui esondava per la più ri-

dotta efficienza dell'alveo stesso a trattenerla. La grande pensilità del Po, dopo l'ansa di Viadana e Guastalla, decretava, infine, un rischio idraulico elevatissimo per le campagne latitanti; è sufficiente ricordare qualche "numero": circa 1000 km² di campagne rimasero allagati nel 1705 e nel 1951 e circa 830 km² nel 1872.

Le conclusioni sono affidate al Capitolo 11, *Dall'Ottocento ai giorni nostri, dalle anse della storia ai progetti per il futuro* (L. CIARMATORI, I. FERRARI E M. PELLEGRINI), in cui è operato un confronto tra quello che *fu* il Po nell'Ottocento, o meglio durante un periodo più lungo, che iniziò due secoli prima e terminò nel 1951, e ciò che è diventato nell'ultimo mezzo secolo, per effetto di rapide trasformazioni indotte da intensissime attività antropiche che hanno mutato la fisionomia del fiume e reso assai più complesse le problematiche connesse alla sua gestione. Le piene degli ultimi anni sono state ancora molto grandi, ma hanno fatto solo paura, senza provocare danni, in parte per il contenimento assicurato da argini più alti e robusti. Sono invece le magre estive a mettere in crisi il Po, che non riesce a soddisfare la domanda irrigua dell'agricoltura, ormai estesa sino a Rimini, e che, come nel passato, se pure per ragioni completamente diverse, non riesce a diventare quella via d'acqua alternativa alle strade che tanti auspicano. Ci s'interroga sul futuro del Po e sulla sua sistemazione: tutto dipenderà dal coraggio delle scelte che sapremo fare per un uso conservativo delle risorse del fiume. Le conclusioni potrà trarle anche il lettore, sulla base non solo di quanto avrà letto in questo volume, ma anche di quello che vorrebbe che *fosse* il Grande Fiume, che era chiamato *Ἡράκλειος*, *Pádus*, *Bondēnum*, *Lirōnis* e che oggi tutti conosciamo come Po.

Questa sintesi dei contenuti è una guida alla lettura del volume, che è una sorta di piccola enciclopedia idrografica del medio e basso corso del Po, dalla Lombardia al mare, e che accompagna e illustra il materiale iconografico della Commissione Brioschi. Il lettore dovrà munirsi di una dettagliata carta stradale, come quella a scala 1:200.000 del TCI, per potersi orientare fra tutte le località fluviali citate nel testo, dove potrà visitare tanti borghi d'acqua così interessanti per storia e architettura, alla ricerca anche di ciò che è rimasto degli ambienti umidi naturali.

Per ultimo, un commento sull'elenco bibliografico inserito nella presente opera: si tratta, forse, dell'elenco più completo, mai pubblicato, per il Po e i suoi diversi problemi, essendo state inserite citazioni di pubblicazioni storiche, archeologiche, letterarie, cartografiche, geomorfologiche, idrauliche e idrologiche, nautiche e idrovie, economiche e urbanistiche. Per una rassegna del Po, dalle anse della storia ai nostri giorni.

Note

1. In: «Giornale del Genio Civile», anno XXV, n. 29. Si veda il cap. 1 di Graziella SIBRA.

2. Istituto Geografico Militare Italiano, con sede a Firenze.

1. Introduzione: le grandi piene del 1872 e la Commissione Brioschi

Luigi Ciarmatori

La piena di maggio

Non fu un anno tranquillo quel 1872 per le genti rivierasche del Po, come del resto si ripeteva frequentemente dall'inizio del secolo XVIII e si sarebbe ancora verificato, dopo pochi anni, nel 1879. Erano le ore 2 mattutine del 27 maggio quando il fiume in piena toccò, alla stazione idrometrica di Pontelagoscuro, il livello massimo di 2,55 m sullo zero idrometrico dopo molti giorni di crescita ininterrotta causata soprattutto dagli intensi apporti del Ticino - Lago Maggiore. La pressione delle acque sulle arginature si faceva sempre più forte ed era vivo il timore che qualche punto di più debole tenuta potesse cedere allo sforzo crescente.

Il timore si dimostrò fondato, purtroppo. Alle ore 14 del 28 maggio, a Guarda Ferrarese (Comune di Ro), 20 km a valle di Pontelagoscuro, l'argine maestro destro del Po, da poco ultimato, cedette improvvisamente per un violento sifonamento¹, che in pochi minuti portò alla distruzione del rilevato arginale per una lunghezza di circa 300 m.

Alle ore 2 del giorno seguente, un chilometro a monte della prima, si verificò un'altra rotta² dell'estensione di circa 280 m. Il disastro fu immenso. L'enorme fiumana in uscita dalle rotte superò in fasi successive i rilevati argina-

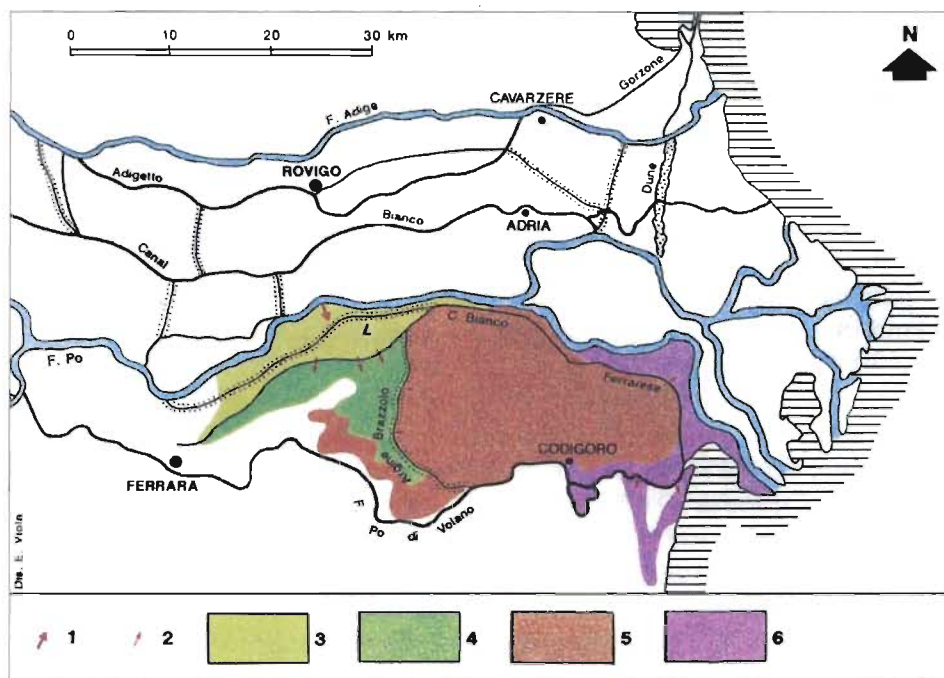


Fig. 1.1 - Inondazione del maggio-giugno 1872 nel Polesine di Ferrara.

LEGENDA

1. rotta per sifonamento del 28 maggio a Guarda Ferrarese,
2. rotte nelle arginature di colatori (L. Lavezzola).

Sequenze di sviluppo dell'inondazione:

3. settori sommersi nei giorni 28-30 maggio,
4. idem, il 31 maggio,
5. idem, nei giorni 1 e 2 giugno,
6. idem, nei giorni 3-7 giugno.

Da GOVI & TURITTO (2000), ripreso da MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, 1872, Giornale del Genio Civile, tav. III.

Fig. 1.2 - Inondazioni del novembre 1839, dell'ottobre 1872 e del giugno 1879 nel territorio dell'Oltrepò Mantovano.

LEGENDA

Rotte nell'argine maestro di Po:

1. per erosione al piede dell'argine in frodo a Bonizzo e Castel Trivellino (12 e 16 novembre 1839),
2. per sormonto a Ronchi (23 ottobre 1872),
3. per sifonamento a Brede (23 ottobre 1872),
4. per sifonamento a Carbonara (4 giugno 1879).

Inondazioni:

5. superficie inondata (con linea verde, blu e rossa sono indicati i limiti dei settori sommersi rispettivamente nel 1839, nel 1872 e nel 1879),
6. altezza in cm raggiunta dalle acque di inondazione sul piano di campagna: nel 1839 (verde), nel 1872 (blu) e nel 1879 (rosso).

Da GOVI & TURITTO (2000), ripreso da MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, 1881, *Relazione sui servizi idraulici per biennio 1879-1880*, Tav. II modificata.

li della Fossa Lavezzola, del tratto più occidentale del Canale Bianco Ferrarese e del traversagno del Brazzolo³, assestandosi provvisoriamente, il 3 giugno, su quasi tutta l'area compresa tra l'argine destro del tratto terminale del Canale Bianco Ferrarese e l'argine sinistro del Po di Volano. Nei giorni successivi, superati anche questi ostacoli, l'inondazione si estese a nord fino all'argine destro del Po di Goro, mentre a sud le acque raggiunsero ampie zone anche sulla destra del Po di Volano vicino alla costa adriatica.

Restarono sommersi circa 700 km² di territorio. Circa 45 mila persone dovettero evacuare le loro case. *"Tutta gente cotesta"* narra Antonio BOTTONI (1873), cronista ferrarese dell'epoca *"che dovè convenire sugli argini, accorrere negli abitati salvi, rifugiarsi a Ferrara, e quivi affidarsi meno al lavoro proprio che alla carità altrui. I fabbricati isolati, se deboli, caddero; se solidi, rimasero danneggiati; non uno illeso. Molti ponti furono distrutti, molte strade guaste, una gran quantità di attrezzi e macchine mal ridotta o dispersa"*.

Tra l'imperversare del vaiolo, per mesi la popolazione sopravvisse tra gli stenti, sugli argini o in rifugi di fortuna, esposta alle intemperie, sostentandosi con gli aiuti alimentari e materiali che le città e i territori vicini, non toccati dall'alluvione, generosamente fecero pervenire. I danni materiali ammontarono a circa 40 milioni. Per i lavori di ricostruzione dell'argine, protrattisi ininterrottamente, giorno e notte, per quasi due mesi, furono necessarie 89 mila giornate lavorative e furono impiegati 170.000 m³ di terra portati a *"carriole"*, a *"barche"* e a *"birocci"*, come si legge nella relazione datata da Polesella il 28 luglio 1872 e redatta dalla Direzione Tecnica dei Lavori, composta dall'ispettore del Genio Civile ingegner Cavalletto e dagli ingegneri capo Lanciani e Natalini.

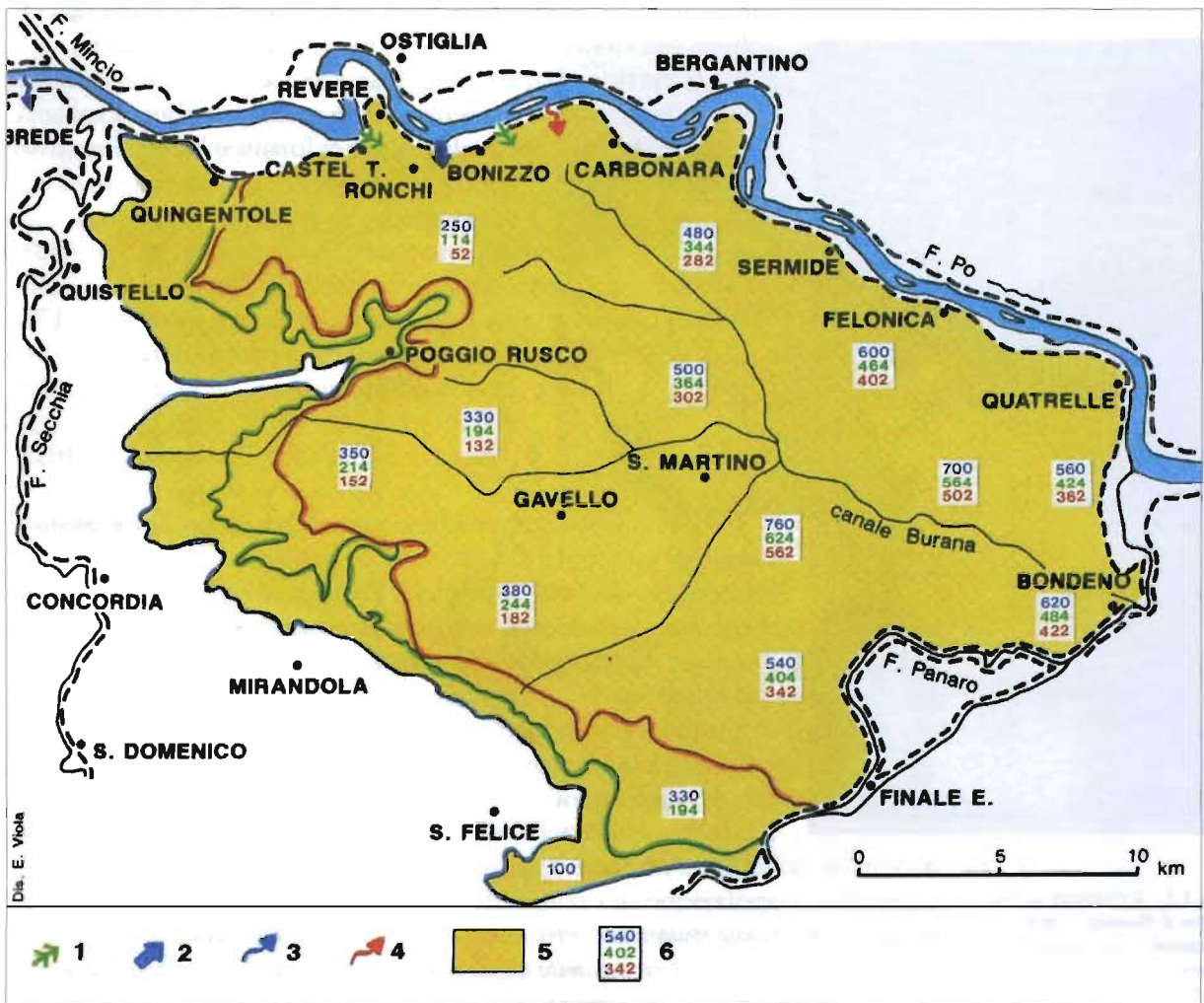
La piena di ottobre

Erano ancora largamente aperte le ferite dell'alluvione di maggio quando, in ottobre, violenti cataclismi si abbattono su gran parte dell'Italia. Sul lago Maggiore, a Pallanza il lago allagò il paese causando due vittime mentre lo straripamento del Toce causò la distruzione di un ponte sulla strada del Sempione. Anche il Ticino per molti giorni fu minaccioso. A Milano straripò il Seveso. A Brescia i dintorni furono allagati dal Mella e gravi danni provocò lo straripamento della roggia San Giovanni. Nella provincia di Parma 1000 ettari furono allagati e vi furono danni provocati, oltre che dal Po, dal Parma e dall'Enza. Una parte di Mantova fu allagata. In altre parti d'Italia si ebbero pure gravi danni. Nel Bolognese tutti i fiumi entrarono in piena e provocarono sormonti e rotte delle arginature. A Pisa furono allagati 20 mila ettari; a Padova 3000; a Ravenna 1500. Molti fiumi strariparono nel Napoletano e in Sicilia, provocando un gran numero di vittime e incalcolabili danni.

Nel contempo il Po si mostrava minaccioso lungo tutto il suo corso. In particolare, nel Pavese la rotta di un argine causò l'inondazione di 11.000 ettari, la distruzione di 30 case e danni calcolati a 2 milioni; a Cremona furono allagati i sobborghi e 800 ettari furono sommersi. Ma fu nel corso medio-inferiore del fiume che ancora una volta si verificò il disastro maggiore. Questa volta nell'Oltrepò mantovano. La piena provocò due grandi rotte sull'argine maestro destro. L'entità della piena stessa, tuttavia, maggiore di quella di pochi mesi prima, fece sì che le rotte avvenissero più a monte rispetto a quella di

maggio: la prima si verificò infatti a Brede⁴, poco a monte della foce del Secchia, la seconda a Ronchi, presso Revere, tra le foci del Secchia e del Panaro.

La rotta di Brede fu causata dal sifonamento dovuto alla infausta presenza di un pozzo⁵ situato a soli 4 m dall'unghia dell'argine e all'altrettanto infausto intervento delle persone accorse sul posto dopo che si era notato il notevole flusso di acqua torbida uscente dal pozzo. Vale la pena riportare questo episodio di "inconsulto otturazione di un pozzo" come lo descrive il Lombardini: *"In piene anteriori esso pozzo aveva dato segni di un aumento di sorgive, sempre però chiare; ma in questa manifestarono qualche torbidume, cosicché il custode ivi accorso aveva iniziato l'accerchiamento del pozzo con sacchi ripieni di terra. Una mano di villici colà sopravvenuti, minacciandolo della vita, perché non reputavano abbastanza efficace quel*



provvedimento, intese supplirvi coll'otturazione del pozzo mediante i sacchi. Se non ché, intrapresa questa operazione, avvenne uno scoppio delle acque che lanciò in aria sacchi, pozzo e terreno circostante, aprendosi così la rotta dell'argine con una breccia che raggiunse la larghezza di metri 200". Tutto ciò avveniva alle ore 8 e 30 del 23 ottobre e chissà se il bravo e diligente custode, non avendo potuto evitare i danni, riuscì almeno a salvare la vita. La rotta era situata poco a monte dell'argine sinistro del Secchia, quindi nella zona più depressa della pianura circostante. Ciò fece sì

che l'allagamento avvenisse piuttosto lentamente, causando tuttavia la sommersione di una vasta area di circa 250 km².

La rotta di Ronchi, verificatasi anch'essa il 23 ottobre e più disastrosa della precedente per le conseguenze che ne derivarono, avvenne invece per sormonto. La grande entità della piena e i conseguenti elevati livelli raggiunti dalle acque causarono la tracimazione delle stesse sulla sommità arginale per circa 30 cm. Il rilevato resistette qualche ora cedendo infine, alle ore 10, in due diversi punti. In questo caso si apriva all'inondazione un'area molto più vasta di quella della rotta di Brede. Tutta la superficie compresa tra l'argine destro del Secchia, l'argine del Po e l'argine sinistro del Panaro venne inesorabilmente sommersa. Il livello raggiunto delle acque variò dai 3 m delle aree più a monte, vicine al Secchia, fino ai 7 m delle aree più depresse di valle, prossime all'argine sinistro del Panaro e superarono di gran lunga i livelli raggiunti nella precedente grande alluvione del 1839.

La superficie allagata raggiunse i 580 km². I danni, anche in questo caso, furono immensi. Per le sole costruzioni crollate o gravemente danneggiate il Bottoni ci fornisce la seguente triste contabilità:

Case crollate per intero	.	.	.	n.	329
Case crollate in parte	.	.	.	n.	153
Fienili caduti per intero	.	.	.	n.	172
Fienili caduti in parte	.	.	.	n.	51
Costruzioni diverse crollate od in pericolo	.	.	.	n.	313

Totale n.	1018
-----------	------

Il desolante spettacolo che si presentava alla vista è realisticamente descritto dal BOTTONI in poche righe: *"E anche senza avventurarsi fra quel mal noto lago, chi dal ponte di Panaro presso Bondeno, avesse riguardato la gran valle sarebbe rimasto inorridito alla vista dell'immensa superficie d'acqua interrotta da comignoli, da cime d'alberi e da natanti masserizie"*.

Come era accaduto in maggio nella bassa Ferrarese, anche nell'Oltrepò mantovano buona parte della popolazione trovò rifugio sugli argini. Gli stenti, se possibile, furono ancora più accentuati a causa della stagione ormai inoltrata. Il FILOPANTI, sul

Monitore di Bologna del 9 febbraio 1873, descrive così la vita condotta sugli argini dalla popolazione alluvionata, tra la rassegnazione e la speranza di tempi migliori: *"È uno spettacolo compassionevole ma che pure ha il suo lato consolante il veder le donne sul dorso dell'argine, sotto quelle loro capannucce aperte al vento, agli sguardi di tutti accudire con mesta ma serena rassegnazione ai loro lavori domestici, ed allestire presso un fumoso fuoco, fatto di sterpi raccolti nella golena del fiume, il frugale pasto di polenta per la povera famigliola"*.

La solidarietà internazionale

Le offerte in denaro a favore dei danneggiati dalle due alluvioni di maggio e di ottobre pervennero da tutta l'Italia e ammontarono a 2.261.000 lire. Ma



Fig. 1.3 - Il Padimetro del Municipio di Bondeno. L'immagine, ovviamente, è stata rielaborata con programmi di grafica, per rendere meglio leggibile le scritte.

l'eco delle calamità avvenute nei territori prospicienti il Po si sparse in tutto il mondo. E da tutto il mondo giunsero pure le offerte in denaro: a tutto maggio 1873 erano pervenute in totale, da paesi stranieri, 501.000 lire di cui 381.000 da paesi europei, 84.000 dalle Americhe, 21.000 dall'Africa, 11.000 dall'Asia e 4.000 dall'Oceania.

La "Commissione Brioschi"

Altre piene avevano funestato le terre padane nel corso dell'Ottocento, mettendo in pericolo o violando l'integrità delle arginature e l'incolumità delle popolazioni. In particolare, limitandosi al corso medio-basso del fiume, alcune rotte dagli effetti disastrosi si erano verificate nel 1801, nel 1807, nel 1812, nel 1839. Non ancora raggiunta l'unità d'Italia, nella prima metà del secolo il Po era gestito, lungo il suo corso, da diversi stati sovrani che poco o per nulla coordinavano i loro interventi di regimazione del fiume. Il quale tuttavia, incurante dei confini, non faceva distinzioni o parzialità con le sue periodiche azioni distruttrici: le rotte verificatesi in uno stato provocavano inondazioni anche in quelli limitrofi. Ci ricorda ancora il BOTTONI (1873), a proposito della piena del 1839, che "35 ville insomma e 5 comuni, appartenenti ai tre domini austriaco, pontificio ed estense, rimasero sepolti".

Furono tuttavia i due grandi disastri del 1872, unitamente all'opportunità concessa dalla compiuta unificazione politica del bacino del Po, a determinare la volontà di intraprendere uno studio approfondito sulle condizioni idrauliche del fiume, condotto in modo accurato e unitario lungo tutto il suo corso di pianura, allo scopo di ricercare le cause delle numerose e più recenti alluvioni e di suggerire le azioni necessarie per limitarne in futuro la gravità e la frequenza. È quanto si ritrova espresso, con la tipica e ampollosa prosa ottocentesca, nella relazione con la quale il Ministro dei Lavori Pubblici, De Vincenzi, propose al Re Vittorio Emanuele II di approvare il decreto istitutivo di una commissione di studio e di cui riportiamo il passo più significativo: "*Mentre pertanto il referente sta provvedendo dappertutto coi mezzi largamente forniti dal Parlamento per minorare le conseguenze funeste del disastro e per impedirne la riproduzione, rinforzando e rialzando le arginature, pensa ancora che debba essere partito assai proficuo per l'avvenire il domandare alla scienza di riprendere in esame speciale il vasto problema, e propone perciò alla Maestà Vostra di riunire una Commissione autorevole di uomini insigni nella idraulica, perché studi e suggerisca i provvedimenti che sarà per reputare più acconci ad impedire per quanto sia possibile i temuti e tremendi disordini del più potente dei nostri fiumi*".

Il regio decreto del 16 febbraio 1873 recitava invece, con esemplare stringatezza, all'articolo 1: "*È istituita una Commissione incaricata di studiare le condizioni attuali del regime idraulico del bacino del Po, allo scopo di suggerire i provvedimenti d'ordine tecnico che reputerà opportuni per migliorare il sistema delle difese*".

IL 23 OTTOBRE 1872
LE ACQUE DEL PO. SORMONTANDO GLI ARGINI
AI RONCHI A VAL DI REVERE
COPERSERO NEL MANDAMENTO DI BONDENO
ETTARI 10.548, 62. 76. DI TERRENO
RAGGIUNSERO IN MEDIA L'ALTEZZA DI METRI SEI
VI RIMASERO PARZIALMENTE STAZIONARIE SETTE MESI
BOVESCIARONO 609 FABBRICATI
DETERIORANDO TUTTI GLI ALTRI
CACCIARONO IN ESIGLIO 7990 CITTADINI
REGARONO DANNI INCOMENSURABILI
ALLA PROPRIETÀ ALLA INDUSTRIA AL COMMERCIO
PER RIPARARE TANTA SVENTURA
LAVORIAMO
GLI UNI COLLA MANO GLI ALTRI COLLA MENTE
TUTTI COL CUORE

Fig. 1.4 - Municipio di Bondeno (Ferrara), epigrafe commemorativa della piena del 1872, posta nell'atrio.

L'articolo 2, e ultimo, elencava i componenti della commissione, che era formata da sette membri, tutti eminenti scienziati e tecnici, scelti tra i più profondi conoscitori delle scienze idrauliche e in particolare del fiume Po:

- Ing. Elia LOMBARDINI, senatore, presidente onorario;
- Prof. Francesco BRIOSCHI, senatore, presidente;
- Prof. Gustavo BUCCHIA, deputato al Parlamento;
- Comm. Pacifico BARILARI, vicepresidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici;
- Comm. Antonio GIULIANI, presidente della Sezione Idraulica dello stesso Consiglio;
- Comm. Domenico TURAZZA, professore di idraulica all'Università di Padova;
- Comm. Filippo LANCIANI, ingegnere capo di prima classe nel Genio Civile.

Il compito affidato alla commissione era dunque molto ampio e generico, pur nello scopo prefisso, e dava piena discrezionalità alla commissione sulla scelta degli studi e delle indagini da effettuare. La fiducia era del resto ben riposta. Come già detto, tutti i componenti della commissione erano senza dubbio all'altezza del compito assegnato e in particolare Elia LOMBARDINI e Francesco BRIOSCHI erano personaggi di primo piano nell'Italia della seconda metà dell'Ottocento.

Elia LOMBARDINI (Alsazia, Francia 1794-Milano 1878) fu un cultore della scienza idraulica, e in particolare di quella fluviale, la cui fama superò i confini nazionali ed europei. Tra l'altro, condusse dei fondamentali studi scientifici sul regime del fiume Nilo (VISMARA, 1893; SANDRI, 2004), di cui abbiamo una singolare testimonianza del poeta Giuseppe Ungaretti che ne venne a conoscenza nel 1931, durante un soggiorno in Egitto (terra natale del Poeta). La biblioteca tecnica del Lombardini, composta di 1100 volumi, alla sua morte fu lasciata al Collegio Ingegneri e Architetti di Milano e tale "Legato Lombardini" costituì il primo nucleo della biblioteca del Collegio, che conta oggi circa 20.000 volumi. Insieme a P. Paleocapa, fu l'estensore della prima legge sulla difesa del suolo in Italia (LOMBARDINI, ristampa anastatica 1990, Presentazione di M. PELLEGRINI).

Francesco BRIOSCHI (Milano 1824-ivi 1897), allievo di Elia Lombardini, scienziato poliedrico e Professore all'Università di Pavia, matematico e idraulico di prima grandezza, dotato di grandi capacità organizzative, fu il fondatore, insieme al Lombardini medesimo, del Politecnico di Milano (chiamato allora Istituto Tecnico Superiore) che diresse fino alla morte, esercitandovi l'insegnamento dell'idraulica (GALBANI, 2004). Partecipò molto attivamente anche alla vita politica dell'Italia da poco riunita. Fu Segretario Generale al Ministero della Pubblica Istruzione, quindi deputato e in seguito Senatore del Regno (1865). Dal 1884 succedette a Quintino Sella nella presidenza dell'Accademia dei Lincei.

Gustavo BUCCHIA (Brescia 1810-Resiutta 1889) resse la cattedra di Costruzioni Idrauliche e Lavori Marittimi presso la Scuola di applicazione per gli ingegneri di Padova, diretta dal Turazza. Nel 1883 fu nominato Senatore del Regno.

Pacifico BARILARI (Pesaro 1813-ivi 1898), ingegnere idraulico, nel 1860 fu nominato ispettore del Genio Civile a Torino e fu poi, per molti anni, presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel 1879 presiedette la

Commissione Internazionale per la difesa idraulica di Szeged (Ungheria). Fu socio dell'Accademia Nazionale dei Lincei dal 1873.

Antonio GIULIANI entrò a far parte della Direzione del Corpo d'Ingegneri di Acque e Strade del Granducato di Toscana nel 1836. Sospeso dal servizio nel 1847, forse per ragioni politiche, nel 1860 divenne membro dell'ancora strutturalmente lorenese Consiglio d'Arte della Direzione Generale dei Lavori d'Acque e Strade e delle Fabbriche Civili dello Stato e venne nominato Commissario Regio delle Strade Ferrate.

Domenico TURAZZA (Malcesine 1813-Padova 1892) si laureò in matematica a Padova nel 1835. Nel 1842 fu chiamato a Padova da Pavia, dov'era titolare della cattedra di Geometria descrittiva, per coprire quella di Geodesia e Idrometria. Partecipò, in modo alterno, ai grandi fermenti politici che si ebbero nel Veneto negli anni dal 1848 al 1866. Rimosso da Radetzski, fu riammesso alla sua cattedra dopo il 1866. Fu più volte rettore e preside di facoltà. Fondò e diresse la Scuola di applicazione per gli ingegneri, dove fu titolare di Idraulica. Negli ultimi anni fu nominato Senatore del Regno.

Filippo LANCIANI, ingegnere idraulico romano, fu promotore e autore di grandi bonificazioni nel territorio ravennate.

L'operato della Commissione

La Commissione Brioschi, insediata nel 1873, protrasse i suoi lavori fino al 1880, effettuando la prima indagine completa sul Po condotta con criteri scientifici e unitari su tutto il corso di pianura del fiume, da Moncalieri fino alla foce. Essa rappresentò il nucleo originario e il punto di partenza per la realizzazione dei successivi studi idrologici, sulla base dei quali sono state in seguito progettate ed eseguite tutte le opere idrauliche che, ispirate a tali studi e quindi razionalmente condotte, nel corso di circa un secolo misero il fiume in condizioni di ragionevole sicurezza.

Le "Sezioni Brioschi"⁶ sono divenute, nel corso dei decenni, le sezioni ufficiali di riferimento per le rappresentazioni cartografiche del Po e vengono utilizzate normalmente, se necessario con gli opportuni infittimenti, per la redazione dei progetti idraulici, per le indagini idrologiche, per la realizzazione dei modelli idraulici e dei modelli matematici di singoli tronchi del fiume e per ogni altro scopo inerente la sua sistemazione, la sua gestione e il suo sfruttamento⁷.

Nel corso dei suoi lavori la Commissione Brioschi produsse una notevole mole di documentazione, tra cui numerose tavole e disegni tecnici. Tale documentazione, insieme ad altro numeroso materiale riguardante il fiume, fu raccolta a Parma in un museo del Po e nel 1912, all'atto dell'istituzione dell'Ufficio Idrografico del Po nella stessa città, presso tale Ufficio trovò sistemazione definitiva. La conservazione negli archivi dell'Ufficio ha tuttavia limitato fortemente, fino ad oggi, la possibilità di consultare e di utilizzare questa documentazione. Ed è proprio con l'intendimento di divulgarne la conoscenza e facilitarne lo studio che l'Ufficio Idrografico del Po ha reputato necessario rendere di pubblico dominio e divulgare presso la comunità scientifica il patrimonio tecnico rappresentato dai suddetti documenti, realizzando la presente pubblicazione. L'intento è stato quello di illustrare compiutamente l'opera della Commissione Brioschi, sia mediante la riproduzione

ne fedele della documentazione iconografica da essa prodotta che mediante monografie specialistiche su aspetti idrologici, idraulici, storici, geografici e cartografici più o meno strettamente connessi o complementari alla materia trattata, che da un lato dessero completezza e risalto alla documentazione originale, dall'altro potessero contribuire alla rappresentazione del divenire storico del territorio padano.

La parte fondamentale della documentazione prodotta dalla Commissione Brioschi era costituita da otto grandi tavole, ognuna delle quali divisa in due fogli, contenenti i profili di 89 sezioni trasversali del Po. Di queste, 82 furono rilevate lungo il corso principale del fiume, da Bastida de' Dossi (circa 30 km a monte della confluenza del Ticino) fino all'incile del ramo deltizio del Po di Tolle e le rimanenti sette lungo i rami deltizi del Po di Goro e del Po di Tolle. La raccolta relativa alle sezioni era completata da una tavola riportante i profili altimetrici, estesi da Moncalieri alla foce, degli elementi caratteristici del Po (argini, piano di campagna, livelli di piena e di magra, fondo alveo). La collezione delle sezioni e dei profili, realizzata a mano e a colori, con grande perizia calligrafica, risulta di particolare valore documentario e artistico e riveste un grande interesse tecnico oltre che storico.

Della documentazione tecnica prodotta durante i lavori della commissione faceva parte anche una serie di planimetrie di vario genere, eseguite per scopi diversi ma soprattutto per le operazioni di livellazione necessarie alla quotatura delle sezioni e alla costruzione dei profili. Di tali planimetrie, anch'esse realizzate a mano e impreziosite dal colore, nonché di rilevante interesse tecnico e storico, ci sono pervenuti solamente undici esemplari, di cui nove realizzati sui fogli lucidi telati tipici dell'epoca, quasi esclusivamente riguardanti la parte medio-alta del Po.

Altre diciotto tavole di disegni tecnici riportano invece la documentazione riguardante i rilievi idrologici eseguiti dalla commissione su due sezioni fluviali situate rispettivamente nell'alto Po (Pieve Porto Morone, presso Pavia) e nel basso Po (Fossadalbero, presso Ferrara). Particolare interesse e curiosità rivestono le tavole degli elaborati relativi alle campagne di misure di portata e segnatamente quelli sulle scale di deflusso: scale sia grafiche che numeriche (basate su polinomi di quinto grado) che rappresentano probabilmente una delle prime, se non la prima, elaborazione del genere realizzate per il Po. La rimanente documentazione è costituita da una serie di disegni, di grandi dimensioni e a scala molto particolareggiata, riportanti i profili longitudinali, in sponda destra e in sponda sinistra, di alcuni tratti del corso medio-alto del Po.

Note

1. Sifonamento: l'acqua si infila alla base dell'argine, vi defluisce e fuoriesce all'esterno asportando materiale fino a provocarne il crollo. La fuoruscita di acqua torbida è indice di asportazione di materiale.

2. I tecnici un tempo definivano questo tipo di rotta *di risentimento*: la rotta di valle provoca un rapido abbassamento delle acque nell'alveo, determinando il franamento degli argini a monte. È dimostrato che in un rilevato arginale, costituito da materiali terrosi, granulari, la massima condizione di instabilità si registra in condizioni di svaso rapido.

3. Si tratta di canali della cosiddetta La Vallona, nella Grande Bonifica Ferrarese, nella zona compresa tra Copparo e Berra.

4. Brede, frazione di San Benedetto Po.

5. La situazione idrogeologica nella pianura in destra del Po, dal Parmense sino a Bondeno, si può così sintetizzare. Il Po, pensile in fase di piena sulla campagna emiliana, scorre su un letto impostato su un banco sabbioso, ricoperto da argille a lato dell'alveo. L'acqua del fiume permea lo strato sabbioso dando luogo a una falda confinata, in pressione. Durante le massime piene, la pressione dell'acqua aumenta e, dove lo spessore della copertura argillosa è minore o dove esistono pozzi per acqua, fa "esplodere" il terreno. Si possono registrare "sifonamenti" della falda anche a notevole distanza (diversi chilometri) dagli alvei, con formazione di specchi d'acqua, detti *bugni* nel Mantovano e *gorgbi* nel Ferrarese e nel Polesine, ancor oggi presenti nel territorio e osservabili, ad esempio, presso Quistello (PELLEGRINI, 1985). Sempre durante le piene del Po, quasi tutti i pozzi idrici risultano prevalenti, vale a dire con acque naturalmente zampillanti al di sopra del piano di campagna, nel Modenese e Reggiano anche molto lontano dall'alveo.

6. Le "Sezioni Brioschi", che riproducono i profili di 89 (82 sull'asta principale e 7 sui rami deltizi) sezioni trasversali del Po, come detto nel testo, da Moncalieri sino alla foce, sono state realizzate con misure batimetriche o di profondità, effettuate con appositi scandagli. Questa tecnica sarà illustrata da Stefano Orlandini nel cap. 9.

7. Ancora oggi costituiscono un dato di riferimento molto importante: basti pensare alle pubblicazioni del Ministero dei Lavori Pubblici, Magistrato per il Po-Parma, Ufficio Studi (1996) e al volume di AUTORI VARI (1990).

2. Ricomposizione di una storia per un progetto di territorio fluviale

Graziella Sibra

Le 89 *Sezioni Trasversali* – rilevate lungo il tronco arginato da Pavia al mare in scala 1:400 per le altezze e di 1:4.000 per le larghezze, riportando anche il livello della massima piena del 1872 – e l'*Idrometria del Po del 1878-79-80*¹ – in cui sono elencate XVIII tavole – costituiscono due serie di documenti ritrovati presso l'Ex-Ufficio Idrografico del Po, l'attuale Servizio IdroMeteorologico dell'ARPA dell'Emilia Romagna (TIBALDI, 2005); essi sono state oggetto della campagna di ricerca e di recupero attivata in collaborazione con il Politecnico di Milano (SIBRA, 2004). Insieme a questi due documenti storici, è stato recuperato un gruppo di mappe del 1874. La cartografia raffigura alcuni tronchi del fiume Po e in particolare: il *Piano dimostrante l'andamento della Livellazione del Po da Sommo sulla sinistra e da Bastida de' Dossi sulla destra e fino a Palazzuolo*²; il *Piano della Livellazione da Moncalieri al Porto di Palazzuolo*³; la *Planimetria della Livellazione generale nella Provincia di Cremona*⁴; la *Pianta Idrografica dimostrativa delle opere Idrauliche di 1ª e 2ª Categoria nella Provincia di Reggio Emilia*⁵; la *Carta Corografica colla livellazione generale del Po nella provincia di Piacenza*; la *Planimetria Rettificata della sponda destra di Po tra l'Ongina e il Taro*; la *Pianta colla livellazione del fiume Po tra Ongina d'Enza in Provincia di Parma*⁶; la *Corografia generale del Fiume Po dalla foce del Fiume Lambro a quella del fiume Adda*⁷; la *Planimetria Rettificata della Sponda destra di Po tra il Taro e la Parma*. Quasi tutti questi documenti sono a colori e si trovano, oggi, riprodotti fuori testo in questo volume. Lo studio e le verifiche effettuate, su questa documentazione, portano ad affermare che, con molta probabilità, appartengono all'indimenticabile lavoro prodotto da un gruppo di idraulici, che fecero delle acque della valle padana un sistema idrografico perfetto. Le XVIII tavole dell'*Idrometria* del 1878 appartengono al XIII volume degli Atti inediti della Commissione tecnico-scientifica, istituita con Regio Decreto del 16 Febbraio 1873 e passata alla storia con il nome di chi materialmente realizzò l'intero lavoro: Francesco Brioschi⁸. Nonostante presenti una scala diversa, anche il gruppo composto dalle 89 sezioni, distribuite in otto fogli, appartiene alla stessa Commissione.

“La sezione è quella che si fa da un piano, che ad angoli retti taglia il fondo del fiume” (BRIOSCHI, 1806): per il Po, distribuite lungo quasi tutto il percorso alla medesima distanza una dall'altra⁹. È innegabile, comunque, che queste sezioni mantengono tutt'ora (si veda ad esempio il volume di AUTORI VARI, 1990) la loro funzione di strumento di lavoro per la gestione del grande Fiume, essendo perfettamente individuabili i toponimi riportati nelle mappe, che sono rimasti immutati dall'inizio dell'Ottocento.

Ordinando il materiale iconografico sopra descritto, la presenza della da-

ta, 1874, accompagnata dai luoghi nei quali sono stati eseguiti i rilievi di campagna, rimanda ai lavori prodotti dagli uffici d'area e richiesti, molto probabilmente, dalla stessa Commissione.

*“È noto come dopo i disastri delle numerose rotte avvenute nell'anno 1872 lungo le arginature del Po, il governo, preoccupato dal dubbio che erasi in molti ingenerato, se rispondesse ancora alle trasformate condizioni del bacino del Po il sistema delle antiche difese, addivenne alla nomina d'una Commissione composta di uomini insigni nella idraulica, affidandole l'incarico di studiare e suggerire i provvedimenti che reputasse più acconci per difendere le pianure padane dalle inondazioni. La Commissione, nominata con regio decreto risultò così composta: Elia Lombardini, Francesco Brioschi, Gustavo Buccia, Pacifico Barilari, Antonio Giuliani, Domenico Turazza, Filippo Lanciani.”*¹⁰

La Commissione produsse la più esauriente e qualificata documentazione riguardante il fiume Po e tutti gli studi eseguiti e i risultati ottenuti si trasformarono in un perfetto e poliedrico strumento per la gestione delle acque del bacino padano; nel modello idraulico di riferimento per l'intera nazione; nell'esempio da imitare per i fiumi d'Europa. Gli atti della *Commissione Brioschi* si componevano di due parti e nel XIII volume, oggetto del ritrovamento, una parte descrittiva sviluppata in sette capitoli, non ancora recuperati, accompagnava l'Atlante, allegato a questo testo. La parte descrittiva, come riportano le cronache del tempo, doveva essere suddivisa in un' *Introduzione*, con le indicazione degli studi e delle operazioni eseguite per iniziativa della Commissione, seguita dalle *Generalità* con i criteri generali adottati, il piano delle operazioni da eseguirsi, la qualità degli strumenti, il riassunto delle operazioni. Nel capitolo successivo si dovrebbe trovare il *Riassunto* delle operazioni eseguite a Milano a Piacenza e a Lecco¹¹. Mentre il quarto e quinto capitolo, con le *Risultanze* delle misure fatte a Pieve Porto Morone e a Fossadalbero, dovrebbero essere seguiti dalle *Interpretazioni* dei risultati di Fossadalbero. Chiuderebbe il volume la parte dedicata alla *Costruzione* di una nuova scala padimetrica per Pontelagoscuro.

Il volume XIII insieme ad altri documenti, realizzati dalla *Commissione Brioschi*, fanno parte di un progetto di recupero e di ricerca sulla *rappresentazione dei territori fluviali*. È da segnalare che, nonostante gli sforzi messi in campo, l'intera raccolta non può dirsi ancora completata. La recente dismissione di questa documentazione, da parte degli uffici centrali e periferici dei corsi d'acqua della valle padana, impedisce la trasformazione di mappe, sezioni, rilievi, in materiali d'archivio per studiosi e ricercatori. L'avvio del progetto di ricerca ha comunque consentito al Laboratorio di Cartografia del Dipartimento di Progettazione dell'Architettura del Politecnico di Milano, di arrivare a stilare un dettagliato elenco di tutti gli studi e i risultati ottenuti dalla storica *Commissione*. Il progetto di recupero prevede l'integrale ricomposizione dei documenti, anche per singole parti, il restauro e la trasformazione digitale. Tutte le operazioni sono state condivise e programmate insieme agli enti interessati e ritenute indispensabili per consentire, nello stesso tempo, lo studio approfondito, la quotidiana consultazione come strumento di lavoro, la conservazione del documento storico e l'ampia diffusione, anche nella rete, senza compromettere l'originale e l'eventuale deterioramento del supporto cartaceo.

È da segnalare che in questi anni, grazie alla sensibilità di enti pubblici e privati, si è potuto ricomporre, quasi integralmente, alcune parti conservate, oggi, presso l'ex-Magistrato per il Po, l'attuale Agenzia Interregionale per il Po (TELESCA, 2005) e l'ex-Ufficio Idrografico, l'attuale ARPA dell'Emilia Romagna.

Ricomposizione di una Storia

I rilievi e le sezioni, con i loro colori, nonostante il carattere tecnico delle immagini, allegate a questo volume, assolvono a più funzioni: quella di farsi guardare perché sono belli; durante la lettura rendono più scorrevoli i testi; riescono infine a portarci, con molta semplicità, nella direzione dei compiti assegnati alla *Commissione Brioschi*. Compiti carichi di progettualità e diffusi nella forma di volontà di far diventare i corsi d'acqua dei soggetti da tutelare, salvaguardare, potenziare e valorizzare insieme ai loro territori di appartenenza. Una volontà che ha attraversato, in modo indelebile, tutto l'Ottocento e che è stata condivisa e difesa da uomini illustri come Elia Lombardini e Francesco Brioschi. Per quasi un secolo, il progetto non ha conosciuto né soste né tregue; nessuno ha mai fatto mancare il sostegno e nessuna critica ha mai influito sulla decisione presa. Un progetto, infine, che “galleggiando” sulle acque, è approdato su entrambe le sponde, da Torino al mare Adriatico, e si è concluso soltanto all'inizio del Novecento con l'apertura dell'Ufficio Idrografico e del Magistrato per il Po, più tardi.

I documenti riprodotti oggi testimoniano e avvalorano, ancora una volta, l'importanza dei risultati ottenuti dalla *Commissione Brioschi*, conseguenti a un lungo e infaticabile lavoro, teorico e pratico, avviato all'inizio del secolo XIX, quando l'Italia divisa da ormai troppo tempo, in una miriade di stati e statelli scopri, insieme a Napoleone Buonaparte, di poter diventare uno Stato unico in grado di assicurare stabilità al governo, tranquillità e benessere agli abitanti. “...i confini degli stati non possono e non debbono essere prescritti da capricci degli uomini, ma dalle leggi imprescrittibili della natura che ha circoscritto i corpi politici come i confini del mare” (ZAGHI, 1991)¹².

È certo che l'impostazione francese della suddivisione amministrativa del territorio secondo i bacini idrografici (Dipartimenti indicati con il nome di fiumi), accompagnata dalla visione di unità politica e dalla costituzione a Milano di un Ufficio Topografico¹³, sembrò favorire la *scienza delle acque*¹⁴ e il fiume Po per la prima volta iniziò a essere osservato nel suo insieme, mentre la sua raffigurazione si tramutò in strumento di base per intraprendere la gestione del corso d'acqua e lo sviluppo del suo territorio d'appartenenza. Lo sviluppo di questa scienza, oltre che dalla nuova situazione politica, fu senz'altro favorita da quanto andava succedendo, oramai da oltre due secoli, nei fiumi europei e italiani e nel bacino padano soprattutto per la particolare situazione climatica, come si vedrà in alcune delle note contenute nel volume.

Le operazioni topografiche vennero avviate dai militari francesi, ed erano basate sui nuovi metodi matematici e geometrici, messi a punto da César-François Cassini (1714-1784). Questi metodi trovarono applicazione nei lavori della Direzione Generale acque e strade¹⁵ stabilitasi a Milano nel 1805 dopo l'autoincoronazione nel Duomo di Milano di Napoleone Buonaparte a Re d'Italia. Alla Direzione Generale di acque e strade “...era demandata sia la progettazione e la direzione tecnica di tutti i lavori per i quali era previsto un concorso finanziario pubblico, sia l'ispezione d'intesa con le prefetture, sulle attività dei comuni per le strade e dei consorzi di scolo e bonifica per la acque”¹⁶.

Agli ingegneri topografi militari era affidata l'attività cartografica, fissata nel 1802, e poi, nel 1805, con leggi che ne definivano i compiti di rilievo, misurazioni¹⁷ e consegne, le competenze in materia di *scienza delle acque* (ZUCCONI, 1992).

Nella sede di Milano, nonostante la determinazione della struttura amministrativa della Direzione acque e strade, il Corpo assumerà, in un primo momento, solo compiti di ordinaria amministrazione, lasciando i grandi progetti ad appannaggio di esperti che provenivano dalla Francia. Ricorderemo a tale proposito una ricognizione della costa e delle sue attrezzature portuali, affidata nel 1805 a Bruyère, ingegnere in capo, facente funzione di segretario del Consiglio dei Ponts, professore dell'omonima Scuola. A Rolland, Ispettore Generale, sempre in quel periodo venne assegnato il compito della fondazione di "...un porto di Comacchio aperto alle unità di tutte le nazioni e di un annessa piccola città marittima e amministrativa, localizzandola tra Comacchio e le foci del Po di Volano" (MORACHIELLO & TEYSSOT, 1983). Sempre nello stesso anno, venne eseguita, infine, da Gaspard Riche de Prony, direttore dell'Ecole des Ponts et Chaussées di Parigi e Primo Ingegnere dell'Impero, una "...discesa dal Ticino di Pavia al Po, esaminato l'andamento del fiume dai pressi di Saluzzo alle sorgenti, ...dalla confluenza del Ticino fino al Delta... annotando quotidianamente, livelli, portata e velocità..."¹⁸. Nella primavera e nell'estate del 1805 vennero raccolti dati sulla portata, la velocità, le sezioni caratteristiche del Po, venne inoltre studiato il problema del riordino idraulico, insieme alle possibilità di una navigazione più veloce e meno saltuaria lungo il corso del fiume.

Accanto ai rilievi sul territorio vennero avviati importanti progetti cartografici come i lavori per la *Gran carta militare del regno d'Italia* cominciata nel 1802 in collaborazione con i francesi, la *Gran carta militare dell'Istria* alla scala di 1:28.000, la carta del Quarnaro alla scala di 1:50.000, i rilievi dei campi di battaglia di Napoleone sull'Adige, Piave e Tagliamento all'1:20.000, la carta delle coste dell'Adriatico fra l'Adige e il Tavollo presso Cattolica (RN); e, per la sezione idrografica, i rilievi e scandagli della costa adriatica, della laguna veneta fino alla foce del Piave, a scale variabili dall'1:5.000 all'1:15.000. Anche la raffigurazione del Po, che insieme al Nord Italia si troverà riunito per la prima volta in un solo governo, entrò nei grandi progetti cartografici con l'avvio nel 1813 della rappresentazione del territorio ferrarese, un luogo duramente provato dalle continue inondazioni. La *Carta del Ferrarese* (PEZZOLI & VENTURI, 1987), una mappa composta da 38 tavole disegnate a china e colorate ad acquarello raffigura parte dell'attuale territorio della provincia di Ferrara e Rovigo appartenenti nel 1805 al Dipartimento del Basso Po¹⁹.

Senza esitazione, si può affermare che la *Carta del Ferrarese*, raffigurando un luogo dai confini mobili e incerti tra terre e acque, in un'epoca così travagliata nelle sue vicende politiche, appare molto interessante e bella, per lo sviluppo in lunghezza del corso del grande fiume e del suo apparato deltizio, per la quantità di territorio rappresentato, per la tecnica figurativa, per la scala utilizzata, per l'orientamento e per essere diventata il punto di riferimento per qualsiasi immagine del Po e del suo territorio d'appartenenza. Il disegno di questo è molto curato, sia dal punto di vista pittorico, sia per la rappresentazione della realtà, con alberi dalle ampie chiome, con una vegetazione rigogliosa, con colture differenziate nei campi, con ordinati giardini all'italiana nelle zone urbane. I colori, dagli intensi toni, sono distesi con particolare maestria e rimandano, per la forma pittorica, alla raffigurazione della stagione estiva, quando, tra giugno e settembre, la natura è nel pieno della sua espressione. La rappresentazione del paesaggio, proprio per i colori della stagione estiva, raffigurata in queste mappe, risulta particolarmente piacevole, riuscendo a trasformare un semplice elemento topografico in un elemento

scenografico bello da osservare. La mancanza di una legenda, purtroppo, non ci fornisce indicazioni precise sull'utilizzazione del suolo, anche se i segni rinviano con immediatezza, per i simboli e i colori utilizzati, alla realtà delle forme e al loro rapporto diretto con l'aspetto dell'oggetto raffigurato.

Il territorio rappresentato coincide, quasi unicamente, con il corso del fiume Po con inizio a Stellata e Ficarolo²⁰, passando per Pontelagoscuro, Guarda Ferrarese e Guarda Veneziana, Crespino e la Becca, Corbola e Bottrighe, Massenzatica e Po di Goro, toccando infine il Po della Gnocca prima di sfociare nel mare Adriatico.

La precisione nella rappresentazione e nei rilievi sul campo, la raccolta minuziosa dei dati sulle variazioni delle acque, influenzarono decisamente l'idea della messa in ordine delle acque del Po. E così dopo che negli "*...anni 1813-1814, sotto il Governo italiano, erasi intrapresa dagli Ufficiali del Corpo degli ingegneri, geografi una estesa livellazione dell'ultimo tronco del Po e di territori finitimi insieme ad una serie di osservazioni contemporanee sulle oscillazioni di livello del fiume e del mare ai diversi idrometri disposti su quella linea fluviale. Il signor tenente colonnello Marieni, che aveva avuto non poca parte in quei lavori, si è reso benemerito col pubblicare i più importanti risultati i quali mi tornarono utilissimi per alcuni studi da me fatti?*" (LOMBARDINI, 1836). Ed è proprio il citato colonnello MARIENI (1828), che descrive in dettaglio sia la realizzazione sia l'importanza idrotopografica della carta. "*Di conseguenza fu ordinato: di formare colla massima esattezza il piano di tutto il territorio...; di livellare e far analoghi profili longitudinali del Po e delle sue ramificazioni...; di misurare un numero di sezioni nei fiumi e nelle loro ramificazioni, sufficiente per determinare la capacità e la natura dell'alveo; di legare tutte le livellazioni tra loro, mediante la livellazione di un numero di linee trasversali, bastante per poter conoscere le particolari ineguaglianze del terreno interposto ai detti fiumi; di levare finalmente una pianta speciale delle valli di Comacchio e di minutamente scandagliarle.*"

Giacomo MARIENI è sempre il protagonista della realizzazione dell'altra parte della raffigurazione del corso del Po, quando era Ispettore della Imperial Regia Direzione Aulica delle Pubbliche Costruzioni. Con dispaccio del 4 dicembre 1816, riceve l'incarico di redigere le istruzioni necessarie per il rilievo del fiume Po. Il rilievo doveva partire dallo sbocco del Ticino, comprendere oltre 400 m dalla riva del fiume, per consentire l'eventuale esecuzione dei tagli di meandri o raddrizzamenti, e disegnare il filone del corso d'acqua. Il lavoro subì continue e ripetute interruzioni per l'alternarsi degli eventi politici, che misero inesorabilmente in discussione confini, strutture amministrative, commissioni idrauliche e l'intero ex-Corpo acque strade. A tutto questo bisogna aggiungere gli spostamenti incomprensibili del personale, i suggerimenti, inascoltati, per migliorare la produzione e la mobilità della struttura lavorativa dei cartografi. Una situazione puntualmente segnalata nelle innumerevoli lettere e relazioni inviate, dai funzionari, agli organi di governo. Nel 1821, nonostante la precaria situazione, la Direzione Acque e Strade informò l'Imperial Regio Governo che erano pronte due copie della carta del Po di cui una per il Governo di Venezia. Le due rappresentazioni, che in questo clima rischiarono di trasformarsi in documento politico, vennero invece riprese, insieme all'idea progettuale, da Elia Lombardini²¹ "*...che fece del Po l'oggetto privilegiato dei suoi studi e del suo agire. Egli scrisse molto di idraulica, con quel suo stile cattaneano capace di coniugare eredità storica e contesto coevo, conoscenze teoriche sul sistema delle acque e ricognizione materiale dei luoghi; manca forse in lui l'anelito civile dichiarato dell'impegno pubblico di Carlo Cattaneo; ma poi, quando si va a*

vedere la sua vita di funzionario, quando si consultano le sue pratiche... si incontra un funzionario dall'alto profilo tecnico e dall'estremo rigore" (ISENBURG, 1997). L'intervento di Elia Lombardini non si limitò alla difesa del *territorio fluviale*, ma essa venne accompagnata dall'attivazione di un acceso dibattito sulle acque, diffondendolo a livello europeo. Affrontò problematiche particolari riuscendo a dare brillanti soluzioni. Valorizzò studi del passato per recuperare e migliorare teorie. Si espose direttamente, con pesanti critiche, sulle opere realizzate proponendo interventi a difesa di un territorio fragile. Profuse l'idea del *territorio fluviale* e riuscì infine a far convergere attenzione e risorse di tutti i tipi. Tra tanti esempi disponibili, l'accorato appello di ricondurre l'idraulica a valore di scienza, (LOMBARDINI, 1860 e 1872) appare emblematico. Nel volume, presentato dal Comitato esecutivo per l'Esposizione nazionale di Belle Arti e del Congresso dello stesso anno, l'Autore dimostra che Leonardo da Vinci fu il "vero creatore della scienza idraulica nel secolo XV, quando venuto a Milano convertì l'idraulica in scienza... e l'idrologia che addietro altro scopo non aveva se non l'architettura delle acque, viene in tal modo ad associarsi alla meteorologia, alla geologia ed alla geografia fisica...". Tutti temi applicati "ad una linea del Po nel cremonese di natura variabilissima, ove nell'intervallo di pochi anni avvengono incredibili cangiamenti di corso che permettono di tener dietro nelle diverse loro fasi al processo della natura de' fenomeni relativi, e che furono per me oggetto di continue osservazioni... passando poi allo studio delle portate... mi valse di misure dirette e che con più o meno di esattezza si sono praticate e costrutte per tale modo scale di portata in funzione delle altezze delle acque, all'appoggio di dati statistici, ossia di effemeridi di queste, ho potuto determinare i loro deflussi minimi, massimi e medi" (LOMBARDINI, 1860 e 1872).

L'eredità di Elia Lombardini, fatta di saperi e infinite conoscenze acquisite sul campo, venne raccolta da Francesco Brioschi in "...un'opera imponente, che avrebbe fornito una guida conoscitiva per l'azione di governo del territorio". La Commissione Brioschi del 1872, come viene abitualmente indicata, "...venne stroncata nel 1881 a seguito della disattivazione della Commissione stessa. In essa una volta di più Francesco Brioschi dimostrò il suo alto livello di studioso in grado di coniugare le competenze tecniche con una grande capacità di agire amministrativo" (ISENBURG, 1997). Francesco Brioschi riuscì comunque, nonostante il cambiamento dell'ambiente, a completare l'ambito progetto con la raffigurazione del Fiume da Torino al mare Adriatico, in scala 1:50.000, accompagnandola da tutto quell'apparato di documentazione; l'opera è consultata ancora oggi e si è dimostrata un utile dato di confronto per lo studio della dinamica fluviale del grande fiume padano (si veda ad esempio: AUTORI VARI, 1990).

Conclusioni

Il breve racconto sul XIII volume, sulle 89 sezioni e sulle mappe di alcuni tronchi di Po, ritrovati in questi ultimi anni, testimoniano gli aspetti di un *territorio fluviale* come si presentava oltre un secolo fa e la mole di lavoro richiesta per portarlo a termine. Ancora oggi, quando si leggono i documenti o quando si ammirano gli elaborati cartografici della *Commissione Brioschi*, si rimane increduli di fronte a quest'opera imponente. Essa ha dimostrato nei fatti, in un'epoca nella quale le misure topografiche e idrauliche si erano da poco consolidate, di potere tracciare la geometria completa dell'alveo del Fiume più importante d'Italia e di 89 sezioni di deflusso, per potere servire, con

successivi rilievi di raffronto, alla definizione di un quadro dinamico completo, per potere studiarne l'evoluzione dell'alveo nello spazio e nel tempo; doveva servire, soprattutto, a comprendere quello che stava succedendo in quegli anni, quando ogni grande piena superava, per altezza idrometrica, quella precedente, rinnovando in continuazione i valori delle massime piene registrate, come descrive chiaramente LOMBARDINI (1865 e 1990; 1867-1868) e come ci testimoniano i tanti padimetri, primo fra tutto quello di Ferrara. Dobbiamo immaginare che, all'epoca, le Sezioni del Brioschi, oltre che a spiegare le cause di queste grandi piene, che con le ripetute esondazioni di vaste aree di pianura, dovessero servire anche per usi strategici, quali la navigazione e il posizionamento dei mulini natanti.

La gestione del fiume è affidata attualmente a Enti pubblici che, periodicamente, si uniscono o si frammentano secondo le esigenze amministrative del momento, ma che, come nel passato, cercano di assicurare la difesa dei *territori fluviali*, con il contributo dei tecnici, quali idraulici, geografi, cartografi, navigatori, che sono sempre alla ricerca di modelli dinamici del fiume, che siano compatibili non solo con la difesa dalle alluvioni, ma anche con i diversi usi delle acque del fiume. Un fiume, nel quale le dinamiche dell'ambiente circostante derivano da quelle delle acque fluviali medesime, nel quale gli eventi storici si sono succeduti sulle anse del fiume e per il fiume, nel quale è nata e si è sviluppata la scienza idraulica italiana e per il quale è stata applicata la prima rappresentazione tecnica, moderna, del territorio italiano: tutti questi elementi saranno il filo conduttore dei contributi di questo volume sulle *Sezioni Brioschi*, primo strumento tecnico moderno per lo studio del gran Fiume padano, ancor oggi via d'acqua dov'è piacevole farsi trasportare.

Note

1. In questo documento sono conservati 18 elaborati: la Planimetria località Fossadalbero in scala 1:15.000 e 1:2.000, i Rilievi sovrapposti della Sezione 2° di Fossadalbero, il Profilo schematico del pelo d'acqua nei giorni di sperimentazione, la Rappresentazione delle variazioni d'altezza a Pontelagoscuro nei periodi di sperimentazione; la Rappresentazione grafica riassuntiva dei valori delle aree, velocità medie, e deflussi rilevati a Fossadalbero; il Confronto fra i valori sperimentali dei deflussi e le curve delle nuove scale padimetriche per Pontelagoscuro; la Planimetria località Pieve Porto Morone 1:2.000; la Rappresentazione grafica riassuntiva dei valori delle Aree, velocità medie, pendenze e deflussi rilevati a Pieve Porto Morone; la Rappresentazione del modo di condotta dei rilievi; gli Allegati al saggio computo deflussi col Molinello; l'Allegato al saggio computo deflussi coi galleggianti.

2. La mappa è stata realizzata a Pavia il 20 Ottobre 1874, in scala 1:50.000.

3. Il documento è in scala 1:50.000 ed è datato Torino 31 Dicembre 1874.

4. Sulla mappa è riportato: Corpo Reale del Genio Civile, Provincia di Cremona, Servizio idraulico Fiume Po, Planimetria dimostrativa la linea seguita nella livellazione generale di sottodetto fiume nella Provincia di Cremona eseguita dietro ordine della Commissione per lo studio del Bacino idraulico del Po, istituita con R. Decreto 16 Febbraio 1873, Cremona li 25 Aprile 1874.

5. Il titolo prosegue con: *che serve a far conoscere l'andamento tenuto nelle livellazioni delle Arginature di tali opere estese per un breve tratto anche alle opere di 3 categoria. Scala metrica nel rapporto di 1:42.300.*

6. La mappa inoltre l'indicazione che è stata Estratta dalla Carta dell'Italia Centrale nella scala 1:86.400 e realizzata a Parma il 21 Aprile 1874.

7. Corpo Reale del Genio Civile, Provincia di Milano, Corografia generale del Fiume

Po in questa Provincia dalla foce del fiume Lambro a quella del fiume Adda indicante le linee seguite nella livellazione generale del fiume praticata nel 1873-1874, Milano 24 Aprile 1874, firmato l'Ingegnere Capo Parea.

8. Francesco Brioschi nato a Milano nel 1824 e morto a Milano nel 1897 (per brevi cenni biografici si veda anche il cap. 1 di questo volume, scritto da L. CIARMATORI). Le opere di Brioschi sono state raccolte e pubblicate in cinque volumi a cura del Comitato per le onoranze a Brioschi, costituitosi nel 1989 presso il Politecnico di Milano. Lo stesso Comitato acquistò la biblioteca privata di Brioschi, che ora si trova presso la Biblioteca centrale del Politecnico unitamente alle sue carte e alla ricca corrispondenza. L'inventario di questo materiale è stato pubblicato dal Politecnico che, in occasione del centenario della morte del suo fondatore, ha promosso una serie di iniziative i cui esiti sono raccolti nei tre volumi di AUTORI VARI (2000-03), che, unitamente agli atti del Convegno di studi matematici, promosso dall'Istituto Lombardo, sono gli strumenti più idonei per affrontare e approfondire lo studio di questa figura e del suo tempo. Si veda inoltre (GALBANI, 2004).

9. Le sezioni originali sono in scala 1:200 per le altezze ed 1:2.000 per le larghezze.

10. In: *Giornale del Genio Civile*, anno XXV, n. 29.

11. Le operazioni servivano per tarare gli strumenti e per la scelta delle località ove eseguire i rilievi idrometrici che sono Pieve Porto Morone in provincia di Pavia e Fossadalbero in provincia di Ferrara.

12. La citazione prosegue spiegando come *"In attesa delle condizioni e dei tempi per realizzare l'unità politica del paese, i repubblicani ripiegano sulla creazione d'una repubblica lombarda ritenuta da tutti più fattibile e a portata di mano, sotto l'ala protettrice della Francia e legata ad essa da un trattato d'alleanza"*.

13. L'Ufficio topografico si stabilisce a Milano tra il 1796 e il 1797 ed era composto da ingegneri francesi giunti al seguito dell'armata napoleonica sotto la direzione di Leopold BERTHIER.

14. *Scienza delle acque* è una felice espressione molto usata da Elia LOMBARDINI.

15. Al Corpo acque e strade fanno parte sei Ispettori generali, 24 ingegneri capo, 48 ingegneri ordinari e 36 aspiranti che acquisiranno *"sul campo"* la patente di ingegnere. Responsabile della Direzione di acque e strade è Giovanni PARADISI, che in una circolare ricorda agli ingegneri le finalità *"...la fedeltà dell'amministrazione, la diligenza di prevenire i bisogni, la capacità di progettare le opere d'arte le più solide ed economiche, e la rapidità dell'esecuzione..."*

16. Vedi: Archivio di Stato Milano – documento interno 7110 – Ufficio Genio Civile.

17. Sul rilevamento topografico è riportato che l'ingegnere deve pensare al territorio e alla città come formati da un tracciato di misure (MORACHIELLO & TEYSSOT, 1983).

18. Non bisogna dimenticare che nel 1806-1807 Chabrol de Volvic, politecnico e ingegnere dei ponti proponeva una via navigabile per congiungere l'Adriatico al Tirreno (MORACHIELLO & TEYSSOT, 1983).

19. Il Dipartimento del Basso Po è stato costituito con decreto dell'8 giugno 1805 con Ferrara capoluogo e diviso nei distretti di Ferrara, Rovigo, Comacchio e Adria.

20. Le due località si trovano rispettivamente sulla sponda destra e sinistra del Fiume, in pratica laddove il Po si suddivideva in più rami, dopo la rotta di Ficarolo del XII secolo e segnavano l'ingresso del Fiume nel territorio di Ferrara. Anche le altre località citate si distribuiscono sulle due sponde.

21. Elia Lombardini (1794-1878): per i cenni biografici si veda il cap. 1, redatto da L. CIARMATORI, in questo volume, inoltre si consultino le opere, VISMARA (1893), SANDRI (2004) e LOMBARDINI (1865 e 1990).

3. Evoluzione della rete idrografica e dell'alveo del Po

Maurizio Pellegrini

Un corso d'acqua e il suo bacino, da un punto di vista morfologico, possono essere descritti attraverso l'analisi della sua rete idrografica, delle caratteristiche dell'alveo, così come questo appare all'osservazione in superficie e dalla forma della sezione dell'alveo, ovvero del suo fondo o *thalweg*. Le caratteristiche di un fiume e del suo bacino idrografico, non solo morfometriche, ma anche idrauliche e idrologiche¹, sono condizionate da diversi fattori, in particolare dalle caratteristiche geologiche del bacino medesimo, dall'energia del rilievo e dalle caratteristiche climatiche. Le relazioni tra forme delle reti idrografiche e degli alvei fluviali e i fattori che ne controllano lo sviluppo e l'evoluzione nel corso del tempo, sono descritti, ad esempio, nei classici manuali di idrologia fluviale, di CHOW, (1964) e di MAIDMENT (1993, a cura di), ai quali si rimanda il lettore per un approfondimento più specialistico dell'argomento.

In questo capitolo si cercherà di descrivere la situazione morfologica della rete idrografica del Po e del suo alveo, soprattutto, come poteva apparire nella seconda metà dell'Ottocento, desumendola attraverso i rilievi e i disegni della Commissione Brioschi. Come ci ha illustrato Graziella SIBRA nel precedente capitolo, il materiale sino a ora reperito non è, purtroppo completo; nell'elenco che segue, le planimetrie disponibili e di riferimento per l'ubicazione delle Sezioni Trasversali e dei diversi profili (longitudinale, livello della piena del 1872) sono ordinate con criterio geografico, da monte verso valle nel modo seguente:

Tavola Cartografica 1: *Piano della Livellazione da Moncalieri al Porto di Palazzuolo*, alla scala di 1:50.000;

Piano dimostrante l'andamento della Livellazione del Po da Sommo sulla sinistra e da Bastida de' Dossi sulla destra e fino a Palazzuolo, in scala 1:50.000;

Tavola Cartografica 2: senza titolo e altre indicazioni: Provincia di Pavia, dalla confluenza con il F. Agogna (sinistra idraulica) a quella con il T. Bardonezza (destra idraulica): carta molto schematica con tracce delle triangolazioni topografiche effettuate, (scala dei disegni originali 1:40.000);

Tavola Cartografica 3: *Corografia generale del Fiume Po dalla foce del Fiume Lambro a quella del fiume Adda*, sponda sinistra idraulica, senza indicazione di scala (scala dei disegni originali: 1:25.000 circa);

Tavola Cartografica 4: *Livellazione generale nella Provincia di Cremona*, non è riportata la scala, che si può stimare, tuttavia, prossima a 1:40.000;

Tavola Cartografica 2: *Carta Corografica colla livellazione generale del Po nella provincia di Piacenza*: destra idraulica, scala n. d. (1:40.000 circa);

Tavola Cartografica 5: *Pianta colla livellazione del fiume Po tra Ongina d'Enza in Provincia di Parma*; destra idraulica, scala 1:86.400;

Tavola Cartografica 4: *Planimetria Rettificata della sponda destra di Po tra l'Ongina e il Taro*: destra idraulica, scala n. d., prossima a 1:12.000;

Tavola Cartografica 5: *Planimetria Rettificata della Sponda destra di Po tra il Taro e la Parma*, destra idraulica, scala n. d., comunque di dettaglio, prossima a 1:12.000;

Tavola Cartografica 6: *Planimetria della Pianta Idrografica dimostrativa delle opere Idrauliche di 1^a e 2^a Categoria nella Provincia di Reggio Emilia*. Scala metrica nel rapporto di 1:42.300;

Tavola Cartografica 6: rappresentazione del *Delta del Po*, a est di Contarina, senza cartiglio e indicazione di scala.

Per le planimetrie, delle quali non è indicata la scala, questa è stata determinata sulla base dei rapporti tra distanze prefissate, utilizzando una cartografia di scala nota. Le riproduzioni incluse nella presente opera sono state opportunamente ridotte rispetto alle dimensioni degli originali. Come si può osservare dalle planimetrie, manca, purtroppo, la rappresentazione di tutto il tratto dell'alveo del Po che va dalla Provincia di Reggio Emilia (Luzzara) sino al Delta, proprio quello più problematico dal punto di vista delle rotte e delle alluvioni dell'Ottocento. GOVI & MARAGA (1993, 1995) e GOVI & TURITTO (2000) descrivono le piene del 1705 e quelle dell'Ottocento, che più da vicino interessano l'argomento di questo volume e che, in pratica, determinarono la ragion d'essere di tutti i rilievi cartografici (AUTORI VARI, a cura di SIBRA G., 2004), dei tanti studi idrologici, soprattutto del Lombardini, e dei documenti prodotti della stessa Commissione Brioschi, qui parzialmente riprodotti. GOVI & TURITTO (1993, p. 581) fanno notare che “negli ultimi 500 anni, nel tratto compreso tra il F. Ticino ed il T. Panaro... le zone più frequentemente soggette ad allagamenti corrispondono ai settori di pianura, che in passato furono sede delle più importanti trasformazioni idrografiche (Oltrepò mantovano tra Suzzara e Bondeno, tronco pavese dei meandri abbandonati tra San Zenone e Monticelli, settore tra T. Scrivia e F. Ticino... Fino alla metà del secolo scorso ed in parte anche fino ai primi decenni del secolo attuale, gli allagamenti, pur risultando estesi, soprattutto nei tratti inferiori (Oltrepò Mantovano, Ferrarese e Polesine), erano distribuiti nelle diverse aree soggiacenti alla piena anche perché, come a monte di Piacenza, non esisteva ancora un sistema d'arginature maestre”. Nelle pagine che seguono si cercherà di analizzare l'evoluzione e la forma della rete idrografica padana, dell'alveo e del suo fondo, utilizzando naturalmente anche le planimetrie e le 89 sezioni trasversali della Commissione Brioschi; saranno contestualmente evidenziate anche le possibili cause che sono state all'origine delle tante alluvioni provocate dal gran fiume, soprattutto nell'Ottocento, e che hanno interessato con maggior frequenza l'Oltrepò Mantovano e il Ferrarese.

Il percorso del Po, da un remoto passato a oggi

In questo capitolo, sebbene si faccia riferimento in prevalenza all'idrografia padana attuale o degli ultimi secoli, ci si dovrà rapportare anche a una cronologia “geologica”, ben più ampia di quella della storia dell'uomo: se si facesse riferimento alla storia della Terra, si dovrebbe parlare di un intervallo di tempo di oltre 5 miliardi di anni. In realtà, l'evoluzione della rete idrografica

padana si è realizzata in un periodo più breve, che all'incirca può interessare gli ultimi 800.000 anni, quando il golfo padano dell'Adriatico cominciò a emergere, in altre parole in quelle epoche dell'era Quaternaria (circa 1.800.000 anni dal presente o b.P.²), indicate con i nomi di Pleistocene medio (inizio 800.000 anni b.P.) e superiore (inizio 300.000 b.P.) e Olocene (10.000 b.P.). Nel Pleistocene medio e superiore, la Terra è stata ciclicamente interessata dall'alternanza di almeno tre periodi caldi e tre periodi freddi, questi ultimi indicati, nell'area alpino-appenninica, con i nomi di Mindel (il più antico), Riss e Würm (il più recente, iniziato circa 75.000 anni b.P. e concluso 10.000 anni fa): durante i periodi freddi si formarono calotte polari che ricoprivano il nord Europa e grandi ghiacciai ricoprivano le Alpi con lingue che scendevano sino alla pianura Padana, mentre altri ghiacciai minori occupavano gli Appennini. In corrispondenza delle culminazioni dei periodi freddi, il livello del mare scendeva anche di quasi 110 m rispetto a quello attuale, mentre nei periodi caldi saliva sino a 70 m sopra l'odierna linea di riva. A causa di queste oscillazioni del livello marino, conseguenti alle variazioni climatiche pleistoceniche, il bacino padano, naturale continuazione del Mare Adriatico, cambiava di forma: il mare, nei periodi caldi interglaciali, poteva ingredire sino quasi all'altezza di Parma, mentre durante quelli freddi il delta del fiume si collocava tra Ancona e Pescara³. Durante queste fasi climatiche, con le relative oscillazioni del livello marino, il tratto del Po, che maggiormente risentiva di queste variazioni dei rapporti fra Mare Adriatico e terre emerse della Pianura Padana, era senz'altro quello a est di Piacenza. Da Torino sino a Piacenza, infatti, nel passato come oggi, il suo tracciato è stato sempre strettamente controllato a sud dai rilievi del Monferrato e dell'Appennino pavese e piacentino, a nord dai "ripiani alti" delle alluvioni degli affluenti di sinistra tra Dora Riparia e fiume Ticino: l'ampiezza della fascia entro la quale il fiume è stato libero di divagare, senza le arginature degli ultimi 150 anni, raggiunge al massimo i 7 km nel Pavese (si veda, ad esempio, CASTIGLIONI *et Alii*, 1997 e CASTIGLIONI & PELLEGRINI, a cura di, 2000).

Il Po nasce a Piacenza è opinione elaborata nell'immaginario collettivo delle popolazioni della bassa padana (*Mondo Piccolo* di G. GUARESCHI, in TOSCANI C., 1998), che ha un fondo di verità: a Piacenza sino alla metà dell'Ottocento (GOVI & TURITTO, 1993) iniziava il tratto arginato e da Piacenza e Cremona in giù, sino al mare, si succedevano i grandi eventi alluvionali, che con rotte di argine e, soprattutto con le grandi divagazioni dell'alveo hanno da sempre condizionato la geografia della regione e gli insediamenti umani, sin dall'antichità.

In epoche non sempre ben precisabili del passato geologico, durante i periodi glaciali del Pleistocene medio e superiore e forse anche durante quello più recente (Würm), proprio quando il livello del mare era più basso dell'attuale di circa 110 m, il Po si avvicinava al margine appenninico lungo una direttrice che da Piacenza si dirigeva a Busseto (PR), Poviglio (RE), Mirandola (MO), Finale Emilia (MO), Cento (FE), Molinella (BO), Lugo (RA) e Cervia; da qui iniziava il percorso, oggi sommerso dal mare (GASPERI & PELLEGRINI, 1985). Questa ricostruzione è avvalorata da un'ampia documentazione stratigrafica relativa al sottosuolo (REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI-AGIP, 1998). Analizzando la stratigrafia del sottosuolo, sembrerebbe, inoltre, che il Po si sia ripetutamente spostato tra questo limite meridionale e l'attuale posizione che, dalla foce dell'Oglio sino al mare, rappresenta verso nord il limite massimo, raggiunto nel corso della sua storia evolutiva. Solo nel del-

ta, attorno a 3000 anni b. P. è documentato un ramo deltizio diretto verso la posizione delle attuali città di Rovigo e di Chioggia (CIABATTI, 1990, p. 70).

Dopo aver esaminato a grandi linee l'evoluzione padana nel passato remoto, si cercherà ora di riassumere l'evoluzione planimetrica del fiume degli ultimi 3-4000 anni, della quale l'uomo, talora, ha lasciato testimonianze documentarie e che è ancora "leggibile" nel territorio, attraverso l'analisi geomorfica del rilievo del terreno e l'osservazione d'immagini riprese dall'aereo o dai satelliti⁴.

Dal secondo millennio a.C. (età del Bronzo) sino all'attuale, l'area, entro la quale è divagato il percorso del Po, è limitata a nord dalla direttrice Cremona, Sabbioneta, Commessaggio, Borgoforte (CASTALDINI *et Alii*, 2003, fig. 3, p. 15), da dove segue poi all'incirca l'alveo attuale sino ad Ostiglia, per continuare sino ad Arquà Polesine (RO), Rovigo e raggiungere il mare a Chioggia; a sud dalla direttrice che da Piacenza passa per Busseto (PR). Poviglio (RE), Mirandola (MO), Bondeno (FE), seguendo da qui l'antico percorso del Po di Primaro, con il suo delta delle Valli di Comacchio, poco a nord di Ravenna (CIABATTI, 1990, BONDESAN *et Alii*, 2000, BONDESAN 2000).

Secondo CASTALDINI *et Alii* (2003, p. 15), nel secondo millennio a.C., infatti, il Po, si suddivideva nella zona tra Casalmaggiore e Guastalla, forse presso l'odierna località di Cicognara, in un ramo principale (Po di Adria) e in uno (Po di Spina) o più rami minori a esso sub-paralleli. Tracce di questi percorsi sono i paleoalvei individuati tra Viadana, Sabbioneta e Commessaggio (del Po di Adria) e tra Poviglio (RE), Concordia sulla Secchia e San Martino in Spino (MO) per il Po di Spina. Durante la prima età del Ferro (VIII sec. a.C.), il Po deviò dal proprio alveo nella zona di Brescello e Guastalla e si diresse verso nord per formare il *Po Vecchio*, sino all'attuale foce Secchia, alveo del quale resta ancor oggi la persistenza sotto forma di canale colatore. In età romana il Po seguiva ancora il percorso del Po Vecchio, lambendo così le attuali località di Luzzara, Suzzara, Gonzaga, Pegognaga e San Benedetto Po. A questa tesi perviene anche CALZOLARI (2004), sulla base di un'accurata rassegna storica, evidenziando pertanto una perfetta convergenza, quindi, tra analisi geomorfologica effettuata sul campo e documentazione scritta⁵.

Durante l'Alto Medioevo il Po continuava a fluire nell'alveo occupato in età romana, tra Luzzara e San Benedetto Po. Nell'arco di pochi secoli, tuttavia, il fiume cominciò a spostarsi sempre più a nord, occupando nuovi tracciati e dando luogo a una situazione di disordine idrografico generalizzato. In seguito al delinarsi di un ramo più settentrionale, denominato prima *Padus Lironis*, poi *Padus* per antonomasia, località come Luzzara, Suzzara e San Benedetto, sono ricordate, nel X secolo, *in insula*, perché circondate dai due alvei fluviali.

A partire dalla seconda metà del XII secolo la situazione idrografica cambia nuovamente: intorno al 1159, infatti, si disattiva quasi definitivamente il ramo del Po Vecchio⁶ e l'unico alveo, da Luzzara in avanti, è quello dell'antico Lirone, con andamento molto simile a quello odierno. Questo cambiamento fu forse favorito o regolato dall'uomo, perché da quell'epoca furono documentati i primi interventi sistematici d'arginatura⁷, in parte per opera dei monaci benedettini (ANDREOLLI, 2000). In quel secolo, però, l'evento più importante e catastrofico per il Po fu la rotta di Ficarolo, comune della provincia di Rovigo, laddove, sulla sponda opposta, il Po lascia il Mantovano ed entra nel Ferrarese. Essa avvenne nel 1152 o nel 1192 (l'anno è incerto) e sconvolse tutta l'idrografia della bassa pianura padana e l'area deltizia, con riflessi anche economici e politici, che perdurarono sino al XVII secolo: Ferrara

avrebbe perduto per sempre le caratteristiche di città portuale, di transito e di merci dal mare verso città dell'entroterra Padano, talora raggiunte da imbarcazioni che risalivano gli affluenti, come nel caso di Mantova e Pavia, o canali navigabili, come quelli che permettevano di raggiungere Cremona, Sabbioneta, Bologna, Modena e Parma. Da quell'epoca, cominciò, poi a svilupparsi un nuovo delta, proprio verso Chioggia e le bocche dell'Adige, rinnovando la situazione idrografica del X sec. a.C.

L'ultimo grande cambiamento del percorso del Po avvenne nel 1604, quando fu compiuto dalla Repubblica di Venezia il Taglio di Viro, per cercare di evitare l'interrimento della laguna veneta: si arrivò quasi a una guerra tra Stato della Chiesa e Repubblica di Venezia e il Papa minacciò di scomunica i veneziani, a causa del nuovo corso del Po, temendo gravi danni per il territorio Ferrarese, che dal 1598 era stato tolto agli Estensi e acquisito al Patrimonio di San Pietro. Il Papa incaricò un prestigioso ingegnere e architetto ferrarese, Giovanni Battista Aleotti, di compiere studi approfonditi sulla nuova situazione. ALEOTTI (1615 circa) scrisse una poderosa opera di idraulica fluviale, che è stata ristampata nel 2000. Con il Taglio di Viro, tutto il Po dal XVII secolo assunse così, da Moncalieri sino al mare, il percorso attuale; la cuspide del nuovo delta sarebbe progredita in mare di ben 17 km, dal 1604 sino al 1950 circa, con un incremento medio annuo superiore a 4,5 m/anno.

Nel complesso, durante gli ultimi 2800 anni, si può affermare che l'evoluzione del tracciato fluviale da Piacenza sino a Ficarolo (RO) - Stellata (FE), abbia dato luogo a variazioni di percorso tutto sommato modeste, con uno spostamento verso nord, da Luzzara (RE) all'attuale foce del Secchia*, di circa 4-6 km. È logico ipotizzare che questa situazione si sia determinata in condizioni del tutto naturali, sulle quali l'uomo ha potuto incidere ben poco, dal momento che arginature artificiali e continue o altre opere idrauliche sul fiume e nella pianura circostante appaiono documentate non prima dell'XI secolo. Osservando, tuttavia, il tracciato del Po come appare ora, almeno da Guastalla in avanti, quando il fiume disegna una grande ansa verso nord, si dovrebbe concludere che esso occupa una posizione del tutto innaturale, essendo non solo notevolmente pensile, come del resto capita anche in condizioni naturali nelle grandi pianure alluvionali, ma deviando anche da quello che dovrebbe essere il naturale asse di drenaggio della pianura⁹ (si veda la carta di CASTIGLIONI *et Alii*, 1997 b). Questo si allunga da Guastalla sino a Ferrara, attraverso le località di Mirandola e Bondeno, oggi percorso dai grandi collettori di Bonifica del Cavo Fiuma e del Canale di Burana (si veda SALTINI, 2005 e la bibliografia ivi riportata), e in taluni punti è disposto ben 18 km più a sud dell'alveo del Po. A titolo esemplificativo si possono fornire alcuni dati, tratti dalla Sezione 55 (Tavola Cartografica 12) delle Sezioni trasversali, della Commissione Brioschi:

Sezione 55, Idrometro Baroni (di fronte a Carbonara Po sulla sponda destra, MN):

massimo livello della piena del 1872	m 26,929
quota del canale di magra	m 19,82
quota minima del fondo dell'alveo	m 5,65
quota piede dell'argine lato Carbonara	m 21,86

Raffronti topografici (quote attuali):

Chiesa di Carbonara Po	m 14
Quota minima delle Valli Comuni - Le Partite	
(Mirandola, MO) circa 12 km a sud della Sezione 55	m 8,9

Questi dati esemplificano molto bene i particolari rapporti altimetrici tra il Po e il tratto di pianura posto in destra idrografica e ben spiegano gli esiti rovinosi delle piene dell'Ottocento (si veda a questo proposito la Fig. 1.2 del precedente capitolo di L. CIARMATORI): nell'ottobre 1872 furono allagati oltre 830 km² delle campagne dell'Oltrepò Mantovano, del Modenese e del Ferrarese e l'acqua raggiunse la profondità di 7 m! Era la terza volta dopo il 1839 e dopo il maggio del medesimo anno 1872; un'alluvione di poco meno estesa si sarebbe inoltre ripetuta di lì a pochi anni, nel 1879.

Una situazione simile si ha anche in sinistra Po, presso la grande ansa di Viadana-Guastalla: gran parte della pianura compresa tra Cremona e la foce dell'Oglio, già attraversata, come si è visto, da alvei del Po in epoca antica, è molto più bassa rispetto ai livelli di piena del fiume, risultando, quindi, allagabile. Fino al secolo XVI le alluvioni erano così frequenti che Vespasiano Gonzaga fece costruire un lungo argine (di cui restano ancor oggi tracce), "avvolgendo" a ovest, sud ed est tutto il territorio ducale a difesa della sua piccola, splendida capitale, Sabbioneta, e del suo territorio. Prima di cercare di spiegare come il Po sia pervenuto a una simile, innaturale posizione altimetrica tra Viadana-Guastalla e Ficarolo, si vuole tentare una descrizione sommaria della presumibile evoluzione naturale, senza dunque l'intervento dell'uomo, di un corso d'acqua, che scorra in una pianura con gradienti di pendio (= pendenze) molto bassi, ad esempio inferiori al 5‰¹⁰, come quelli che competono alla bassa pianura in destra del Po. Un qualsiasi corso d'acqua tenderebbe a costruire, infatti, un "edificio" pensile, vale a dire il suo alveo, costituito da un canale dove scorrono le acque e da due arginature laterali, certamente non simili per forma a quelle artificiali: si possono immaginare come due rilievi tondeggianti, molto larghi e con pendenze molto basse all'esterno del canale medesimo (Fase A, Fig. 3.1): all'interno di questo e nelle sue immediate vicinanze il corso d'acqua abbandona, durante i colmi di piena e le tracimazioni, i materiali alluvionali più grossolani, come le sabbie, mentre nelle aree di piana alluvionali più distanti abbandonerà gli elementi più fini, limi e argille. Il dislivello fra l'"edificio" d'alveo e la circostante piana alluvionale cresce nel tempo, in relazione anche al diverso grado di consolidamento dei materiali depositi, perché le sabbie mantengono più o meno inalterato nel tempo il proprio volume, mentre le argille tendono a comprimersi, con relativo abbassamento delle quote del terreno. A un certo punto (Fase B, Fig. 3.1), quindi, quando i dislivelli tra alveo e pianura adiacente sono divenuti eccessivi, in occasione di una piena del fiume, questo romperà il proprio argine e si scaverà un nuovo alveo, lungo il quale formerà un nuovo "edificio" più o meno pensile. L'alveo abbandonato (o *paleoalveo*) ha forma allungata e rilevata rispetto alla pianura circostante, presentandosi come un "dosso" nastriforme. In una fase ancora successiva (C di Fig. 3.1), l'alveo della fase B si è spostato in una nuova posizione, lasciando a sua testimonianza un altro dosso, mentre il dosso della fase B, in altre parole l'alveo della fase A, nel sottosuolo della pianura, è sepolto dai sedimenti alluvionali che si sono depositati nel frattempo (PELLEGRINI, 1990 a, 1990 b). Situazioni morfologiche e stratigrafiche simili sono diffuse in tutta la pianura emiliana, romagnola, veneta ecc.

Un'evoluzione naturale di questo tipo si è protratta verosimilmente sin oltre l'anno 1000, per tutti i corsi dell'area padana, quando mancava un sistema di arginature continue e vi erano, forse, *aggeres* a difesa solo dei cen-

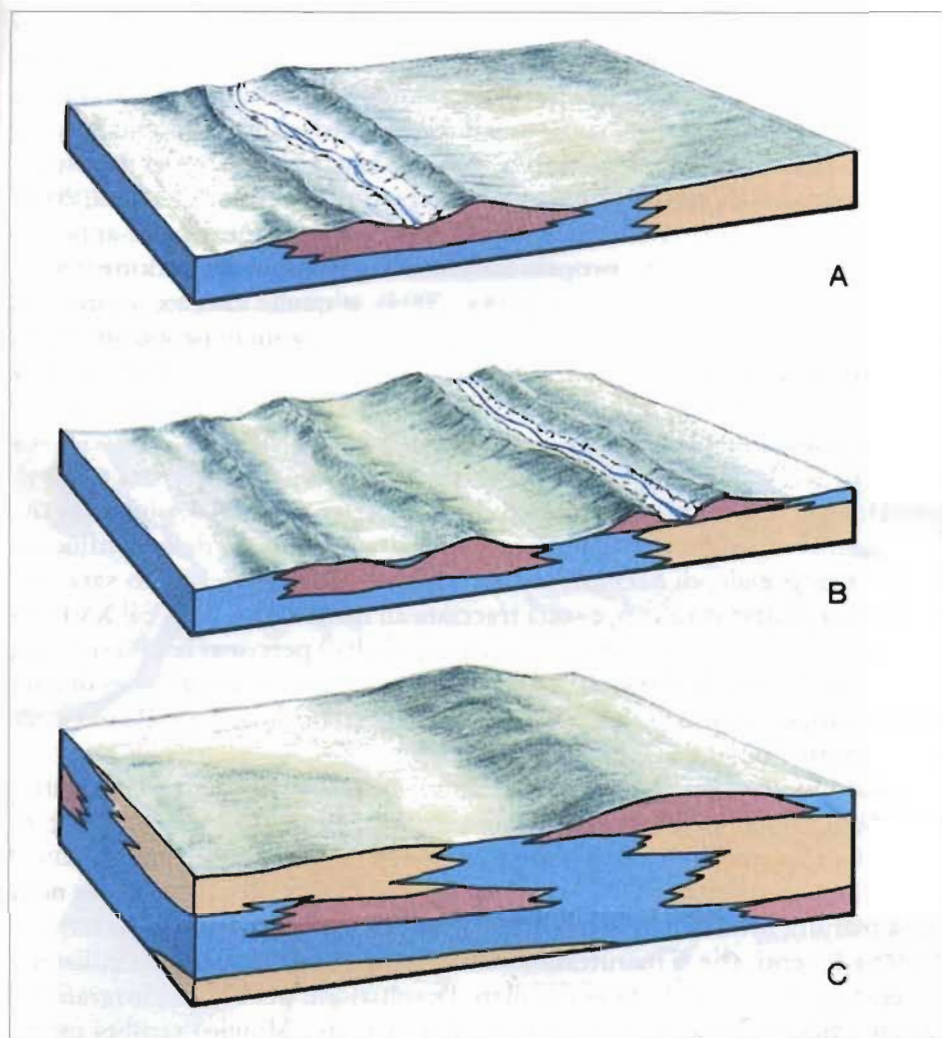


Fig. 3.1 - Evoluzione morfologica di un alveo, secondo una situazione "naturale", in una pianura alluvionale non ancora regolata dall'uomo.

tri rivieraschi (CALZOLARI, 2004); d'altra parte, se si esamina la *Carta Corografica colla livellazione generale del Po nella provincia di Piacenza* della Commissione Brioschi (Tavola Cartografica 2), si può osservare che a est della confluenza con il fiume Trebbia, l'argine s'interrompeva laddove mancavano centri abitati o case sparse, mentre Piacenza, accanto alle nuove arginature ottocentesche, mostra ancora l'antico argine arcuato e "isolato", a difesa della sola città. Si può, quindi, pensare che il tracciato del Po, da Viadana-Guastalla sino a Ficarolo, evidenziatosi a partire dall'VIII secolo d.C. e sviluppatosi sino al percorso attuale nel 1159 (a parte la coesistenza dei due percorsi del Po Vecchio e del Po Lirone, che durerà per altri 300 anni circa), si sia evoluto e stabilizzato in condizioni scarsamente controllate dall'uomo: quali sono dunque le cause dell'*ansa* di Viadana e Guastalla, vale a dire della grande deviazione verso nord del Po presso quelle località? Il LOMBARDINI (1865) si era accorto di questa particolare situazione idrografica e attribuiva la deviazione alla *forza* esercitata dagli affluenti appenninici, che con le loro alluvioni costringevano a spostare verso nord l'asse fluviale. Questa tesi non era nuova: era stata richiamata anche dal LITTA (1840) per interpretare lo spostamento verso nord del Po dalla località di Taneto (Reggio Emilia) ed è stata ripresa recentemente da altri studiosi (NATALE, 1993).

Fig. 3.2 - Ricostruzione della rete idrografica (paleoalvei) dall'età del bronzo all'attuale, tra il torrente Crostolo e il fiume Reno.

LEGENDA

Aree entro le quali hanno divagato, per l'intervallo di tempo considerato, i corsi d'acqua 1) Po, 2) Crostolo, 3) Tresinaro, 4) Secchia, 5) Panaro, 6) Reno; età dei paleoalvei: 7) moderna, 8) bassomedievale, 9) altomedievale, 10) romana e, a luoghi, del ferro, 11) del bronzo; 12) principali diversioni (a) e tagli artificiali (b), con indicazione del secolo o dell'anno; 13) bacini di piena, semisommergibili antecedenemente alla bonifica idraulica ("valli"); 14) dossi; 15) principali orli di scarpata; 16) depositi alluvionali sub-boreali dei fiumi Mincio, Taro e Adige, fluvio-glaciali di pertinenza gardesana (pianura a nord del Po); 17) rilievo montuoso dell'Appennino.

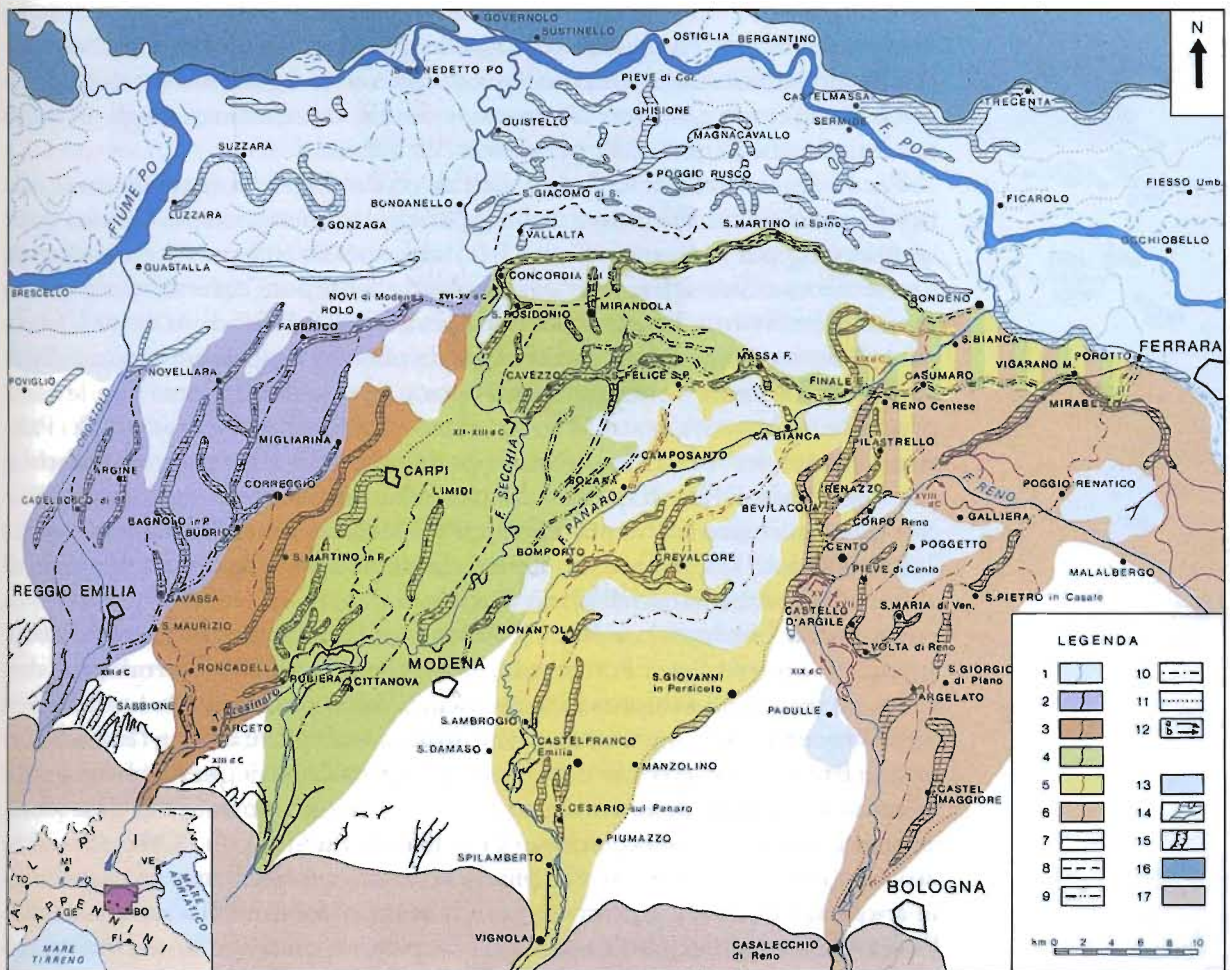
Un siffatto modello evolutivo sembra però poco credibile, per diverse ragioni, che si vedrà ora di esporre. Trebbia, Taro, Enza e Parma, innanzitutto, hanno un trasporto solido per trascinamento al fondo, fatto di ghiaie e sabbie, non certo inferiore rispetto a quello di altri affluenti, come Secchia, Panaro e Reno, che sono caratterizzati da un maggior trasporto in sospensione, costituito da argille, limi: senz'altro, Taro (BEDULLI & VALLONI, 2004) e Trebbia hanno formato le conoidi più grandi della pianura pede-appenninica. Esaminando, inoltre, proprio le carte ottocentesche, riprodotte nel volume di AUTORI VARI (a cura di SIBRA, 2004), o quelle allegate al presente volume, possiamo trarre alcune interessanti conclusioni in proposito. Nella Tav. VIII di AUTORI VARI (a cura di SIBRA, 2004) e nella Tavola Cartografica 2 del presente volume, il F. Trebbia, alla confluenza col Po forma un vistoso delta fatto di "isole" sabbiose e ghiaiose, mentre il Secchia, presso la sua foce (Tav. XXV di AUTORI VARI, a cura di SIBRA, 2004), non mostra tracce di isole fluviali, che costituiscono un indicatore di un trasporto solido elevato. È da ricordare, infine che la situazione idrografica attuale, della confluenza diretta, ortogonale, di Secchia, Panaro e Reno (il corso del Reno sarà successivamente deviato a est), è stata tracciata all'incirca tra il XIII e il XVII secolo, di solito con l'intervento dell'uomo, quando il percorso del Po si era già consolidato secondo il tracciato attuale: antecedentemente, gli alvei di questi fiumi disperdevano le acque in grandi paludi o confluivano in Po più a valle e, soprattutto nel Po di Primaro (Fig. 3.2).

La planimetria generale del Po e dei suoi affluenti, secondo recenti interpretazioni, è in gran parte condizionata dalle strutture tettoniche sepolte, in particolare da quelle delle pieghe frontali dell'Appennino (CASTELLARIN *et Alii*, 1986), talora subaffioranti, soprattutto nell'Oltrepò mantovano e nella bassa pianura modenese presso Mirandola, e dai relativi movimenti tettonici anche recenti, che si manifestano anche in superficie attraverso indizi più o meno evidenti¹² e tali da controllare l'evoluzione della rete idrografica¹³. La rete idrografica degli affluenti (Secchia, Panaro, Mincio) sembra essere notevolmente controllata dalla tettonica del substrato e dalla subsidenza¹⁴ geologica a essa connessa¹⁵. Qualsiasi sia stata la causa, lo spostamento del Po verso nord da Viadana-Guastalla sino a Ficarolo è stato abbastanza rapido, 15 km dall'VIII sec. a.C. all'VIII d.C., ma poi si è arrestato: negli ultimi 1200 anni la situazione si è sostanzialmente stabilizzata, senz'altro anche grazie all'aiuto dell'uomo che, almeno negli ultimi 800 anni, ha eretto arginature artificiali sempre più alte, anche quando l'unica forza motrice era quella umana, bovina ed equina, con macchine fatte di carri, carriole e portantine e la tecnica di consolidamento della terra riportata consisteva nella battitura di un grosso palo mosso a forza di braccia. A poco a poco l'alveo del Po crebbe dapprima naturalmente, secondo lo schema evolutivo che è stato descritto, e artificialmente con gli argini; a sud, nel contempo, le grandi valli palustri dove un tempo disperdevano le acque Crostolo, Secchia, Panaro e Reno, con l'inalveamento di questi corsi d'acqua in Po, erano recuperate alle pratiche agricole. Intervenne probabilmente anche quel fenomeno in cui incorsero gli Estensi nel XV secolo, all'inizio della grande bonificazione ferrarese: la subsidenza indotta dal prosciugamento e il consolidamento degli strati argillosi¹⁶. Le aree vallive di Mirandola (MO) e dell'Oltrepò mantovano si vennero a trovare, poco a poco, 5 m più basse della Chiesa di Carbonara Po, posta ai piedi delle arginature del grande fiume, senza che ci fosse apporto di nuovi sedi-

menti a compensare i dislivelli creati¹⁷: si determinarono così le premesse delle grandi alluvioni dell'Ottocento, che furono la ragion d'essere degli studi condotti dalla Commissione Brioschi.

La forma dell'alveo

La forma di un alveo in un'area di pianura, così come potrebbe apparire a un osservatore che la guardasse, ad esempio, da un centinaio di metri d'altezza e come appare dalle rappresentazioni cartografiche di dettaglio (a grande scala, ad esempio > 1:50.000), è determinata dall'ampiezza, dalla sinuosità



più o meno pronunciata, dall'esistenza di uno o più canali occupati dall'acqua, dalla presenza o no di barre (isole) fluviali. Se la scala grafica è sufficientemente grande o la quota d'osservazione bassa, si osserverebbe anche la tessitura (dimensione) dei sedimenti alluvionali (ghiaie o materiali più fini: sabbie, limi, argille in ordine decrescente per dimensione dei granuli), che, a sua volta, dipende dalle caratteristiche geologiche del bacino, dal regime del corso d'acqua (e quindi dal clima) e dalla pendenza della pianura.

Alcuni Autori (WOLMAN & LEOPOLD, 1957; MIAL, 1977; RUST, 1978) han-

no proposto classificazioni sulla forma degli alvei e una nomenclatura che si adotterà in questo capitolo, nella descrizione dei fiumi padani. Ad esempio, nei corsi d'acqua della pianura piemontese (tra la Stura di Lanzo e il Ticino) veneta ed emiliana¹⁸, dove questi non sono emissari di bacini lacustri e non hanno affluenti importanti, dall'uscita dal solco vallivo intramontano sino alla loro foce in mare o in un altro fiume come il Po, si possono osservare le successioni di forme che sono descritte in seguito. Nell'alta pianura l'alveo si presenta molto ampio e ghiaioso, a canali intrecciati (*braided*), nei quali la corrente fluviale si suddivide tra numerose *barre* o "isole", formate in prevalenza da ghiaie. Più a valle, in genere, l'alveo forma meandri con barre addossate alla riva convessa; ancora più a valle esso tende a suddividersi in canali multipli anastomizzati; infine, prima della foce, si osserva generalmente un canale singolo, più o meno rettilineo, con le barre in corrispondenza delle sinuosità principali. In un fiume molto lungo come il Po, che riceve tanti affluenti importanti, le forme dell'alveo non sono regolarmente disposte in quest'ordine, ma possono alternarsi, essendo condizionate dagli affluenti medesimi e dal variare delle pendenze del fondo.

Per la descrizione delle forme dell'alveo del Po nella seconda metà dell'Ottocento si farà riferimento alle (poche) planimetrie disponibili fra quelle disegnate per la Commissione Brioschi, spesso troppo schematiche per una lettura analitica di questa caratteristica del fiume; diversamente si citeranno le bellissime tavole della cartografia 1821-1872 di AUTORI VARI (a cura di SIBRA, 2004), alle quali si rimanda per una visione completa e diretta del Po *com'era*. I confronti con l'epoca attuale avverranno con le carte prodotte da MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, MAGISTRATO PER IL PO PARMA, UFFICIO STUDI (1996), come ripetizione delle planimetrie Brioschi e per il medesimo fine di queste: il lettore che non ne disponga, in ogni modo, può utilizzare la cartografia dell'IGMI o la carta stradale alla scala 1:200.000 del TCI, facilmente reperibile e che consente ancora una visione abbastanza dettagliata dell'alveo fluviale.

Piano della Livellazione da Moncalieri al Porto di Palazzuolo alla scala di 1:50.000. In questo tratto il fiume scorre addossato al rilievo del Monferrato, con due affluenti principali in sinistra idrografica, la Stura di Lanzo e la Dora Baltea: nell'Ottocento esso appare con forme tipiche a canali intrecciati (*braided*), con grandi barre (isole) costituite da ghiaie. L'escavazione di queste ghiaie è stata la causa principale delle trasformazioni che hanno portato alla situazione odierna. Nel 1996 l'alveo, almeno sino alla confluenza con l'Orco (Brandizzo), non solo è costituito per lo più da un unico canale di magra, ma presenta anche sponde incise, tipico segno di un approfondimento provocato dall'estrazione di ghiaia; inoltre, ai lati, compaiono specchi d'acqua isolati, dal contorno più o meno geometrico, anch'essi conseguenti all'attività estrattiva. Le arginature nell'Ottocento sono già presenti in alcuni tratti e su di esse corrono strade parallele all'alveo; nel 1996 compaiono nuove arginature più prossime all'alveo, mentre in altri tratti sono state costruite difese di sponda longitudinali (muri di sostegno).

Tra l'Orco e la Dora Riparia si possono fare le medesime considerazioni del tratto precedente, anche riguardo ai raffronti con la situazione recente. Sono da notare, nel disegno della Tavola Cartografica 1, sulla Dora Baltea le *Porte di S. Andrea*, a paratie mobili, per evitare il *rigurgito*¹⁹ delle acque di piena del Po verso quel fiume e al di fuori dei limiti arginati.

Tra Crescentino e Palazzolo e da qui (Tavola Cartografica 1: *Piano dimostrante l'andamento della Livellazione del Po da Sommo sulla sinistra e da Bastida de' Dossi sulla destra e fino a Palazzuolo*, in scala 1:50.000) a Casale, allora come oggi, l'alveo si presenta con un unico canale, con qualche barra al suo centro; in quello attuale, molto evidenti sono i segni di un approfondimento per erosione: le ampie sinuosità sono determinate da fattori strutturali connessi con il rilievo del Monferrato. Dopo Casale, per la confluenza del Sesia (sinistra idraulica), l'alveo del Po nell'Ottocento era caratterizzato da un'ampiezza notevole (anche di 2 km), con forme intermedie tra quella a canali intrecciati e multipli e quella a meandri, mentre il solco di divagazione olocenico, incassato nei terrazzi alti della pianura, assumeva ampiezze fino a oltre 7 km (CASTIGLIONI *et Alii*, 1997 a, foglio 1). Nel 1996, ben poco rimane di queste forme. Il canale di magra è unico, ben inciso nelle proprie alluvioni, con poche barre, mentre sulla sponda nord restano canali isolati, che drenano le sponde alte (*Canale dello Storto* presso Breme; *Lago di Sartiana*, sede della Riserva della Garzaia di Valenza): in queste località, come si può vedere nella Tavola Cartografica 1, si osserva un tentativo di rettifica dell'alveo, forse per recuperare all'attività agricola aree golenali o per motivi di pulizia idraulica, che può essere interpretato come premessa alla perdita di naturalità al fiume. Dopo Valenza, il Po entra in piena pianura, a sud senza il "vincolo" del Monferrato o del margine appenninico. Nella Tavola Cartografica 1 si osservano ancora forme intermedie tra quelle a canali intrecciati e quelle a meandri, soprattutto dopo le confluenze con i fiumi Tanaro e Scrivia, in destra idraulica: l'alveo di magra doveva presentarsi con imponenti distese di ghiaie, che conserva, se pure molto parzialmente anche nel 1996, con qualche barra sporadica, compresa tra canali tutt'al più solo sdoppiati, senza quel caratteristico intreccio di oltre cento anni prima.

Da Cornale a Sommo, prima della confluenza col Ticino, allontanandosi da tributari ricchi di alluvioni ghiaiose, il Po, anche all'epoca dei rilievi delle Tavole Brioschi, tendeva a passare a un alveo a un unico canale, con meandri molto ampi (raggio di curvatura prossimo a 1 km) e uniformi per dimensione.

Nella Tavola Cartografica 2, una carta senza titolo e altre indicazioni, comprende la Provincia di Pavia, dalla confluenza con il fiume Agogna (sinistra idraulica) a quella con il torrente Bardonezza (destra idraulica): essa è molto schematica, tuttavia individua un alveo tipicamente a meandri sin già dalla sua estremità ovest, con meandri "tagliati", con testimonianze di canali (o *lanche*) residui e idronimi molto indicativi, come quello di *Rotta dei Torti* presso Giarola e Bastida de' Dossi. Da qui in avanti, sino alla Provincia di Parma tutta la toponomastica del territorio è contrassegnata da una serie d'idronimi²⁰ connessi alla forma dei meandri e alla loro dinamica²¹. Nel 1996 ben poco resta di questa morfologia a meandri: il canale è singolo, molto largo, con ampie sinuosità e barre sabbiose e ghiaiose, presso le sponde convesse; totalmente cambiata è anche la confluenza tra Ticino e Po, quasi da rendere irrecognoscibile il confronto tra le carte rilevate a 112 anni di distanza. A valle della confluenza del Ticino fanno la loro comparsa, anche fuori dell'argine maestro (in questo caso, spesso circondati da argini o *coronelle*), specchi d'acqua, testimoni di sifonamenti della falda, indicati con vari nomi d'uso locale: fontanazzi, burroni, bugni, gorgi, ecc. Da qui in avanti, come appare dalla carta del 1996, questi corpi d'acqua s'incontreranno non solo lungo tutta l'asta del Po sino al mare, ma anche lungo i suoi affluenti e alcuni paleoalvei, come il Po Vecchio dell'Oltrepò mantovano.

Tavola Cartografica 3 *Corografia generale del Fiume Po dalla foce del Fiume Lambro a quella del fiume Adda*: rappresenta la sponda sinistra idraulica; la morfologia a meandri del fiume è assai evidente, con altrettanto evidenti vecchi meandri abbandonati racchiudenti *Isole*. È presente un argine maestro oramai continuo, che accompagna per lunghi tratti anche i corsi d'acqua minori (ad es. Colatore Mortizza), per evitare gli effetti dei rigurgiti durante le piene. Sono presenti anche argini minori a presidio delle golene e delle *Isole*, evidentemente recuperate all'agricoltura e sommergibili solo in occasione delle massime piene.

Dal raffronto con la situazione del 1996, si evince che a distanza di oltre 100 anni i grandi meandri hanno potuto svilupparsi liberamente, accentuando notevolmente il loro raggio di curvatura, essendo state costruite arginature distanti dal canale di magra.

Nella successiva Tavola Cartografica 4 *Livellazione generale nella Provincia di Cremona*, l'elemento morfologico più interessante è rappresentato, presso il limite nord del disegno, dalle *alture insommergibili ossia ciglioni*, vale a dire l'orlo di terrazzo che separa la pianura olocenica da quella terrazzata tardo-pleistocenica, che costituisce il ripiano principale della Pianura Lombarda. La relativa cartografia geomorfologica è riportata nel foglio 2 di CASTIGLIONI *et Alii* (1997 a). Questi *ciglioni* si collegano, quando sono troppo distanti dal fiume, con l'argine maestro, mentre altri, minori (*argini comprensoriali*), presidiano le golene. Nel 1874, la morfologia dell'alveo appare modificata rispetto a un periodo precedente: sono scomparsi quasi tutti i meandri, dei quali restano evidenti tracce; l'alveo appare così caratterizzato da un canale unico o sdoppiato fra grandi barre o isole fluviali sabbiose, con sinuosità più o meno accentuate, che farebbe pensare a consistenti interventi idraulici per opera dell'uomo.

Nel 1996 si osserva, invece, un'accentuazione nei raggi di curvatura e compare, soprattutto, l'Isola Serafini²², grande meandro "bloccato" da una traversa e tagliato artificialmente nel 1961 mediante un canale per la produzione d'energia elettrica: a quest'impianto sono attribuiti alcuni "mali" del Po, in particolare il rallentamento del trasporto solido ed erosione verso valle.

Sull'opposta sponda piacentina (Tavola Cartografica 2 *Carta Corografica colla livellazione generale del Po nella provincia di Piacenza*), come in sinistra idraulica, iniziano arginature artificiali ormai continue. Si osserva l'enorme trasporto solido del Trebbia, con alveo tipicamente *braided*, con barre ghiaiose e che forma nell'alveo del Po un appariscente delta-conoide, che ne sposta verso nord il canale d'alveo.

La Tavola Cartografica 5 *Pianta colla livellazione del fiume Po tra Ongina d'Enza in Provincia di Parma* appare troppo schematica per la descrizione del fiume. Anche la successiva Tavola Cartografica 4 *Planimetria Rettificata della sponda destra di Po tra l'Ongina e il Taro*, pur essendo molto dettagliata, delinea appena la sponda destra del fiume, senza tracciare la forma dell'alveo. In compenso, la campagna circostante appare accuratamente disegnata, consentendo di ottenere indicazioni sull'uso del suolo, essendo ben evidenti i prati stabili, acquedotti in verde, e i seminativi arborati; oppure i boschi delle barre fra canali (isole) o di sponda. Dal punto di vista idraulico, si notano le arginature continue, i piccoli specchi d'acqua tondeggianti dei sifonamenti della falda e in particolare i *Burroni della rotta 1801*, presso Ragazzola. In questo tratto di fiume, come nei susseguenti, si dovrà fare riferimento alle carte del 1821-1872 (AUTORI VARI, a cura di SIBRA, 2004), dove il fiume è rappresentato con ampi tratti a canali intrecciati con estese barre (isole) sabbiose, talora ricoperte da

boschi; con il metro attuale di giudizio, quella condizione si poteva ritenere di elevato pregio naturalistico: il fiume mostrava evidenti segni di un altro passato, quando i meandri erano presenti in gran numero. Nel 1996 il fiume si presentava, invece, a canale singolo, con pochissime barre sabbiose di sponda o centrali al canale e accenni a tagli rettilinei²³ presso Roccabianca e Casalmaggiore, tali da far pensare a interventi dell'uomo.

La Tavola Cartografica 5 *Planimetria Rettificata della Sponda destra di Po tra il Taro e la Parma* è sostanzialmente simile alla precedente per stile grafico e contenuti. Si notino i Boschi Rondani e i più vasti Levoccher, i primi forse di pertinenza comunitaria (di Mezzano Rondani), i secondi di proprietà privata, oppure con taglio concesso in appalto a una famiglia d'origine austro-ungarica.

Tra Viadana e Boretto inizia la grande ansa del Po, della quale si è ripetutamente parlato in questo testo, rappresentata per la sponda reggiana dalla Tavola Cartografica 6 *Planimetria della Pianta Idrografica dimostrativa delle opere Idrauliche di 1ª e 2ª Categoria nella Provincia di Reggio Emilia*, troppo schematica perché possa fornire informazioni sull'alveo del Po. Per questo tratto di fiume, le carte del 1821-1872 ci mostrano grandi isole fluviali e barre sabbiose di sponda, quasi un alveo a canali intrecciati (*braided*); i boschi accompagnano quasi tutto il percorso del fiume, in una successione quasi ininterrotta: si possono ricordare i Boschi di Bireli presso Boretto, l'Isola Terrelli presso Guastalla, il Bosco di Luzzara ecc. Le trasformazioni dell'ansa, da Viadana a San Benedetto Po, sono state sintetizzate da CASTALDINI & PIACENTE (1991 a, 1991 b). Secondo gli Autori, in circa due secoli, l'alveo di magra si è ridotto a un singolo canale sempre più stretto, con la scomparsa di isole e barre laterali sabbiose, come del resto appare evidente dalla cartografia del 1996.

Dalla svolta di Scorzarolo (foce Oglio), in assenza delle carte Brioschi, ci si dovrà rifare solo a qualche notazione tratta dalla cartografia del 1821-1872: da qui in avanti l'alveo appare sempre abbastanza rettilineo, con qualche ampia varice al cui centro si erano formate vaste barre sabbiose. Il vecchio meandro di San Benedetto Po, traccia antica del Po Vecchio, si mostra semiocluso, con ampi spazi occupati da boschi. Altri meandri si osservano a Revere-Ostiglia e a Bergantino-Carbonara; sino a Ficarolo il fiume si mantiene più o meno rettilineo, a canale singolo, tra altissime arginature artificiali, con rare isole sabbiose. Dopo la svolta di Ficarolo, dove avvenne la famosa rotta del 1152, e inizia il Po "nuovo", fino a Occhiobello (RO), Pontelagoscuro (FE) e Papozze (RO), all'inizio della prima diramazione deltizia (Po di Goro), l'alveo ottocentesco, come quello odierno, è sempre a canale singolo, sempre più ristretto tra alte arginature, con rare isole sabbiose per lo più mobili, con decorso da rettilineo a sinuoso, con qualche ansa più accentuata: risentiva anche allora di geometrie che sono controllate dall'uomo da almeno nove secoli.

Nello sviluppo del delta del Po (Tavola Cartografica 6 delle planimetrie Brioschi), secondo AUTORI VARI (1990 b, pp. 332-333), dagli inizi dell'Ottocento a oggi, è possibile schematizzare tre fasi:

1. dall'Ottocento al 1940-50: la linea di rive progredisce verso mare e i fondali s'innalzano; l'abbassamento del suolo è dovuto alla sola subsidenza naturale e alle opere di bonifica;

2. dal 1940-50 al 1965 circa, la linea di riva regredisce e i fondali si abbassano, con la sommersione d'ampie aree costiere. Questa involuzione è da imputare alla rapida subsidenza conseguente all'estrazione d'acque metanifere;

3. dal 1965 al 1982, la tendenza evolutiva negativa non è più imputabile alla subsidenza, ma alla diminuzione del trasporto solido dei corsi d'acqua. Nel medesimo intervallo di tempo si assiste all'erosione e arretramento delle spiagge romagnole.

Il foglio 3 della carta altimetrica della Pianura Padana (CASTIGLIONI *et Alii*, 1997 b) evidenzia chiaramente che, in assenza d'arginature e della bonifica idraulica, la linea di riva del mare si troverebbe a soli 14 km da Ferrara.

Le sezioni dell'alveo

Le 89 sezioni trasversali dell'alveo (Tavole Cartografiche allegate al presente volume: dalla 7 alla 15), ricostruite per conto della Commissione Brioschi, sono numerate in maniera progressiva da monte verso valle. La n. 1 è tracciata presso la confluenza con il Tanaro, in Provincia di Pavia: la località di Bastida de' Dossi è situata in destra idrografica, nell'Oltrepò pavese (planimetria di riferimento Tavola Cartografica 2). La n. 82 corrisponde a Casa Stoppa presso Porto Tolle, lungo il ramo deltizio del Po di Venezia. La ricostruzione dei profili di fondo degli alvei iniziò, dunque, laddove il fiume entra in aperta pianura, allontanandosi dal margine del Monferrato e dell'Appennino, con arginature artificiali quasi continue, già alte nei primi due profili, in sinistra idrografica (lato sinistro del disegno) sino a 8 m.

In questa sede non si potrà esaminare singolarmente ciascuna sezione e nemmeno confrontarle con quelle, rilevate in seguito più volte (1923, 1954, 1979) lungo la medesima traccia; ci si limiterà ad alcune notazioni generali, rimandando, per un'analisi dettagliata dell'argomento al volume di AUTORI VARI (1990 b). Si deve innanzitutto ricordare che le Sezioni dell'alveo del Po, ricostruite nel 1873, ebbero una finalità idraulica, per lo studio della propagazione delle piene (si veda il cap. 9) e quasi sicuramente anche per la navigazione e la localizzazione dei mulini natanti.

Il volume sopra citato suddivide il Po in due parti distinte: la prima parte analizza le sezioni comprese tra la n. 1 e la n. 57, dalla Provincia di Pavia (Bastida de' Dossi) sino a Sermide (MN) e Castelmassa (RO); la seconda quelle comprese tra la 58 e la foce del Po di Tolle. Questa suddivisione è determinata, probabilmente, dalla "distribuzione" della ricerca fra gruppi di lavoro distinti, ma ha anche una certa logica "fluviale": infatti, la prima parte della nota riguarda il tratto d'alveo più "mobile" che, dal Pavese al Mantovano, in poco più di un secolo (1873-1990) ha visto lo spostamento del canale principale, come esposto nel paragrafo precedente, anche dell'ordine di migliaia (Pavese, Piacentino) o di centinaia di metri (Parmense, Reggiano e Mantovano); un esame dell'evoluzione nel tempo delle sezioni risulterebbe quanto mai difficile. La seconda parte si riferisce, invece, come già detto, a un alveo a canale singolo, molto stretto, delimitato da alte arginature e con scarsa possibilità di divagare; in questo modo, i raffronti tra misure ripetute nel tempo nelle medesime sezioni risultano più indicativi.

Gli estensori della prima parte del volume di AUTORI VARI (1990 b), anche attraverso simulazioni, pervengono a bilanci di deflussi (portate idriche) e di trasporto solido, mentre dedicano poca attenzione all'evoluzione morfometrica e altimetrica del *thalweg*. Si limitano a rilevare che dal 1954 al 1979 (p. 226)

l'alveo a valle dell'Isola Serafini, presso Piacenza, si è abbassato di circa 2 m.

Assai chiare, invece, sono le conclusioni, alle quali perviene Ezio TODINI (in AUTORI VARI, 1990 b, pp. 414-415) per l'alveo del Po a partire dalla Sezione 58, vale a dire da Felonica (MN):

dal 1954 al 1962, mentre tra Felonica e Pontelagoscuro l'alveo si mantiene invariato, da quest'ultima località al mare, si registra uno "sprofondamento" generalizzato a causa dell'andamento "esplosivo" della subsidenza, con mantenimento, tuttavia, della forma delle sezioni;

dal 1962 al 1967, rallentata la subsidenza e non ancora iniziato il prelievo selvaggio di inerti, l'alveo tendeva ad assestarsi;

dopo il 1967, il profilo del fondo è caratterizzato da uno sprofondamento generalizzato, dovuto alle escavazioni di inerti, all'erosione naturale provocata dalle maggiori portate medie rilevate tra il 1975 e il 1980 e alla diminuzione del trasporto solido.

Nel tratto che va da Cremona alla confluenza con il Mincio, BELLINI (2006) evidenzia, infine, che dal 1951 al 2000 l'alveo del Po si è abbassato mediamente di 4 m, mentre nel tratto a valle si è abbassato di 2,5 m: l'Autore fa notare che questo fenomeno è imputabile per il 50% all'estrazione di ghiaie e sabbie dal fiume e dai suoi affluenti e, in ordine di peso decrescente, alla presenza dello sbarramento dell'Isola Serafini e all'assetto realizzato nell'alveo di magra ai fini della navigazione.

Si può, dunque, concludere che le 89 sezioni della Commissione Brioschi, pur sempre mantenute fisse come traccia per tutte le misure del *thalweg* per tutti gli anni successivi sino al presente, sono difficilmente sovrapponibili e confrontabili con quelle attuali, per molteplici motivi, quali le variazioni altimetriche del suolo²⁴ e il cambiamento di sviluppo planimetrico dell'alveo. Ciò nulla toglie al fatto che quelle sezioni costituiscono sempre una preziosa testimonianza di ciò che fu il Po alla fine dell'Ottocento.

L'evoluzione morfologica naturale, "bloccata" progressivamente dall'uomo

Sintetizzando quanto esposto nel presente capitolo, si può dire che negli ultimi 3000-4000 anni l'alveo del Po ha avuto un "grado di libertà", per spostarsi e divagare, molto ampio, sin tanto che non è intervenuto l'uomo. Le carte di CASTIGLIONI *et Alii* (1997 a), ad esempio, illustrano molto bene questa caratteristica, che da Moncalieri sino al mare, si può così riassumere:

1. da Chivasso sino a Casale Monferrato, la fascia di divagazione fluviale ha avuto un'ampiezza compresa tra 1 e 2,5 km circa;

2. tra Casale Monferrato (foce Sesia) e Piacenza è andata ampliandosi sino a raddoppiarne la sua larghezza;

3. tra Piacenza e Casalmaggiore, essa raggiunge i 10 km. Sino a questa località, la presenza di orli (scarpate) di terrazzo di vario ordine (tra le alluvioni oloceniche e quelle tardo-pleistoceniche, all'interno di quelle oloceniche) ha contribuito a delimitare le aree di espansione delle acque di piena;

4. da Casalmaggiore in avanti il grado di mobilità è stato enorme: secondo la sezione trasversale sud-nord, da Poviglio (Reggio Emilia, in destra idraulica) a Sabbioneta (Mantova), si può stimare un'ampiezza della fascia di divagazione di circa 18 km; dopo l'ansa di Viadana – Guastalla e sino a Ficarolo, tale ampiezza è anche di oltre 20 km;

5. lungo la linea di costa, i rami deltizi si sono spostati da Ravenna a Chioggia, per una distanza di oltre 70 km.

L'alveo del Po, a partire da Piacenza, acquisì la posizione attuale a partire dal XII secolo, dopo la rotta di Ficarolo; ma già in epoca romana, come si è visto, a monte di quest'ultima località, aveva raggiunto un percorso simile a quello attuale, con un progressivo spostamento verso nord e la formazione della grande ansa di Viadana e Guastalla, che sarebbe stata la causa di tutti i mali dei secoli successivi e in particolare del XIX.

Sulla base dei documenti storici, non è accertabile che in epoca romana (e tanto meno in periodi antecedenti) sia esistito un sistema di arginature continuo a difesa delle acque del fiume (CALZOLARI, 2004); interventi idraulici e di bonifica sono invece documentati a partire dal secolo XI e soprattutto dall'epoca rinascimentale, quando sono regolati anche i percorsi degli affluenti, soprattutto Crostolo, Secchia, Panaro e Reno, in destra idraulica.

Col passare del tempo, nell'ultimo millennio, da Casale Monferrato a Piacenza, tutta la fascia di divagazione del Po, compresa tra gli orli di terrazzo e destinata a essere *naturalmente* esondabile, si dovette progressivamente restringere, per la costruzione di opere di presidio, tanto è vero che nella sezione n. 1 della Commissione Brioschi compaiono arginature artificiali continue, laddove manca un limite naturale all'espansione delle acque di piena: i *ciglioni insommergibili*, ovvero le scarpate delle superfici terrazzate. Il recupero d'ampie aree all'agricoltura dovette avvenire soprattutto nell'Ottocento: la rottura degli argini provocava inondazioni tra il Pavese e il Piacentino, che erano considerati eventi calamitosi per aree che, antecedentemente, erano naturalmente allagabili.

I disastri maggiori, soprattutto dopo la fine del XVI secolo, ma ancor più nel XIX (1801, 1812, 1820, 1821, 1839, 1864, 1868, 1872 per due volte, 1879), si ebbero a valle di Casalmaggiore e soprattutto in destra idraulica. L'evoluzione naturale del Po era stata, infatti, "bloccata" dall'uomo da circa 1000 anni: l'alveo, per le cause prima esaminate, acquisì una pensilità molto accentuata, tanto che il livello delle acque di piena è giunto a sovrastare di ben 18 m campagne distanti anche 12 km e le arginature artificiali, continuamente rialzate, si avvicinano spesso a 10 m d'altezza rispetto al loro piede esterno all'alveo. Se le arginature si rompono, per tracimazione delle acque o per sifonamento²⁵, il disastro si compie, come nel 1872, quando restarono allagati 830 km² di territorio dell'Oltrepò mantovano e delle province di Modena e Ferrara. Nemmeno le attuali arginature, con le loro tecniche costruttive più avanzate, fatte di diaframmi e rivestimenti cementizi, possono dare certezze assolute: anche nel 1996 e nel 2000 qualche timore vi fu. D'altra parte, se si esaminano con attenzione i fogli 2 e 3 della carta di CASTIGLIONI *et Alii* (1997 b), ci si accorge che l'asse di drenaggio principale della pianura, lungo il quale si dispongono le quote minime, segue un percorso ben diverso da quello del fiume: da Zibello nel Parmense, si dirige verso Colorno (PR), Brescello (RE), Moglia (MN), le Valli di Mirandola (MO), Bondeno (FE), Ferrara e di qui verso il mare sino a Comacchio, seguendo in gran parte il tracciato dei principali canali di bonifica, il Cavo Fiuma e il Canale di Burana. La situazione morfologica attuale della pianura, come quella ai tempi della Commissione Brioschi, deriva dunque da una lunga evoluzione geologica, strettamente controllata e "bloccata" dall'uomo negli ultimi 1000 anni.

Note

1. Per la definizione di idraulica e idrologia, si veda il contributo di B. BACCHI (cap. 8).
2. Dal presente: si usa di solito l'abbreviazione *b. P.*, dall'inglese *before Present*.
3. Della numerosissima bibliografia sull'argomento si può citare, ad esempio, il libro divulgativo di AUTORI VARI (1990).
4. Sull'argomento esiste una bibliografia molto vasta, parzialmente riportata anche nelle note di GOVI & TURITTO (1993, 2000) e GOVI & MARAGA (1995), CASTALDINI (1989, 1996), CASTALDINI *et Alii* (2003), PELLEGRINI (1969, 1990 a, 1990 b) e che in gran parte si è ispirata alle memorie del LOMBARDINI (1865, 1867-68); si ricordino ancora le note di AVERONE (1910), DE CHAURAND (1932) e VEGGIANI (1974), CREMASCHI *et Alii* (1978), BOTTAZZI & CALZOLARI (1987), PARMIGIANI (1992), MARCHETTI *et Alii* (2000), CALZOLARI (2000 a; 2000 b).
5. A questo proposito vale la pena discutere di un dato bibliografico, citato da tanti storici (LITTA, 1840) e ripreso poi dal LOMBARDINI (1865, 1867-68) e da tutti gli autori successivi, secondo i quali in età romana repubblicana, il Po sarebbe passato per *Tanetum*. L'odierna Taneto (trascrizione dalla cartografia IGM1 e TCI) o Tanneto (trascrizioni più antiche), infatti, si trova in Comune di Gattatico (Reggio Emilia), a poca distanza dall'alveo del T. Enza e dalla Via Emilia e a una quota prossima a ben 51 m s.l.m.: l'analisi sia della stratigrafia del sottosuolo, sia delle forme di superficie, non fornisce alcun elemento a riprova dell'esistenza di un antico alveo del Po, nonostante le "certezze" documentarie del LITTA (1840). I primi riscontri stratigrafici e morfologici si registrano, invece, a 4 km più a nord, verso Poviglio (circa 29 m s.l.m.), dove passava un antico alveo del Po, il Bondeno, ben documentato anche dall'analisi geomorfologica, come si è detto poco sopra (CASTALDINI *et Alii*, 2003, p. 15). Sull'argomento si veda anche DALL'AGLIO (1980).
- La località di *Tanetum* è citata da Livio (59 a.C.-17 d.C.) e riferita all'anno 218 a.C. "*di fronte al dilagare della rivolta gallica e all'avanzata dell'esercito di Annibale, i rifornimenti per i Romani arrivano per via fluviale, prima a Tanneto, poi a Piacenza*" (CALZOLARI, 2004, p. 30). Tito Livio, infatti, scrive in *Ab Urbe condita* (XXI, 25, 13): "*Poi i Romani... si diressero a Tanneto, villaggio nei pressi del Po*" (CALZOLARI, 2004, p. 60). Il *Tanetum* di Tito Livio potrebbe, in realtà, corrispondere a un'altra località più o meno prossima, denominata con il medesimo dendronimo, oppure l'aggettivo "vicino" si deve intendere in senso relativo (tanto più che Livio scrive due secoli dopo il fatto narrato!) e che la navigazione fluviale seguisse il Bondeno (antico percorso del Po) e, quindi, l'Enza.
- Secondo il Prof. Aurelio Mordini (comunicazione personale) *Tanetum* sarebbe derivato dal latino *ALNETANUM* (ontano o legno d'ontano), a cui è aggiunto il suffisso *-etum*, che ha valore collettivo (quindi bosco d'ontani). L'Ontano (*Alnus incana* GAERTNER) è una pianta delle Betulacee, che cresce lungo i fiumi e nelle zone umide della pianura, della collina e della montagna: dalla corteccia si estraeva il tannino, per conciare le pelli. In francese esiste il verbo *tanner* = conciare e, in senso figurato, annoiare, importunare. La presenza di Ontani lungo i fiumi e nei terreni golenali, specie in passato, farebbe pensare che il toponimo *Tanetum* potesse essere abbastanza frequente anche lungo l'alveo del Po e dei suoi affluenti durante l'età romana. Secondo la Prof. Piera BONATI anche la radice celtica confermerebbe il significato del fitonimo: *Alnus* = "al" e "han", "vicino alle acque".
6. Fu definitivamente isolato dall'alveo del Po nel 1480.
7. Anche in questo caso occorre fare una precisazione. Tanti Autori citano la possibilità che arginature potevano esistere già in epoca etrusca e romana. Analizzando i testi d'età romana, CALZOLARI (2004, p. 25) perviene, però, alla conclusione che non si hanno prove che il Po fosse dotato di arginature artificiali anche modeste: "*l'unico autore che usa la parola agger in riferimento alle rive del Po è Lucano... ma non è chiaro il senso preciso che egli voleva attribuire al termine*".
8. Da ricordare che questo corso d'acqua, da Quistello alla foce, segue i grandi meandri del Po Vecchio, nel quale fu inalveato nel XV secolo.
9. Lungo il quale si registrano, quindi, le quote minime.
10. Vale a dire con dislivelli inferiori a 5 m per km di lunghezza.
11. Si veda il titolo del volume di AUTORI VARI (2003).

12. Sono state segnalate e descritte in superficie anche strutture di taglio "attive" presso Correggio in Provincia di Reggio Emilia: PELLEGRINI & VEZZANI (1978) e BONORI *et Alii* (2000).

13. Si veda, in particolare, PELLEGRINI (1969) e, molto più recentemente, BURRATO *et Alii* (2002), BURRATO *et Alii* (2003), CIUCCI *et Alii* (2002) e DE MARTINI *et Alii* (1998), che in termini più aggiornati e analitici ripropongono lo schema di evolutivo proposto dal precedente Autore. Anche BRAGA & GERVASONI (1985) individuano correlazioni tra strutture tettoniche e il percorso del Po tra Pavia e Piacenza; per la risposta del sistema fluviale padano si veda, infine, la precisa discussione del problema da parte di CASTIGLIONI (2001, p. 168-172).

14. Subsidenza, dal latino *sub sidere*, nel senso del suolo che si assetta sotto: movimenti verticali di abbassamento del suolo.

15. Nel senso che in corrispondenza delle sinclinali – strutture depresse dove si ha il massimo accumulo di sedimenti – si registrano i valori più alti di abbassamento del suolo.

16. Le argille sono costituite da minerali lamellari (fillosilicati), ciascuna "lamella" ha dimensioni inferiori al millesimo di millimetro. Se diminuisce la pressione dell'acqua tra le particelle, per prosciugamento o estrazione di acqua dal sottosuolo attraverso pozzi, le lamine argillose si avvicinano progressivamente: il livello del suolo si abbassa e si ha il fenomeno della subsidenza; per distinguerla da quella geologica, naturale, che di norma è molto più lenta (pochi mm/anno al massimo), è indicata come *indotta* o *antropica*, e può essere molto più rapida. Il delta del Po, ad esempio, per l'estrazione dal sottosuolo di gas commisto ad acqua, in alcuni tratti (Adria) si è abbassato di oltre 6 m dal 1956 al 1961, con una velocità media di 145 mm/anno (cap. 14 di CASTIGLIONI & PELLEGRINI, 2001; CASTIGLIONI *et Alii*, 1997 b).

17. Ricerche archeologiche condotte nella zona hanno dimostrato che tutti i reperti archeologici dall'Età del Bronzo in avanti, come i paleoalvei (San Martino Spino) coevi del Po, affiorano direttamente in superficie: si vedano le numerose pubblicazioni di CALZOLARI (ad es. 1980).

18. In molti casi, purtroppo, queste forme sono meno evidenti, perché gli alvei, soprattutto nei tratti di alta pianura, sono stati soggetti a un'erosione intensa a seguito dell'escavazione di sabbia e ghiaia.

19. *Rigurgito*: termine tecnico. Sta a indicare un rialzo del livello, con effetto retrogrado, all'indietro, quando il deflusso del corpo ricevente, in questo caso il Po, presenta un livello idrico più alto di quello affluente (la Dora Baltea).

20. Nomi di luoghi (toponimi), derivati da corsi d'acqua.

21. Ad esempio Mezzano (-i), Mezzanino e toponimi simili, nella forma singolare o plurale, stanno a indicare territori separati dal taglio dei meandri; Corno (-i) l'estremità superiore di un meandro molto stretto, Dosso (-i) e Monticello (-i) antiche arginature, Mortizza ramo fluviale abbandonato, ecc. Molte anche le località lungo alvei o paleoalvei indicatrici delle tessiture dei sedimenti: Arena, Sabbioni, Ghiaie, Ghiarole, con numerose varianti e corruzioni (Zara, da Giara e, quindi dal latino *glarea*).

22. Essa è posta a valle di San Nazzaro, in Comune di Monticelli d'Ongina (PC).

23. Sarebbe forse più opportuno definirli *sinuosità*!

24. Si veda il foglio 3 di CASTIGLIONI *et Alii* (1997 b): nel periodo 1897-1957 gli abbassamenti si possono stimare di 0,5 m a Piacenza, di 2 m nel Mantovano, di 3 m a Pontelagoscuro, di oltre 6 m nel delta. Inoltre: BONDESAN *et Alii* (2001 b).

25. Si veda nota 6 del cap. 1 curato dall'ingegner Ciarmatori.

4. Navigare il Po, tra passato e futuro¹

Ivano Galvani, Maurizio Pellegrini

Navigare il Po, una storia antica

L'utilizzazione dei fiumi per il trasporto delle merci, per lo spostamento degli eserciti e delle persone, è pratica antica quanto la storia della civiltà umana. I corsi dei grandi fiumi, come il Nilo, il Tigri e l'Eufrate, il Reno e il Danubio, come anche al Po, sono stati gli assi delle regioni nelle quali si sono spostate civiltà e popolazioni; in epoca preistorica le popolazioni di cacciatori, sospinte dall'arretramento delle foreste, per organizzarsi in società di allevatori e di agricoltori, inventando in seguito la scrittura e organizzandosi in una società regolata da leggi, hanno utilizzato le vie d'acqua come asse privilegiato delle proprie relazioni. Tutti questi spostamenti lungo i fiumi precedettero di molto l'invenzione della ruota. Era ed è rimasto, in ogni modo, un rapporto privilegiato dell'uomo, diretto, inscindibile e vitale, con l'acqua. Nel 2300 a.C. gli Egiziani, che già da millenni navigavano il Nilo, costruirono un canale che collegava il fiume al Mar Rosso. Nel VI secolo a.C., ai tempi di Nabucodonosor, una fitta rete di canali solcava la regione del Tigri e dell'Eufrate e questi non avevano soltanto finalità irrigue.

Anche il Po sin dalla preistoria dovette rappresentare la più importante via di comunicazione e di penetrazione, in senso est-ovest, verso tutta la Pianura Padana; dai suoi porti fluviali, uomini e merci proseguivano anche per il nord Europa, seguendo itinerari terrestri. In epoca etrusca, ad esempio, il porto di Spina, posto sull'antico delta del Po² costituiva un importante punto di smistamento dei commerci, dall'Egeo e dalla Magna Grecia, verso il Nord europeo, come testimoniato dai reperti archeologici, ad esempio i vasi antichi rinvenuti lungo i percorsi seguiti. I romani, in seguito, continuarono a risalire il Po per spostare eserciti e praticare i commerci, come ampiamente documentato dalla letteratura d'età romana (CALZOLARI, 2004): per la navigazione nel periodo antico, si possono ricordare le pubblicazioni di ALFIERI (1973), CALZOLARI (1992, 2000 a, 2000 b), PATITUCCI (1988), PERETTO (1990), POLFER (2000), ROUGÉ (1988), UGGERI (1987, 1997), alle quali si rimanda per una documentazione completa per la navigazione padana in età etrusca e romana.

In età medioevale, soprattutto dopo il secolo X, in corrispondenza anche dell'inizio di una fase climatica più mite (PINNA, 1996), quando si rinnovò la bonifica idraulica del territorio (CAZZOLA, 2000), che fu progressivamente utilizzato per le pratiche agricole, la barca divenne un mezzo di trasporto indispensabile quanto il carro, non solo per solcare le aree palustri esistenti, ma anche come mezzo per spostarsi quotidianamente per almeno sei mesi l'anno; il fienile, divenne anche *barchessa*. Nella Pianura Padana, infatti, le condizioni ambientali particolari, con l'ampia diffusione di terreni limosi e

argillosi, con piogge e nevi concentrate da ottobre ad aprile, rendevano quasi tutte le strade impraticabili, con pochissime eccezioni: situazione che perdurò sin verso la metà dell'Ottocento, quando si cominciò a riportare sulle strade materiali di rivestimento³.

Nel Medioevo il Po continuò a essere l'asse viario principale di tutta la Pianura Padana (FASOLI, 1978; CALZOLARI, 1983; PERETTO, 1990; ANDREOLLI 2000), svolgendo un ruolo fondamentale per la navigazione, costituita non solo da imbarcazioni di diverso tipo, ma anche da traghetti da una sponda all'altra, in corrispondenza dei principali assi viari, da zattere, dalla fluitazione di legnami, da piroghe monossili, come quelle altomedievali rinvenute nel Pavese, nel Cremonese e, più recentemente, a Boretto (MEDAS, 2003). Dal Po, la navigazione s'irradiava lungo gli affluenti, sino a raggiungere i grandi laghi alpini e alcune città poste lungo la Via Emilia.

Al finire del Medioevo, al tempo dei liberi Comuni, e soprattutto dall'età rinascimentale in avanti, la navigazione padana si ampliò verso nuovi porti sempre più interni, poiché si cominciò ad adottare il sistema delle conche di navigazione, ideato o migliorato da Leonardo da Vinci: molte città comunali importanti, divenute di lì a poco capitali di Signorie, ebbero il loro canale per la navigazione, collegato con il Po. Si possono ricordare ad esempio i canali di Cremona (derivato dall'Oglio presso Calcio nel Bergamasco), Sabbioneta, Ravenna, Rovigo⁴ sulla sponda sinistra del Po, e quelli di Parma, Reggio Emilia, Correggio, Mirandola, Modena, Bologna, Imola (ANDREOLLI, 2000; ADANI *et Alii*, 1990). Alcuni di questi, con alterne vicende, furono utilizzati sino a tutto il secolo XIX e l'inizio del XX, con servizi, più o meno regolari, di trasporto di passeggeri, come per il Naviglio di Modena, mediante il quale, su di un burchiello, anche Carlo Goldoni, dalla capitale estense, raggiunse Venezia (SPAGGIARI, 1990)⁵.

È documentato, ad esempio, che a partire dal Cinquecento i viaggiatori stranieri in Italia, lungo gli itinerari del cosiddetto *Grand Tour* (BRILLI, 2006, pp. 206-208), sulla via del ritorno nel nord Europa, dopo la sosta a Bologna, erano soliti dirigersi a Ferrara, utilizzando navi-corriera, non certo confortevoli, dalla sottocoperta calafatata e puzzolente per la promiscuità di uomini, merci e anche animali, seguendo il percorso di canali (Corticella, Funo, San Giorgio, San Pietro in Casale, San Vincenzo, Poggio Renatico), oppure ancora con canali sino a San Giorgio e Pieve di Cento, dove ci s'immetteva nel Reno, toccando poi Cento, San Carlo e raggiungendo, infine, Ferrara mediante il ramo di Po abbandonato (Burana-Primaro), dopo la rotta di Ficarolo; il canale Navile di Bologna (MATULLI & SALOMONI, 1984) non sempre era un viaggio sicuro, per le vicende del Reno e il progressivo interrimento dell'alveo del Po di Primaro, perciò si sceglievano canali alternativi. Il viaggio era lungo e disagiabile, ma pur sempre migliore di un viaggio autunnale in carrozza, quando le strade si trasformavano in fiumi di fango impraticabili per i carriaggi.

Sul Po e sulle foci dei principali affluenti navigavano le barche grandi, quali la *rascona*, affusolata, cabinata, dotata d'uno o due alberi, dal pescaggio poco profondo e fornita a poppa di due timoni laterali; il *bucintoro*, la *gabarra* e il *burchio*, dagli scafi alti e massicci, con timone singolo poppiere e con la possibilità di issare due vele, oppure le meno grandi, ma sempre capaci *magana* e *battana*, dalla larga poppa e dalla possibilità di essere aiutate da una vela, e anche *zattere* e altre barche di minore dimensione, quali *burchielli*, *battelli*, *barbote*, *peote* e *sandole* (BONINO, 1979 e 2001; ADANI, 1990, CATTINI, 2001) che ri-

salivano anche i corsi d'acqua e canali minori. *Brigantini* perlustravano, inoltre, il fiume per il controllo e la difesa dei territori. La zattera era senz'altro il mezzo di navigazione più antico e doveva essere trasportata sempre a rimorchio; le più grandi potevano caricare merci per un'ottantina di quintali. Per ovviare alla scarsa manovrabilità, i modelli più recenti, otto-novecenteschi, ebbero una prua appuntita, benché larga e corta, e bordi appena rilevati.

La navigazione secondo corrente procedeva di norma spedita, aiutata da remi che si puntellavano anche sul fondo per migliorare la manovrabilità della barca e allontanarsi dalle pericolose secche sabbiose o dai margini delle rive, quando la corrente era "in botta", in altre parole, quando il filone principale della corrente, rapido per la navigazione, ma pericoloso, batteva sulla sponda. A prua, un marinaio scandagliava di continuo il fondo con una lunga asta e "gridava" la direzione da prendere al timoniere. In risalita era tutt'altra cosa, si cercava di seguire in controcorrente un canale sufficientemente profondo e con la corrente non troppo veloce; ci si aiutava con i remi e si alzavano le vele, se il vento era favorevole. Oppure, alcuni marinai dovevano scendere su di una sponda e trainare da terra la barca, mediante forza umana o animale, seguendo piste battute sulle sponde del fiume: era la tecnica del *traino d'alzaia* o *alaggio*. La strada *alzaia* o *restara* prendeva il nome dal grosso canapo che assicurava il tiro (dal latino *Helciare*; *helciarii* erano gli addetti al tiro).

Il XIX secolo e l'inizio della navigazione "moderna"

Nel XIX secolo continua la navigazione sul Po, con le tecniche e le imbarcazioni che quanto meno si mantenevano immutate da almeno un paio di secoli: una navigazione antica, insomma, della quale rimase però l'uso sino agli inizi del Novecento, zattere comprese; il Po, dunque, era percorso da una flotta di barche, che in risalita erano mosse per lo più a forza di braccia e da equini da tiro pesante, con poche varianti, dapprima con l'introduzione della forza motrice a vapore, verso la metà dell'Ottocento, e del motore a scoppio nel secolo seguente. Le imbarcazioni non solo richiedevano porti fluviali d'approdo, ma anche di cantieri navali per la loro costruzione e manutenzione; famosi erano quelli di Monticelli d'Ongina, Cremona, Casalmaggiore, Viadana, Boretto, Gualtieri, Mantova, Ostiglia e i tanti dell'area deltizia, veneta e ferrarese, dove però si costruivano anche imbarcazioni marine, dalle grandi, caratteristiche, vele colorate.

L'inizio dell'Ottocento, in periodo napoleonico, portò una novità per la navigazione padana: si apre, infatti, alla navigazione il Naviglio Pavese (AUTORI VARI, 2001), perciò Milano, il Lago Maggiore e Locarno furono collegati al mare. Verso il 1820, inoltre, fanno la loro comparsa le prime imbarcazioni a vapore, per il trasporto mercantile e di viaggiatori, mosse da grandi ruote laterali, con un lungo comignolo, per meglio disperdere i fumi lontano dalla coperta. Graziella DE MARTINI (in AUTORI VARI, 2001, p. 134) documenta che "già nel giugno 1820 arriva a Pavia l'Eridanio, vapore in servizio di linea tra Milano e Venezia, che assieme al Virgilio per la tratta Venezia-Mantova, sono di una società della quale fanno parte Porro, Confalonieri, Visconti e Pellico: la loro presenza al viaggio inaugurale, assieme a Vincenzo Monti e al governatore della Lombardia conte Stassoldo, è vista come segno evidente dell'effettiva possibilità di un prossimo rilancio" della navigazione interna, come avveniva in Inghilterra.

Nel 1844 un'altra Società milanese, la Perrelli e Paradisi, armò due battelli, il *Contessa Clementina* e il *Pio IX*, alla quale, però, subentrò qualche anno più tardi il Lloyd Austriaco, che dal mese di maggio 1854 svolse il servizio sino al 1859, con i vapori *Modena* e *Reggio*. Nello stesso periodo a Parma operava una compagnia di navigazione con il battello *Maria Luigia*, varato a Piacenza nel 1828, sulla tratta Piacenza-Cavanella Po e che approdava anche a Guastalla e Boretto.

La navigazione di linea per il trasporto dei viaggiatori si protrasse per meno di 30 anni, senza che si realizzasse mai lo sviluppo diffuso della navigazione interna. Esaminiamo, innanzi tutto l'orario dei vapori *Modena* e *Reggio*, che svolgevano bisettimanalmente, nel doppio senso di risalita e discesa, il viaggio Cavanella di Po-Pavia. In ascesa, l'orario era il seguente: si partiva da Cavanella Po, dove la sera prima era arrivato il battello da Venezia, alle 4 del mattino della domenica e del mercoledì, raggiungendo, *salvo casi straordinari*, gli approdi di Pontelagoscuro alle 7, Ostiglia alle 11, Borgoforte alle 15, Guastalla alle 17, Cortemaggiore alle 19, dove si trascorreva la notte, ripartendo alle 4 del mattino successivo. Da qui si raggiungeva Cremona alle 9, Piacenza alle 12, Pavia alle 19 e, finalmente, Milano alle 23. Un viaggio lungo e impossibile, che forse era simile per comodità ai viaggi sul fiume Congo narrati da Joseph Conrad... Assolutamente comprensibile, come in poco tempo, si preferì viaggiare sui treni e trasportare su di essi anche le merci.

Quasi contemporaneamente, infatti, verso il 1820, erano state costruite in Italia le prime linee ferroviarie, che si svilupparono soprattutto tra il 1855 e il tardo Ottocento, nel periodo di transizione tra Stati preunitari e Regno d'Italia; ad esempio la linea Parma-Bologna fu inaugurata proprio nel luglio 1859, meno di tre mesi prima dell'annessione dei territori attraversati al Regno Sabauda. Questo fu un caso indicativo per la morte della navigazione fluviale: dall'Austria, nel giugno 1858, all'incirca un anno prima del definitivo allontanamento da Modena dell'ultimo Duca, Francesco V, giunsero, utilizzando la via d'acqua (il Po, il Panaro e il Naviglio modenese), locomotive, carri, rotaie e quant'altro necessario per la costruzione della ferrovia della Società Ferroviaria Adriatica, che segnò il lento, definitivo declino della navigazione sul Panaro e il Naviglio modenese (SPAGGIARI, 1990), sul quale l'ultimo battello navigò nel 1923.

La ripresa della navigazione fluviale si concretizzò all'inizio del XX secolo, con la fondazione nel 1900 della "Società di Navigazione Fluviale" con sede a Venezia, e nel 1906 la "Società Mantovana Barca" con sede a Mantova. La navigazione fluviale, rimasta immutata per secoli, subisce una radicale trasformazione: l'applicazione dei rimorchiatori a vapore, che resteranno in servizio sino al 1943 circa. Il traino avveniva in forma consociata: i barconi procedevano in convoglio, in genere di 5 o 6 natanti, con disposizioni particolari (GIARELLI, 1987, pp. 95-96).

La ferrovia, molto più rapida della navigazione fluviale, anche per la sua capillarità sul territorio, garantiva una continuità di servizio, che sui fiumi era tutt'altro che assicurata, mettendo definitivamente in crisi il trasporto fluviale che, sul finire dell'Ottocento e nel Novecento, si limitò quasi esclusivamente al trasferimento di merci sfuse, per lo più granaglie, legname, sabbia, pietre e marmi da costruzione (pietra d'Istria, Biancone, Rosso Ammonitico e trachiti dal Veneto, graniti e marmo di Candoglia dal Lago Maggiore) e sale dall'Adriatico, caricate direttamente dalle località di produzione, o trasbordate da altre imbarcazioni.

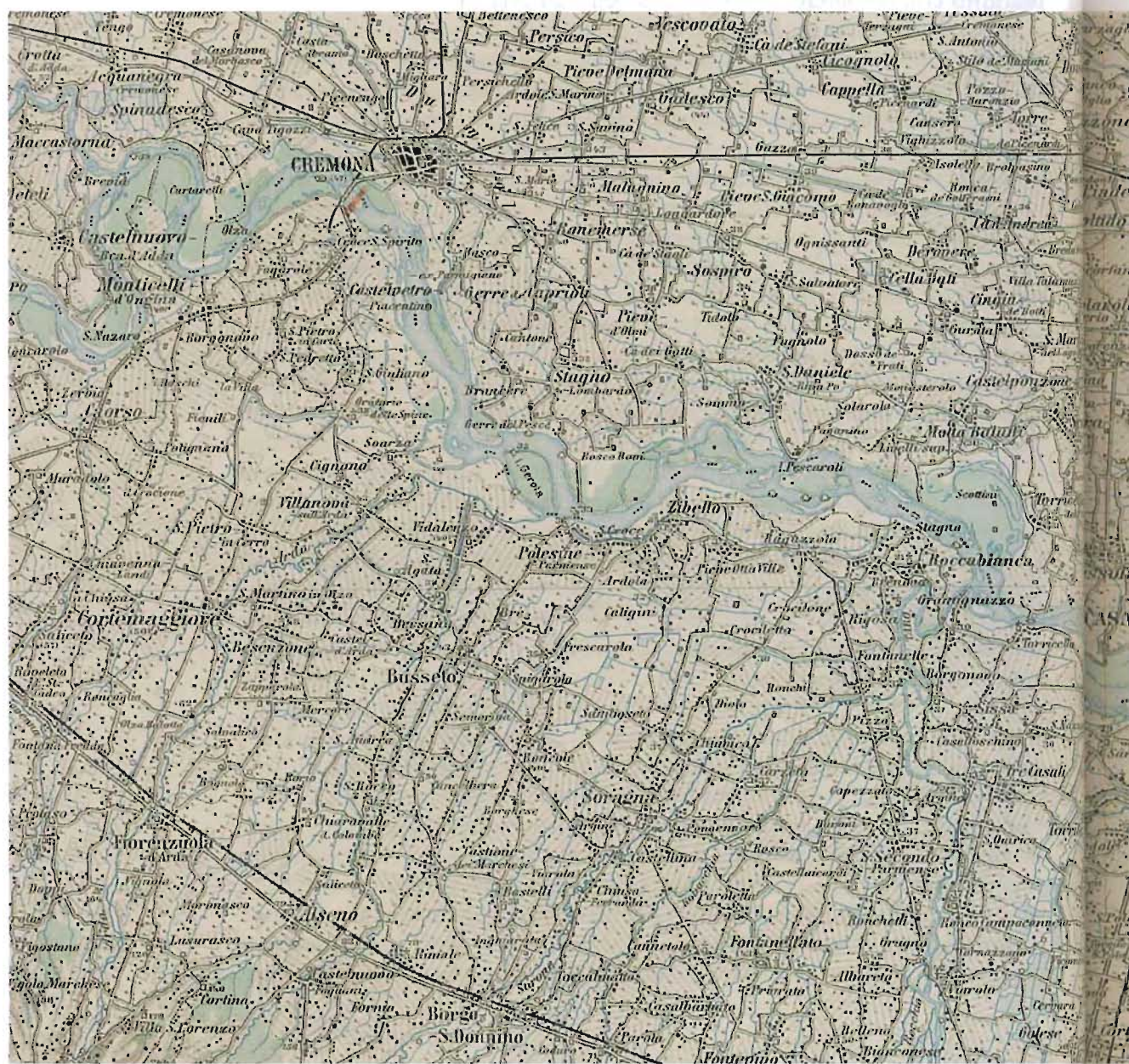
I progetti di rilancio furono parecchi: l'armatore veneziano Stefano Canacesio, che svolgeva un servizio economicamente attivo tra Mantova e Venezia, ipotizzò una ripresa della navigazione da Pavia a Milano, ma la presenza della ferrovia, già attiva dal 1862 in queste due località, in conformità a raffronti economici, scoraggiò ogni tentativo. In periodi successivi, saranno la *Commissione parlamentare del Ministero dei Lavori Pubblici*, presieduta da Leone Romanin Jacour (1903), il *Consorzio per la navigazione interna nella Valle Padana* (1904), il progetto dell'ing. Darvino Salmoiraghi (1911) a occuparsi del problema, soprattutto lungo la direttrice Milano-Venezia. Nulla, però, fu realizzato di concreto, nonostante un viaggio dimostrativo, effettuato nel 1908, dal vapore *Padus* da Venezia a Milano.

Sul mancato sviluppo della navigazione fluviale padana nell'Ottocento influirono senz'altro le vicende idrauliche del fiume, descritte in altri capitoli di questo volume, nonostante la presenza di nuove idrovie. Si è già parlato circa la realizzazione (1808-1815) delle strutture per la navigazione sul Naviglio pavese da Milano al Ticino, con le sue conche di navigazione e soprattutto con la spettacolare scala d'acqua tra Pavia e il Ticino (BRUSCHETTI, 1821; LOMBARDINI, 1844). Tutto il corso del Po era appunto navigabile sino alla foce del Ticino da parte di imbarcazioni grandi, come *rascone*, *butintori*, *gabbarre*, *burchi* e battelli a vapore: sugli affluenti, le direttrici di traffico principali erano rappresentate dalle idrovie Ticino-Naviglio Pavese e dal Mincio; nel tratto prossimo al delta vi era il Po di Volano e il Canal Bianco. Dall'alveo del Po si dipartivano, inoltre, affluenti collegati a canali navigli più interni navigabili da imbarcazioni più piccole. La risalita del Mincio era regolata dalle chiuse di Governolo, esistente dal 1198 (progettate dal Pitentino), e in seguito modificate nel 1395 (per volere di Francesco Gonzaga) e nel 1609 (per opera di Gabriele Bertazzolo), e che sarebbero state affiancate da una nuova nel 1925. L'ingresso nella rete idrografica veneta, in direzione nord, di Chioggia-Venezia, avveniva con le conche di Volta Grimana - Cavanella Po e il Canale di Brondolo.

La rete idroviaria poteva sembrare sufficientemente estesa e organizzata nei suoi assi principali, ma era proprio il Po che mal si adattava a una navigazione di barche di grosse dimensioni, per le sue piene sempre crescenti, che modificavano in continuazione la forma dell'alveo. Già nel 1705, una piena aveva sconvolto il territorio padano dal Piacentino fino al mare, attraverso il Cremonese, il Mantovano e il Modenese, con conseguenze disastrose per l'alveo e gli allagamenti, forse comparabili per estensione a quello del 1951; altre sette (1719, 1729, 1733, 1755, 1772, 1777, 1799) si erano susseguite in quel secolo. Anche quello nuovo era cominciato male, con la rovinosa piena del 1801, e quest'evento si ripeté tante altre volte nel secolo (1807, 1810, 1812, 1839 due volte, 1857, 1868, 1872 due volte, 1879), con piene di altezze idrometriche sempre crescenti, come si vedrà nei successivi capitoli del libro e come ci testimonia il padimetro di Ferrara (Fig. 8.1). A Pontelagoscuro (FE), portate dell'ordine di $7.000 \text{ m}^3/\text{s}$ non si produssero nelle otto grandi piene del 1700, mentre ce ne furono ben 15 nell'Ottocento e 18 nei primi 60 anni del Novecento, alcune delle quali ben superiori a $8000 \text{ m}^3/\text{s}$, valore questo mai superato nel secolo precedente. A ogni piena, barre e isole cambiavano di forma e dimensione e gli incagli sulle "secche" erano pronti a dilatare l'orario di navigazione (che era fissato, come visto, *salvo casi straordinari*), nonostante l'attenzione dei marinai addetti al controllo dei fondali e la presenza di grossi pali o *briccole*, in-

fisse sul fondo per segnalare i punti più pericolosi, da riposizionare a ogni piena: gli insabbiamenti delle imbarcazioni, se la chiglia non si rompeva, costringevano a lunghe manovre, talora con scarico di merci e passeggeri.

Non si hanno le relazioni che accompagnavano i disegni tecnici delle Tavole della Commissione Brioschi, ma è lecito pensare che esse dovessero servire, oltre che alla ricostruzione delle scale di portata, anche per la navigazione e la posizione dei mulini natanti. Già la precedente cartografia del 1821-1872 (AUTORI VARI, a cura di SIBRA, 2004) era stata sicuramente realizzata anche a fini nautici, tant'è vero che a valle della confluenza con l'Adda e sino al mare è indicato il filone del canale principale per la navigazione e in alcune tavole il profilo di fondo dell'alveo. Le isole e le barre sabbiose addossate alle sponde hanno una rappresentazione molto precisa, con sfumature che degradano verso i fondali più bassi. Il LOMBARDINI (1870), però, metteva sull'avviso che *"A valle della foce dell'Adda... fino a quella dell'Oglio, il Po diviene vagante, le isole di nuova formazione sono frequenti e prendono la figura di uno scafo, rimanendo tondeggianti nel loro estremo a monte, ove prevale nella disposizione la sabbia, e ter-*

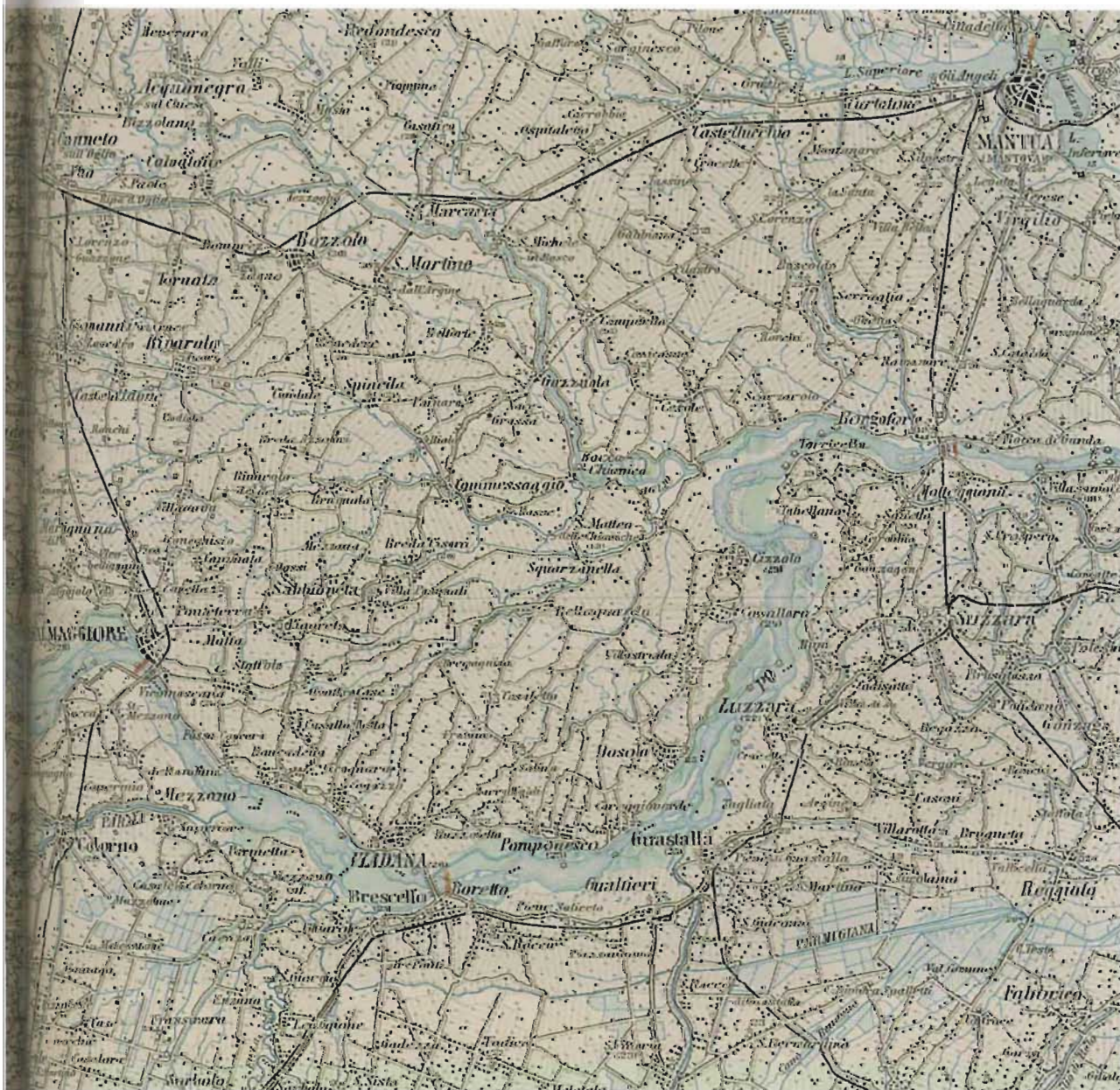


minando in punta a valle, ove in maggior copia si depone l'argilla". In questo tratto e sino a Ostiglia l'alveo, inoltre, per tutto l'Ottocento, si andava progressivamente innalzando (GIARELLI, 1987; MORETTI, 2000), rendendo sempre più difficile la navigazione, soprattutto di fronte alle foci dei fiumi appenninici.

La navigazione del Po non era fatta solo da imbarcazioni, ma anche da tantissimi *mulini natanti*, i cui ultimi esemplari rimasero sul fiume fino ai primi decenni del XX secolo: impianti di macinazione posti su due galleggianti, collegati tra loro, dove nella parte centrale una ruota formata da pale si muoveva spinta dalla velocità dell'acqua, che a sua volta faceva ruotare la macina per la frantumazione del grano. Costituivano anch'essi una forma di navigazione e si spostavano negli alvei dei fiumi dove le velocità delle correnti erano più elevate per ottenere maggiore energia per la macina e la produzione delle farine. Da ricordare le belle pagine scritte sull'argomento da Grazia Deledda (*Nostalgie*, 1905, pp. 173-178) e da Riccardo Bacchelli, il quale ci testimonia che ai mulini natanti erano dati nomi di Santi, per invocarne la protezione dall'acqua e dal fuoco. Per un approfondimento dell'argomento, si ri-

In queste e nelle pagine seguenti Fig. 4.1 (a, b) = Mulini natanti sul Po nel tratto da Cremona a Ferrara, secondo la terza edizione (1910) della Carta Militare dell'Impero Austro-ungarico, redatta alla scala di 1:200.000, sulla base dei rilevamenti del 1905/6: i mulini sono indicati con il simbolo di una barca con ruota a pale.

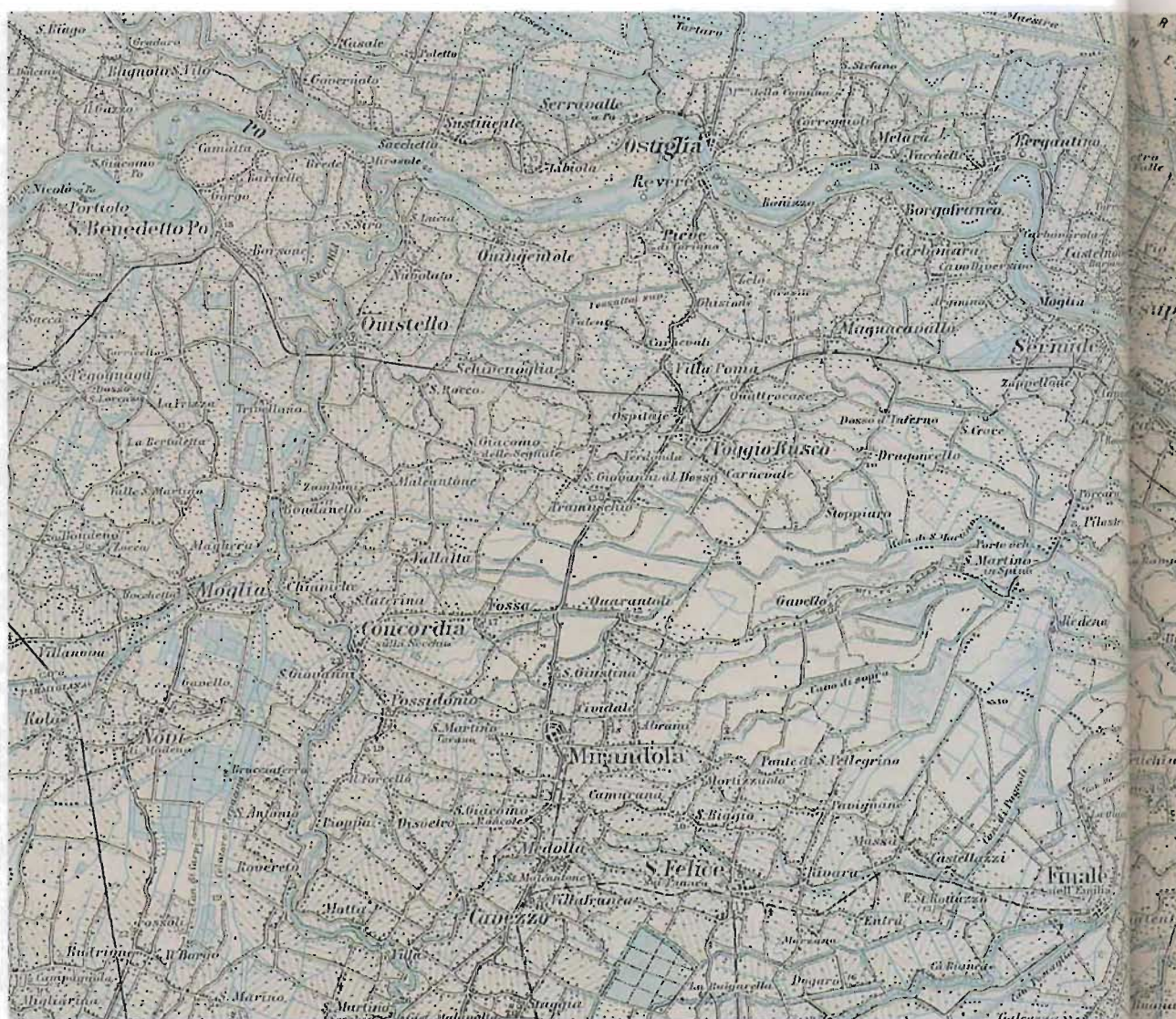
Fig. 4.1 (a)



manda ad esempio, alle interessantissime note di LUGARESI (1987 e 2000) e anche a quelle di MEDAS (2003), con le relative bibliografie.

L'attestazione più antica di un impianto di mulino galleggiante è del 508 d.C. in Francia. Nell'Italia settentrionale, e in particolare sul Po nel suo corso medio inferiore, i primi mulini galleggianti risalgono al Medioevo, forse a partire dall'VIII secolo. La loro flotta è aumentata progressivamente nel tempo fino al 1700, quando, tuttavia, le interferenze con la navigazione e le opere di difesa idraulica costrinsero a porre delle limitazioni al loro numero e alla loro posizione, poiché essi creavano frequentemente vortici nella corrente e, quindi, erosioni di sponda, che erano incompatibili con la situazione idraulica che si andava delineando in quello stesso periodo.

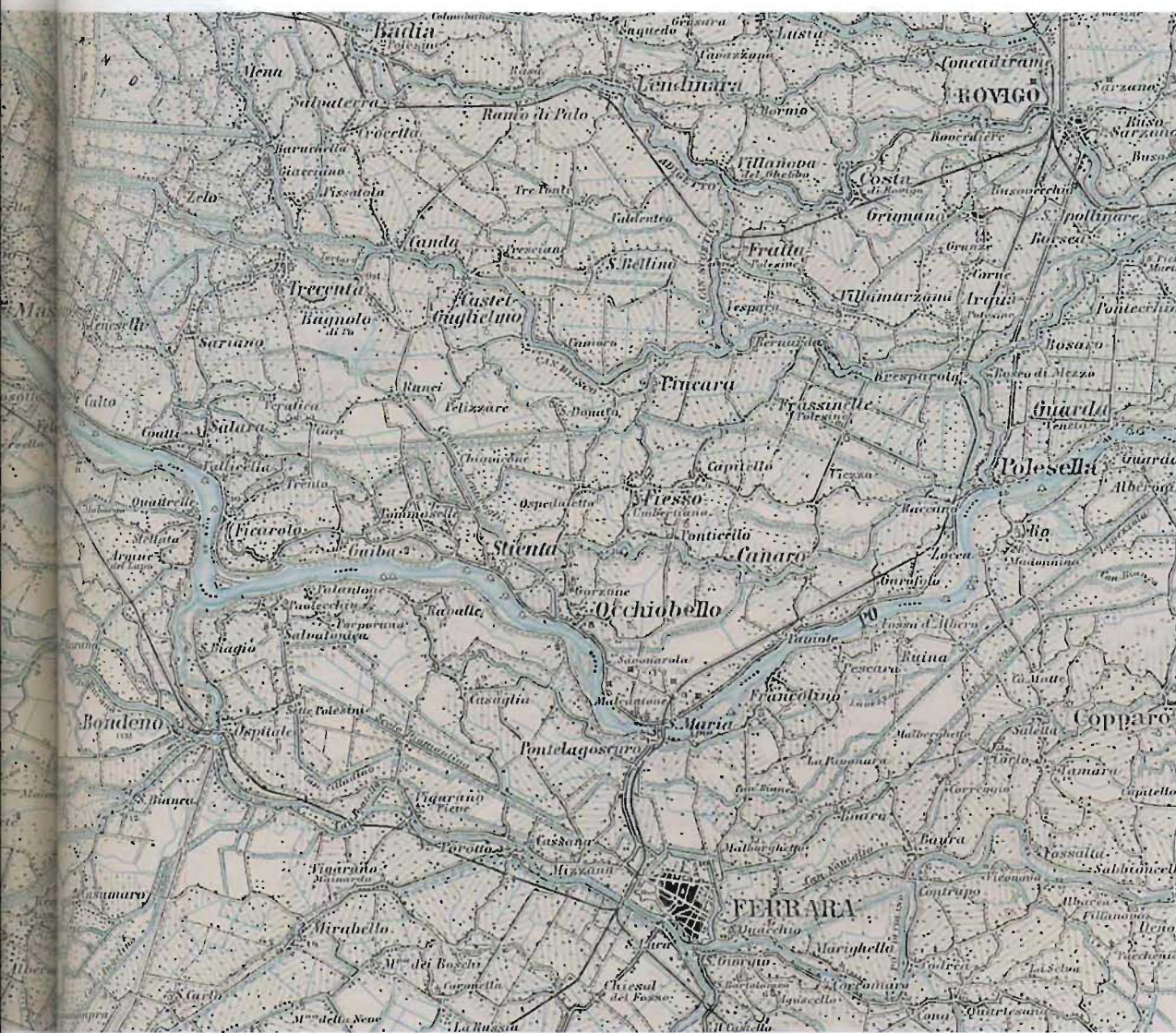
Come per la navigazione, la cartografia ottocentesca relativa al Po e le stesse Sezioni Brioschi furono senz'altro redatte anche per meglio definire la posizione dei mulini lungo le sponde del fiume, scegliendo i canali con elevata velocità della corrente e con maggiore profondità, e nello stesso tempo senza sponde crose o "in botta", dove l'ostacolo del natante ancorato avrebbe



potuto provocare dannosi vortici. Il succedersi lungo il percorso fluviale dei vari mulini costituiva spesso un ostacolo per le imbarcazioni, ma permetteva, d'altra parte, ai naviganti di utilizzare una sorta di rotta "guidata".

La fine dei mulini natanti fu decretata nei primi anni del 1900 con la legge 13 luglio 1911 n. 774, con la quale fu proibito lo stabilimento dei mulini natanti nei fiumi navigabili, perché ritenuti pregiudizievoli per la sicurezza della navigazione. Tuttavia, la terza edizione (1910; rilevamenti del 1905-06) della Carta Militare dell'Impero Austro-ungarico, redatta alla scala di 1:200.000, cartografando tutti i mulini natanti sul Po, che avevano un interesse strategico, al pari di ponti, traghetti e approdi, ne individuava la posizione di ben 85, distribuiti come segue, da monte verso valle: il primo si trovava subito a valle di Portàlbera presso Stradella e altri tre erano ancorati nel tratto sino a Piacenza; da Piacenza a Casalmaggiore ve n'erano 11; 47 da Casalmaggiore a Ficarolo; 13 da Ficarolo a Guarda Veneta; 10 nell'area deltizia, tutti situati sul Po Grande o di Venezia, l'ultimo dei quali era ancorato lungo il taglio di Viro.

Fig. 4.1 (b)



La navigazione in tempi recenti e prospettive future

La storia recente' della navigazione fluviale italiana è stata ed è ancora molto meno importante. Per il declino della navigazione interna nel nostro paese è stata decisiva la mancata reazione alle due crisi che essa ha sofferto, dovunque, quando sulla scena dei trasporti si sono presentati due moderni "concorrenti": la ferrovia nella seconda metà del 1800 e il trasporto su strada, negli anni Venti-Trenta del secolo scorso.

La fase immediatamente successiva alla seconda guerra mondiale, che ha gettato le basi e ha dettato i tempi dello sviluppo, della pianificazione, della programmazione e della ricostruzione dell'Italia, non ha saputo cogliere le

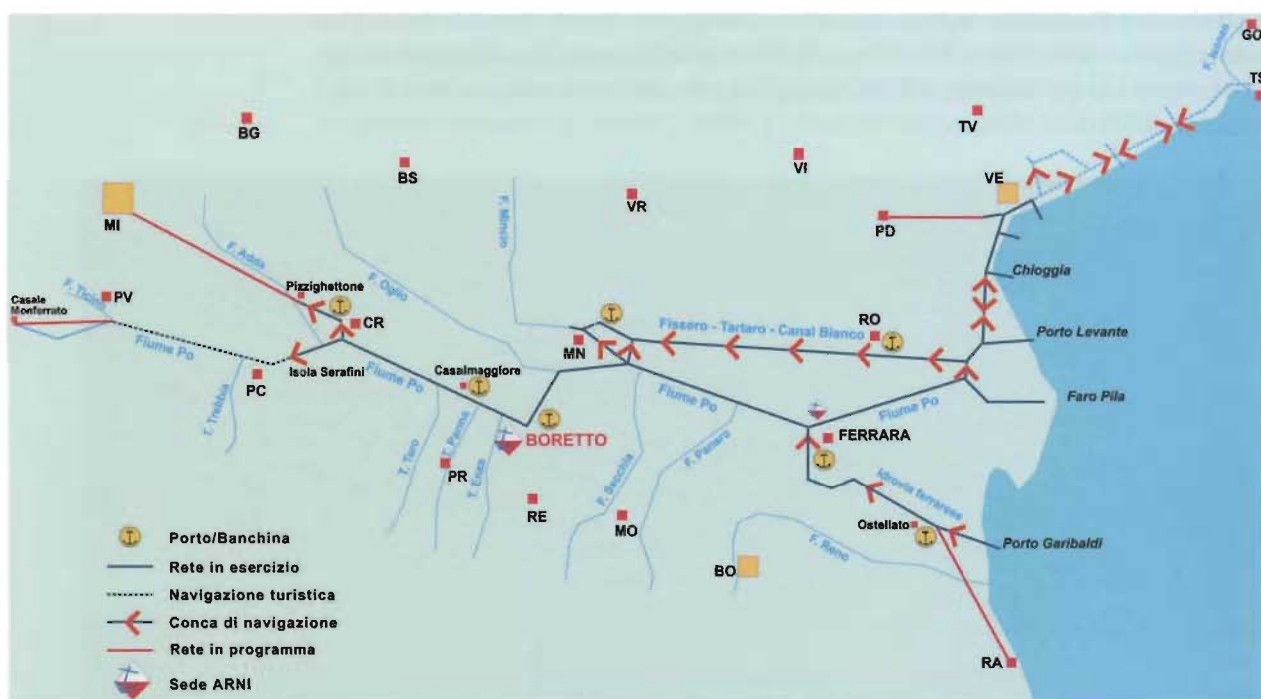


Fig. 4.2 - Rete idroviaria padana prevista dal D.M. del 1992, estesa per 987,5 km. A tutt'oggi la parte in esercizio è di 812 km, dei quali sono utilizzati per fini commerciali 564 km.

peculiarità e le potenzialità della navigazione interna e del sistema fluviale padano. Non si è provveduto a un suo rinnovamento e al necessario ammodernamento che ha, invece, viste coinvolte le altre modalità di trasporto.

La navigazione sui fiumi ha sempre avuto, e ha tuttora, un rapporto diretto con il suo alveo perché le imbarcazioni ne utilizzano solo una parte, quella che consente i pescaggi più elevati e che raccoglie le acque prevalenti nei momenti di riduzione delle portate, l'alveo di magra.

La navigazione fluviale, anche se praticata con barche di piccole dimensioni, ha offerto fino all'era moderna condizioni certamente assai vantaggiose rispetto al trasporto terrestre, che avveniva a dorso d'uomo o d'animale o con modesti carriaggi. L'evoluzione e il progresso dei modi di trasporto terrestre hanno tolto interesse negli ultimi cento anni all'utilizzazione delle imbarcazioni di ridotta capacità, imponendo una parallela evoluzione del trasporto idroviario verso navi e convogli di più grande tonnellaggio.

Ai giorni nostri, pur essendo ancora praticata la navigazione con piccoli battelli, la maggior parte dei trasporti fluviali è assicurata da automotori⁸ o da convogli (costituiti da spintore più chiatte), che superano le 1000 ton-

nellate sul Po per arrivare a 10.000 tonnellate sul Reno e sul Danubio.

Per rendere possibile l'utilizzazione di navi e di convogli d'elevate dimensioni, un'idrovia moderna deve offrire condizioni di tracciato, di larghezza e di profondità che si trovano solo eccezionalmente in natura nei grandi fiumi. Si possono citare tra queste eccezioni il Rio delle Amazzoni, il Mississippi, il Danubio, il Reno, il fiume Giallo. Generalmente, tuttavia, un fiume non presenta condizioni adatte alla moderna navigazione se non è sistemato.

I diversi metodi praticati per la sistemazione idroviaria dei fiumi possono essere ricondotti a due principi ben distinti: la sistemazione a corrente libera, che interviene sull'alveo di magra, e la canalizzazione o bacinizzazione. Spesso i due sistemi sono stati adottati in tempi successivi sullo stesso corso d'acqua e in questi casi la decisione di costruire sbarramenti (bacinizzazione) è stata generalmente motivata con la volontà di ottenere utilizzazioni multiple dell'acqua, oltre che dalla convenienza di superare i limiti, oltre i quali la sistemazione a corrente libera non può arrivare.

È evidente che un fiume a corrente libera è come un vaso aperto sul fondo e che nessuna sistemazione, che lo lasci aperto, può far salire i livelli oltre certi valori, i cui limiti dipendono dalla portata, dalla pendenza e dalla larghezza del canale o alveo di magra.

I primi interventi di sistemazione a corrente libera in Europa sono iniziati alla fine del 1800 e proseguiti nella prima metà del secolo successivo. Sono generalmente impostati sui metodi, che l'ingegnere francese Girardon ha messo a punto nella sistemazione del Rodano, utilizzando precedenti studi e lavori di Fargue sulla Garonna. Secondo questi studi, nella successione di gorghi o fosse e di soglie o bassi fondali, che si presentano in un fiume naturale, fatto di curve e controcurve più o meno regolari, la soglia può essere considerata il passaggio tra due gorghi successivi. Il passaggio può essere *buono* o *cattivo*, a seconda che il flusso dell'acqua vi arrivi in direzione parallela all'asse generale del fiume o in direzione perpendicolare. In quest'ultimo caso la lama d'acqua presenta una larghezza molto maggiore e, di conseguenza, una profondità ridotta.

Per sostituire i passaggi *cattivi* con i passaggi *buoni*, Girardon propone di concentrare le acque di magra in un alveo unico, di bloccare (fissare) il tracciato di questa parte dell'alveo fluviale e quindi anche la posizione dei gorghi e delle soglie secondo un disegno che favorisce il flusso dell'acqua con direzione parallela all'asse del fiume. Le opere suggerite per tale sistemazione sono generalmente opere trasversali, costituite da pennelli, ancorati alle sponde e prolungati verso il centro dell'alveo, che normalmente sono poi sommersi con l'aumentare delle portate del fiume. Spesso i tracciati delle rive concave sono invece definiti da opere longitudinali che accompagnano il flusso principale della corrente. Il metodo "*Girardon*" è stato applicato, con qualche variante suggerita dai caratteri specifici dei diversi fiumi, in molti casi e ha fornito risultati generalmente positivi, anche se non sempre decisivi.

Gli studi per la sistemazione a corrente libera del Po, che ha buoni parametri, quali pendenza variabile tra 20 e 10 cm/km nel tratto medio-inferiore, portata media 1450 m³/s a Pontelagoscuro, portata di magra equivalente (quella superata per 340 giorni/anno) di 400m³/s, velocità della corrente variabile tra 0,6 e 1 m/s in magra e 2 ÷ 3 m/s in piena, sono iniziati con l'ingegner Carlo Valentini nel 1918 e sono stati poi seguiti dai primi progetti a carattere sperimentale firmati dallo stesso Valentini e dall'ingegner Osti-

lio Gorio nel 1919 e 1920. Nel 1924 il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ha approvato le conclusioni della (seconda) Commissione Romanin Jacur, istituita nel 1922, che consacravano definitivamente la scelta del Po come asse idroviario della valle padana nel tratto foce Adda-Cavanella, indicando la necessità di procedere alla sua sistemazione a corrente libera. La scelta della Commissione è arrivata dopo più di un ventennio di discussioni studi e confronti, fra sostenitori delle acque *scure*, quelle del Po, e sostenitori delle acque *chiare*, i quali ritenevano opportuno realizzare, invece, un sistema di idrovie artificiali, seguendo le vie pedemontane di collegamento ai vari distretti produttivi, in particolare quelli lombardi, abbandonando definitivamente il Po.

I primi finanziamenti sono, però, arrivati solamente nel 1931, con la decisione di dar corso alla sistemazione del tronco foce Adda-foce Mincio. La mancanza di programmazione dei finanziamenti e le difficoltà imposte dalle vicende della seconda guerra mondiale hanno notevolmente dilazionato nel tempo gli interventi, che sono stati completati nei primi anni Settanta del secolo scorso. I risultati ottenuti possono essere considerati positivi, non solo per la navigazione del fiume, ma anche per la difesa idraulica. La portata pratica dei successi ottenuti è tuttavia sensibilmente compromessa dalla limitazione degli interventi al solo tronco foce Adda e foce Mincio, fuori del quale è stato effettuato solamente qualche sporadico intervento. L'evoluzione, nel tempo, dei progetti esecutivi rispetto al progetto generale iniziale del 1924 del Giandotti, ha portato a un aumento considerevole dello sviluppo delle opere longitudinali che si affacciano per tratti di lunghezza rilevanti. Queste soluzioni producono risultati momentaneamente molto buoni, ma che, a lungo andare, hanno generalmente portato anche a insuccessi, almeno nei casi in cui l'alveo presentava un'elevata mobilità: condizioni che stanno emergendo negli ultimi anni nel tratto Torricella-Casalmaggiore. Il progetto di sistemazione a corrente libera del Po, nato negli anni Venti del secolo scorso, si trova oggi ad affrontare una situazione che sta registrando cambiamenti importanti.

Le portate di magra, utilizzate per la progettazione della sistemazione, sono in progressiva e continua diminuzione a causa della crescente domanda di acqua per usi diversi; la navigazione interna moderna, per navi che trasportano più di 1300 tonnellate, richiede fondali minimi sempre maggiori; l'abbassamento dell'alveo di magra del fiume ha raggiunto, negli ultimi 50 anni, valori così elevati ($4 \div 5$ m nel tratto Cremona-Boretto), da compromettere la stabilità delle opere in alveo e ha reso inutilizzabili le conche di navigazione e gli impianti di presa delle bonifiche. Le difficoltà di prevedere in maniera compiuta l'evoluzione e l'esito di tale fenomeno lascia tutt'oggi nell'incertezza l'impostazione delle opere future. I caratteri specifici della sistemazione del Po, in questa situazione, giocano un ruolo non sempre favorevole. La riduzione della larghezza dell'alveo di magra, per aumentare la profondità dei fondali nelle soglie, che sarebbe operazione agevole se si trattasse di prolungare dei pennelli trasversali, diventa molto difficile con le opere longitudinali.

Il rilancio della navigazione, con gli automotori e i convogli a spinta, che ha visto coinvolte tutte le idrovie europee dalla metà del secolo scorso, è stata, invece, assai ridotta sul Po rispetto alle attuali possibilità offerte dal fiume. La navigazione moderna, che ha abbandonato i *burchi* e le *magane*, è iniziata alla fine degli anni Cinquanta del secolo scorso, favorita dal coraggio e dall'intraprendenza di un capitano fluviale francese, Jean Chez, al quale era stato affi-

dato il compito di organizzare una flotta per rifornire di combustibile le centrali termoelettriche realizzate sulle rive del Po e rifornire gli insediamenti industriali dell'area mantovana collocata in prossimità delle acque del Mincio.

Queste possibilità sono evidenziate anche dal confronto con le condizioni di navigabilità del tronco superiore del Reno, la più importante idrovia del mondo, paragonabile a quelle del Po, nella prima metà degli anni Settanta. È segno evidente che un'idrovia non può essere ridotta esclusivamente al proprio canale navigabile, come una ferrovia non può essere ridotta al binario. I limiti dell'utilizzazione idroviaria del Po non dipendono soltanto dalla mancanza di fondali, quanto dalle insufficienze dell'organizzazione complessiva del trasporto via acqua e delle relazioni tra l'idrovia stessa e il proprio bacino d'utenza. Lo sviluppo della navigazione interna passa così per le questioni dei porti, della flotta, delle aste di collegamento con i centri d'origine e destinazione del traffico, dell'integrazione con i sistemi di trasporto terrestri e marittimi, dei servizi.

L'altro metodo utilizzato per la sistemazione fluviale per la navigazione è quello della *bacinizzazione*, che consente di ottenere le migliori condizioni per l'utilizzazione idroviaria del fiume. Programmi di bacinizzazione sono generalmente adottati nella maggior parte dei fiumi europei e nordamericani, spesso dopo aver sperimentato la sistemazione a corrente libera.

La bacinizzazione di un fiume si realizza mediante la costruzione di una serie di sbarramenti mobili che producono un rialzo dell'acqua a un livello superiore a quello naturale, garantendo così le migliori condizioni d'esercizio della navigazione durante tutto il periodo dell'anno, indipendentemente dalla portata del fiume. È un sistema che si è diffuso rapidamente dopo che, verso la fine del 1800, ci si è impadroniti della tecnica di costruzione di sbarramenti mobili, che, all'occorrenza, sono totalmente aperti per consentire lo smaltimento delle portate di piena.

Spesso le bacinizzazioni sono state concepite per conseguire obiettivi multipli, collegati alla loro capacità d'accumulo di importanti volumi di acqua e di rialzo dei loro livelli. Il sistema è normalmente usato nei tronchi superiori dei fiumi, riservando la sistemazione a corrente libera ai tronchi inferiori dove essa trova condizioni di portata e pendenza più favorevoli.

Per superare i salti prodotti dagli sbarramenti, è richiesta la costruzione di conche. In alcuni casi si è anche ravvisata la convenienza di attrezzare una delle luci dello sbarramento per il transito delle navi nei periodi in cui i valori del salto lo consentano. La bacinizzazione ha permesso risultati come la navigazione allo standard dei convogli da 10.000 t della Senna (portata minima a Parigi dell'ordine di 20 m³/s) e l'arrivo di navi da 1350 t a Praga sulla Moldava, che ha una portata minima di 11 m³/s.

Indipendentemente dai metodi utilizzati per la sistemazione dei fiumi, il loro utilizzo ai fini della navigazione, commerciale e turistica, e la loro partecipazione a uno sviluppo equilibrato di un paese, dipende dalle azioni politiche e programmatiche che vengono attuate. In Italia le prime vere decisioni sono abbastanza recenti e risalgono a una legge del 1990, la n. 380, che ha definito il sistema idroviario padano-veneto, con il Po asse centrale, di preminente interesse nazionale. La rete in capo a tale sistema è stata precisata con un decreto del 1992 ed è estesa per 987,5 km (Fig. 4.2):

fiume Po da Casale Monferrato a Foce Ticino	65 km	laguna veneta (da Chioggia a Venezia)	30 km
fiume Po da Foce Ticino al mare	389 km	idrovia litoranea veneta da Portograndi a foce Isonzo	130 km
fiume Ticino da Pavia a confluenza Po	7 km	canale Milano-Cremona	66,5 km
fiume Mincio da Mantova a confluenza Po	21 km	idrovia Ferrara-Ravenna	87 km
canale Po-Brondolo (Chioggia)	19 km	canale Padova-Venezia	28 km
idrovia Fissero-Tartato-Canalbianco-Po di Levante	135 km		

A tutt'oggi la rete in esercizio è di 812 km, di cui utilizzati per fini commerciali 564 km:

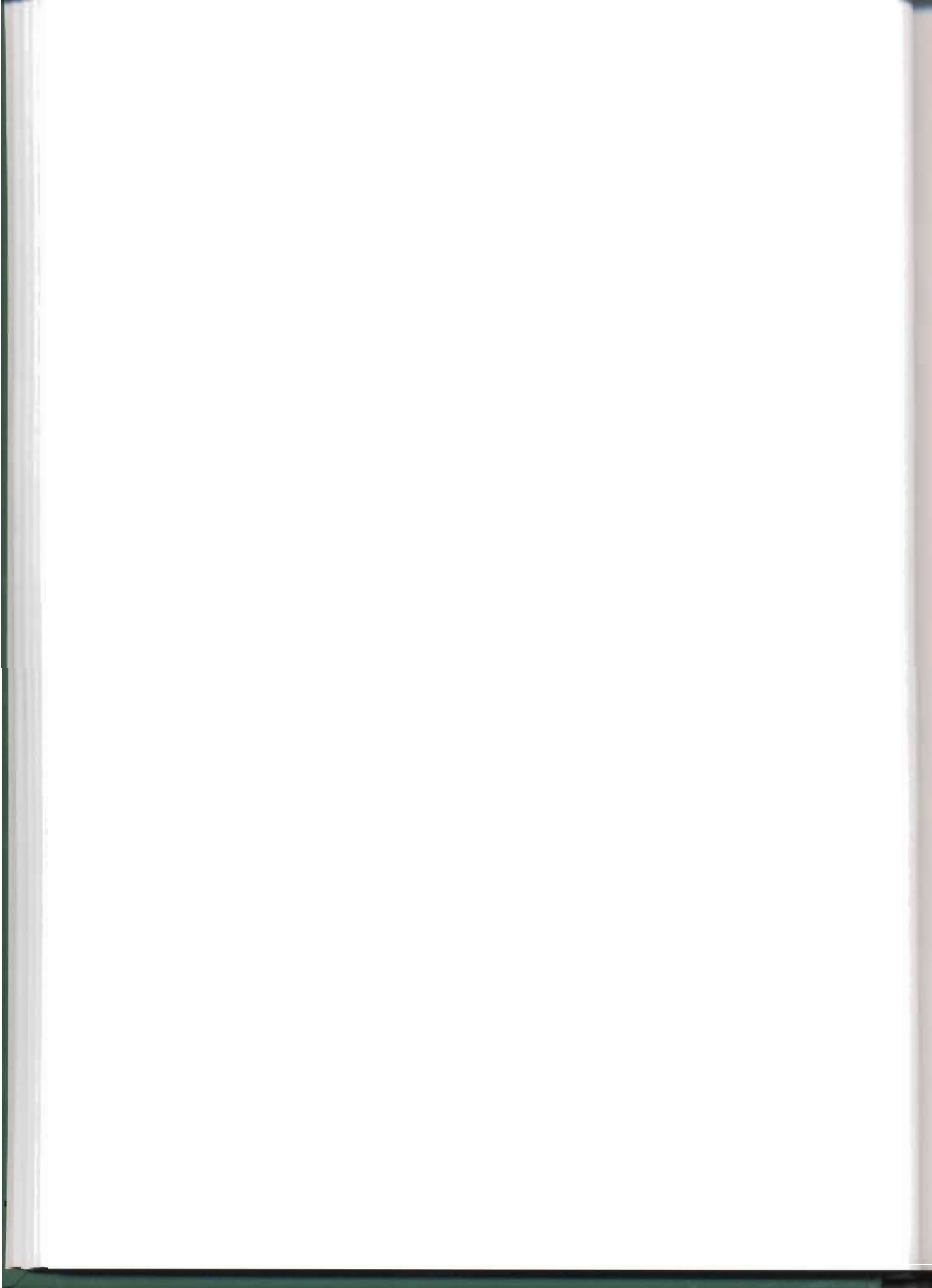
fiume Ticino da Pavia alla confluenza con il Po 7 km (turistico);
 fiume Po da foce Ticino a Cremona 97 km (turistico);
 fiume Po da Cremona al mare 292 km (275 fino a Porto Tolle);
 il primo tratto del Canale MI-CR-Po (fermo a Pizzighettone) 14 km;
 fiume Mincio da Mantova al Po (via Governolo) 21 km;
 idrovia Fissero-Tartaro-Canalbianco-Po di Levante (incile) 117 km;
 Po di Levante 18 km;
 idrovia Ferrarese (Pontelagoscuro-Portograribaldi) 70 km;
 canale Po-Brondolo (Chioggia) 19 km;
 laguna Veneta (da Chioggia a Venezia) 30 km;
 litoranea Veneta (Venezia-foce Isonzo) 127 km (turistico).

Il tratto di fiume Po foce Ticino-Cremona (97 km) è scarsamente utilizzato (esiste solo un limitato traffico interno d'inerti e navigazione turistica), a causa della non funzionalità della conca dell'Isola Serafini (PC) annessa all'unico sbarramento sul Po, situato 8 km a monte di Cremona. Con il rifacimento della conca d'Isola Serafini (il progetto è in corso d'approvazione e l'opera è già stata finanziata) diventerà immediatamente fruibile il tratto Cremona-Piacenza di 37 km, che ha buoni fondali, perché risente del rigurgito dello sbarramento.

Negli ultimi anni sono state poste le basi per uscire, almeno, dalla marginalità e dare il giusto ruolo al Po tentando di ricucire il suo rapporto con il territorio circostante. L'impegno è gravoso, ma non impossibile. Con alcune leggi, a partire dal 1998, sono stati stanziati circa 600 milioni di euro per potenziare e adeguare il sistema idroviario padano veneto allo standard della classe europea Va, funzionale a navi lunghe fino a 110 m, larghe 11,50 m, pescaggio massimo 2,50-2,80 m e tirante d'aria 5,75 m. Parte delle risorse è destinata al Po per completare la sistemazione dell'alveo di magra a valle di foce Mincio e correggere le imperfezioni del tratto già regolato. I programmi attuali sono per il suo mantenimento a corrente libera, anche se da un po' di tempo è ripresa la discussione su una diversa sistemazione idraulica. Le motivazioni sono molteplici, legate alle esigenze della navigazione commerciale e turistica, dell'agricoltura, le preoccupazioni per l'abbassamento dell'alveo di magra, la mancanza d'acqua in generale, specialmente nei periodi estivi, per le mutate condizioni climatiche. Agli studiosi ed esperti il compito di individuare le giuste soluzioni, senza preconcetti, per uno sviluppo compatibile ed equilibrato e per la tutela di questo grande patrimonio che è il Po.

Note

1. Ivano Galvani è autore della trattazione relativa alla navigazione attuale, Maurizio Pellegrini di quella antica.
2. Per l'idrografia antica si legga quanto scritto nel cap. 2.
3. Secondo il metodo MacAdam, che fu utilizzato in Inghilterra subito dopo l'eccezionale gelata del gennaio 1820 e il successivo scioglimento dei ghiacci e delle nevi, che provocò l'erosione delle sovrastrutture stradali.
4. In area veneta, una fitta rete di canali permetteva di andare direttamente da Cavanella Po sino a Padova e Venezia.
5. Per una documentazione storica sulla navigazione padana in senso lato si consultino anche le pubblicazioni di Autori Vari (1992) e Azzi & Betta (1995).
6. Scaricabile dal sito <http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/topo/3felmeres.htm>
7. Si può consultare sull'argomento l'archivio dell'ing. Gabriele Della Luna, costituito presso la biblioteca ARNI a Boretto (RE).
8. Automotori = imbarcazione con motori di spinta propri; a differenza dei convogli, costituiti da una o più chiatte, con battello motore separato.



5. Borghi di riva lungo il Po nella cartografia dell'Ottocento

Vittorio Degli Esposti

Chi percorre le strade di un agglomerato urbano, sia esso grande o piccolo, non ha la possibilità di coglierne la reale estensione, né la forma, impercettibile dal punto di vista dell'osservatore, defilata dalle strutture edilizie che formano il contesto costruito. La percezione della forma urbana è, al contrario, facilmente leggibile nella rappresentazione dall'alto – attraverso la fotografia aerea o satellitare – o attraverso la documentazione cartografica da questa derivata ovvero ottenuta attraverso il rilevamento topografico. Immagini virtuali, quindi, e non diretta percezione della realtà. Lo strumento cartografico, in particolare, consente di associare all'immagine disegnata una serie di informazioni integrative del contenuto contestuale, direttamente decodificabili dalla documentazione esplicativa fornita dalla carta stessa; lo stesso non avviene nella interpretazione dell'immagine fotografica, in quanto solo la specifica conoscenza delle singole notazioni formali rappresentate consente la comprensione del contenuto globale.

Quello che però la foto aerea non spiega sono le motivazioni che hanno condizionato la forma del luogo costruito, nell'immagine congelata della ripresa fotografica, e solo parzialmente le chiarisce la carta topografica, riportando analiticamente e per simboli convenzionali i dati raccolti al momento del rilievo. Per riuscire a cogliere il complesso di motivazioni che nel tempo hanno potuto condizionare la forma del costruito è necessario disporre di una dotazione cartografica diacronica, ovvero di serie di carte di periodi diversi, dalle quali si possano trarre corrette considerazioni sui fenomeni morfogenetici che hanno interessato la superficie del territorio, in un periodo di tempo significativamente lungo, almeno sotto l'aspetto dell'evoluzione urbana. Purtroppo la documentazione cartografica storica non copre un ampio arco di tempo, per quanto concerne le carte topografiche: solo dal XVIII secolo compaiono rappresentazioni del territorio redatte secondo criteri di restituzione dei contenuti in forma analogica, ovvero disegnati secondo una trascrizione di rapporto tra oggetti reali e loro simboli grafici in scala predefinita, e secondo criteri matematici di geometria proiettiva. Prima del XVIII secolo, la rappresentazione cartografica è, solitamente, estranea a questi principi, e pertanto non si configura come documento confrontabile per proporzioni e per contenuti con la cartografia di epoche successive.



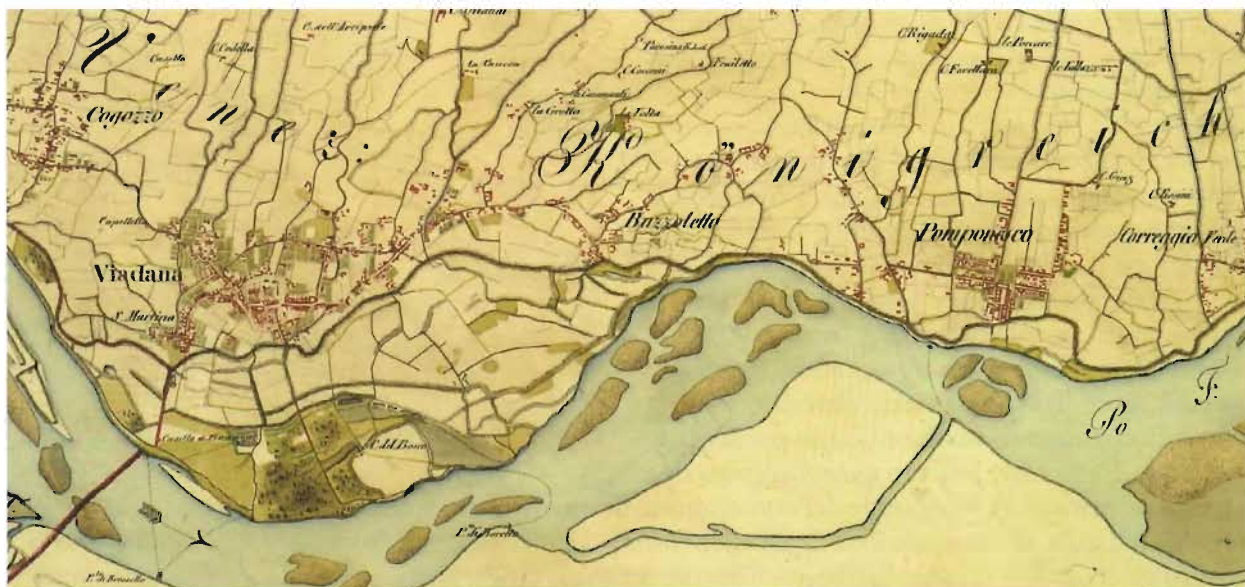
5.1

Fig. 5.1 - Borgo Polesine e Zibello (Parma), secondo la Carta Topografica dei Ducati di Parma, Piacenza e Guastalla (1820-1821).

Fig. 5.2 in basso - Dettaglio di Zibello (Parma), secondo la Carta Topografica dei Ducati di Parma, Piacenza e Guastalla (1820-1821).

Fig. 5.3 in alto - L'abitato di Viadana (Mantova), secondo la rappresentazione della seconda la Carta Topografica dei Ducati di Parma, Piacenza e Guastalla (1820-1821).

Lo studio illustrato in queste pagine ricerca le motivazioni d'ordine fisico-ambientale e tipologico che hanno sotteso all'edificazione dei borghi di riva nella forma leggibile sulle carte del XIX secolo, antecedenti quindi alle grandi trasformazioni del XX secolo; sono stati selezionati quelli che hanno avuto, nella loro genesi, stretta attinenza con l'evoluzione dell'asta fluviale del Po, secondo quanto si evince dal documento cartografico. La parte occidentale del territorio interessato allo studio è coperta dalla Carta Topografica dei Ducati di Parma, Piacenza e Guastalla (1820-1821), quella centrale dall'analoga e coeva Carta dei Ducati di Modena e Reggio (nota come "Carta Carandini" dal nome del Direttore dei lavori topografici¹), e la parte orientale dalla Carta del Ferrarese (1812-1814), fino alla linea di costa².



5.3



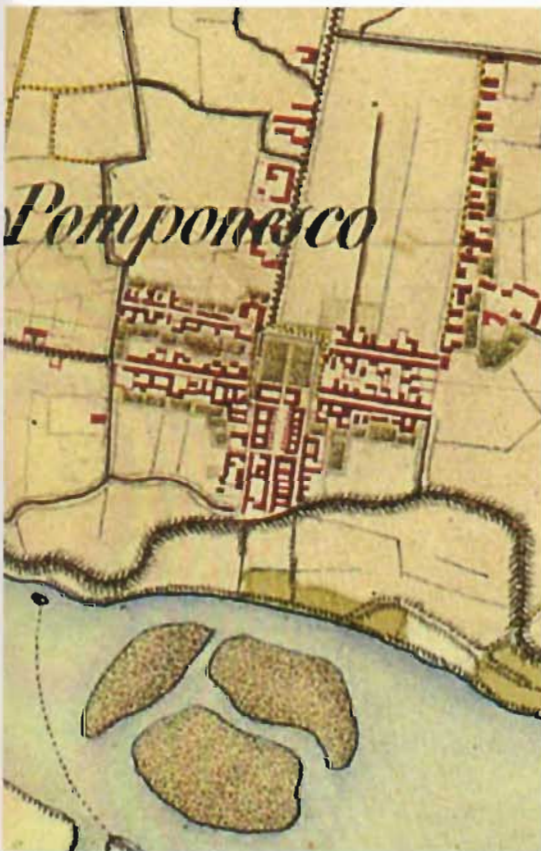
5.2

Borgo Polesine e Zibello

Entrambi i borghi sono collocati lungo una fascia curvilinea di strade e canali che esplicitano, con il loro andamento, la presenza di un meandro abbandonato (sulla carta chiamato "lanca") del fiume Po; questo tipo di assetto morfologico del territorio è decisamente frequente in questo tratto di alveo fluviale – non lontano compaiono sulla carta alcune anse con residua presenza d'acqua e la scritta "Po Morto" – ed evidentemente i borghi si attestano là dove la corrente d'acqua ha accumulato depositi di sabbie e ghiaie sufficientemente consistenti e stabili per accogliere l'edificato (Fig. 5.1).

Borgo Polesine ha la forma dell'edificato sorto e sviluppato lungo un "percorso matrice" con la profondità al lato strada di un edificio. Il nome del borgo dichiara la forma di quest'area in un periodo ben precedente al rilievo topografico: "polesine" significa, infatti, terra paludosa, isolotto nel corso del fiume, terra coltivata emergente dall'acqua nell'accezione del latino medievale *policinum*, e non si può escludere quindi che il luogo fosse ritagliato dal restante territorio agricolo da un'ansa del fiume, con una forma simile a quella residua che si vede sulla carta.

Zibello, il cui nome viene dubitativamente attribuito al XIII secolo quando era un luogo fortificato di parte ghibellina (AUTORI VARI, 1992, a cura di FERRARI BRAVO A.), è caratterizzato da un impianto con la forma del *castrum*, a



maglia stradale ad assi ortogonali. Se l'impianto urbano è verosimilmente di epoca longobarda, è possibile ipotizzare una sua dimensione sulla base di un modulo desunto dal piede liprando, pari a m 0,435; un reticolo formato su questo modulo coincide esattamente con l'impianto edilizio e viario più antico. La superficie del borgo storico è di 10.000 pertiche, in una maglia in cui un lato è esattamente il doppio dell'altro: non può essere un fatto casuale (Fig. 5.2).

Fig. 5.4 - Pomponesco (Mantova), secondo la rappresentazione della Carta Topografica dei Ducati di Parma, Piacenza e Guastalla (1820-1821).

Pomponesco

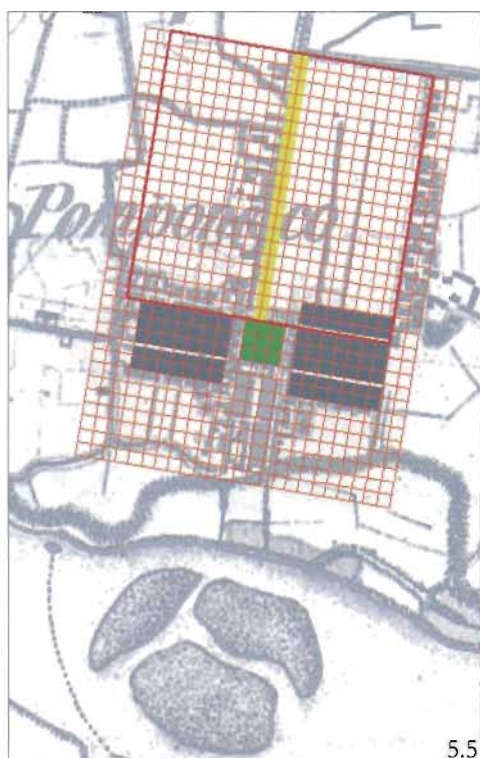
A poca distanza da Viadana (Fig. 5.3) sulle opposte rive del Po si fronteggiano due centri, Pomponesco e Guastalla, notevoli per le rispettive caratteristiche edilizie e

5.4

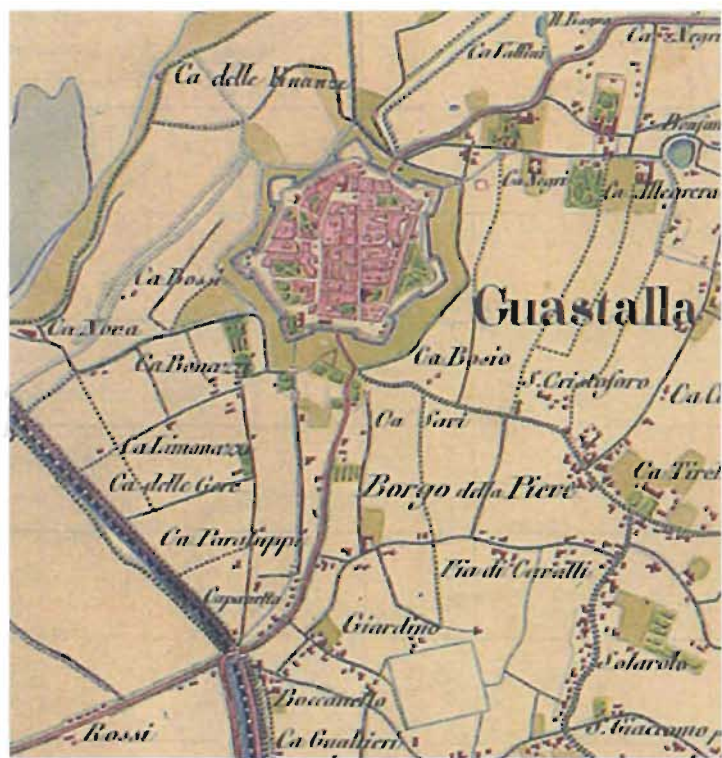
architettoniche, le cui forme derivano da storie molto diverse, pur se la distanza che li separa non supera i 4 km. L'impianto urbanistico di Pomponesco (Fig. 5.4) è dovuto all'assetto dato da Giulio Cesare Gonzaga, alla fine del XVI secolo (AUTORI VARI, 1987, a cura di FERRARI BRAVO A.); è un insediamento chiaramente disegnato, come si vede dalla carta, assumendo le caratteristiche di "città d'impianto", ovvero un organismo urbano che, a differenza della maggior parte dei centri storici, si forma e si evolve nel tempo, viene progettato e realizzato in un luogo che non ha edificato precedente.

La forma geometricamente regolare dell'abitato sostiene tale tesi; è comunque lecito approfondire la lettura del luogo, sapendo che la Pianura Padana dal II secolo a.C. è stata terra di conquista da parte dei romani, che su di

essa hanno imposto un vastissimo sistema di bonifica delle terre troppo soggette a un regime idraulico decisamente problematico. Questa grande opera di bonifica è nota col nome di centuriazione, e di essa è ancora ampiamente visibile il segno: al di là del Po, il reticolo viario e idraulico arriva ai margini del grande fiume. Forse, non si fermava al Po, ma lo superava, così come è avvenuto ovunque la colonizzazione romana recuperava terreni fertili per l'agricoltura. L'assetto del reticolo centuriale, basato sul modulo dei 710 m – pari a 2400 piedi romani – individuava come cella-base l'*actus*, un quadrato di 35 m di lato. Si è provato a costruire un reticolo con le dimensioni di questo elemento, e lo si è sovrapposto alla planimetria di Pomponesco (Fig. 5.5); ne risulta una straordinaria coincidenza, sia dell'edificato sia di alcuni assi stradali,



5.5



5.6

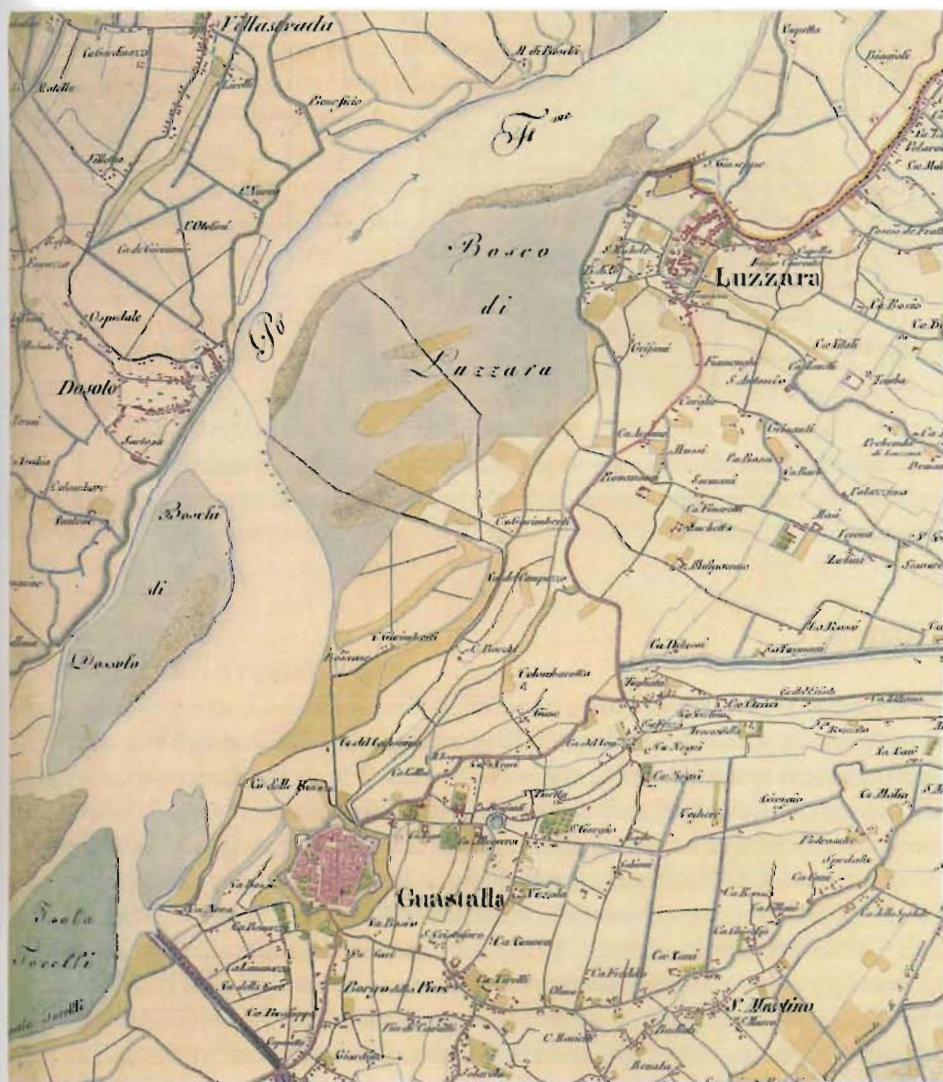
-  Modulo centuriale
-  Reticolo dell'*actus*
-  *Cardo major*
-  Strutture totalmente coincidenti col reticolo
-  Strutture parzialmente coincidenti col reticolo
-  Assi viari coincidenti col reticolo

col suddetto reticolo, lasciando supporre che le strutture tardo-rinascimentali siano, in realtà, sovrapposte a più antiche strutture e segni di sedime di epoca romana (DEGLI ESPOSTI, 1990).

Guastalla

La forma urbana leggibile sulla carta topografica evidenzia i caratteri di una città fortificata, con la cinta muraria bastionata secondo i criteri in uso tra XVI e XVII secolo (Fig. 5.6). La sua posizione era, evidentemente, d'importanza strategica nel presidio del territorio (AUTORI VARI, 1992, a cura di FERRARI BRAVO A.), in quanto già dal VII secolo aveva il nome longobardo *Wardistall* (PELLEGRINI G.B., 1990) o *Wartstall*, col significato di posto di guardia, poi traslato in un tardo-latino *Vardistallum* (Fig. 5.7). Se ne attribuisce la fondazione al periodo longobardo, ma alcune considerazioni relative all'impianto edifica-

to suggeriscono che anche questo luogo fosse già presente in epoca precedente: una consistente parte del centro storico presenta un sistema ad assi stradali ortogonali, mentre altre parti, verso le mura, sono configurate con diverso tipo di aggregazione edilizia. Sono anche riconoscibili isolati di dimensione omogenea, se pur con qualche piccola deformazione (Fig. 5.8); questo assetto lascia supporre un impianto derivato da quelli tipici dei luoghi fortificati di periodo romano e bizantino. Le verifiche svolte sulla carta topografica, pur col margine d'errore che può derivare da disegni a una scala estremamente ridotta, evidenziano notevoli coincidenze con una modularizzazione basata sul reticolo centuriale; e la superficie urbana con le sue mura si attesta esattamente all'interno di un modulo di centuria, in un quadrato di 710 m di lato,



Nella pagina a fianco
Fig. 5.5 a sinistra - Pomponesco (Mantova): sovrapposizione del reticolo centuriale, basato sul modulo dei 710 m – pari a 2400 piedi romani – che individuava come cella-base l'actus, un quadrato di 35 m di lato.

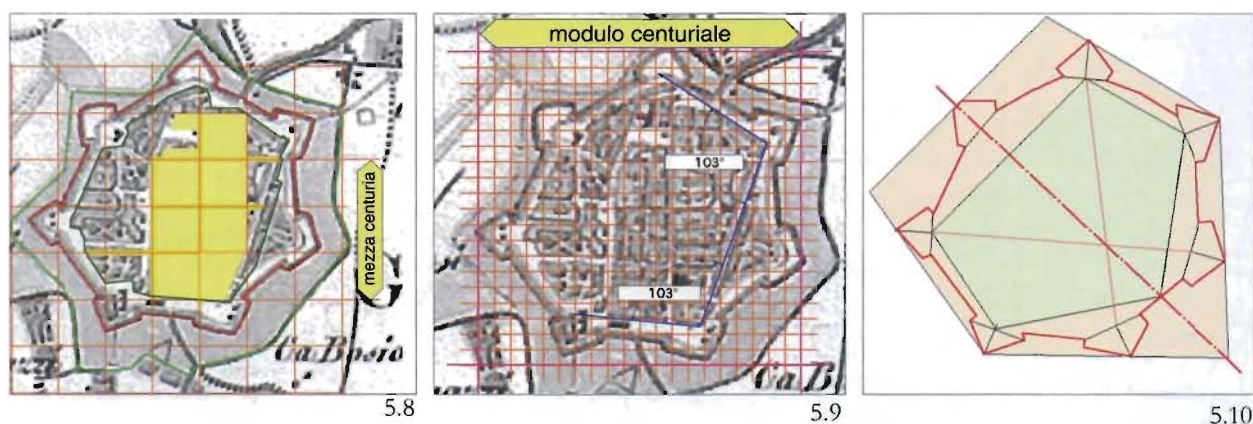
Fig. 5.6 a destra - Guastalla (Reggio Emilia), secondo la rappresentazione della Carta dei Ducati di Modena e Reggio (1828).

Fig. 5.7 - Guastalla (Reggio Emilia), secondo la rappresentazione della Carta dei Ducati di Modena e Reggio (1828), particolare.

5.7

quasi a occupare un latifondo traslato dall'agricoltura all'edificazione. Un aspetto curioso è dato dagli assi stradali della parte orientale della città, estranei alla regolarità della maglia viaria antica, ma calettati sulla corrispondenza di allineamento abbastanza rigoroso di una via con la base dei tre bastioni a est e i due assi stradali che si dipartono alle estremità di questi, con la stessa ango-

lazione e in discordanza con l'andamento delle mura (Fig. 5.9). Occorre considerare che l'edificato urbano è in continua evoluzione e, dal XVII al XIX secolo, ristrutturazioni, demolizioni e ricostruzioni hanno sicuramente cambiato parte del tessuto urbano. Inoltre, una cosa è un progetto, altra cosa la sua realizzazione, soprattutto alla scala urbana: se si considerano le possibili impostazioni geometriche nel disegno delle mura, si scopre che la cinta muraria è progettata sulla base di un pentagono e le mura sono complessivamente inscritte in un altro pentagono i cui lati sono tangenti i bastioni. I due pentagoni hanno lo stesso asse di simmetria, anche questo tracciato con precise regole geometriche (Fig. 5.10).



L'edificato si adatta nel tempo alla forma del perimetro murario, lasciando vuota la fascia inedificabile, fino al periodo in cui scavalca le mura e si protende nel borgo a meridione.

Luzzara

Il Fiume Po ha modificato considerevolmente il suo corso per lunghi tratti nel periodo che intercorre tra il II secolo a.C. e il 1820, quando è stata disegnata la carta qui inserita; su questa, Luzzara (Fig. 5.11) si attesta sulla sponda destra del fiume, in prossimità di essa, al margine di una vastissima area nominata Bosco di Luzzara, all'interno dell'area golenale, dove un tempo (sino alla fine del XVII secolo) il canale principale del Torrente Crostolo si univa al Po, prima che quel torrente fosse deviato tra Guastalla e Gualtieri (Fig. 5 di CASTALDINI & PIACENTE, 1991). La carta ottocentesca lascia chiaramente percepire che la vicina Suzzara è collocata sulla sponda di un paleoalveo (il Po Vecchio: LOMBARDINI, 1865), così come la più distante Gonzaga, posta sempre sull'antico tracciato del Po Vecchio (definitivamente disattivato alla metà del secolo XV); ora entrambe le città sono discretamente distanti dal fiume. La collocazione di Luzzara in un ambito particolare è forse intuibile anche dal nome; se è lecita l'ipotesi, il borgo che esisteva in epoca romana (prospezioni archeologiche ne confermano il periodo) poteva essere identificato in funzione del particolare assetto ambientale, come sempre avveniva nella attribuzione toponomastica. E allora, quale nome poteva essere dato al *castrum* posto su un'isola a presidio del corso d'acqua o ai margini d'esso, su

terreni che all'intorno erano costituiti da limosi depositi fluviali? Forse *lutaria loca*, ovvero contrada fangosa, come probabilmente si configurava l'area vasta su cui si collocava l'insediamento. Non si può escludere, tuttavia, che il toponimo Luzzara, così come Suzzara, abbiano una derivazione etimologica simile a quella dei toponimi Zara, Zaretta derivati, con buona probabilità, dalla parola latina *glarea*, ovvero "ghiaia", assunta nel dialetto locale in *gèra*, *dgèra*, da cui una trasposizione cartografica tradotta con facile assonanza in Zara. In entrambe le ipotesi compare inequivocabilmente l'ambiente pedologico dell'alveo fluviale di pianura.

La formazione del borgo in epoca romana si può ricostruire dall'assetto dell'edificato, in cui si trova riscontro del dimensionamento della struttura urbana secondo i criteri fondativi del periodo: la verifica attraverso il reticolo basato sull'*actus* consente di individuare il perimetro urbano, con una superficie pari a 15 iugeri (poco meno di due ettari), e il circostante *vallum*, ovvero la struttura difensiva formata dal fossato esterno, dal riporto del terreno a formare un terrapieno, interno al fosso, su cui si innestava la palizzata di chiusura (Fig. 5.12). La strada principale non coincide col centro del reticolo, ma questo è un fatto abbastanza frequente nei luoghi fortificati del periodo; alcune strutture viarie ed edilizie esterne al nucleo fortificato mantengono la coincidenza col reticolo d'impianto (DEGLI ESPOSTI, 1996). Nei secoli successivi alla fondazione il borgo si sviluppa oltre la chiusura urbana, lungo un percorso-matrice, dando origine al cosiddetto *burgum* – il nome "borgo" rappresenta, nella storia dell'evoluzione urbana, la "periferia" medievale – dall'andamento insolitamente curvilineo: è probabile che tale forma sia dovuta all'andamento di un margine di riva, dettato dall'assetto idraulico del luogo. A questo borgo se ne affianca un altro, forse di epoca posteriore, parallelo e con lo stesso andamento curvilineo, innestato su una via dell'impianto precedente (Fig. 5.13).

Pontelagoscuro e Francolinello

Sulla sponda destra del Fiume Po, il borgo di Pontelagoscuro appartiene al tipo edilizio sorto e sviluppato su percorso-matrice, ovvero l'edificato si forma lungo un asse stradale con gli edifici ai due lati della strada (Fig. 5.14); il distacco tra i diversi corpi di fabbrica crea passaggi di penetrazione sul retro di questi, denominati percorsi d'impianto, e una successiva edificazione in seconda linea si attesta sulla via che collega questi percorsi, detta percorso di collegamento (CANIGLIA & MAFFEI, 1979).

Nel caso di Pontelagoscuro lungo il percorso-matrice vi è una sola linea di edificato sul lato verso il fiume, a causa della collocazione in prossimità della riva: non vi poteva essere, quindi, terreno adatto a una ulteriore espansione su questo lato. Il borgo sorge in un punto nodale sul territorio, sulla strada da Ferrara verso Padova e Venezia da un lato, e verso Mantova e Verona dall'altro; sulla carta non compare ancora alcun ponte. Sono presenti, tuttavia, due interessanti elementi idrografici: una sezione del fondo del fiume rapportata alla quota della portata media (9,302 m), per un evidente utilizzo nautico, e il simbolo di due sandoni, il cui percorso è curvilineo, essendo essi ancorati al centro del canale del fiume e trattenuti da una catena, che consentiva al traghetto di collega-

Nella pagina a fianco

Fig. 5.8 - Guastalla: una parte del centro storico presenta un sistema ad assi stradali ortogonali, mentre altre parti, verso le mura, sono configurate con diverso tipo di aggregazione edilizia. Questo assetto lascia supporre un impianto derivato da un luogo fortificato di periodo romano e bizantino.

Fig. 5.9 - Guastalla: gli assi stradali della parte est della città risultano estranei alla regolarità della maglia viaria antica, ma calettati sulla corrispondenza dell'allineamento di una viabilità con la base dei tre bastioni orientali. I due assi stradali, che si dipartono alle estremità di questi, presentano una medesima angolazione, discordante, tuttavia, con l'andamento delle mura.

Fig. 5.10 - Guastalla: la cinta muraria è progettata sulla base di un pentagono e le mura sono complessivamente inscritte in un altro pentagono i cui lati sono tangenti i bastioni. I due pentagoni hanno lo stesso asse di simmetria, anche questo tracciato con precise regole geometriche.

re le due sponde secondo un arco di cerchio. I due punti d'approdo sulle opposte sponde sono esattamente equidistanti dal punto di ancoraggio; se ne deduce, quindi, la funzione di traghetto del natante, ovviamente manovrato a remi: la lunghezza del cavo di ancoraggio consente al traghetto di arrivare esattamente agli approdi, con un movimento a pendolo orizzontale (Fig. 5.15). L'abitato ha subito notevoli trasformazioni, dovute anche agli intensi bombardamenti dell'ultimo periodo bellico, che avevano come bersaglio il ponte che collegava le due rive. Non è facile, quindi, riconoscere il borgo sulle carte attuali, nelle quali è nominato *Pontelagoscuro Vecchio*.

Simile al precedente è l'impianto urbano di Francolinello, nucleo posto

Fig. 5.11 - Luzzara (Reggio Emilia), secondo la rappresentazione della Carta dei Ducati di Modena e Reggio (1828).

Nella pagina a fianco Fig. 5.12 - Luzzara. La formazione del borgo in epoca romana si può ricostruire dall'assetto dell'edificato: la verifica attraverso il reticolo basato sull'*actus* consente di individuare il perimetro urbano, con una superficie pari a 15 iugeri, e il circostante vallum.

Fig. 5.13 - Luzzara. In epoca medievale il borgo si sviluppa oltre la chiusura urbana, dando origine al cosiddetto *burgum* – o “*periferia*” medievale – dall'andamento insolitamente curvilineo, lungo l'alveo del Po Vecchio. A questo borgo se ne affianca un altro, forse di epoca posteriore, parallelo e con lo stesso andamento curvilineo, innestato su una via dell'impianto precedente.



5.11

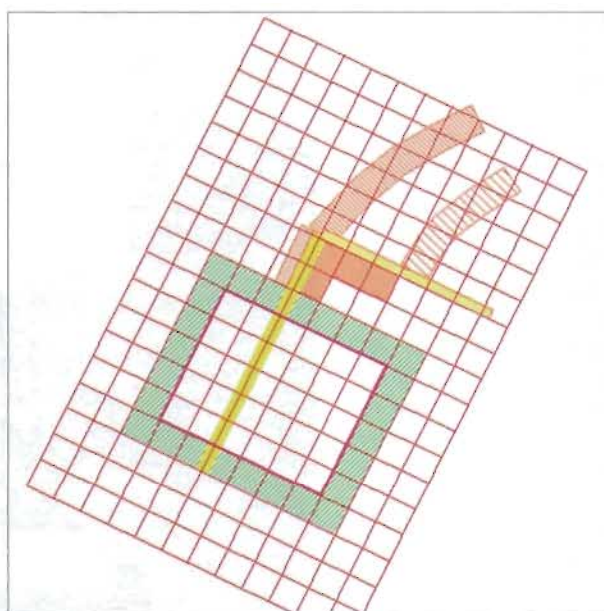
più a valle di Pontelagoscuro, a poco più di 4 Km in linea d'aria; anche in questo caso non è agevole riconoscere sulle carte attuali l'antico abitato, in quanto il toponimo è diventato Francolino, nome dato in passato a poche case tra qui e Pontelagoscuro. Francolinello si attesta lungo una strada che corre lungo la riva del fiume, all'incrocio con un'altra strada che proviene direttamente da Ferrara; il borgo è nettamente rettilineo verso la sponda fluviale, mentre verso l'entroterra si sviluppa in forma curvilinea, tagliato da un percorso centrale (Fig. 5.16). In particolare, l'intersezione cruciforme delle strade sviluppa l'estensione del “borgo” sui due assi ortogonali, con una estensione dell'abitato più consistente sull'asse verso Ferrara, di maggior interesse infrastrutturale. Anche in questo luogo, poco distante dall'abitato, si nota il già descritto “traghetto a pendolo”, di servizio tra le due sponde; compaiono anche due sezioni batimetriche, individuate da numeri romani.

Polesella

Ben diversa dalle precedenti è la struttura insediativa dell'abitato di Polesella, posto sulla sponda sinistra del Po; nel XIX secolo è ancora una struttura frammentata, attestata sulle due sponde del canale detto Fossa Polesella, che qui si immette nel Po (Fig. 5.17). Di nuovo si legge un toponimo che ricorda l'attitudine di questa parte del territorio padano a essere ricetto di frequenti esondazioni, di ritagli dell'alveo fluviale in isole più o meno durature, di situazioni ambientali comunque legate ai diversi assetti del regime idraulico: La Valle, Fossa, Arginone, Vallaz-



5.12



5.13

za sono toponimi dei dintorni, che chiariscono in modo inequivocabile la naturale vocazione morfologica del paesaggio. Il contesto edilizio si attesta in modo puntiforme sull'ultimo tratto della Fossa, accentuando la densità allo sbocco nel Po, dove peraltro si fonde con il borghetto chiamato Recano.

Ariano

Per comprendere quale fosse l'assetto ambientale della pianura ferrarese prima delle grandi bonifiche della fine del XIX secolo, è di notevole aiuto la carta rilevata ai primi dell'Ottocento, che mostra chiaramente il rapporto tra luogo naturale e luogo costruito. In prossimità del paese che ha nome Papozze inizia il ramo del Po di Goro, che si distacca dal corso principale ritagliando l'ampia estensione di territorio che ha nome Isola d'Ariano e, nell'accezione popolare, Polesine; sulla riva si trova Ariano, che ripete il tipo, già visto, dei borghi di riva (Fig. 5.18).

La struttura edificata, quando viene formata, deve necessariamente fare

-  Reticolo sulla base dell'*actus*
-  Limite del *castrum*
-  Perimetro del *vallum* (fossato, terrapieno e palizzata)
-  *Cardo major*
-  Strada del reticolo centuriale
-  Edificato allineato al reticolo
-  Prima espansione del nucleo: *burgum*
-  Seconda espansione del nucleo

i conti con la disponibilità di suolo su cui sorge, oltre che con la sua consistenza; lo stralcio della carta illustra quale fosse l'uso del suolo: le chiazze verdi scure a tratti tinte in azzurro stanno a indicare le aree palustri con la relativa vegetazione; le aree verdi chiare corrispondevano a prati stabili, forse saltuariamente sommergibili e in corrispondenza dei quali affiorano terreni prevalentemente argillosi, *forti*, difficilmente lavorabili con i mezzi dell'epoca, con la sola forza di animali e di braccia umane; quelle indicate in giallino erano, invece, le aree lavorabili con seminativi, costituite da terreni con un più elevato contenuto di limi e sabbie e corrispondenti alla struttura degli alvei fluviali; a est dell'abitato di Ariano compaiono sottili strisce gialle, ad andamento meridiano, corrispondenti a cordoni di dune

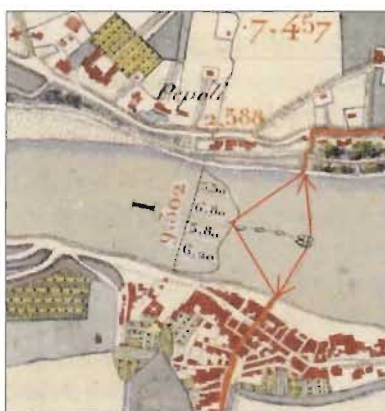
Fig. 5.14 sopra - Pontelagoscuro (Ferrara), secondo la rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814). Nell'alveo del Po sono riportate due sezioni batimetriche e il traghetto.

Fig. 5.15 sotto, a sinistra - Traghetto di Pontelagoscuro, schema di funzionamento: esso era ancorato al centro del fiume, verosimilmente mediante un palo infisso, dal quale era legata una fune con galleggiante, che consentiva al traghetto un percorso secondo un arco di cerchio.

Fig. 5.16 sotto, a destra - Francolinello (attualmente Francolino, Ferrara) nella rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814): si notino le sezioni batimetriche.



5.14



5.15



5.16

sabbiose, testimoni di antiche linee di riva (Fig. 5.19). Soltanto su queste lunghe e sottili strisce di terra – *corrigiae*, in latino – era possibile coltivare e costruire e non è quindi un caso che l'edificato assumesse una forma allungata, lungo la strada con la quale divideva gli spazi lasciati perennemente liberi dall'acqua.

Le due sponde opposte ospitano due borghi con lo stesso nome: Ariano,

uno specificato “nel Polesine” e l’altro “ferrarese”; entrambi sono i terminali, sul Po di Goro, della strada che collega Codigoro ad Adria, costituendo un altro punto nodale del sistema infrastrutturale. Anche qui sicuramente vi era un traghetto, anche se non indicato sulla carta.

Mesola

Di tutti i siti finora esaminati, il nucleo di Mesola è sicuramente il più atipico; sorge all'inizio della grande ansa che il Po di Goro forma nel punto in cui più si avvicina al ramo maggiore del Po, da qui in poi chiamato "di



Fig. 5.17 sopra - Polesella (Rovigo), nella rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814): si notino le sezioni batimetriche XIII e XIV, di interesse per la navigazione.

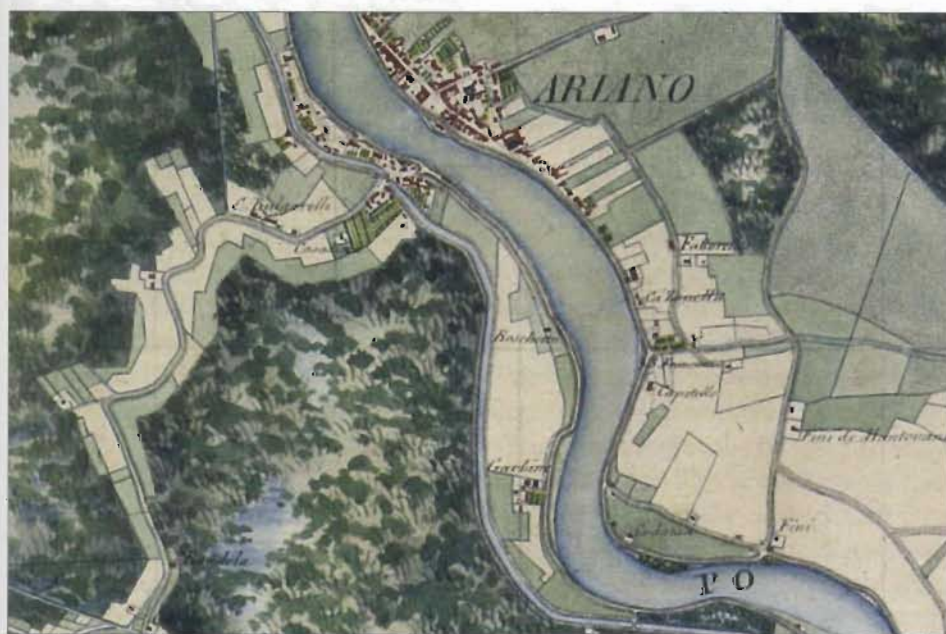


Fig. 5.18 sotto - Ariano (oggi Ariano nel Polesine, Rovigo), nella rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814).



Fig. 5.19 sopra - Il territorio situato ad est di Ariano, all'inizio dell'Ottocento era contrassegnato da cordoni di dune sabbiose, testimoni di antiche linee di spiaggia. La carta consente una precisa lettura dell'uso del territorio: in giallo le dune sabbiose e le aree coltivabili, in verde chiaro i prati stabili; le macchie verdi con discontinue aree azzurre indicavano le aree palustri.

Fig. 5.20 sotto - Mesola (Ferrara), nella rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814).



Venezia”, in quanto effettuato, con il famoso “taglio” di Viro, dai Veneziani nel 1604¹. Quest’ansa, ancora in gran parte valliva, già nel XIX secolo comincia a mostrare terreni acquisiti all’agricoltura, in quota parte risaie; è delimitata a occidente da un cordone rilevato di dune sabbiose che sono la memoria di un’antica linea di costa: Mesola sorge laddove questo cordone è tagliato dal Po di Goro (Fig. 5.20). La diversità di questo luogo da quelli descritti in precedenza consiste nella formazione del suo edificato, in origine costituito da poche case sparse; benché vi siano attestazioni della sua anzianità, solo in epoca relativamente recente l’edificato acquisisce una forma e una consistenza particolare. Si riporta in questa sede uno stralcio di uno studio già altrove pubblicato (DEGLI ESPOSTI, 2002): “*L’insediamento esiste sicuramente prima della fine dell’XI secolo; diviene feudo estense nel XII secolo e l’elemento polare caratteristico del luogo, il Castello, costruito nel 1579, diviene la sede principale di soggiorno estivo e di caccia della Famiglia d’Este*”. Il Castello è posto contro l’alto argine su cui corre

una strada, e gli fa da sfondo l'alberatura di riviera; sul fronte anteriore un percorso stradale rettilineo apre una vista prospettica verso levante, dove la valle viene chiusa dalla boscaglia che defila le risaie (Fig. 5.21); è, in sostanza, un apparato scenografico proprio di questi insediamenti, le cosiddette "delizie" che ospitavano i soggiorni d'ozio delle famiglie regnanti (Fig. 5.22).

"L'insediamento di Mesola rappresenta un emblematico caso di perdita di 'qualità globale complessiva' dovuto ad un concetto di gestione del territorio ormai superato, in cui la trasformazione delle destinazioni d'uso delle aree identificabili come vuoti urbani, consolidati fino al XIX secolo, privilegia ampiamente la conversione in edificato (Fig. 5.23).

Quest'ultimo poi non si materializza in funzione di una linea di continuità tipologica, se pur evolutiva, del costruito storico (o più in generale, in funzione di una congruità ambientale), ma secondo regole di tipo rigidamente funzionale redatte secondo parametri astrattamente dimensionali, frutto di norme urbanistico-edilizie disattente alla caratterizzazione tipologica ed alle valenze storico-qualitative dello specifico contesto. In tale quadro il criterio applicativo di salvaguardia ambientale si risolve nell'attenzione ai soli edifici d'interesse storico-monumentale, tralasciando la ricca articolazione dei numerosi elementi del paesaggio urbano, in questi ambiti fortemente condizionato dagli elementi naturali."



5.21

Fig. 5.21 - Particolare di Mesola, nella rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814). Il Castello è posto contro l'alto argine; sul fronte anteriore un percorso stradale rettilineo apre una vista prospettica verso levante.

Nella pagina seguente Fig. 5.22 sopra - Il Castello di Mesola costituiva un apparato scenografico proprio di questi insediamenti, le cosiddette "delizie", che ospitavano i soggiorni d'ozio delle famiglie regnanti.

Fig. 5.23 sotto - L'insediamento di Mesola rappresenta un emblematico caso di perdita di "qualità globale complessiva", con la trasformazione delle aree identificabili come vuoti urbani, già a partire dal XIX secolo, in aree edificate.

Goro

La collocazione di questo centro (DEGLI ESPOSTI, 2002) appare storicamente isolata da ogni altro luogo insediato, in un contesto ambientale del tutto particolare: le grandi valli sulla costa (Fig. 5.24). Ma, osservando attentamente le carte storiche, si rileva come la posizione di Goro sia sull'allineamento della linea di costa relativamente più recente, da Porto Garibaldi a Sacca dell'Abate (o Rada di Goro), interrotta dalle moderne estrusioni di costa formate dai massicci depositi fluviali delle Bocche del Po di Goro (Fig. 5.25).

L'abitato poteva pertanto essere, in origine, un piccolissimo borgo affacciato direttamente sul mare Adriatico alla foce del Po di Goro, di fronte all'altro nucleo omonimo, Goro Vecchio, in territorio Veneto, e non su una spon-

XVIII secolo

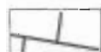
- 1 - Edilizia specialistica:
castello, chiesa scuderie;
- 2 - Edilizia di servizio;
- 3 - Guazzatoio;
- 4 - Sistema irriguo;
- 5 - Colture specializzate;
- 6 - Seminativo;
- 7 - Bosco esondabile.

XIX secolo

Viabilità storica



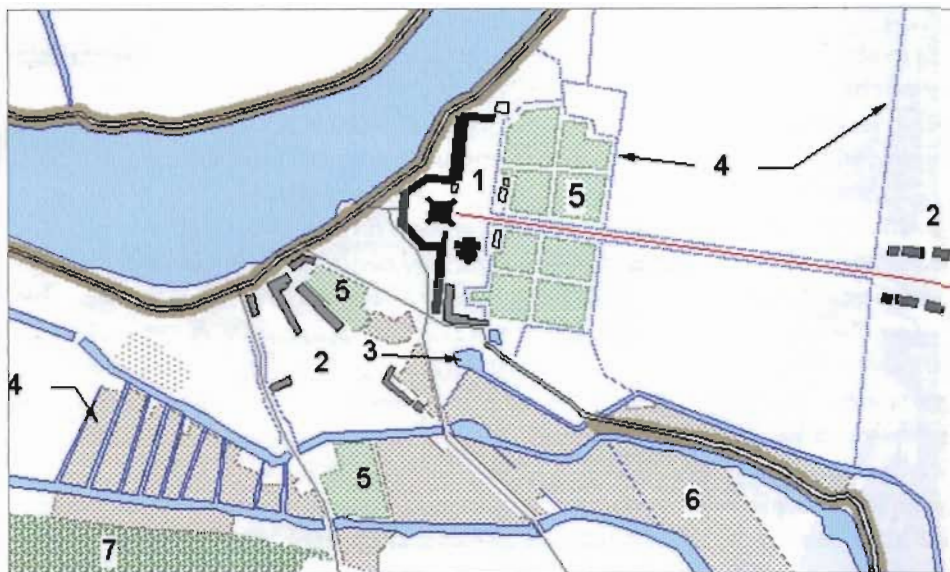
Viabilità recente



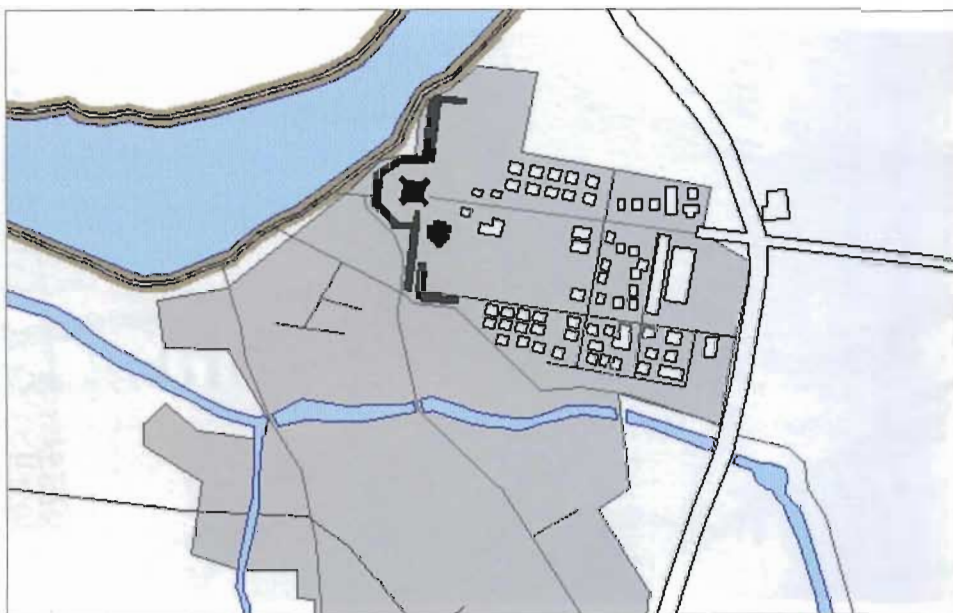
Edificato recente



Edifici storici



5.22



5.23

Fig. 5.24 a destra - Goro (Ferrara), nella rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814), particolare.

Fig. 5.26 a sinistra - Goro (Ferrara), nella rappresentazione della Carta del Ferrarese (1812-1814).



5.25



5.24

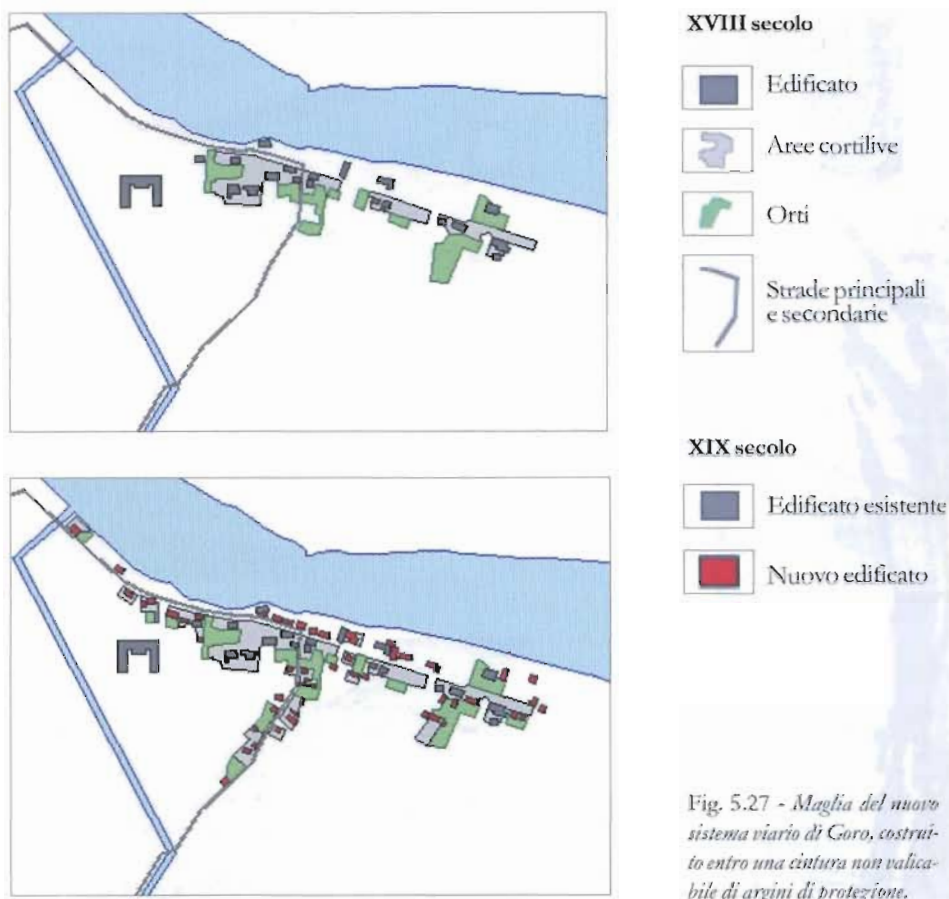


5.27

Fig. 5.25 - Goro è sorto sull'allineamento della linea di costa relativamente più recente, da Porto Garibaldi a Sacca dell'Abate (o Rada di Goro), interrotta dalle recenti progradazioni delle Bocche del Po di Goro e del Delta in generale, formatasi soprattutto dopo il Taglio di Viro.

da del fiume a 11 km dalla foce, ma con una distanza dal mare, in linea d'aria, di 1500 m verso sud.

Il nucleo originale non afferrisce, in verità, a un preciso tipo insediativo: gli edifici si distribuiscono senza regola evidente lungo l'asse stradale che forma una T contro l'argine del fiume (Fig. 5.26); paradossalmente, le regole d'impianto vengono fornite solamente con la costruzione di argini di protezione, che formano una cintura non valicabile entro la quale si forma la maglia del nuovo sistema viario (Fig. 5.27). Ancora per la presenza di argini si forma una sorta di "corridoio d'uscita" nel quale sfocia la più recente espansione urbana costretta a defluire entro queste sponde, ma perdendo – o, più esattamente, non rinnovando – le regole d'impianto consolidate nella prima metà del XX secolo.



Note

1. La carta fu redatta alla scala di 1:28.000 su decisione dell'Imperatore del SRI. Ne è stata eseguita una recente ristampa, con riduzione di scala delle tavole (Carandini, 1828 e 1999).
2. La documentazione cartografica è stata reperita presso l'Istituto regionale per i Beni Culturali e Ambientali della Regione Emilia-Romagna.
3. Si veda, a questo proposito, la classica opera dell'Aleotti (1615 circa), ristampata nel 2000.

6. L'agricoltura padana e l'acqua nella seconda metà del XIX secolo

Gabriele Canali

La principale fonte informativa: l'“inchiesta Jacini”

Non si può comprendere adeguatamente la situazione e l'evoluzione dell'agricoltura e del suo ruolo nell'economia del Paese nella seconda metà dell'Ottocento, senza ricorrere, per diverse ragioni, al più noto e autorevole studio di quel tempo, l'indagine parlamentare sviluppata sotto la guida e il coordinamento del senatore *Stefano JACINI*. Per comprendere meglio l'indagine, può essere d'aiuto anche una breve nota biografica del Presidente della commissione dal quale, poi, l'Inchiesta stessa prese il nome (“Inchiesta Jacini”), non solo per ragioni di opportunità o formali, ma piuttosto per il ruolo determinante che egli ebbe nello sviluppo delle analisi in essa contenute, nel bene e nel male.

Jacini nacque a Casalbuttano, in provincia di Cremona, il 20 giugno 1826; la sua era una famiglia agiata che possedeva diversi fondi, conduceva anche beni di terzi e sin dal 1750 costruita una filanda, commerciava con profitto la seta, importantissimo e redditizio prodotto “agricolo” del tempo. Il padre Giovanni, uomo illuminato, ne aveva in ogni modo curato la formazione e gli aveva suggerito di intraprendere viaggi in tutta Europa, dalla Germania alla Russia, in Svezia, Prussia, Ungheria, Grecia e anche in Turchia e Asia Minore. Tali viaggi avevano la duplice finalità di istruzione e di affari, ma certamente contribuirono ad affinare la capacità di analisi del giovane Stefano. Il venticinquenne Stefano Jacini, nel 1851, partecipò a un concorso della sezione economica della Società d'Incoraggiamento alle Scienze, Lettere ed Arti di Milano con un testo dal titolo *La proprietà fondiaria e le popolazioni agricole in Lombardia*, vincendo il primo premio. Tale volume fu pubblicato in ben quattro edizioni, fu tradotto in diverse lingue e venne commentato da illustri economisti. È evidente che questo lavoro costituì un'importante premessa a quella che diverrà la “sua” opera di gran lunga più importante e citata. Tra gli altri incarichi pubblici, Jacini fu chiamato a partecipare al governo presieduto da Cavour nel gennaio 1860, dove il Primo ministro gli offrì il portafoglio delle finanze; a seguito del suo rifiuto, gli fu successivamente offerto di diventare Ministro dei Lavori pubblici, incarico che accettò e che svolse, successivamente, anche in altri governi. Nel marzo dello stesso anno, inoltre, venne eletto con ampio suffragio nel Parlamento in ben quattro collegi. Resterà nell'incarico, tuttavia, solo fino all'inizio dell'anno successivo quando, dovendo andare al ballottaggio con il suo illustre e rispettato antagonista, Carlo Cattaneo, poi superato anche nella votazione conclusiva, ritenne doveroso presentare le sue dimissioni irrevocabili dalla carica di Ministro. Successivamente prestò la sua attività come studioso, ma anche come deputato e poi come senatore, tor-

nando a ricoprire incarichi ministeriali nel delicatissimo periodo 1866-67 del Governo Lamarmora, poi in quello Ricasoli, sempre occupandosi principalmente ma non esclusivamente di lavori pubblici.

Già dall'inizio degli anni Settanta dell'Ottocento, vi era stato qualche tentativo di inchiesta agraria amministrativa promossa dal Ministro dell'Agricoltura attraverso organi ufficiali e autorità locali. Successivamente, si propose l'avvio di due diverse indagini, una sui lavoratori agricoli e l'altra una vera e propria inchiesta agraria. Dai due progetti, in seguito fusi insieme, nacque il progetto di legge presentato il 30 gennaio 1875 che finalmente sanzionava il nome definitivo dell'inchiesta: *Inchiesta agraria e sulle condizioni della classe agricola in Italia*. Le vicende parlamentari portarono alla votazione della Camera solo nel 1876 sotto Depretis e alla promulgazione il 15 marzo 1877. Non deve sfuggire come Jacini fu espressione molto *sui generis* della Destra dalla quale proveniva: prova ne è, a solo titolo d'esempio, anche il suo insediamento a guida della Commissione, appunto, approvata dal governo Depretis. La legge affidava la realizzazione e il coordinamento dell'Inchiesta a una commissione di 12 membri, 8 deputati e 4 senatori, che sarà presieduta dallo stesso Jacini. La sua attività all'interno della Commissione non fu certamente solo formale: la sua esperienza lo portò a svolgere un forte coordinamento e a impostare l'intera ricerca in base alle sue esperienze personali di studio. Alla fine egli scriverà "*le generalità sull'Italia agricola*", cioè la parte introduttiva e statistica, ma anche il Proemio e la Relazione finale, oltre alla relazione della regione Lombardia che conosceva particolarmente bene. Inizialmente l'Inchiesta avrebbe dovuto svolgersi in due anni con una dotazione finanziaria di 60.000 lire; successivamente, come ricorda anche lo stesso autore nel Proemio della relazione finale dell'Inchiesta, una nuova legge promulgata il 12 dicembre 1878 fu messa a disposizione una ulteriore cifra pari a 125.000 lire destinata principalmente a promuovere la compilazione di monografie agrarie circondariali, e si prolungarono i tempi fino a tutto il 1882. L'indagine sarà effettivamente conclusa nel 1885 con una spesa complessiva di 355.000 lire.

Pensata in una fase certo di cambiamenti, ma di sostanziale crescita economica anche per il comparto agricolo, l'Inchiesta si era poi svolta nel pieno della crisi economica e sociale che aveva colpito, nel frattempo, l'agricoltura italiana, e non solo. Anche per questa ragione l'Inchiesta Jacini costituisce, ancor oggi, una importante fonte di informazioni di grande interesse, oltre a essere una fonte di analisi tutt'altro che superficiali e scontate. Anche se forse nelle conclusioni non tutti i problemi furono affrontati con la dovuta incisività, resta una grande modernità e un'insospettabile attualità di diverse analisi, anche a distanza di oltre 120 anni.

L'agricoltura padana nei primi anni dell'Unità d'Italia

La seconda metà dell'Ottocento fu per l'Italia un periodo di grandi e profondi mutamenti che ebbero effetti importanti anche sull'agricoltura e sull'intero contesto economico e sociale rurale, oltre che su quello urbano, per molti aspetti più noto. Nonostante l'importanza relativa di non poco conto del settore primario, infatti, non erano molti gli studi e relativamente scarsa era anche la conoscenza del settore agricolo e rurale in genere, da parte di un'opinione pubblica già allora nata e formatasi prevalentemente nei centri urbani.

Proprio in apertura della Relazione finale Jacini stesso mise in chiara evidenza questo fatto: “*Fin dai primi passi, dovemmo accorgerci come l'idea di un' Inchiesta agraria messa innanzi, con grande fervore, da un ristretto numero di uomini egregi, e assecondata dalle classi dirigenti, senza entusiasmo... non era in realtà per niun verso un bisogno sentito dal Paese*” (JACINI, 1926). Uno dei punti di partenza dell'inchiesta Jacini, già chiaramente indicato nel Proemio, è dato dal fatto che “*Un'Italia agricola invece non esiste ancora; ma abbiamo parecchie Italie agricole affatto distinte fra loro; così grande e multiforme è l'influenza, sull'economia rurale, delle disparità dei climi che si riscontrano fra le Alpi e il Lillibeo, delle tradizioni storiche, rurali, amministrative, legislative, diversissime da regione a regione...*” (JACINI, 1926).

Tale diversità si manifestava anche nelle forme organizzative e contrattuali come pure nelle diversità di produzioni e di risultati economici: si va, ricorda ancora Jacini, “*dal latifondo medioevale utilizzato colla più primitiva grande coltivazione estensiva, alla più perfezionata grande coltivazione intensiva; dalla piccola agricoltura spinta alla massima specializzazione dei prodotti, alla piccola agricoltura applicata alla più svariata promiscuità di questi; dalla rendita di 5 lire per ettaro della terra coltivata, fino ai proventi di duemila lire per ettaro; ... dalla relativa agiatezza dei lavoratori della terra a qualunque categoria appartengano, non escluso il giornaliero avventizio, alla più squalida miseria dei lavoratori stessi, non eccettuato il contadino proprietario, il contadino utilista-enfitentico, il contadino mezzaiuolo*” (JACINI, 1926).

Quelle considerazioni erano da ritenersi appropriate anche se riferite al solo territorio padano. Vale però la pena di sottolineare come uno degli aspetti decisivi, per distinguere i diversi contesti produttivi, fosse proprio la relazione tra terra e acqua: si trattasse di disponibilità di acque e di opere per l'irrigazione, o di disponibilità di terreni e acque per le coltivazioni particolarmente esigenti in termini idrici quali il riso, o ancora si trattasse dei problemi inerenti la presenza di terreni paludosi e quindi quelli della loro bonifica, o, infine, si trattasse dei problemi connessi alle piene e alle inondazioni dei diversi corsi d'acqua, specie nel piano.

La Pianura Padana, in particolare, presentava ancora larghissime aree paludose, specie nei pressi del Po e delle foci degli affluenti principali, nonostante alcuni interventi di bonifica e di regimazione dei corsi d'acqua avviati soprattutto dopo l'XI secolo. In queste aree e in quelle più prossime a esse, “*l'aria malsana*” e la malaria in particolare, rappresentavano una grave causa di bassi livelli produttivi, di malnutrizione e di mortalità. Peraltro problemi analoghi si avevano nelle zone destinate alla produzione di riso dove spesso l'acqua teneva, appunto, al ristagno.

In generale, anche nel contesto padano, al tempo dell'Unità d'Italia le campagne presentavano non poche aree incolte, sia in pianura che, soprattutto, in collina. La coltivazione dei foraggi era in genere scarsa, con conseguenti effetti sulle produzioni zootecniche, ancora relativamente limitate in gran parte del territorio.

D'altro canto anche le aree irrigue erano ancora relativamente scarse, se si fa eccezione per talune aree del territorio lombardo. Nel 1849, ad esempio, nella provincia di Milano il 31,5% del terreno lavorato era considerato irriguo e la percentuale raggiungeva il 66,9% nella provincia di Pavia e ben l'81,8% nel Lodigiano (ROMANI, 1976). In queste aree, in particolare, proprio l'abbondanza di acque per scopi irrigui permetteva sia una grande produzione di foraggio e la conseguente produzione zootecnica, sia una non meno rilevante produzione di riso¹. Giova ricordare che il foraggio veniva utilizzato anzi-

tutto per l'alimentazione di animali da lavoro, fino a quel tempo unico strumento di aiuto per i lavori dei campi, e per le bovine da latte; queste ultime permettevano di ottenere, oltre al latte per l'autoconsumo e per un mercato locale, anche burro e formaggio Grana o Parmigiano, già da tempo ben noto e sufficientemente diffuso. Ma i benefici della produzione di latte non si fermavano al formaggio in quanto il siero rimasto dalla sua lavorazione veniva utilizzato per l'allevamento di suini.

Nelle zone irrigue, come accennato, era ampiamente diffusa anche la produzione di riso, specie nel Pavese e nel Basso Milanese, ma anche nel Mantovano, per restare alla sola Lombardia. Restando quindi alla pianura padana, si poteva effettuare una prima grande distinzione tra le aree irrigue, identificabili prevalentemente nelle citate aree della pianura occidentale lombarda, del Novarese e del Vercellese, e quelle non irrigue di Veneto, Emilia-Romagna e basso Piemonte.

Nella prima parte del secolo, in particolare, l'Italia, anche se ancora divisa, aveva un ruolo di non scarsa rilevanza, anche a livello internazionale, specie se si fa riferimento alle produzioni agricole della Pianura Padana, in buona parte ancora sotto il dominio austriaco. Certo il paese non era ben amministrato e anche nel territorio padano gli austriaci operavano con politiche che indebolivano i contesti locali, dai quali erano "spremute" ricchezze a favore di altre parti dell'Impero. Non erano curate le vie di comunicazione con gli stati limitrofi, il Po non poteva essere sfruttato adeguatamente come via di comunicazione e di trasporto a causa non solo di un numero elevato di dogane, balzelli e divieti, ma anche per le caratteristiche del suo alveo in quell'epoca, come esposto nel capitolo 4 del presente volume. Il movimento commerciale era ostacolato o addirittura impedito da elevatissimi dazi di importazione che rincaravano o impedivano anche l'ingresso di materie prime necessarie all'industria e all'agricoltura; ma altrettanto importanti e negativi erano anche i dazi sulle esportazioni.

L'unificazione del Paese, tuttavia, non tardò a generare i primi, se pur modesti, risultati positivi anche sull'economia agraria: l'abolizione dei confini e l'unificazione del mercato, almeno sul piano teorico. Lo sviluppo delle vie e dei mezzi di comunicazione, in particolare, favorì, nel tempo, uno sviluppo in senso mercantile della produzione agricola e della commercializzazione dei prodotti che poterono trovare, in misura decisamente crescente, opportunità di vendita anche sui mercati esteri.

Certo non tutte le aziende agricole, non tutti i prodotti e non tutti i territori poterono trarre gli stessi vantaggi da queste opportunità. Furono le aziende più dinamiche, spesso quelle gestite da una nuova e sempre più ampia generazione di affittuari capitalisti diffusa soprattutto nella parte irrigua della pianura lombarda, piuttosto di quelle gestite dalla vecchia generazione di proprietari avvezzi a una gestione statica delle proprie terre e all'idea che si dovesse semplicemente proseguire nello svolgimento delle attività produttive in modo tradizionale, da un lato a trarre i maggiori benefici, dall'altro a imprimere, nel tempo, il maggiore slancio produttivo ed economico all'intero settore in larghe parti del Paese.

Le maggiori opportunità commerciali furono per le aziende a indirizzo foraggero e zootecnico nel nord del Paese, come pure per quelle relativamente più specializzate nelle produzioni mediterranee, quali olivo, vite e vino, agrumi, ecc. del centrosud. Le imprese cerealicole medie e grandi della Pianura Pa-

dana, in particolare di quella non irrigua, furono invece quelle che poterono trarre forse minori vantaggi dai citati sviluppi economici e commerciali, e che in realtà negli anni Ottanta soffrirono maggiormente della grave crisi che investì l'agricoltura nazionale. A questa situazione, soprattutto nella pianura a sud del Po, non furono tuttavia estranee le grandi alluvioni descritte nel capitolo 1, soprattutto quella del 1872, che mise in crisi l'economia di tre province (Mantova, Modena, Ferrara) a economia agricola particolarmente sviluppata: si registrarono anche movimenti insurrezionali delle popolazioni contadine, che richiesero l'intervento ("sedativo") di Giuseppe Garibaldi.

A differenza della pianura irrigua lombarda che aveva saputo attrarre, in breve tempo, ingenti capitali da parte di una nuova imprenditoria che si era sostituita ai vecchi proprietari, nel resto della Pianura Padana, prevalentemente non irrigua, tendevano a prevalere le piccole e piccolissime proprietà o altre forme di colonia parziaria come la mezzadria, assai più statiche in termini di gestione e di introduzione di innovazioni tecniche o organizzative, finalizzate sostanzialmente all'autoconsumo della famiglia lavoratrice, oltre che dei proprietari.

Nella grande azienda diretta centralmente dall'affittuario imprenditoriale con criteri industriali tipici della pianura irrigua lombarda, la mano d'opera è generalmente fornita da salariati fissi remunerati con salario annuo e aventi, in genere, diritto di alloggio e la possibilità di allevare maiali e animali di bassa corte prevalentemente per l'autoconsumo. Ove prevale il prato, il salario, in denaro e derrate, è fisso. Dove invece sono diffuse anche altre colture o attività produttive quali granturco, lino, riso o baco da seta, il salario è integrato da una compartecipazione del lavoratore a fronte dell'obbligo di partecipare a talune fasi della lavorazione con il lavoro suo o dei famigliari, compresi i ragazzini. I salariati fissi nelle grandi aziende hanno di solito una specializzazione professionale: vi sono addetti al bestiame (*bifolchi*, *boari*, *cavallai*), al bestiame da latte (*mungitori* o *bergamini*), gli addetti all'irrigazione e ai prati (*campari*), gli addetti alla produzione di burro o formaggio (*casari*) ecc. Vi è poi, in proporzione variabile da territorio a territorio, un certo numero, in genere non trascurabile, di braccianti avventizi che vengono impiegati nelle attività produttive che presentano momenti di picco di esigenze di manodopera, come quelli della raccolta. Se nelle zone dove prevale la produzione foraggera la domanda di manodopera tende a essere relativamente costante durante l'anno, vi sono casi di produzioni con forte stagionalità, che giustificano vere e proprie migrazioni stagionali di manodopera: si pensi al riso per il quale le operazioni di mondatura (cioè di estirpazione delle erbe infestanti nell'acquitrino delle risaie) e di raccolta richiedevano un ingente impiego di avventizi, in genere donne (le mondine). Complessivamente, secondo i dati del Censimento del 1871, i salariati fissi e quelli avventizi, compresi cavallanti e bifolchi, erano più di 3,3 milioni, pari al 40,3% del totale degli agricoltori censiti (Tab. 6.1).

La risaia classica è quella del territorio di Novara, Vercelli e Mortara dalla quale si ricavano, ancora all'inizio degli anni Ottanta dell'Ottocento, circa due terzi della produzione nazionale di risone. In quest'area circa un terzo della superficie era coltivata a riso: è da aggiungere che, su due terzi di questa superficie, la tradizionale e meno produttiva risaia stabile era stata ormai sostituita dalla più produttiva risaia avvicendata con prato e altri cereali. Diverse decine di migliaia di lavoratori si spostavano, anche da province limitrofe, verso questo territorio nei periodi della monda, cioè tra la fine di maggio e il me-

se di giugno. Altri territori dove la risaia è presente, a quel tempo, erano quelli nei pressi di Abbiategrasso, Pavia, Crema, Milano, Lodi, ma anche fuori dalla Lombardia e dal Piemonte, nei terreni acquitrinosi dove la bonifica non era ancora giunta o era solo avviata, quali il basso Veronese, i terreni mantovani lungo il Po, le aree nei pressi di Guastalla e Carpi², le aree "vallive" del basso Bolognese, del Ravennate e del Polesine centrale: non a caso, proprio laddove le alluvioni dei fiumi erano più frequenti o dove erano presenti suoli argillosi fortemente coesivi, non diversamente lavorabili con le tecniche dell'epoca. Le risaie della pianura lombarda e piemontese sono in genere gestite da imprenditori che prendono in affitto i terreni e li gestiscono con moderni criteri industriali. Il riso rappresentava una delle colture in assoluto più lucrose del tempo, anche per il fatto che l'alimento base delle popolazioni meno abbienti, il pane, scarseggiava in seguito alla diminuita produzione granaria, anche per le particolari condizioni climatiche e i frequenti grandi allagamenti.

La figura degli avventizi tende a prevalere soprattutto nelle zone agricole meno irrigue o asciutte. Nella pianura emiliana, soprattutto a est del Piacentino, e in quella veneta, dove assai minori sono le possibilità di irrigazione, in genere, e dove, di conseguenza, assai minore se non marginale è la presenza di imprenditori agricoli dotati di una mentalità industriale, le condizioni contrattuali e organizzative, oltre che produttive, della prima metà dell'Ottocento rimasero sostanzialmente immutate anche nella seconda metà del secolo. Le colture tradizionali, soprattutto grano e granturco, restano prevalenti, come pure resta ampiamente diffusa la mezzadria, anche se è ritenuta teoricamente superata dai proprietari. In realtà questi non sono disponibili ad affrontare i rischi di un cambiamento di organizzazione contrattuale dati i risultati sostanzialmente soddisfacenti, almeno fino ai tempi della grande crisi degli anni Ottanta.

All'inizio degli anni Ottanta la mezzadria è ancora la forma di conduzione prevalente nella province di Parma, Reggio Emilia, Modena, Bologna, Forlì e nella Marca Trevigiana. Secondo i dati del censimento del 1881, in Emilia i coloni parziari sono pari a circa il 12% degli abitanti con più di 15 anni, contro il 5% della Lombardia, il 3% del Veneto e l'1,4% del Piemonte. Sempre secondo i dati del Censimento del 1871 i mezzadri e le altre figure simili erano più di 1,5 milioni, pari al 18,2% del totale degli agricoltori.

Nella pianura veneta, invece, è particolarmente diffusa la piccola azienda familiare: ben l'11% degli abitanti sopra i 15 anni appartengono a questa categoria che include piccoli proprietari e affittuari; in Lombardia la quota scende al 9,5%, in Emilia al 5,9%. Poiché la piccola proprietà è generalmente più diffusa in collina e in montagna, è evidente che le percentuali per la pianura sono assai più basse; per la stessa ragione in Piemonte, data l'orografia del territorio, la quota dei coltivatori diretti raggiunge il 18,9%.

Nella bassa pianura emiliana, mantovana e veneta, invece, tendono a prevalere la media e la grande azienda condotta in economia. Queste aziende sono, in genere, quelle che meno hanno beneficiato di investimenti in tempi precedenti, e sono scarsamente alberate o non alberate affatto, ma soprattutto prive di fabbricati di campagna, in quanto richiedono continui investimenti per le attività di scolo e per evitare l'impaludamento. Si tratta, spesso, di ampi appezzamenti ricavati dalla continua opera di bonifica che troverà, specie nel corso della parte finale del secolo, una forte accelerazione anche grazie all'impiego di sempre più potenti ed efficaci idrovore a vapore.

Anche in queste terre tende a prevalere la cerealicoltura o la coltivazione della canapa e assai scarsa è la varietà delle colture. In molti casi, peraltro, i terreni recuperati dalle paludi, specie nell'Emilia orientale, in Romagna e nel Veneto, dovettero essere lavorati e migliorati per diversi anni prima di raggiungere livelli di produttività comparabili a quelli di altri terreni. Non di rado, infine, il finanziamento da parte di privati finì col non essere adeguato o sufficiente per queste opere di bonifica, che poterono realizzarsi solo con l'intervento decisivo, diretto o indiretto, dello Stato.

In genere, le condizioni di vita dei piccoli coltivatori diretti erano relativamente misere, anche se vi era molta variabilità in funzione delle diverse dimensioni dei fondi e della fertilità dei terreni; gli affittuari, poi, si trovavano spesso in condizioni di vita più misere rispetto ai piccoli proprietari, con l'eccezione forse di quelli che vivevano vicino alle città e che potevano quindi trarre maggiori profitti dalla vendita diretta di parte dei prodotti nei centri urbani.

I mezzadri e i compartecipanti vari non si trovavano in condizioni migliori rispetto a quelle dei salariati fissi. Questi ultimi, poi, anche nella fertile pianura irrigua lombarda, dove erano occupati nelle prime grandi aziende capitalistiche, vivevano spesso in condizioni misere, soprattutto per la pessima condizione delle abitazioni che, in quanto "improduttive" sia per l'imprenditore capitalista che per il proprietario, erano oggetto di minori attenzioni rispetto a quelle riservate ai ricoveri per gli animali. Fortunatamente esistevano colture come il granoturco e il riso, per le quali l'imprenditore aveva interesse a concedere al lavoratore una compartecipazione al prodotto; spesso è solo in questo modo che il salariato fisso riusciva a vedere assicurato il suo vitto quotidiano.

Non di rado i proprietari che conducevano direttamente le proprie grandi aziende erano relativamente meno esosi rispetto ai nuovi imprenditori capitalisti, anche se erano meno innovatori e in genere non altrettanto capaci di trarre profitto dall'attività agricola svolta in modo più moderno ed efficace.

La crisi degli anni Ottanta dell'Ottocento e le sue conseguenze

Tra gli anni Settanta e Ottanta del secolo XIX si determinarono, progressivamente, le condizioni di una profonda crisi sia economica che sociale nel settore agricolo.

Con l'Unità del Paese, come accennato, la situazione economica, anche per l'agricoltura, era di molto migliorata anche per la liberalizzazione degli scambi almeno entro i "nuovi" confini nazionali. Come sostiene, ancora una volta, Jacini *"La eliminazione delle barriere doganali fra regione e regione e la creazione di un grandioso sistema di vie di comunicazione, ferroviarie e ordinarie, dovevano del resto infondere necessariamente maggior vita e maggior moto in tutte le campagne italiane, quand'anche per avventura null'altro di buono fosse stato compiuto"* (JACINI, 1926). Tali miglioramenti furono dovuti anche al fatto che *"...anche nello spirito d'impresa devesi constatare un salutare risveglio, fatto palese in alcune importanti opere eseguite, fra le quali giova ricordare il canale Cavour, il canale Villoresi, le grandi bonifiche ferraresi e veronesi, l'impresa Cirio"* (JACINI, 1926).

Sempre stando alla stessa fonte, Jacini sottolinea come nel giro di pochi anni vi fosse stato un *"significantissimo aumento del bestiame, elemento di ricchezza per sé medesimo, produttore d'ingrasso per i terreni, e divenuto materia d'esportazione per ben 45 milioni annui"* di lire; la stessa fonte ricorda anche il grande sviluppo, nello stes-

so periodo, della coltura della vite e della cultura della vinificazione, tanto che l'Italia esportava, in quegli anni, 2 milioni di ettolitri di vino, mentre solo pochi anni prima si esportavano modestissime quantità di vini particolarmente pregiati. In quegli stessi anni, tuttavia, si avviava quel processo che, negli anni seguenti, porterà alla nuova forte crescita produttiva dell'agricoltura, con la sperimentazione e l'uso di nuove macchine agrarie, come pure con l'impiego di concimi chimici.

Con riferimento all'agricoltura, infatti, la produzione lorda vendibile (= PVL, cioè il valore della produzione) passò da un valore medio annuo di 3.596 milioni di lire (correnti) nel periodo 186-65 a 5.865 milioni nel quinquennio 1871-75, solo dieci anni dopo. L'incremento in termini percentuali superiore al 60% con riferimento a medie quinquennali è spiegato solo in parte dall'annessione di Veneto e Lazio; in realtà il contesto economico fu decisamente favorevole in quegli anni (Tab. 6.2). Ciò viene sintetizzato anche nella relazione finale dell'Inchiesta Jacini: *“non temiamo poter essere contraddetti sul serio, se affermiamo che intrinsecamente, l'agricoltura, la possidenza rurale, la retribuzione del lavoro agrario, hanno avvantaggiato nella nuova Italia in confronto di ciò che erano nell'Italia divisa”* (JACINI, 1926). Tuttavia, poiché *“la designazione di ricchezza e di povertà, di benessere e malessere, ...hanno sempre un significato relativo”*, *“si può quindi concludere essere indiscutibile che il popolo delle campagne stia ora peggio che per lo passato, non perché siano effettivamente peggiorate le sue condizioni, ma perché trenta o quarant'anni fa non agognava ad alcun cambiamento, mentre oggi invece, sotto forme vaghe e indeterminate, spira ad un mutamento consentaneo alla profonda trasformazione politica avvenuta in Italia”* (JACINI, 1926).

Tale valutazione doveva certamente risentire anche del forte peggioramento economico della situazione che si stava sviluppando proprio nella prima parte degli anni Ottanta, e non solo del diverso apprezzamento e delle diverse aspettative della popolazione agricola. Anche dal punto di vista alimentare si passò dalle 2.517 calorie pro-capite del 1861 alle 2.750 del 1880 (BARBERIS, 1999). La situazione peggiorò significativamente, invece, nel periodo immediatamente successivo: il valore della PLV passò da 5.865 milioni di lire nel 1871-75 a 5.694 milioni nel 1876-1880 con una riduzione pari al 2,9%, mentre nel quinquennio, dal 1881 al 1885 scese a 5.104 milioni, con un'ulteriore diminuzione del 10,3%, che non si fermerà nemmeno per il quinquennio seguente, quando la PVL raggiungerà il valore minimo (sempre considerando medie quinquennali) pari a 5.085 milioni. Bisognerà attendere il Novecento per tornare ad avere valori di produzione agricola pari a quelli del decennio 1871-1880, tanto che questo ventennio compreso tra il 1880 e il 1900 è stato anche descritto come *“ventennio nero”* (BARBERIS, 1999, p. 273). Ciò è confermato dalla valutazione svolta in termini di calorie disponibili: a seguito dell'aumento della popolazione da un lato (+14,6% nel ventennio) e della sostanziale stabilità dei consumi alimentari dall'altro, la disponibilità calorica media non superò la soglia delle 2.000 calorie pro-capite, per fermarsi comunque a 2.307 nel 1900, il 14,1% in meno rispetto a venti anni prima. Quelli furono anni di fame.

Le cause della crisi furono diverse, come spesso accade, sia da natura congiunturale che strutturale, ma certo le ultime furono decisamente più importanti. Anzitutto bisogna considerare l'andamento climatico sfavorevole e le conseguenti disastrose alluvioni, non solo quelle del Po e dei suoi affluenti, che interessarono la regione agricola più ricca d'Italia, ma anche quelle del Ser-

chio, dell'Arno e del Tevere. Il 1881 fu un anno particolarmente sfavorevole per l'agricoltura italiana, non solo per l'andamento climatico, ma anche, come ricorda lo stesso Jacini, a causa di una serie di patologie che colpirono alcune tra le produzioni più importanti: "*l'atrofia dei bachi da seta, la crittogama della vite e la gomma degli agrumi*". Bisogna anche notare, sempre con Jacini, che dove si allevavano bachi da seta si coltivava anche, in coltura promiscua, la vite e il contadino partecipava per metà al ricavo del gelso e della vite. Per questa ragione, quindi, la crisi si avvertì particolarmente sul ceto dei contadini.

La causa strutturale decisamente più importante, tuttavia, fu certamente quella della nuova e intensa concorrenza delle produzioni agricole di provenienza estera: anzitutto i cereali del nord America, ma anche il riso dell'Estremo Oriente, che poteva ora passare dal canale di Suez con grande riduzione dei tempi e dei costi di trasporto.

Ancora una volta la relazione Jacini è chiara nell'analisi delle cause della crisi: "*...la Cina e il Giappone soppiantarono nel volgere di pochi anni, colle proprie sete, che per qualche millennio erano uscite dai mercati locali, le sete italiane, dapprima quasi completamente sul mercato inglese, poi su altri mercati; che le Indie versarono la loro sovrabbondanza di riso in Europa, dove dominava per l'addietro quasi sovrano il riso italiano; che le due penisole meridionali, l'Iberica e la Balcanica, l'Algeria, la Tunisia, la Tripolitania, l'Egitto, la Siria, vennero in campo per rivaleggiare con l'Italia in tutti gli scali d'Occidente nel commercio degli agrumi, dei fichi secchi, delle mandorle, degli olii e degli altri prodotti meridionali. Finalmente l'America settentrionale si diede a produrre una tale quantità di cereali da digradare la Russia, che era solita una volta supplire alla deficienza dei raccolti della popolosa Europa occidentale, e per modo da inondare quest'ultima delle proprie granaglie*" (JACINI, 1926).

Una concausa, anch'essa di natura economica e strutturale, fu l'abolizione del corso forzoso, cioè del tasso di cambio tra lira e oro, che permetteva di guadagnare qualcosa anche in termini di competitività, mediante una svalutazione guidata della nostra valuta; a fronte di prezzi mondiali decrescenti, quindi, l'Italia avrebbe potuto avvantaggiarsi, o meglio ripararsi, almeno in parte, grazie a un marginale vantaggio nel tasso di cambio. Ma l'abolizione del "corso forzoso" ne impedì l'applicazione.

Jacini, inoltre, annovera tra la cause anche la vendita improvvisa e su vasta scala di beni demaniali che impoverì e indebitò molti, anche tra gli imprenditori e i proprietari agricoli, esponendoli maggiormente alle vicende economiche negative di quegli anni. Egli mise chiaramente in luce, infatti, che "*l'agricoltura considerata non nel senso patriarcale, ma nel senso industriale moderno, ha bisogno per progredire, di molti capitali d'impianto e d'esercizio*"; ma di fronte a buoni rendimenti (7 e 8,5%) delle "carte pubbliche", cioè del debito di Stato, e delle opportunità offerte dalle vendite dei beni demaniali sopra ricordati, furono posticipati, se non sospesi del tutto gli investimenti in agricoltura che avrebbero dato risultati assai più modesti e solo nel lungo periodo. E ciò espose maggiormente il settore alla crisi incipiente.

La crisi è evidente se si analizza, in particolare, il contributo delle diverse produzioni alla formazione della PLV totale (Tab. 6.3), cioè il valore della produzione ottenuta nell'anno: sono i cereali, soprattutto, a perdere una quota importante del loro valore complessivo e del loro peso relativo, mentre tiene le posizioni la zootecnia, e ne guadagna la produzione di uva e di vino che vede, proprio negli anni di questo ventennio, un notevole sviluppo. Mentre la PLV dei cereali scese fino a soli 1037 milioni di lire, tra il quinquennio 1876-

1880 e quello 1886-1890, pari a una variazione di -42%, quella di vino aumentò, nello stesso periodo, di ben il 34%, superando il dato relativo alla produzione di cereali e raggiungendo un valore di 1.622 milioni di lire.

D'altro canto, anche l'andamento dei prezzi, come riportato sempre nei documenti dell'Inchiesta Jacini, mostra con simile evidenza la estrema difficoltà del momento (Tab. 6.4): nel 1880 il prezzo dei bozzoli, ad esempio, passò da 5,73 lire per chilogrammo dell'anno precedente a 3,87 lire, con una diminuzione del 32,5% in un solo anno, per diminuire ulteriormente nell'anno successivo. Il 1881 segnò, invece, l'inizio della forte discesa dei prezzi del frumento: se nel 1880 esso fu pari a 31,50 lire per 100 chili, nell'anno successivo scese a 27,28 lire (-10,3%), per poi ridursi ulteriormente nei due anni successivi fino alle 23,42 lire del 1883, pari al 25,7% in meno rispetto a 3 anni prima. Un andamento fortemente decrescente interessa anche gli altri cereali incluso il risone; non si salvò nemmeno la canapa il cui prezzo passò dalle 90,69 lire per 100 chilogrammi del 1880 a 64,42 lire nel 1883 (-29,0%).

La crisi economica degli anni Ottanta del XIX secolo, proseguita poi anche nel decennio successivo, si intrecciò con una crisi sociale dalla quale entrambe uscirono reciprocamente aggravate.

Non c'è dubbio, inoltre, che la crisi ebbe effetti non trascurabili anche sulle grandi iniziative di bonifica di quegli anni. Come giustamente sottolineato anche recentemente da Antonio Saltini vi è una “...*sistematica coincidenza ... tra grandi imprese di bonifica e congiunture favorevoli del prezzo dei cereali*” (SALTINI, 2005, p. 95), nel senso che le seconde sono causa delle prime; anche a metà dell'Ottocento questa connessione si manifestò, nel bene e nel male, ad esempio nel territorio ferrarese. A differenza di altre fasi storiche, in questo periodo non è la guerra ad animare la domanda di cereali e quindi a sostenerne il prezzo, ma la pace che creò le condizioni per il grande sviluppo delle prime imprese manifatturiere. Proprio le prime macchine prodotte dalla nuova industria per il settore agricolo (aratri, trebbiatoi, trattrici ecc.) crearono anche le condizioni affinché da un lato potesse crescere in misura significativa la produttività delle terre grazie al loro impiego, e quindi aumentare la produttività e la produzione complessiva di cereali, dall'altro si potesse disporre anche di nuove idrovore a vapore sufficientemente potenti da permettere, almeno teoricamente, il prosciugamento più facile di ampie distese ancora paludose. Come già accennato, sino alla fine degli anni Settanta dell'Ottocento i prezzi dei cereali si mantennero alti e non è un caso che proprio tra gli anni Cinquanta e gli anni Settanta si siano avviate le già citate grandi imprese di bonifica del ferrarese. Queste opere, tuttavia, restarono largamente incompiute e si rivelarono economicamente un fallimento non solo a causa di una serie di errori tecnici, ma anche, si direbbe soprattutto, per la grave crisi sopra ricordata che iniziò nel 1881 e che colpì pesantemente, in primo luogo, proprio i cereali.

Se grazie al vapore fu possibile avviare le grandi bonifiche, la stessa tecnologia applicata alle macchine agricole, certamente più adatte alle vaste distese nord e sud-americane che alle aree agricole in Europa e in Italia, contribuì notevolmente ad alimentare la produzione. D'altro canto, la diffusione delle macchine a vapore permise di ridurre fortemente i costi di trasporto (per via ferroviaria prima e navale poi). Le grandi quantità di grano americano scaricate nei porti centro e nord Europei furono un fattore decisivo della crisi che colpì l'agricoltura nazionale e con essa le grandi opere di bonifica. Non è quindi un caso che nel 1882 si giunga all'approvazione di una legge che, riconoscendo

l'interesse generale delle opere di bonifica, introducesse un intervento economico dello Stato nella misura del 50%; il solo interesse privato non sarebbe più bastato per garantire il successo di queste operazioni. Altre leggi porteranno alla definizione dei ruoli dei consorzi di bonifica (legge del 4 luglio 1886) e alla loro obbligatorietà (legge 6 agosto 1983; SALTINI, 2005).

A ben guardare, parte di quelli che risultarono poi i rimedi principali alla crisi, almeno dal punto di vista economico, erano già parzialmente in atto e trovarono, proprio in quegli anni, una significativa espansione. Infatti, sapendo "*...che una maggiore diffusione dell'insegnamento agrario possa dare buoni frutti, è una verità indiscutibile ed incontestata*" (JACINI, 1926), si può ricordare, a questo proposito, come i Comizi agrari erano ormai costituiti in ogni provincia per effetto del R.D. n. 3452 del 1866. Negli stessi anni, inoltre, specialmente nella Pianura Padana iniziarono a sorgere le Cattedre ambulanti, veri e propri centri di istruzione agraria, di divulgazione e di innovazione che svolsero un ruolo di non poco conto nello sviluppo della fine del XIX secolo e dell'inizio del XX secolo. In particolare, dopo varie esperienze iniziali, nel 1886 a Rovigo nacque la prima vera e propria Cattedra Ambulante di Agricoltura, organizzata nella forma che divenne poi tradizionale; a Parma la Cattedra Ambulante nacque nel 1892, a Bologna nel 1893, a Ferrara nel 1894, a Mantova e Ferrara nel 1895, a Cremona e Rimini nel 1896, a Cuneo, Piacenza e Venezia, Vicenza, L'Aquila nel 1897, fino a raggiungere il numero di 39 nel 1900 e oltre 100 nel 1915 (PIERCIVALLI, 2003).

Negli stessi anni, si avviarono, in realtà territoriali, sociali e culturali diverse, le prime esperienze di tipo cooperativo, sia nell'ambito dei consumi che della produzione e della trasformazione di prodotti agricoli; nacquero, inoltre, i primi Consorzi agrari (in sostanza cooperative di acquisto dei fattori di produzione per l'agricoltura, almeno inizialmente), anticipando e favorendo, insieme all'attività delle Cattedre ambulanti, la diffusione di nuove colture come il pomodoro da industria e la barbabietola da zucchero, nonché la nascita delle prime aziende di produzione del concentrato di pomodoro e dei primi zuccherifici (PERITI, 1998). Anche queste nuove colture, in particolare quella del pomodoro da industria, potranno svilupparsi fino ai nostri giorni, solo dove l'irrigazione sia non solo possibile, ma anche facile e poco costosa nel pieno della siccitosa stagione estiva. L'acqua continua a giocare, così, un ruolo centrale nell'evoluzione dell'agricoltura padana.

Tab. 6.1 *Popolazione rurale italiana secondo il censimento del 1871.*

Censimento 1871	Uomini	Donne	In totale	<15 anni
Agricoltori, contadini, campagnoli, cascinar, risai, coloni, vignaiuoli.	732.820	521.776	1.254.596	216.314
Fattori, castaldi, agenti di beni	19.929	3.104	23.033	-
Agricoltori mezzadri, a terzeria ed altra specie di colonia	955.435	548.041	1.503.476	243.111
Id. censitari e livellari	2.737	770	3.507	332
Id. salariati, a vitto, braccianti giornalieri, operanti, garzoni e famiglie	2.081.188	1.199.203	3.280.391	490.715
Id. cavallanti e bifolchi	39.057	4.108	43.165	5.185
Id. Affittaiuoli, pigionanti e logaiuoli	432.557	181.692	614.249	76.994
Id. possidenti	1.009.135	522.661	1.531.796	188.290
Totale agricoltori	5.272.858	2.981.355	8.254.213	1.220.941
Mandriani, pastori, pecorai, caprai e boari	223.043	33.149	256.792	71.765
Ortolani	27.635	9.481	37.116	3.324
Apicoltori	120	-	120	5

Fonte: JACINI (1881), *Proemio dell'inchiesta agraria*.Tab. 6.2 *Produzione lorda vendibile, valore aggiunto e prodotto netto della agricoltura italiana. Media annua per i quinquenni dal 1861 al 1900, in milioni di lire correnti.*

Anni	PLV*	Spese correnti	Valore aggiunto	Ammortamenti	Prodotto netto
1861 - 65	3.596	281	3.315	143	3.172
1866 - 70	4.551	339	4.212	181	4.031
1871 - 75	5.865	383	5.482	249	5.233
1876 - 80	5.694	404	5.290	246	5.044
1881 - 85	5.104	346	4.758	198	4.560
1886 - 90	5.085	362	4.723	193	4.530
1891 - 95	5.230	319	4.911	198	4.713
1896 - 1900	5.428	349	5.079	214	4.865

Fonte: ns. elaborazione da BARBERIS (1999).

*) = Produzione Lorda Vendibile, cioè il valore economico della produzione ottenuta nell'anno.

Tab. 6.3 *Produzione lorda vendibile di alcuni prodotti agricoli, in milioni di lire.*

Anni	Cereali*	Ortaggi	Vino	Olio	Frutta**	Vari***	Zootecnia	Totale
1876 - 80	1.798	258	1.207	372	305	270	1.484	5.694
1881 - 85	1.184	221	1.456	201	283	244	1.515	5.104
1886 - 1900	1.037	192	1.622	251	278	226	1.479	5.085

Fonte: ns. elaborazione da BARBERIS (1999).

* Comprese le leguminose da granella

** Compresi gli agrumi

*** colture industriali, floreali, foraggere, varie

Tab. 6.4 *Andamento dei prezzi per alcuni prodotti: 1872-1883.*

ANNI	Bozzoli	Frumento	Granturco	Segale	Avena	Risone pugliese	Canapa
	per kg	per 100 kg	per 100 kg	per 100 kg	per 100 kg	per 100 kg	per 100 kg
1872	6,75	34,55	23,36	24,50	16,71	-	-
1873	6,81	35,22	21,12	26,00	18,47	-	-
1874	4,20	36,94	27,05	27,00	27,89	-	91,18
1875	4,20	25,67	15,80	20,43	23,35	-	94,40
1876	4,49	28,42	15,90	17,20	23,76	-	110,33
1877	4,40	32,83	20,38	19,75	21,82	23,22	106,22
1878	4,04	30,86	21,68	21,90	19,48	21,24	83,96
1879	5,73	30,59	20,50	22,26	20,19	21,97	84,92
1880	3,87	31,50	23,42	24,30	21,09	23,27	90,69
1881	3,78	27,28	19,75	24,21	19,36	19,22	78,97
1882	4,26	25,77	21,39	20,50	18,78	18,67	75,83
1883	3,56	23,42	17,77	18,46	16,50	20,75	64,42

Fonte: Jacini (1881), *Proemio dell'inchiesta agraria*.

Note

1. Come si è accennato in altri capitoli di questo volume, alla fine del XVI secolo, nell'area italiana e padana in particolare iniziò la "piccola età glaciale moderna", che si sarebbe conclusa nell'Ottocento: il periodo fu caratterizzato non solo da basse temperature e precipitazioni intense, ma anche da frequenti ed estese alluvioni del Po e dei suoi affluenti, che misero in crisi la produzione granaria (nel 1816 non si raccolsero le messi, come accennato nel capitolo 10). Questa "storia dell'economia agraria e dell'alimentazione" determinata dal clima si intuisce anche da una lettura critica dell'interessante libro di MONTANARI (1992). Proprio sul finire del XVI secolo fu introdotta la coltivazione del riso che rimase sino alla fine del XIX secolo un alimento riservato ai ceti meno abbienti, in seguito alla diminuzione della produzione granaria: inizialmente fu introdotto nelle aree esondabili della bassa Lomellina, poi si estese progressivamente ad altre aree più o meno frequentemente sommergibili dalle acque di piena dei fiumi o palustri; visto il successo della coltivazione, questa fu estesa alle aree irrigabili, soprattutto del Piemonte e della Lombardia. Questa coltura, peraltro, sviluppandosi nell'acqua, risulta protetta dagli sbalzi termici primaverili. Nell'Ottocento, infine, la coltivazione del riso sostituì anche i prati stabili di alcune aree della pianura a sud del Po, laddove cioè l'elevata coesione dei suoli argillosi (vertisuoli e altri suoli simili per tessitura) impediva la lavorazione con la forza animale e umana.

2. Nel Modenese, Francesco V creò una risaia ("Possessione risaia" o "Risaia del Duca") anche in Comune di Bomporto, per sopperire alle carestie di quegli anni, determinate dalle esondazioni dei fiumi e dalle avverse condizioni climatiche.

7. Le rotte nel tratto emiliano del fiume Po

Paolo Mignosa

*Così il Po, gonfio per la piena, \ si riversa al di sopra delle rive \ protette dall'argine e sconvolge \ tutta la
campagna; se qualche terra frana e, \ non sopportando la furia delle onde \ crescenti, crolla, allora con tutta \
la corrente vi irrompe e si apre \ col gorgo terreni ignoti: qui le terre \ sfuggono ai padroni, lì campagne \
si aggiungono ai contadini, regalo del Po.*

Lucano (29-65 d.C.) libro VI (vv. 272-278) di *Pharsalia*¹

*C'era la gente del mio paese sull'argine, ferma, con le facce trepide, infantili anche quelle senili.
E da lontano veniva un rombo: l'onda di piena arrivava e avrebbe rotto in qualche parte [...]*

Cesare Zavattini da *E l'uomo creò la terra: il Po tra Casalmaggiore, Colorno, Sabbioneta, Viadana*²

Sono trascorsi quasi due millenni da quando Lucano³, nel libro VI di *Pharsalia*, ci ha lasciato una delle prime testimonianze sugli effetti di un'inondazione probabilmente conseguente a una rotta arginale del Po⁴. Si intravede comunque già, in quelle poche righe, quello che sarà il rapporto che l'uomo intratterrà con il fiume nei secoli a venire: un rapporto ambivalente, di coesistenza pacifica per la maggior parte del tempo, ma che si trasforma in lotta per la sopravvivenza durante le più imponenti piene del fiume, accompagnate quasi sempre da rotte arginali ed estesi e prolungati allagamenti. Le parole di Cesare Zavattini ne sono una testimonianza recente.

È nel secolo XIX che una sequenza ravvicinata di eventi di piena mette a dura prova il sistema arginale del Po, nel tratto che va dalla confluenza del Ticino al Delta. Il secolo si apre con la piena del novembre 1801, all'epoca valutata da GALLIZIA (1878 a) seconda per importanza solo a quella del 1705. Passano solo sei anni e nel dicembre 1807 un'altra piena raggiunge e, in alcuni tratti, supera le altezze idrometriche massime verificatesi nel 1801, provocando numerose rotte nell'argine sinistro mantovano nei pressi di Ostiglia (GOVI & TURITTO, 2000). Trascorrono poi tre decenni di relativa tranquillità – nei quali si manifestano piene rilevanti ma non catastrofiche – fino al sopraggiungere, alla metà di ottobre del 1839, di un'altra grande piena che sconvolge l'alveo del fiume, provocando numerose rotte arginali ed estesissimi allagamenti, primo fra tutti quello del comparto in destra idraulica compreso tra i fiumi Secchia e Panaro. Seguono nei decenni successivi le piene del 1846, 1857, 1868, 1872 (primavera e autunno), tutte di assoluta rilevanza.

La Tab. 7.1, dedotta da GALLIZIA (1878 b), riporta il quadro generale delle rotte avvenute nell'arginatura maestra del Po dal Ticino al mare fino al 1878, anno in cui il GALLIZIA pubblica i suoi resoconti.

Tab. 7.1 - Quadro generale delle rotte avvenute nell'arginatura maestra del Po nel secolo XIX dal Ticino al mare (da Gallizia, 1878 b).

Anno	Cause che provocarono le rotte						Osservazioni
	Sormonto	Corrosione	Fontanazzo e travenazione sotto la base dell'argine	Ruina di manufatti	Cause ignote	Totale delle rotte avvenute	
1801 (autunno)	23	5	–	–	2	30	Altre rotte minori nell'arginatura pavese e piacentina non numerate.
1802 (autunno)	–	2	–	–	–	2	
1803 (primavera)	–	1	–	–	–	1	
1807 (autunno)	6	–	2	–	–	8	
1808 (autunno)	–	1	–	–	–	1	
1810 (primavera)	–	–	–	1	4	5	
1811 (autunno)	–	–	–	–	1	1	
1812 (autunno)	–	–	2	–	1	3	
1823 (autunno)	–	1	1	–	–	2	
1839 (autunno)	26	2	1	1	–	30	
1840 (autunno)	1	–	–	1	–	2	
1841 (autunno)	1	–	2	–	–	3	
1843 (primavera)	–	1	–	–	–	1	
1846 (primavera)	18	–	–	–	–	18	Altri “rottazzi” ⁴ minori e tagli artificiali per lo scarico dell'inondazione interna nel tronco superiore
1846 (autunno)	9	1	–	–	–	10	
1857 (autunno)	43	–	3	2	–	48	Come sopra
1868 (autunno)	13	1	6	–	–	20	
1872 (primavera)	–	–	2	–	–	2	Come sopra
1872 (autunno)	18	–	8	–	–	26	Come sopra
1876 (primavera)	–	–	1	–	–	1	
Totale	158	15	28	5	8	214	

Questo elenco annovera un numero di piene superiore a quello registrato (1801, 1807, 1810, 1812, 1839 due volte, 1857, 1868, 1872 due volte, 1879) dal padimetro di Ferrara (Fig. 10.1 di questo volume; LEZIROLI, 2005); da esso manca, invece, un evento di rotta che sembra abbia interessato, in occasione della piena del 1801, la pianura parmense. La *Planimetria Rettificata della sponda destra di Po tra l'Ongina e il Taro*, delle Planimetrie della Commissione Brioschi, riporta, esternamente alle arginature del Po, presso Ragazzola (comune di Roccabianca), piccoli specchi d'acqua dal contorno tondeggiante, con la dicitura *Burroni⁶ della rotta 1801*. Di questo evento non si dispone di altra notizia ed esso non viene riportato nelle pur attente note di GOVI & TURITTO, come quella più recente (2000).

Per completare il quadro del secolo XIX occorre aggiungere all'elenco del Gallizia almeno la grande piena del 1879, che diede luogo al cedimento, tra l'altro, dell'arginatura poco a valle di Revere, con conseguente allagamento, per la terza volta nell'arco di quarant'anni, dell'Oltrepò Mantovano.

Trascorrono trent'anni di relativa tregua, fino all'evento dell'ottobre 1907

che provoca l'allagamento, come già nel 1868, di ampie porzioni del territorio lodigiano, pavese e piacentino (compresa parte della stessa città di Piacenza). Seguono, con cadenza pressoché decennale, gli eventi del maggio 1917 (lodigiano) e maggio 1926 (piacentino), come documentato da GOVI & TURITTO (2000). Venticinque anni dopo, si verifica la disastrosa piena del novembre 1951, con le rotte di Paviole e di Occhiobello e la conseguente inondazione di circa 1000 km² dei territori della provincia di Rovigo. Le ultime grandi piene del secolo appena concluso (1994, 2000), pur essendosi rivelate catastrofiche per alcuni importanti affluenti del Po (Tanaro, Dora Baltea, ecc.) non hanno però provocato apprezzabili rotte arginali lungo l'asta principale.

Ritornando ad analizzare i dati della Tab. 8.1 redatti da GALLIZIA (1878), si evince che quasi i tre quarti delle rotte da lui censite (158 su 214) furono causate da sormonto, mentre il residuo quarto è da ascrivere all'insieme di tutte le altre cause. Se poi si considera che spesso le rotte causate da "corrosione" sono innescate dall'aumento locale di velocità, generato da brecce apertesi poco prima più a valle (rotte "per consenso" o "di risentimento"), la percentuale di rotte che, direttamente o indirettamente, è da imputare a un'insufficienza del contenimento arginale aumenta ulteriormente. Non meraviglia, quindi, che la strategia difensiva di quegli anni si sia concentrata sul sopralzo, e conseguente ringrosso, delle sezioni arginali. Questa politica è poi stata mantenuta sostanzialmente immutata fino a pochi anni fa, inseguendo, per così dire, l'ultima piena. Già subito dopo la catastrofica inondazione del Polesine del novembre 1951, DE MARCHI (1952) osservava, in un suo intervento tenutosi a Milano in occasione di un Convegno sulla difesa del suolo, che "...le piene di Po sono andate progressivamente aumentando nel corso degli ultimi secoli, ed è pure certo che esse aumenteranno ancora in avvenire ...dopo ogni piena disastrosa si procede alla ricostruzione degli argini danneggiati e ad un loro generale sopralzo... Senonché l'esame obiettivo dei fatti porta a riconoscere che le arginature, da sole, non possono costituire la soluzione definitiva e sicura del problema della difesa dalle inondazioni..." e suggeriva, quindi, di adottare "nuovi indirizzi difensivi ...nel caso di eventi eccezionali, ma sempre possibili, di fronte ai quali le arginature esistenti siano decisamente insufficienti...".

Tra i possibili interventi, il medesimo Autore individuava, oltre alla ottimizzazione dell'utilizzo delle aree golenali già esistenti, "lo scarico delle acque esuberanti fuori dagli argini maestri". Mostrava poi come, per la piena del 1951, "lo scollamento tempestivo di meno di 400 milioni di metri cubi avrebbe... scongiurato le rotte di Occhiobello e di Paviole ed eliminato ogni pericolo per il tronco vallivo del fiume", mentre "...la massa liquida che attraverso le brecce si versò sul Polesine fu con ogni probabilità assai superiore ai due miliardi di metri cubi, almeno cinque volte più grande". Commentava più avanti: "...la difesa dalle piene perderebbe il carattere rigido e passivo, che ammette semplici operazioni tattiche di soprassogli e difese locali, e consentirebbe invece, a chi la deve dirigere, una certa possibilità di manovre strategiche, atte ad evitare i grandi disastri". Passava poi a spiegare più nel dettaglio la sua proposta: "...Punti di erogazione e zone soggette a sommersione dovrebbero essere prestabiliti da un piano generale d'insieme... I territori soggetti a quegli allagamenti dovrebbero formare oggetto di una speciale servitù, che naturalmente dovrebbe essere compensata in equa misura... Il piano difensivo dovrà a tal fine considerare l'intero territorio soggetto alla minaccia delle piene di un fiume come una entità unica e solidale... dovrebbero essere chiamati a concorrere alla spesa tutti i territori che, grazie agli scolmi tempestivi, abbiano evitato il disastro delle inondazioni".

A conclusione, rendendosi conto delle difficoltà di attuare un siffatto progetto, si interrogava sulla sua fattibilità: “...*Qualora si addivenisse ad una difesa manovrata e le inondazioni non accadessero più ove le vuole il destino... verrebbero esse serenamente accolte dagli abitanti dei territori allagati? ... i vantaggi sono troppo evidenti perché se ne possa dubitare: l'interesse collettivo ha sempre una sua forza, anche per popolazioni estremamente individualistiche come le nostre.*” Queste ultime considerazioni di DE MARCHI (1952) appaiono, a più di cinquant'anni di distanza, eccessivamente ottimistiche. La difesa dalle inondazioni del grande fiume è, ancora oggi, di tipo passivo ed è esclusivamente delegata alla sufficienza e alla capacità di resistenza del sistema arginale, che si erge sempre più imponente sopra le campagne circostanti. Ma poiché, citando ancora DE MARCHI, “*la grandezza delle piene, come la intensità delle piogge, e tutti in generale i fenomeni naturali, che sfuggono ad ogni umano controllo, non ammettono limiti superiori sicuramente individuabili...*” c'è da chiedersi quali sarebbero le conseguenze di una rotta arginale oggi. Una risposta a questa domanda è utile, se non altro, per predisporre gli indispensabili piani di protezione civile, da mettere in atto nel caso un simile evento si verifichi.

Nell'ambito di una serie di collaborazioni attivate in questi ultimi anni con l'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2004), il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Parma (DICATeA) si è occupato di simulare, per alcuni comparti in destra idraulica nella tratta emiliana del Fiume Po, quale potrebbe essere la dinamica dell'inondazione oggi, a seguito di cedimento dell'argine maestro del fiume. Come caso di studio si è analizzato approfonditamente il comparto idraulico compreso tra le foci dei torrenti Parma ed Enza, in provincia di Parma. Nel corso degli ultimi due secoli tale comparto è stato soggetto ad allagamenti in occasione degli eventi di piena dell'ottobre 1868 e del novembre 1951⁸. Nei paragrafi che seguono vengono brevemente richiamate le caratteristiche delle inondazioni storiche e vengono poi riportati i principali risultati di un ipotetico scenario di allagamento nelle condizioni attuali.

Inondazioni verificatesi nel comparto Parma-Enza conseguenti a rotte arginali nel XIX e XX secolo

Piena dell'ottobre 1868. Riporta GALLIZIA (1878):

“...*dopo la metà di settembre, per stemperate piogge diluviali cadute particolarmente sulla catena delle Alpi Retiche e Pennine, crebbero strabocchevolmente i fiumi della Lombardia, ed il Ticino raggiunse la massima altezza assoluta, che si sia mai ricordata... Questa piena... riescì... la massima di tutte dall'Adda all'Oglio, segnando m 5,42 a Cremona e m 6,07 a Casalmaggiore, e superò pure notevolmente tutte le precedenti con m 8,28 a Ostiglia...*”

Nel tardo pomeriggio del giorno 6 ottobre si verificò una rottura arginale a Mezzano Superiore in seguito allo schiantamento della paratoia alla Chiavica del Bigone che causò l'inondazione di gran parte del territorio fra Po, Parma ed Enza, comprendente i paesi di Mezzano Superiore, Mezzano Inferiore, Coenzo e Frassinara; a mezzanotte dello stesso giorno la piena era ancora in fase crescente. Una successiva rotta dell'argine di Enza il giorno 8, presso Coenzo, causò l'allagamento di Mezzano Inferiore. Il 9 ottobre venne realizzata una breccia di rientro per salvare alcune abitazioni ubicate in località Bocca d'Enza, all'interno dell'argine maestro; alla rotta d'Enza si rimediò mediante la chiusura delle dieci brecce originatesi nell'argine della

cinta Oppi; il livello del Po si era abbassato di circa un metro rispetto alla situazione più gravosa.

Piena del novembre 1951. Riportano CHIODARELLI & AVVENTI (1953):

“...All'idrometro di Casalmaggiore la piena toccò il colmo alle ore 8 del giorno 14 con 7.64 m sullo zero, collocato a 23.49 m s.l.m.; all'idrometro di Boretto la piena toccò il colmo pressoché alla stessa ora con 8.50 m sullo zero collocato a 19.95 m s.l.m.: in entrambi i casi si superarono tutti i massimi livelli noti... Non appena superato il livello di guardia l'8 novembre, vennero attivati numerosi provvedimenti per la difesa del territorio, ma ciononostante il mattino del giorno 14 si verificarono sei rotte... quando la piena era in calo dalla Becca a Polesine, alle ore 5 del 14 Novembre in località Buca di Mezzano Inferiore si verificò il sifonamento della chiavica del Bigone⁹. Per lo squarcio arginale si riversarono le acque nelle campagne dei comuni di Mezzano Inferiore, Sorbolo, interessando gli abitati di Coenzo, Frassinara, Pizzolese, Colorno, sommergendo circa 4000 ha di terreno. In corrispondenza della rotta il sottosuolo era eminentemente sabbioso tanto che la corrente creò un gorgo del diametro di circa 80 m, profondo 17 m”.

La relazione redatta dal Servizio di Piena in occasione dell'evento in oggetto riporta interessanti notizie riguardo la condizione del comparto in studio. Il giorno 12, in seguito al rigurgito provocato dalle acque del Po in piena, si ingrossò il Canalazzo Terrieri che minacciava di tracimare a monte; i soprassogli creati non bastarono a scongiurare l'inondazione, quindi si otturò la luce di un ponte per impedire il risalimento delle acque. Anche nel Canale Fumolenta fu necessario riprendere una frana e un fontanazzo con sacchetti. La massima minaccia veniva però dal Po, che con un incessante aumento di portata riuscì a tracimare l'argine golenale fronteggiante l'abitato del comune di Mezzani, che preservava l'argine maestro dal contatto con l'acqua dal 1917. Oltre alle precipitazioni, il rialzo del letto del fiume e forse le coltivazioni, che avevano originato un restringimento della sezione idraulica, furono le cause dell'aumento di livello, tant'è che a valle fu necessario costruire un soprassoglio. Intanto giunse la notizia dello sprofondamento della Chiavica del Bigone, dovuto al progressivo scalzamento della base sabbiosa su cui poggiava la platea, dalla quale furono sradicate le palafitte di fondazione. Lo squarcio, che pare avesse una dimensione di circa 150 m di arginatura di Po, causò l'allagamento del comune di Mezzani e di buona parte di Sorbolo, essendosi prodotte nove frane, di circa 10 m ciascuna, nell'argine destro del Canalazzo Terrieri in località Casalora; le acque si spinsero così fino alla Corte di Frassinara.

Descrizione dell'area in studio

L'area di potenziale allagamento è delimitata su tre lati dall'argine destro del Po, dall'argine destro della Parma e dall'argine sinistro dell'Enza. A sud l'area è delimitata solo dalla naturale acclività del terreno. Per effettuare la simulazione si è costruito un modello digitale del terreno dell'area allagabile e del tratto di fiume Po prospiciente a essa. Sono stati anche descritti i principali rilevati che potrebbero interferire in maniera significativa con la dinamica dell'allagamento. In Fig. 7.1 è mostrata l'altimetria del terreno ricostruita.

Lunghezza e localizzazione della rotta

Dall'analisi delle numerose rotte verificatesi negli ultimi due secoli e riportate da GOVI & TURITTO (2000) si evince che la lunghezza del tratto di argine demolito varia da poche decine di metri a oltre mille metri. La media e lo scarto quadratico medio dell'ampiezza delle rotte, per i 27 casi riportati, sono pari rispettivamente a 327 m e a 313 m. In Fig. 7.2 è riportato l'istogramma di frequenza assoluta¹⁰, dal quale si deduce un valore modale¹¹ compreso nell'intervallo 200-400 m.

La rotta è stata posizionata (Fig. 7.1) in località Mezzano Superiore, dove l'argine è piuttosto prossimo all'alveo del fiume (anche se non in *frollo*¹²) e dove si sono riattivati numerosi *fontanazzi* durante l'evento di piena dell'ottobre 2000. Tale ubicazione, a monte del comparto in studio, può causare una condizione di allagamento particolarmente gravosa, per l'elevata energia di posizione alla quale si trova la massa idrica che fuoriesce dalla breccia. L'ampiezza della breccia è stata assunta pari a 300 m, valore prossimo alla media delle brecce storiche in Po¹³.

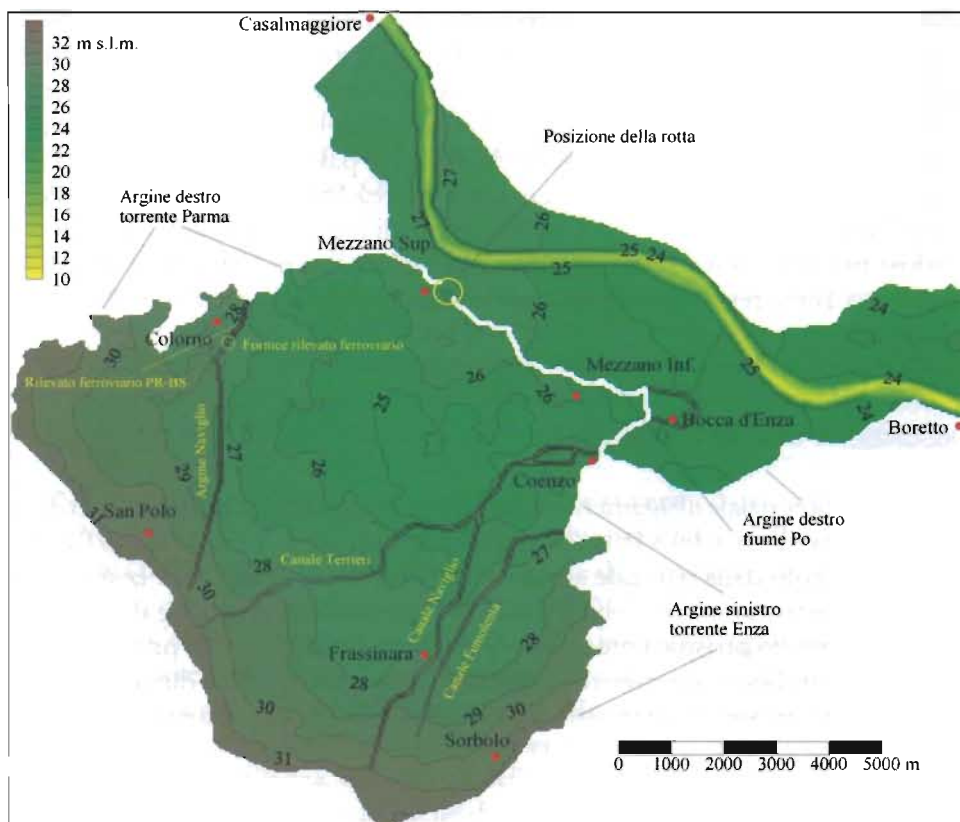
Scenario idrologico

Nella Fig. 7.3 è mostrata l'onda di piena sintetica di tempo di ritorno duecentennale utilizzata¹⁴, dedotta dagli studi effettuati dal Politecnico di Milano per conto dell'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001); partendo già da uno stato preesistente con portata di 8000 m³/s il colmo della piena vie-

Fig. 7.1 - Altimetria dell'area considerata.

Nella pagina a fianco
Fig. 7.2 a sinistra - Istogramma di frequenza dell'ampiezza delle rotte arginali (elaborato sulla base dei dati riportati da GOVI & TURITTO, 2000).

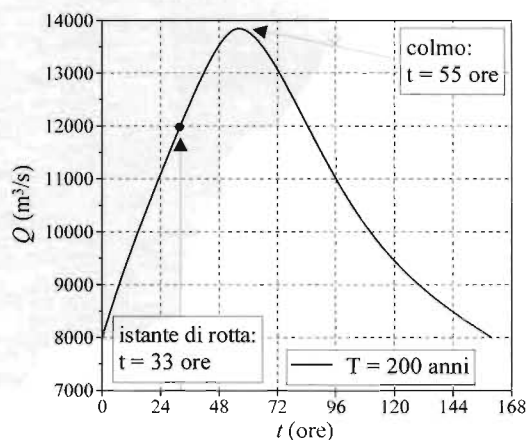
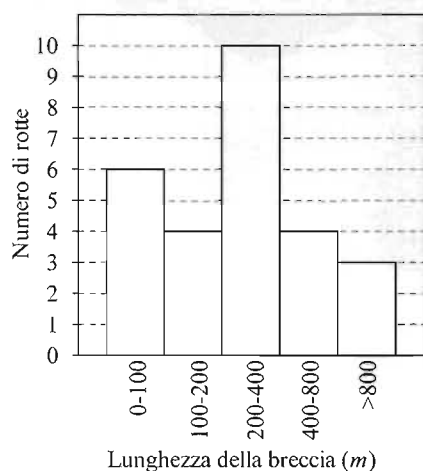
Fig. 7.3 a destra - Onda di piena sintetica duecentennale e istante ipotizzato di rotta.



ne raggiunto dopo 55 ore con un valore di portata di circa $13.800 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dal punto di vista della collocazione temporale della breccia, la situazione più gravosa per l'allagamento si verifica quando la rotta si manifesta nella fase crescente della piena, a causa delle maggiori durate per le quali si mantiene un'elevata portata in arrivo e, di conseguenza, attraverso la breccia; non è però ragionevole anticipare eccessivamente l'istante di rotta rispetto al colmo.

Si è pertanto ipotizzata la rottura in corrispondenza di un valore di portata di $12000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 7.3) e di una quota idrica nei pressi della breccia di circa $30,5 \text{ m s.l.m.}$, ancora contenibile entro le arginature maestre.

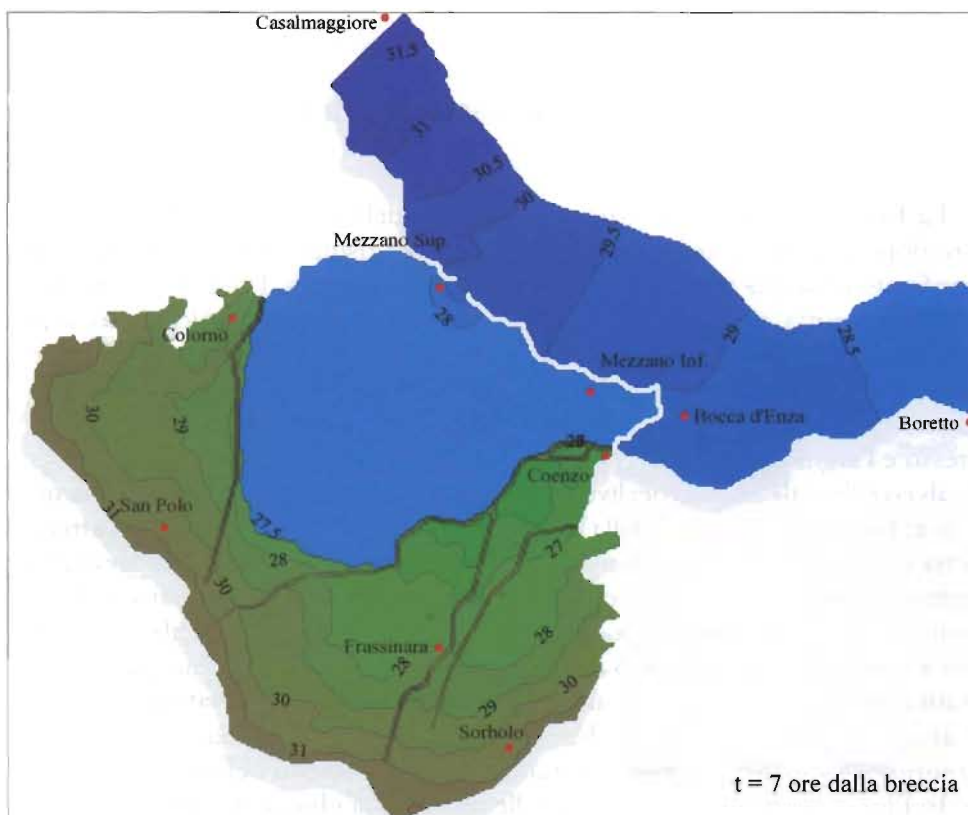
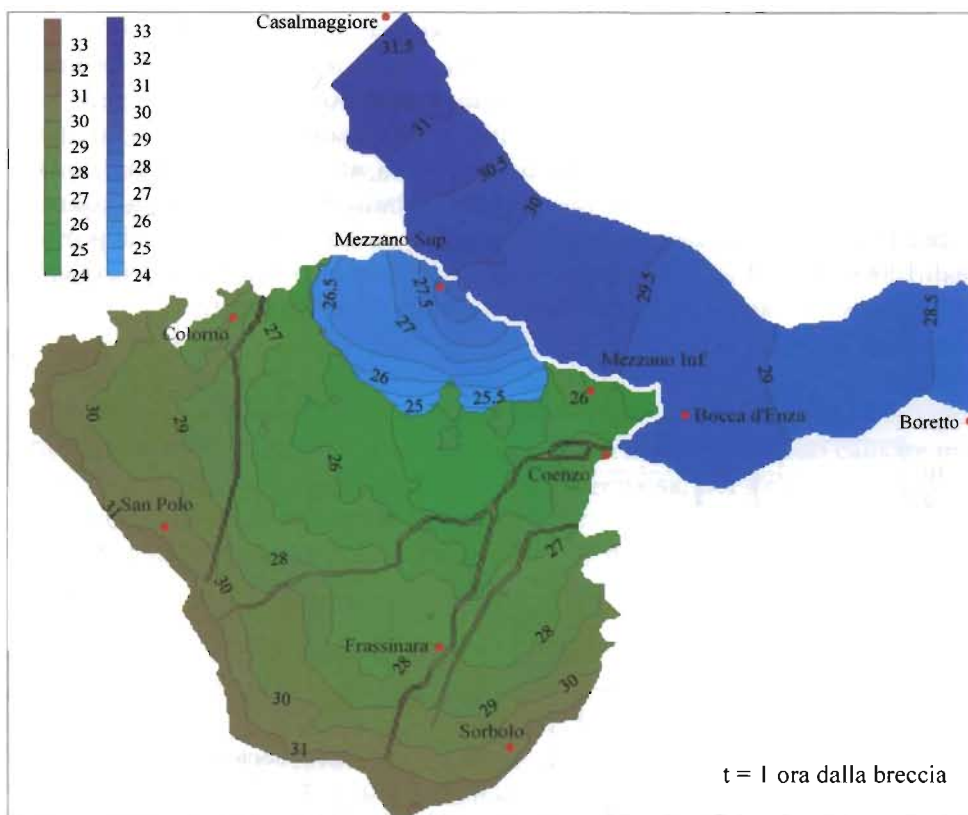


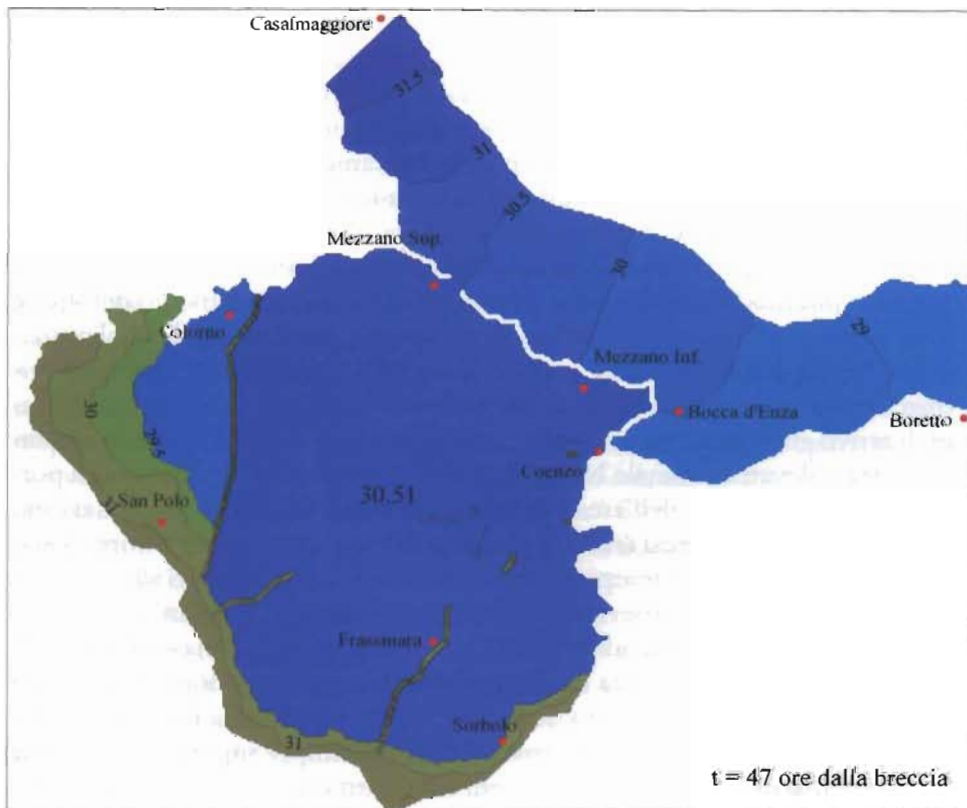
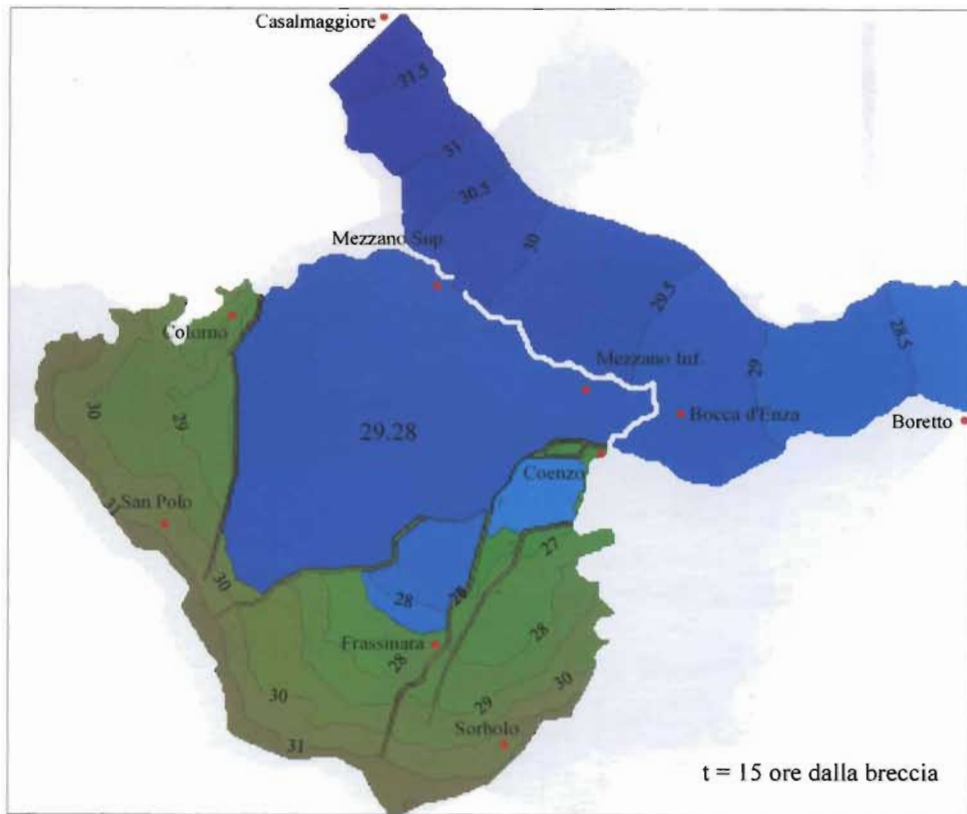
Simulazione dell'allagamento conseguente a una rotta in località Mezzano Superiore

La Fig. 7.4 riporta l'evoluzione temporale dell'allagamento. Nelle prime ore dopo l'apertura della breccia l'allagamento risulta sostanzialmente non confinato e l'acqua si espande liberamente nel territorio. Trascorse 7 ore dall'istante di rotta, si nota come l'acqua sia giunta a ridosso del rilevato a ovest (ferrovia Parma-Brescia che continua nell'argine del Naviglio) e dell'argine del Canalazzo Terrieri e rimanga da essi confinata; dopo 15 ore quest'ultimo argine viene sormontato e l'allagamento prosegue nell'area compresa tra lo stesso e l'argine del Canale Naviglio. A 47 ore dalla rotta il calo della portata in alveo e l'innalzamento dei livelli nella zona allagata sono tali da impedire ulteriori fuoriuscite di acqua dalla breccia. Si raggiunge in questo istante la massima estensione dell'allagamento, che vede coinvolte le località di Mezzano Inferiore, Mezzano Superiore, Coenzo, Frassinara, Colorno e parte di Sorbolo, per un'estensione totale di circa 66 km^2 ; la quota del pelo libero nell'area allagata è pari a circa $30,5 \text{ m s.l.m.}$, e la condizione è ovunque pressoché statica. Poiché tale quota è ovunque inferiore a quella del rilevato ferroviario – argine del Naviglio, si potrebbe evitare l'allagamento della zona a ovest, compreso l'abitato di Colorno, turando i fornicelli presenti nel rilevato stesso.

In Fig. 7.5 è riportata la mappa delle profondità idriche massime; esse superano di poco i 6 m nella zona a nord del rilevato del Canalazzo Terrieri, cor-

Fig. 7.4 - *Evoluzione temporale dell'allagamento (i tempi sono successivi all'istante di rotta).*





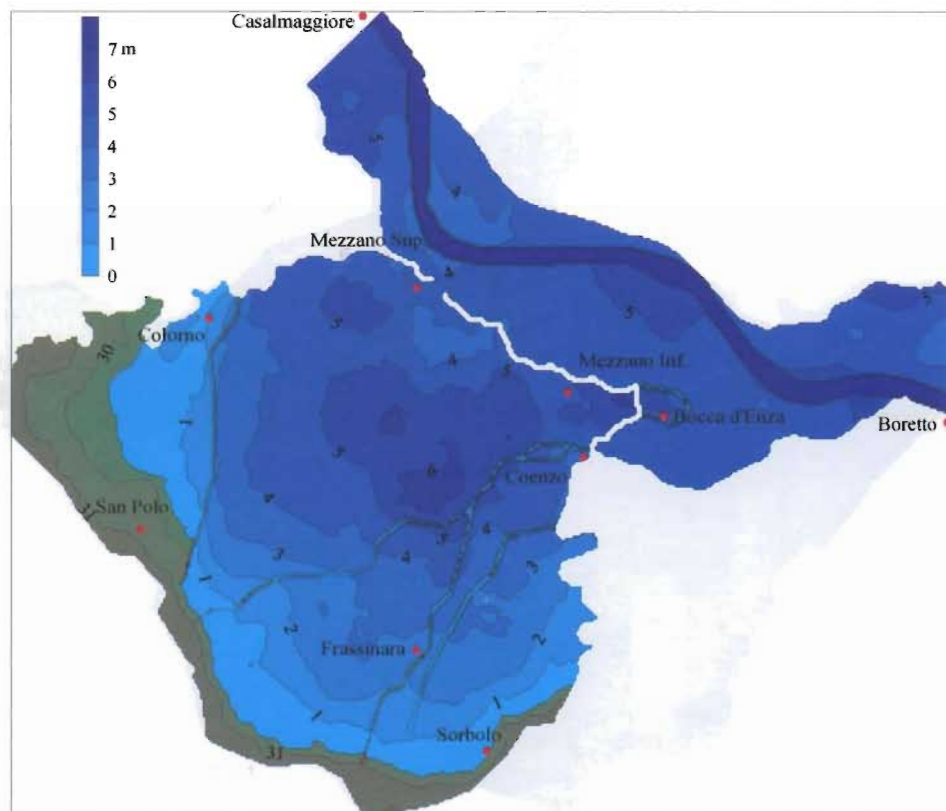


Fig. 7.5 - Massime profondità idriche raggiungibili dalle acque di piena, secondo la simulazione eseguita.

rispondente alla porzione più depressa del territorio coinvolto dall'allagamento. Nella zona nord-occidentale del comparto di allagamento si osservano profondità idriche superiori a 4-5 m. Profondità idriche superiori a 5 m si osservano anche nella zona a sud del Canalazzo Terrieri a causa della tracimazione dello stesso che avviene tra le 7 e le 15 ore successive al cedimento arginale. Le minime profondità si riscontrano ovviamente in corrispondenza dei contorni sud e ovest dell'area allagata, dove a limitare l'inondazione è il graduale innalzamento del terreno. A ovest della ferrovia Parma-Brescia e dell'argine del Naviglio i massimi valori delle profondità idriche sono comparativamente più modesti, inferiori ai 2 m; in questo caso l'allagamento dell'area è dovuto alla presenza dei fornici e non avviene per tracimazione del rilevato.

In Fig. 7.6 è riportato l'andamento dei tempi di uguale avanzamento (*isocrone*) del fronte idrico. A causa della modesta estensione del comparto i tempi di arrivo sono piuttosto brevi (inferiori alle 6 ore) in quasi tutta l'area compresa tra i rilevati del canale Naviglio e del Canalazzo Terrieri. Solo nella porzione sudoccidentale dell'area compresa tra i suddetti rilevati, si osservano tempi di arrivo compresi tra 12 e 24 ore o anche superiori alle 24 ore. A sud del Canalazzo Terrieri i tempi di arrivo del fronte sono superiori alle 12 ore in quanto la presenza del rilevato condiziona fortemente la dinamica dell'allagamento. La zona più meridionale del comparto, in prossimità dell'abitato di Sorbolo, viene poi raggiunta dal fronte idrico oltre 24 ore dopo il verificarsi della rotta. A ovest del rilevato della ferrovia Parma-Brescia e dell'argine del Naviglio si osservano tempi di arrivo del fronte sempre superiori alle 12 ore: l'allagamento indotto dalla sola presenza dei fornici e l'andamento altimetrico dell'area agiscono infatti a favore di sicurezza.

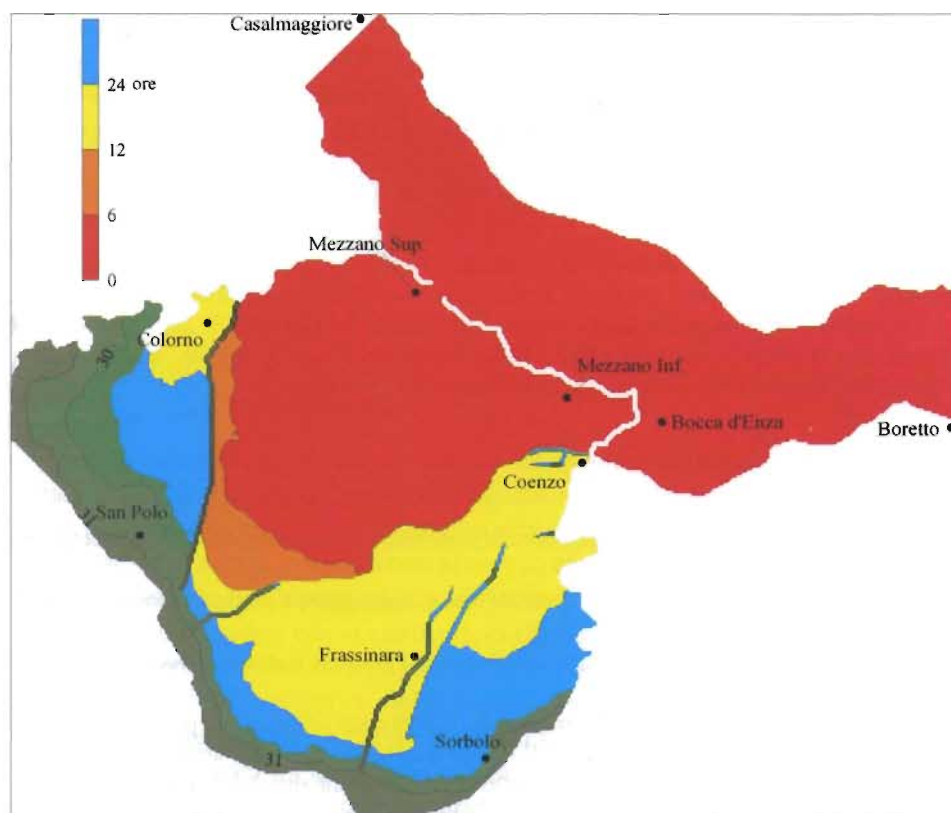


Fig. 7.6 - Tempi di arrivo del fronte di allagamento.

Considerazioni conclusive

Lo scenario prospettato non si sarebbe potuto verificare nel XIX secolo. L'onda di piena assunta in ingresso non avrebbe infatti potuto sopraggiungere nella zona considerata, poiché già a monte si sarebbero verificati sormonti e rotte che avrebbero ridotto il colmo di portata in corrispondenza dell'area in studio. Inoltre, la minore altezza delle arginature del tratto rigurgitato dell'Enza avrebbe permesso il naturale rientro delle acque in Po, anche senza provvedere a rotte artificiali all'uopo realizzate. Il maggiore contenimento operato dai sopralzi arginali che si sono realizzati dopo ogni piena, se da un lato garantisce il contenimento di portate di più elevato tempo di ritorno, dall'altro incrementa la soggiacenza e aumenta l'estensione delle aree potenzialmente soggette a rischio di inondazione a seguito di una rotta, purtroppo sempre possibile. Questi risultati confermano la preoccupazione che faceva scrivere a De Marchi che *“le arginature, da sole, non possono costituire la soluzione definitiva e sicura del problema della difesa dalle inondazioni...”* e sollecitano fortemente a considerare sistemi difensivi più articolati, nei quali ai sopralzi arginali si affianchino interventi tesi a ridurre le portate per assegnati tempi di ritorno. La Regione Emilia-Romagna e il Magistrato per il Po (ora AIPO, Agenzia Interregionale per il Po) hanno aderito a questa sollecitazione realizzando, nell'ultimo trentennio, un sistema di casse di espansione sugli affluenti appenninici del Po che non ha eguali nel territorio italiano. Ciò naturalmente non incide, se non in minima parte, sulle portate di piena del Po, per ridurre le quali occorrono volumi di laminazione di altro ordine di grandezza. Tuttavia gli indirizzi difensivi prospettati dal Piano di Assetto Idrogeolo-

gico (PAI) presentato dall'Autorità di Bacino del Po e approvato in anni recenti (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 1999), che recepiscono queste considerazioni, fanno ben sperare che nel prossimo futuro si possa finalmente invertire la tendenza che ha caratterizzato le sistemazioni dell'asta del Po fino a pochi anni fa.

Un ringraziamento all'Autorità di Bacino del Po per aver acconsentito alla pubblicazione di alcuni dei risultati svolti nell'ambito delle attività di collaborazione.

Un ringraziamento particolare ai miei collaboratori del DICATeA, Ing. Francesca Aureli, Ing. Andrea Maranzoni e Ing. Chiara Ziveri per il loro contributo alle attività di ricerca da cui sono tratti gran parte dei risultati sopra esposti.

Note

1. Lucano, *Pharsalia*, libro VI, in *Lucano: la storia verso la rovina* (trad. di C. Salemmme), Lofredo, 2002.

2. Cesare Zavattini, *E l'uomo creò la terra: il Po tra Casalmaggiore, Colorno, Sabbioneta, Viadana*, Calderini, 1975.

3. Per una completa rassegna delle citazioni sul Po in età romana si veda CALZOLARI (2004).

4. In effetti analizzando i testi di età romana, CALZOLARI (2004, p. 25) perviene alla conclusione che non si hanno prove che il Po fosse dotato di arginature artificiali anche modeste: «l'unico autore che usa la parola *agger* in riferimento alle rive del Po è Lucano [...] ma non è chiaro il senso preciso che egli voleva attribuire al termine».

5. Si intende con il termine "rottazzi" l'erosione ed asportazione di piccole porzioni di arginatura che poi non si sviluppano fino a generare una rotta vera e propria.

6. Il termine *Burrone*, come esposto in precedenti capitoli (1, 2) è equivalente a quelli di *bugno*, *gorgo* e si riferisce allo scavo provocato dalla corrente effluente dalla breccia.

7. I tecnici definiscono questo tipo di rotta *per consenso* o *di risentimento*: la breccia di valle provoca un rapido abbassamento delle acque e un conseguente aumento di velocità nel tratto di alveo immediatamente a monte. Ciò induce maggiori sollecitazioni sull'argine che ne possono provocare il franamento o l'erosione.

8. Come già accennato in precedenza, a queste due rotte sembra debba aggiungersi quella del 1801, della quale però non si hanno notizie certe.

9. È necessario sottolineare che al tempo, in quei luoghi, l'arginatura maestra correva arretrata rispetto alla posizione attuale, intercettando la suddetta chiavica.

10. Dopo aver suddiviso le ampiezze delle rotte storiche in classi, si conta il numero di eventi ricadente in ciascuna classe e se ne costruisce l'istogramma.

11. La moda è la classe alla quale corrisponde la massima frequenza.

12. Con "argine in frodo" si intende una porzione di argine costantemente a contatto con la corrente idrica, ovvero adiacente all'alveo inciso del fiume.

13. L'influenza dell'ampiezza della breccia, così come la sua localizzazione temporale rispetto all'evento di piena transiente in alveo, sono state oggetto di un'analisi di sensibilità, riportata diffusamente in AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2004 a).

14. Con "onda di piena sintetica" si intende un'onda ottenuta, con opportune procedure, a partire dai dati storici di numerose piene in modo tale da sintetizzarne le principali caratteristiche (portata al colmo, volume, distribuzione temporale, ecc.). Si definisce "tempo di ritorno" il numero di anni in cui la grandezza in esame è superata o uguagliata mediamente una sola volta.

8. Idrologia padana all'epoca della Commissione Brioschi

Baldassare Bacchi

Questo capitolo si propone di fornire un quadro sintetico sullo stato delle conoscenze idrologiche all'epoca delle grandi piene del Po occorse nel 1868 e 1872, ma che andavano ripetendosi con sempre maggior frequenza e intensità negli ultimi due secoli, come è stato scritto in altri capitoli di questo volume. Le piene di quei due anni dettero adito alla istituzione della cosiddetta *Commissione Brioschi*, i cui studi e rilievi costituirono la base conoscitiva su cui vennero successivamente fondati tutti gli interventi del neonato Stato Italiano per la regimazione del Po e la gestione delle acque del suo bacino. Ciò con lo scopo di aiutare il lettore odierno a capire il modo in cui venivano effettuate alcune scelte nelle sistemazioni idrauliche e le ragioni delle scelte stesse.

Le considerazioni riportate nel seguito traggono spunto dalle pubblicazioni originali di alcuni fra i più importanti idraulici ottocenteschi che, negli anni precedenti quelle piene, si erano occupati di vari aspetti dell'idrologia fluviale. Fra questi, oltre a qualche lavoro di Francesco Brioschi, va ricordato senz'altro Elia Lombardini, certamente l'idraulico che con più passione e perizia si sia mai occupato di idraulica e idrologia del Po e dei suoi affluenti.

Alcuni antefatti nell'idrografia padana, prima dell'epoca di Francesco Brioschi

La conoscenza idrologica nel corso del XIX secolo andò progressivamente crescendo, in accordo con le esigenze poste dalle tematiche tecnico-scientifiche che la più vasta scienza idraulica cercava di risolvere. Nel corso dell'Ottocento ebbero, infatti, un impulso definitivo gli studi e, soprattutto, le applicazioni mirate a guadagnare territori umidi, allora malsani, all'agricoltura e più genericamente alle attività antropiche; estendere le aree irrigue sull'esempio di quanto da secoli avveniva nell'area padana e soprattutto nella Lombardia; provvedere alla regimazione idraulica di importanti corsi d'acqua ai fini della protezione dei territori inondabili dalle piene, da un lato, e della navigazione, dall'altro. Su quest'ultimo aspetto, comunque, l'affermarsi progressivo delle comunicazioni e del trasporto delle merci sulle strade ferrate, più semplici da costruire e da gestire, e che consentivano comunicazioni più rapide, diede un colpo mortale allo sviluppo della navigazione interna, che non sarebbe stata più considerata obiettivo strategico da parte delle amministrazioni, che si sono rapidamente succedute in quel secolo. Concentrando l'area di interesse di questo scritto principalmente sul bacino del Po, bisogna

infatti ricordare che solo nella seconda metà dell'Ottocento, con la costituzione del Regno d'Italia, questo territorio raggiunse una quasi totale unità politico-amministrativa, adeguata allo sviluppo di omogenee strategie di intervento per la gestione del bacino. Nei primi decenni del secolo, invece, si assisteva a una suddivisione del territorio in una pletora di stati sovrani: il Piemonte (con Aosta), il Ducato di Parma e Piacenza, il Ducato di Modena e Reggio, il Lombardo-Veneto (amministrato dall'Impero Austriaco), lo Stato Pontificio e, limitatamente alla parte prelacuale del Ticino, la Svizzera. Tale frammentazione e quella ancora maggiore che si ebbe nei secoli precedenti¹ avevano indotto una serie di consuetudini nelle tecniche di regimazione e gestione delle acque, anche abbastanza differenti e contrastanti. Esse, talvolta, trovavano giustificazione nella natura stessa del territorio; tal'altra, invece, provenivano da abitudini sviluppatesi in epoche in cui lo scambio di informazioni era piuttosto difficoltoso, quando non impedito da rivalità politiche e interessi di parte. Ad esempio, la regimazione dei corsi d'acqua veniva propugnata con misure trasversali (pennelli) dagli idraulici pontifici, mentre venivano preferite misure radenti (gabbionate, muri di rivestimento ecc.) da quelli della "scuola lombarda". Anche le misure e le pendenze dei paramenti arginali, sia lato fiume che lato campagna, erano differenti nelle varie zone, così come gli spessori e le quote sommitali. Queste considerazioni le ricorda il LOMBARDINI (1865) in più punti del suo lavoro sulla sistemazione della pianura tra Enza e Panaro.

La meteora napoleonica, sorta ai primi dell'Ottocento e rapidamente svanita, fece comunque avvertire alle popolazioni della valle padana alcuni effetti conseguenti all'unità politica. Ad esempio, un'annosissima questione sorta tra i comprensori di bonifica in destra Po, compresi tra l'Enza e il Panaro, e la città di Ferrara venne risolta, dopo le ultrasecolari discussioni, a favore dei primi col consenso allo scarico delle acque di scolo dei comprensori della Parmigiana-Moglia e del Cavo di Burana nel Po di Ferrara. Lo scolo sarebbe avvenuto tramite una botte a sifone sottopassante il Panaro. Senza entrare nei dettagli della questione, magistralmente ricostruita e analizzata da LOMBARDINI (1865), va ricordato che fino al Quattrocento molte delle aree in destra Po, delimitate a sud dalle conoidi dei fiumi appenninici che vanno all'Enza al Panaro e a nord dagli argini e dai contrafforti del Po, erano paludi, normalmente navigabili con piccole imbarcazioni (ADANI *et Alii*, 1990). Sul finire del 1400 vennero intraprese delle opere di bonifica fra le quali una delle prime, e più importanti, fu la cosiddetta bonificazione Bentivoglio, dal nome del Marchese Cornelio Bentivoglio, signore di Guastalla, che intraprese le opere di sistemazione ideate da Pellegrino Demicheli, fattore di Ferrante Gonzaga, signore di Guastalla nel secolo precedente. Successivamente altre ne seguirono (SALTINI, 2005), fino al pressoché completo prosciugamento di quelle zone, che persero la navigabilità, ma acquisirono grande valore economico per la importante redditività dei terreni e consentirono un miglioramento straordinario della condizione igienico-sanitaria con la drastica riduzione della malaria. La inalveazione del Panaro, che venne innestato in Po alla Stellata tramite l'antico alveo del Po di Ferrara, costrinse un vasto comprensorio tra la destra Secchia e il Panaro a scaricare le acque, tramite chiavi-
che, in quest'ultimo. Nei momenti, però, in cui il Po era in piena e faceva rigurgitare² il Panaro, le quote del pelo libero del ricettore erano tali da non consentire lo scarico delle acque delle bonifiche. Ragion per cui i consorziati

chiedevano la possibilità di scaricare le acque di scolo del proprio territorio, peraltro chiare e con portate abbastanza ridotte, nel Po di Ferrara. I cittadini di questa città, temendo difficoltà per i propri scarichi e per quelli delle bonifiche ferraresi che andavano progressivamente prosciugando i terreni intorno al ramo di Volano, rifiutarono sempre, finché fu loro possibile, di accogliere quella ragionevole richiesta.

Né del resto andò meglio con altre vicende, come quella della inalveazione del Reno di Bologna. La vicenda, raccontata anche con una certa arguzia da TORNANI (1882), ricorda che anche in questo caso i vari stati e le città interessate allo scolo delle acque del Reno non sono riusciti a trovare alcun accordo per diversi secoli. Fino alla metà del Quattrocento il fiume spagliava³ nelle valli ferraresi in destra Po. Successivamente, nel 1460, stipulata una convenzione tra Bolognesi e il duca Borso di Ferrara, esso venne inalveato fino a sboccare in Po. La sistemazione doveva però avere vita breve perché già nel 1497 il Reno cambiò corso a seguito di una rotta. Seguirono interminabili discussioni e sistemazioni più o meno avventizie con intervento di Papi, Imperatori, e finanche del Cardinale Borromeo, assistito dal matematico Giovan Domenico Cassini. Ma anche gli interventi degli idraulici più illustri, come il Guglielmini, e dei suoi allievi Eustachio Manfredi o Bernardino Zendrini non sortirono alcun effetto. Tutti gli Stati e Comuni interessati erano assistiti da consulenti valenti e agguerriti che rigettarono progressivamente qualunque soluzione. Solo alcuni interventi d'autorità sortirono effetti, ma non sempre positivi. Il governo napoleonico voleva recapitare il Reno in Panaro. I lavori iniziati alacramente terminarono miseramente, sia per mancanza di fondi (spesi nella campagna di Russia), sia per la cancellazione del Regno d'Italia napoleonico. Anzi, le opere parzialmente eseguite, mancando lo sbocco dei canali, ebbero l'effetto di provocare impaludamenti di aree prima più salubri. La attuale sistemazione, perciò, è sostanzialmente corrispondente a quella eseguita nella seconda metà del 1700; che venne ordinata dalla Sacra Congregazione delle acque con la direzione dei lavori affidata a Padre Lecchi, stimato matematico e idraulico di quell'epoca. Ma l'argomento principale, di cui ci si vuole occupare brevemente in questa nota, è l'idrologia padana nell'Ottocento, per cui appaiono sufficienti i brevi cenni storici sopra indicati e si rimanda, per approfondimenti che interessassero il lettore, alla bibliografia citata e al recente volume monografico sulle bonifiche dell'Emilia-Romagna di SALTINI (2005).

Alcune precisazioni

Va anzitutto chiarito che il concetto di *idrologia* degli ingegneri idraulici dell'Ottocento era abbastanza diverso da quello che progressivamente ha assunto nel corso del secolo successivo; concetto che è poi divenuto quello attuale. Oggi l'idrologia, intesa come branca tecnico-scientifica dell'ingegneria idraulica, è la scienza fisico-naturalistica o, come qualcuno preferisce, geofisica, che si occupa della descrizione, analisi e sintesi, tramite schemi matematici fisici e statistici, della fase terrestre del ciclo dell'acqua. In questo senso, costituiscono oggetto dell'idrologia lo studio della distribuzione spaziotemporale delle piogge, e delle cause che, a macro-scala (vale a dire a scala regionale, di bacino idrografico principale), le determinano, nonché lo studio di

tutti i processi da queste innescati al suolo (infiltrazione, filtrazione, evaporazione, traspirazione, ruscellamento superficiale, scorrimenti ipodermici e profondi, propagazione delle piene⁴ ecc.) fino alla restituzione al mare dei deflussi. Costituiscono, invece, scienze a sé stanti lo studio della dinamica atmosferica, oggetto della *meteorologia*, e quello della meccanica del moto delle acque nei reticoli idrografici e nei canali, oggetto dell'*idraulica*. Nel XIX secolo, invece, la minore disponibilità di osservazioni dirette sui processi e la mancanza degli strumenti matematici (e numerici) interpretativi portavano a considerare una ben più vasta estensione delle fenomenologie idrologiche, includendo nell'idrologia fluviale lo studio di molti processi che, successivamente, avrebbero avuto una differente collocazione. Ad esempio, lo studio della morfologia degli alvei e del trasporto solido, oggi sostanzialmente affrontato coi metodi della meccanica dei fluidi, costituiva allora una parte essenziale delle conoscenze idrologiche. Molte di quelle considerazioni e osservazioni, che avrebbero costituito la base conoscitiva naturalistica della meteorologia, facevano anch'esse parte del bagaglio conoscitivo dell'idraulico pratico. A fronte della vastità delle tematiche, peraltro, la carenza di dati "positivi", come allora venivano chiamate le osservazioni dirette e sperimentali, costringeva gli ingegneri idraulici a elaborare modelli concettuali, che successivamente avrebbero costituito la base per lo sviluppo della scienza del Novecento.

I dati sperimentali

Nel corso del XIX secolo, anche a seguito dell'impulso culturale dato alla scienza e alla tecnica dalle teorie filosofiche illuministe e positiviste, le conoscenze fisiche e naturali fecero enormi progressi. Anche l'ingegneria idraulica, suddivisa nella sua componente teorica (che oggi chiameremmo meccanica dei fluidi) e la sua componente pratico applicativa, trasse gran beneficio da questo clima generale. Ma mentre, entro certi limiti, la formulazione dei modelli meccanici poteva progredire attraverso le applicazioni analitiche a puri modelli concettuali di fluido, lo sviluppo delle applicazioni pratiche era fortemente condizionato dalla carenza di osservazioni dirette sui fenomeni di massimo interesse. In particolare, come emergeva proprio negli anni di interesse della pubblicazione (BRIOSCHI, 1867) la soluzione dei problemi di massimo interesse dell'epoca (bonifica delle aree paludose e drenaggio dei terreni recuperati; irrigazione delle alte, medie e basse pianure; navigazione interna; protezione idraulica del territorio) richiedevano conoscenze pluviometriche, idrometriche e termometriche allora non disponibili. In un dibattito allora sviluppato, si riconosceva, peraltro, da parte di tutti e con grande onestà intellettuale, la necessità che a occuparsi della raccolta, validazione e pubblicazione dei dati fosse un'agenzia operante a livello nazionale. Almeno in Italia, infatti, gli scarsi dati storici disponibili, raccolti in base alla buona volontà di singoli solerti funzionari, sensibili al problema, che utilizzavano parte delle risorse loro destinate da parte dei governi locali, erano raccolti con differenti criteri, relativi a valori di riferimento (ad esempio la quota degli zeri idrometrici) dettati dall'istinto e dalla sensibilità di chi istituiva, o gestiva, il servizio, e non da comuni esigenze, estese quantomeno alla scala di bacino idrografico.

A questo proposito va ricordato che abbastanza recentemente il Governo

Italiano (Decreto Legislativo del 31-3-1998, n. 112) ha decretato lo smantellamento dei servizi tecnici nazionali, e in particolare del Servizio Idrografico, e il passaggio degli uffici periferici alle Regioni. Tale operazione era stata giustificata dalla necessità di recuperare efficienza di un Servizio in fase di progressivo degrado a causa delle perdite delle strutture tecniche di supporto qual era il Genio Civile fino alla metà degli anni Settanta del secolo scorso. Tuttavia, date le difficoltà insite nella costituzione di nuove strutture, l'operazione non ha finora prodotto apprezzabili benefici in termini di disponibilità di nuovi dati per gli operatori tecnico-scientifici interessati. Per contro pare prevalere la tendenza, da parte degli uffici regionali, a formulare dei criteri locali sia sulla densità e ubicazione delle stazioni, sia per quanto concerne la trasmissione dei dati, sia per la loro validazione, sia, infine, per la disseminazione dell'informazione. Ad oggi, infatti, ottenere i dati idrologici relativi a un qualunque corso d'acqua italiano è divenuto piuttosto difficoltoso, non essendo mai del tutto chiaro a chi rivolgersi e a quali condizioni. Questa operazione di frammentazione delle competenze, in controtendenza con quanto era avvenuto con l'Unità d'Italia, riporta concettualmente l'organizzazione dei servizi proprio alla situazione del XIX secolo, sebbene con condizioni tecnologiche e conoscitive ben differenti.

L'accessibilità dei siti, e la gestione delle stazioni di misura è sempre stato un problema. Nel corso di quel secolo (XIX), e fino all'istituzione del Servizio Idrografico Italiano, le pochissime stazioni venivano ubicate nei luoghi più comodi per gli operatori, negando, nei fatti, la possibilità di fornire utili contributi alla soluzione delle problematiche aperte. Le stazioni pluviometriche, allora dette "*udometriche*" (e "*udometro*" era indicato il pluviometro), erano ubicate nelle città più importanti, presso osservatori astronomici e meteorologici. Esse, quindi, fornivano informazioni che solo parzialmente erano indicative degli afflussi ai bacini, per cui la validità delle estrapolazioni, che venivano fatte a zone vicine, dipendevano fortemente dalla conoscenza che il tecnico che le effettuava aveva delle corrispondenti situazioni meteo-climatiche. Da questo punto di vista è sorprendente come la sensibilità dei migliori ingegni fosse tale da condurre a buon fine, con semplici elaborazioni e induzioni, stime di livello e di portata nei vari tronchi fluviali, che oggi richiedono l'uso di strumenti di calcolo piuttosto sofisticati. È questo, ad esempio, il caso delle stime che dei livelli di piena, e di rigurgito, venivano fatte sia in presenza che in assenza di rotte e rottazzi delle arginature.

Relativamente al bacino del Po, all'epoca della Commissione Brioschi, oltre a una decina di stazioni pluvio-termometriche nelle principali città della pianura padana (Torino, Milano, Pavia, Parma, Modena⁵, Bologna ecc.), sedi di Università o già capitali di Stati pre-unitari, esisteva un esteso sistema di misura dei livelli idrometrici⁶ sull'asta del Po, tra Torino e Pontelagoscuro, quasi coincidente con quello attuale. Soprattutto queste ultime stazioni erano state progressivamente installate in relazione al fondamentale interesse dei governi, e delle popolazioni, per le piene del Po e per la salvaguardia dei territori della bassa pianura; nonché per rispondere in modo corretto alle molteplici problematiche della bonifica dei territori circostanti. Esistevano comunque anche importanti idrometri sui principali affluenti, anche questi installati col molteplice obiettivo dello studio delle piene, ai fini della difesa idraulica, quello delle magre, per la stima delle disponibilità idriche in relazione alle necessità irrigue e della navigazione, e quello dei livelli medi, connessi alla valutazione del-

le disponibilità idriche complessive. Aste graduate in marmo (quasi sempre *Biancone* di Verona), chiamate spesso con idronimi, dai fiumi di riferimento (padimetri per il Po, tiberimetri, atesimetri, nilometri, ecc. per gli altri corsi d'acqua corrispondenti) erano ubicate qualche volta anche a significativa distanza dell'asta fluviale, al fine di segnare i livelli raggiunti progressivamente dalle massime piene che, a seguito delle rotte, inondavano con discreta frequenza le piane circostanti il fiume. Per il Po ricorderemo quello famoso di Ferrara (LEZIROLI, 2005) e i tanti altri, minori, come quelli di Bondeno (CIARMATORI, cap. 1 in questo volume), Gualtieri, Sermide, sparsi anche nelle campagne, allagate dalle acque del Po a partire dal secolo XVII.

Per lo più le osservazioni pluviometriche giornaliere erano effettuate da funzionari degli "osservatori udometrici" e trascritte, talvolta insieme ad altre informazioni (coperture nuvolose, temperature ecc.) in appositi registri. Le osservazioni idrometriche, anche queste normalmente giornaliere (talvolta, più raramente, con frequenza maggiore, soprattutto nel corso delle piene), venivano fatte tramite lettura diretta da parte di incaricati dei consorzi irrigui e di bonifica, o di altri enti, dediti alla installazione e cura della stazione. Soprattutto lungo l'asta del Po, lo *zero idrometrico* coincideva spesso col livello della magra ordinaria⁷, mentre i *livelli di guardia* erano stabiliti in relazione all'altezza delle arginature. In alcuni casi comunque, come quello della stazione di Pontelagoscuro, i due livelli, lo zero e la guardia, erano coincidenti. In proposito, va però precisato che il servizio di piena inizia quando viene raggiunto il livello +1 m sullo zero idrometrico, ovvero al livello delle golene. Sempre a Pontelagoscuro, lo zero, a sua volta si trova a 8,51 m, ovvero a 8,24 m sul cosiddetto *comune marino*, media dei livelli dell'alta marea.

A fronte della relativa abbondanza di stazioni di misura dei livelli, sulla cui elaborazione e interpretazione gli idraulici pratici ottocenteschi erano abilissimi⁸, piuttosto carenti erano le scale delle portate. Abbastanza incerte erano, quindi, le stime di portata⁹ conseguenti alle piene.

In una rassegna delle formule empiriche allora in voga per la costruzione delle scale di portata di moto uniforme (BRIOSCHI, 1887), non si manca di ricordare come queste, tarate per specifiche sezioni idrometriche, siano generalmente destinate a fornire estrapolazioni poco attendibili per altri corsi d'acqua. Infatti, sebbene fosse noto dall'esperienza che le scale di portata dipendevano dalla pendenza del pelo libero e dalle caratteristiche idrauliche (scabrezze relative¹⁰) e geometriche (tirante idrico, area, contorno bagnato¹¹) della corrente, non erano ancora state formulate teorie idonee alla sintesi globale della massa di dati sperimentali che si andavano progressivamente accumulando. Né, peraltro, ancora oggi esiste una qualche relazione universalmente riconosciuta valida per la interpolazione dei dati sperimentali portata-livello. Esistono piuttosto alcune formulazioni empiriche, sostanziate dall'esperienza, cui i tecnici fanno riferimento per tali interpolazioni. Alcune espressioni matematiche utilizzate a questo scopo sono del tipo: $Q = a h^n + b$ oppure $Q = a (h - h_0) + b$ ove a , n , b e h_0 sono i parametri da determinare in base alle misure di portata, Q , e di livello, h .

Del resto le poche scale di portata sperimentali di moto permanente (cioè le relazioni $Q-h$ cui si è appena accennato) erano per necessità limitate a valori di portata e livello abbastanza bassi. Questo fatto, ancora oggi, si spiega per l'impossibilità di misurare portate con valori elevati dell'altezza idrica, in quanto non si potrebbe garantire la sicurezza degli strumenti e, talvolta, quella degli stessi operatori, che rischierebbero di essere travolti dalla piena. La stima

delle portate corrispondenti ai tiranti più elevati veniva quindi operata (e viene ancora spesso fatta) estrapolando le curve empiriche o semi-empiriche che rappresentano la relazione portata-livello per le portate più basse. Poiché l'idrodinamica dei processi coinvolti non era del tutto chiara, tali scale di portata potevano presentare delle incongruenze per cui al crescere del livello si aveva dapprima una crescita della portata che tornava poi a diminuire superato un certo valore massimo.

Sul Po, le misure di portata, fino alla seconda metà dell'Ottocento, venivano effettuate con aste ritrometriche¹², sebbene da tempo fossero note e diffuse quelle coi mulinelli¹³ idrometrici. La tecnica di misura coi mulinelli fu quella utilizzata da Baumgarten in Francia per misurare le portate della Garonna, mentre Humphreys e Abbot nel loro studio per la sistemazione del Mississippi, ordinato dal Governo degli USA a seguito delle grandi piene che ne avevano allagato le piane alluvionali, avevano utilizzato galleggianti zavorrati (LOMBARDINI, 1846 e 1870). In genere comunque, anche per la rapidità di operazione che consentivano, la maggior parte delle misure di velocità nei fiumi veniva effettuata tramite galleggianti. Dalla velocità media superficiale si passava a quella media sulla sezione tramite opportuni coefficienti riduttivi.

È curioso osservare che all'epoca gli idraulici più famosi si conoscessero fra loro, si incontravano ai convegni internazionali e leggevano senza difficoltà le quattro lingue (inglese, tedesco, francese e italiano), con le quali si scrivevano i più importanti lavori di idraulica. Era ancora infatti molto in voga la lettura del Guglielmini, tenuto in altissima considerazione per la profondità dei suoi studi sul moto delle acque (GUGLIELMINI, 1821).

Le elaborazioni dei dati

Nell'Ottocento la massima importanza venne data all'elaborazione dei dati idrometrici sotto due aspetti. Da un punto di vista prettamente idrologico venne sviluppandosi la pratica, magistralmente sintetizzata dal LOMBARDINI nel suo studio sulla statistica dei fiumi, di ricostruire gli stati d'acqua dei fiumi a partire dalle osservazioni di livello (LOMBARDINI, 1846). In sostanza ci si era resi conto che in molte situazioni, pur con qualche approssimazione, si potessero collegare con relazioni ragionevolmente univoche le portate transitanti in una data sezione ai livelli osservati nella stessa. In pratica si ammetteva che in condizioni sufficientemente stazionarie, cioè con livelli stabili, la relazione tra portate e livelli potesse essere considerata anch'essa stabile. L'ipotesi non era fondata su mere convinzioni personali, bensì era supportata dalle osservazioni idrometriche contemporanee effettuate su lunghi tratti di aste fluviali prive di significative immissioni o derivazioni (ad esempio il Panaro o la Secchia nei loro tratti terminali). Nacquero così le prime scale di portata di moto permanente (cioè le relazioni portate-livello in condizioni di stabilità temporale del livello) fra le quali ebbe grande importanza quella del Po a Pontelagoscuro formulata dal Possenti. Sempre il Lombardini, per primo in Italia, cercò di formulare tali relazioni per i corsi d'acqua lombardi, notizia ricordata dal TURAZZA (1867). Si comprende quindi l'importanza conoscitiva della geometria delle sezioni rilevate dalla Commissione Brioschi, indispensabili insieme al rilievo altimetrico per la stima delle relazioni portate-livelli nei vari tronchi di Po.

Sulla scorta delle osservazioni vennero stabiliti i “moduli”, cioè le portate medie annuali, e le “tenute” (nomi inventati da Lombardini), ovvero l'estensione dei periodi di tempo durante i quali i livelli si mantengono entro prefissati valori non troppo discosti tra loro, e le altre grandezze atte a caratterizzare l'idrologia di un bacino. Relativamente alle “tenute”, va sottolineato che esse sostanzialmente corrispondono a quei tratti sub-orizzontali delle curve di durata delle portate, o meglio dei livelli, e che erano, e sono, fondamentali per stabilire le portate disponibili per gli impieghi agricoli, industriali e della navigazione. Solo portate di alte “tenute” possono infatti essere di effettiva utilità per i vari impieghi.

Un altro aspetto interessantissimo consentito dall'elaborazione dei dati idrometrici era la possibilità di studiare le caratteristiche idrologiche e climatiche dei corsi d'acqua. Nel citato lavoro di sintesi del LOMBARDINI (1846), l'Autore rendiconta i principali studi fatti in Italia e a livello internazionale. Relativamente alle conoscenze disponibili, vi è il resoconto dell'idrometria del Nilo, basata sui dati del Nilometro del Cairo, e di quella del Rio delle Amazzoni, ma anche quella dei principali fiumi europei e di quelli italiani, in particolare Adda, Po, fiumi appenninici, e Tevere.

Nel lavoro vengono riportati anche dei tentativi di ricostruzione del bilancio idrologico di questi fiumi operando spesso ragionevoli congetture sia sugli afflussi che sui deflussi dei loro bacini. Ad esempio, viene riportata l'analisi degli afflussi-deflussi del Tevere, il cui idrometro, posto a Ripetta¹⁴, era stato fatto installare dal Venturoli, che ne aveva stimata la scala di portate con la formula di Eytelwein. Sulla scorta dell'analisi delle oscillazioni stagionali delle portate, il Lombardini desume che ben oltre la metà dei deflussi osservati sono da attribuire a circolazione sotterranea, molto più modulata rispetto ai rapidi deflussi superficiali di fiumi come il Po. Anche del Nilo viene valutata la perennità, cioè la relativa modestia delle oscillazioni stagionali, attribuita a un comportamento di tipo “lacuale” delle sorgenti e della sua asta. In sostanza la lunghissima valle fluviale, con la possibilità di espansione e invaso delle piene, produceva, secondo l'Autore, un effetto di laminazione del tutto simile a quello che le piene subiscono nel transitare attraverso un lago.

Nello stesso lavoro veniva introdotto il concetto di *coefficiente di deflusso*¹⁵ e questo parametro insieme ai *contributi specifici*¹⁶ venivano utilizzati come termini di paragone tra i corsi d'acqua, diversi sia come regime sia come ubicazione geografica. Altro parametro fortemente caratterizzante l'idrologia era il *regime* dei deflussi. Questi venivano nettamente distinti tra quelli alpini, con massimo estivo dovuto al congiunto scioglimento delle nevi e piovosità intensa dei fenomeni temporaleschi, ai regimi “iemali”, come quello della Senna, del Tevere e dei tanti altri corsi d'acqua appenninici, in cui le massime portate erano connesse alle piogge invernali. Accanto a questi regimi, per così dire opposti, erano poi noti i vari regimi intermedi (sub-litoranei) che rappresentano combinazioni più o meno articolate dei precedenti. Mentre oggi queste informazioni sono dati acquisiti della conoscenza geografica e idrologica, non lo erano nell'Ottocento quando mancavano financo delle stime attendibili delle aree dei bacini imbriferi. Naturalmente era anche ben noto che le nevicate dell'autunno-inverno, nei regimi alpini e similari, fornivano poi grandi contributi primaverili. Si comprendeva, quindi, l'importanza delle misure pluviometriche e nivometriche, ma giustamente, data anche la difficoltà di mi-

surare queste ultime in alta quota, la massima importanza era dedicata alle misure di livello fluviale dalle quali venivano poi dedotte le portate.

La morfologia fluviale e le evoluzioni storiche

Studiando le possibilità di sistemazioni delle pianure collaterali il medio e basso corso del Po, il LOMBARDINI (1865) si rese conto delle grandi divagazioni che il letto di questo fiume aveva subito in epoca storica e documentabile. Attingendo a fonti storiche originali e a resoconti di altri studiosi, l'Autore, che si riteneva fondatore di quella disciplina che chiamò "geologia storica"¹⁷, si rese conto che gli spostamenti dell'asta fluviale non erano soltanto quelli che ordinariamente interessano un fiume caratterizzato dalla formazione di meandri e dalla loro normale evoluzione, come l'erosione di una sponda *in botta* (cioè dove batte la corrente), la progressiva evoluzione fino a formare il meandro, poi l'approfondimento del meandro e suo salto o taglio: essi erano dovuti anche a una trasmigrazione molto più rilevante, con spostamento di molti chilometri in direzione trasversale all'asse. Nel caso del Po, il LOMBARDINI (1865 e 1867-68) attribuiva questi spostamenti alla forza esercitata dagli affluenti appenninici che con le loro alluvioni costringevano a spostare verso nord l'asse fluviale. A questa tesi aderirono, sino a tempi molto recenti, molti studiosi, che si sono occupati del problema (come NATALE, 1993). Secondo queste teorie, che recuperano tuttavia le antiche interpretazioni, essenzialmente il corso attuale del Po è il risultato di due fattori: da un lato, la sua tendenza naturale a divagare e spostare il proprio alveo secondo criteri di efficienza idraulica connessa alla situazione topografica della pianura e alla sue variazioni e, dall'altro, la non meno importante attività di arginatura¹⁸, principale e secondaria, che ha definitivamente limitato gli spostamenti trasversali d'alveo. Ciò ha consentito la sistemazione delle aree umide e paludose intorno al fiume e ha guadagnato territori di svariate migliaia di chilometri quadrati posti lungo l'asta alle attività agricole.

La planimetria generale del Po e degli affluenti, secondo le nuove interpretazioni, è in gran parte condizionata dalle strutture tettoniche sepolte, in particolare da quelle delle pieghe frontali dell'Appennino, talora subaffioranti soprattutto nell'Oltrepò mantovano e nella bassa pianura modenese presso Mirandola, e dai relativi movimenti tettonici anche recenti, che si manifestano anche in superficie attraverso alcuni segni esplicativi e tali da controllare l'evoluzione della rete idrografica (PELLEGRINI, 1969). Da un lato si ha una sorta di basculamento generale che solleva la parte occidentale della pianura e ne deprime quella orientale verso la foce. Il basculamento produce anche l'innalzamento della parte di pianura subappennina e l'abbassamento di quella subalpina: a questo proposito si vedano le note dei ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (BURRATO *et Alii*, 2002, BURRATO *et Alii*, 2003, CIUCCI *et Alii*, 2002, DE MARTINI *et Alii*, 1998), che in termini più aggiornati e analitici ripropongono lo schema evolutivo proposto da PELLEGRINI (1966) per il Po tra Guastalla e Ficarolo.

Lo spostamento verso nord dell'asse del Po ha provocato una forte deviazione dei corsi dell'Adda, dell'Oglio e del Mincio che mutando l'andamento nord-sud, di minima distanza dal recipiente, a un certo punto del loro percorso deviano decisamente verso est assumendo una direzione sub-parallela a quella del Po¹⁹.

In epoca romana il Po, almeno sino a Ficarolo (località della Provincia di Rovigo), si trovava già nell'attuale posizione e le differenze rispetto a quella attuale dovevano essere irrilevanti, riguardando una divagazione, per erosioni di sponda, taglio e creazione di nuovi meandi, contenuta una fascia molto ristretta, al massimo di un paio di chilometri (CALZOLARI, 2004, PELLEGRINI, cap. 3 in questo volume). L'ultimo grande cambiamento di percorso era avvenuto nell'VIII secolo a.C. (si veda ad esempio CASTALDINI, 1996), quando la foce dell'Oglio (l'antica Zara) era posizionata all'incirca presso San Benedetto. In seguito allo spostamento verso nord dell'asta del Po (VIII sec. d.C.) questo fiume venne intercettato a Scorzarolo, passando attraverso posizioni parallele a quest'ultima e progressivamente più settentrionali²⁰.

Le maggiori differenze di percorso riguardavano gli affluenti. Sempre a questo spostamento del Po verso nord, avvenuto in età medioevale, si accompagnarono anche variazioni nelle posizioni di influenza di tutti i tributari. Il Mincio, che raggiungeva il mare tramite l'impluvio del Tartaro, venne costretto a sboccare in Po per l'ostacolo creato dalle alluvioni del nuovo alveo dell'Adige (589 d.C.). L'Adda fino al 1000-1100 d.C. si univa al Po presso Farisengo, ben 14 km più a valle dell'attuale confluenza. Anche il Lambro e l'Olonza avevano confluenze più vallive, rispettivamente di 5 km (fino al XIII sec. d.C.) e 7 km (fino al XV sec. d.C.), così come la Sesia e la Dora Baltea fino a tempi relativamente più recenti.

Similmente, in sponda destra orografica, si sono avuti analoghi spostamenti, sebbene in buona parte assecondati dall'uomo e connessi a necessità dettate dalle bonifiche delle pianure adiacenti. In particolare i corsi d'acqua appenninici, caratterizzati da un intenso trasporto solido, hanno determinato la formazione di conoidi, che si sviluppano sin quasi al Po per i fiumi compresi tra Tanaro e Taro e sino un poco più a nord della via Emilia per quelli compresi tra Enza e Reno; per l'evoluzione idrografica di questo tratto di pianura, si vedano le figure del capitolo 3, riprodotte da PELLEGRINI (1990 b) e anche le note di PELLEGRINI (1990 a), di PELLEGRINI & TELLINI (2000), CASTALDINI (1989,1996), di CASTIGLIONI & PELLEGRINI (2001) illustranti le grandi carte di CASTIGLIONI *et Alii* (1997). Il progressivo inalveamento dei fiumi appenninici, forse iniziato attorno all'anno 1000, ha determinato la scomparsa delle aree palustri dalle conche vallive interposte tra i diversi affluenti appenninici e tra questi e il Po. Il desiderio di guadagnare sempre nuove fertili terre all'agricoltura ha poi fatto il resto. L'assiduo impegno dei Signori di Parma, di Modena, di Guastalla e di altri contadi e comuni ha posto mano a una strategia di bonifica, non sempre coordinata, ma ben determinata a ottenere il massimo recupero possibile di territorio. Si è dato così inizio a un sistema concepito con l'arginatura dei corsi d'acqua appenninici tra Enza e Panaro e il loro recapito, all'incirca con percorsi sub-perpendicolari, nell'asta del Po. I territori compresi tra i fiumi arginati sono stati invece sistemati a terre irrigue (nell'alta pianura) e a terreni di bonifica-irrigazione nelle parti più depresse. Quest'opera, iniziata alla fine del Quattrocento è andata avanti fino ai nostri giorni con successi alternati a grandi disastri connessi soprattutto alle grandi rotte sia del Po (BOTTONI, 1872; GALLIZIA, 1878) che dei suoi affluenti, specialmente Secchia e Panaro (LOMBARDINI, 1867). Per chi comunque fosse interessato ad approfondimenti su questo argomento si consiglia di consultare i lavori di NATALE (1992), di GOVI & TURRITO (1993), le note bibliografiche da essi citate e, soprattutto, il recente volume di SALTINI (2005).

La trasformazione afflussi-deflussi e le portate di piena

Successivamente all'invenzione del *pluviometro* da parte del Padre Benedetto Castelli (CASTELLI, 1628), che ne descrive l'uso per stimare la crescita di livello del Lago Trasimeno in conseguenza di alcuni episodi meteorici da lui stesso osservati, nella vicina Perugia, e "misurati", si diffonde in Europa l'uso di questo strumento. All'epoca del Castelli non esisteva una unanime opinione rispetto al ciclo dell'acqua, e soprattutto al bilancio idrologico. Nell'antichità, infatti, si era diffusa l'opinione che le sorgenti scaturissero dalla terra alimentate dall'Oceano.

Verso la fine del 1700 e l'inizio dell'Ottocento, si cominciarono a fare i primi bilanci idrologici e divenne chiara la dipendenza delle portate di un corso d'acqua dai suoi apporti meteorici. Si comprendeva anche, dall'osservazione, che ciò era vero sia per la portata media sia per le portate di piena. Tuttavia la tecnica operativa per la stima delle difese idrauliche era sostanzialmente basata solo sulla cosiddetta "portata di massima piena" o, meglio ancora, sul "livello di massima piena". Le arginature, infatti, che furono le principali opere di difesa idraulica nei tratti vallivi dei vari fiumi, erano costruite con altezza tale da superare da 50 cm a 80 cm il massimo livello idrico conosciuto in una data sezione. Ciò naturalmente ha comportato anche grandi disastri, in quanto le prime linee arginali sono state frequentemente sormontate nel corso di successive piene più rilevanti. Ma anche le arginature stesse, come già allora noto e ben ricordato in alcuni recenti lavori (NATALE, 1992; GOVI & TURRITO, 1995), producono incrementi delle piene. Perché maggiori sono le portate contenibili fra gli argini, maggiore è la portata che viene avviata a valle. Basandosi su questo principio gli argini di tutti i fiumi, e in particolare quelli del Po, sono stati progressivamente alzati e ringrossati fino a giungere alla situazione attuale, risultato di una lunga attività, il cui inizio, però, non è esattamente documentabile, nemmeno in età romana. "*L'unico autore che usa la parola agger è Lucano, alla metà del I sec. d.C., senza che sia chiaro il senso preciso che egli voleva dare a questo termine*" (CALZOLARI, 2004, p. 25).

Insieme alla difesa dalle piene, la gestione della risorsa idrica è stata comunque nei secoli passati oggetto di massima attenzione. Risalgono alla fine del Medioevo le prime rogge irrigue e i canali di scolo, dovute all'alacre attività di monaci solerti che hanno praticamente inventato l'arte idraulica padana. Per lunghi secoli poi le opere furono estese e perfezionate sia a cura delle abbazie, sia per conto di varie Signorie sia per conto di Comuni.

Solo nell'Ottocento si cominciò ad avere idea delle reali portate dei fiumi e, quindi, delle portate effettivamente derivabili. Le grandi bonifiche, inoltre, necessitavano di una stima, pur approssimata, di portate e volumi prodotti dalle piogge nelle aree depresse. Per queste portate, infatti, spesso occorreva trovare opportuni recapiti abbastanza più a valle dalle aree dove erano prodotte. Cominciarono così a essere formulati dei calcoli semplici, come quello fatto da LOMBARDINI (1865) per stimare le portate di piena di progetto presumibili per la botte a sifone con cui il Bondeno sottopassa il Panaro. Egli applica sostanzialmente la cosiddetta formula razionale, ossia assume come pioggia di progetto un importante evento durato alcuni giorni e registrato a Milano e da questo, tramite un coefficiente di afflusso²¹, ricava il volume, e la portata media, da utilizzare come valore di progetto del sifone.

Va qui precisato che sia Lombardini che gli altri studiosi che lo seguirono,

incluso il Turazza, fecero sempre riferimento per questi calcoli agli scoli delle bonifiche e non si occuparono delle piene ben maggiori dei corsi d'acqua montani. Questo "disinteresse" era dettato probabilmente da due ordini di fattori. Da un lato, i principali interessi degli idraulici coincidevano con quelli della società civile; quindi, essendo l'agricoltura la fonte primaria di reddito e di sopravvivenza delle popolazioni, l'attenzione della scienza delle acque era rivolto, nell'ordine, a bonifiche, irrigazioni, navigazione, industria e più limitatamente alla difesa idraulica, soprattutto nelle aree montane povere e poco abitate; le opere di difesa erano perciò pressoché esclusivamente concepite per la difesa delle piane agricole e delle aree edificate in prossimità dei fiumi. Dall'altro lato, il calcolo delle portate di piena nelle aree montane era impedito dalla quasi totale mancanza di dati di pioggia e idrometrici idonei allo scopo. Come sopra accennato, infatti, le stazioni pluviometriche erano ubicate nelle grandi città e quelle idrometriche nei tratti di pianura dei più importanti corsi idrici. Nella seconda edizione del suo libro di idraulica pratica, il TURAZZA (1867) presenta una formulazione semplice del calcolo delle portate degli scoli, affatto simile a quella del Lombardini e corrispondente alla portata generata da una pioggia massima di 24 ore che sceglie secondo la procedura di calcolo seguente. Scelto il mese di massima piovosità se ne divide la pioggia totale osservata per il numero di giorni piovosi. Si ottiene quindi un valore che rappresenta, ragionevolmente, la massima intensità media di (circa) 24 ore per ogni anno. Fra questi valori egli propone di utilizzare non il massimo bensì il terzo in ordine di importanza decrescente. Citando le sue parole "*Quando l'ingegnere ha assicurato un buon scolo ai terreni non deve preoccuparsi di quei casi di grandissime e straordinarie piogge, che, replicandosi soltanto a lunghi intervalli di tempo, devono aversi in conto di quegli infortuni accidentali che colpiscono di tanto in tanto l'agricoltura*", è evidente come già fosse chiaro nella mente di questi idraulici il concetto di *tempo di ritorno*²² di un evento e che, nell'economia complessiva di un progetto, ingrandire le dimensioni delle opere non è sempre giustificato dal punto di vista economico.

Nella III edizione del suo libro (TURAZZA, 1880, pp. 286-302), sorprendentemente l'Autore presenta, invece, una versione significativamente ampliata e quasi moderna del metodo della *corrivazione*²³. Introduce infatti il concetto di durata della piena, come somma del tempo di corrivazione e della durata di pioggia. Introduce, inoltre, e questo appare come l'elemento di maggiore modernità e rilievo, il concetto della *curva aree-tempi*, che consente di combinare piogge a intensità costante o variabile con la funzione di risposta del bacino. Si tratta di una vera innovazione e certamente costituisce una delle prime applicazioni al mondo di questa metodologia. Essa consiste nel supporre che la portata in una data sezione fluviale sia data dalla somma delle portate elementari generate dalle gocce d'acqua che cadono in ogni punto del bacino. A scopo illustrativo viene mostrato sia il caso in cui l'idrogramma è prodotto da piogge di durata inferiore al tempo di corrivazione²⁴, sia quello in cui i due valori coincidono o le piogge sono di durata maggiore. Un breve cenno viene anche sviluppato per il caso delle piogge intermittenti. L'Autore consiglia in questo caso di calcolare separatamente le piene dovute a ogni scroscio per poi sommarne gli effetti. Se si pensa che l'idrogramma unitario di SHERMAN (1932) verrà pubblicato cinquant'anni dopo, ci si può rendere conto dell'importanza di questo lavoro nel contesto dell'idrologia moderna.

Rimanendo ad alcuni elementi essenziali dell'idrologia delle piene, uno de-

gli argomenti che aveva interessato, e che ancora oggi appassiona gli studiosi, è l'incremento delle piene che si è avuto nel corso degli ultimi due o tre secoli e che è perfettamente documentato dal padimetro di Ferrara (cfr. Fig. 10.1). In due recenti studi, già prima citati, NATALE (1992), ricostruendo la distribuzione di probabilità delle portate al colmo di piena, mostra come la portata di frequenza centenaria sia cambiata passando da 7632 m³/s del periodo 1801-1860 a 9116 m³/s del periodo 1861-1910 a 11585 m³/s del periodo successivo al 1911. Naturalmente, come fanno osservare GOVI & TURRITO (1993 e 1995) stabilire delle graduatorie fra piene di un corso d'acqua soggetto a numerosissime rotte, e quindi grandi laminazioni, è molto difficile. È inevitabile, tuttavia, che la progressiva estensione e potenziamento delle arginature sia sull'asta principale che sugli affluenti abbia progressivamente fatto aumentare l'intensità e il volume delle piene. Questo fatto, oggi assodato, veniva messo in dubbio nel secolo passato da LOMBARDINI (1865 e 1870) che, fra le cause principali della crescita delle piene, già allora manifesta, annoverava il progressivo disboscamento dei versanti con conseguenti diminuzioni dei tempi di formazione delle piene e incremento del trasporto solido. Questa causa, certamente fondamentale a livello di sottobacini di estensione da qualche decina di km² fino a 1000-1500 km² perde sicuramente importanza quando riferita a un grande fiume come il Po, sulla cui asta gli effetti maggiori dell'antropizzazione sono costituiti dalla perdita delle aree di espansione. Opinioni del tutto simili sulla formazione delle piene nei piccoli e grandi bacini sono state espresse, e vengono ancora indicate, da vari studiosi fra i quali si può ricordare LEOPOLD (1997), che riesce sempre a esprimere in modo chiaro anche concetti complessi quali quelli coinvolti in queste problematiche.

La propagazione delle piene

Un ultimo importante argomento di carattere idrologico, la cui impostazione è stata formulata nell'Ottocento e che pare interessante segnalare, riguarda la propagazione delle piene. Già dalla fine del Settecento, coi lavori di Chezy (attribuiti tuttavia durante quasi tutto il XIX secolo al suo allievo Prony), era divenuto di comune dominio dell'idraulica che le portate di un corso d'acqua fossero legate sia alla geometria, com'è ovvio, dell'alveo (area e perimetro bagnati), sia alla pendenza del pelo libero, vale a dire della superficie dell'acqua. Questi parametri, vista la discreta diffusione delle misure idrometriche, alle quali si è sopra accennato, potevano essere misurati in diverse sezioni, consentendo, quindi, di stabilire, in via approssimata, la scala di portata dei periodi di piena.

Un particolare di grande significato era che, basandosi sulle osservazioni dirette e contemporanee su alcuni fiumi, era stato osservato che nella fase di risalita delle piene, a parità di livello del ricettore, la pendenza del pelo libero era superiore rispetto a quella della piena calante. Ciò implicava una relazione non univoca tra portate e livello di piena, con portate maggiori in fase di piena crescente e minori durante la recessione dell'idrogramma. Inoltre, proprio in quel periodo vennero definiti, nell'idrogramma, i rami "*di risalita*", "*di colmo*" (o "*di stanca*") e "*di esaurimento*" con l'osservazione che quest'ultimo ha durate sempre alquanto più lunghe rispetto alla risalita.

Ben nota era ormai l'origine delle piene, dovuta a "*piogge dirotte e continuate*"

o al “*disfacimento delle nevi*” che determinano la crescita dell’altezza dell’acqua localmente o, nei casi di piogge estese e persistenti, anche nei grandi corsi d’acqua. Rendendosi conto che, nelle normali sezioni fluviali aperte, all’aumentare del livello le portate tendono a crescere in proporzione più che lineare, si tendeva ad ammettere l’esistenza di un livello idrometrico massimo invalicabile. A tale livello, “*di massima piena*”, si faceva riferimento nelle sistemazioni arginali. Naturalmente, siccome tale livello è almeno teoricamente infinito (secondo la teoria che assimila il livello a una variabile casuale superiormente non limitata), e per le ragioni esposte in precedenza, ci si è spesso trovati nelle condizioni di insufficienza delle sistemazioni. Tuttavia, proprio per la non linearità della relazione portata-livello, è da attendersi che opportuni stabilimenti di franchi di sicurezza sui massimi livelli osservati possano ormai fornire ragionevoli gradi di sicurezza tali da ridurre il danno atteso dai sormonti arginali a valori sostanzialmente accettabili. Ciò anche a fronte di un ormai consolidato sistema di preannuncio che consente di allertare le popolazioni a rischio con anticipo tale da evitare quei danni e lutti che hanno caratterizzato nei secoli la gestione delle piene del Po.

Considerazioni finali

La breve illustrazione delle problematiche idrologiche sopra ricordata non solo non esaurisce le molteplici questioni che vennero affrontate dall’idrologia del Settecento e Ottocento, ma ha trascurato alcune parti importantissime come lo studio del trasporto solido e, in generale, delle morfologie fluviali, alle quali è stato accennato in altre parti del volume, e su altre fenomenologie di rilievo.

Riguardo alla morfodinamica fluviale, come su tante altre questioni, vi furono importanti approfondimenti concettuali e accesi dibattiti. Ad esempio gli idraulici italiani, fra cui il grande Guglielmini e lo stesso Lombardini, sostenevano che l’arginamento dei fiumi non avrebbe prodotto significative variazioni delle quote del fondo alveo (*thalweg*). Al contrario i francesi sostenevano che ciò avrebbe provocato innalzamenti del *thalweg*, tali da rendere inefficaci le opere di difesa. Anche su altre questioni simili, come la difesa con argini “*insommergibili*” delle pianure collaterali al Po, e dei suoi affluenti, costituì oggetto di accesi dibattiti fra italiani e francesi, sostenendo questi ultimi l’impossibilità teorica dell’insommergibilità. Tuttavia, come ben ebbe a osservare il Lombardini, il bilancio tra la resa media annua delle zone bonificate e protette dagli argini e i danni attesi conseguenti alle rotte è di gran lunga a favore dei primi. Per citare l’Autore “*Con quel sistema [degli argini insommergibili] si proteggono 12.000 chilometri quadrati, ossia 1.200.000 ettari di terreni coltivati, il cui prodotto lordo, calcolato con moderata misura di franchi 180 all’ettaro, corrisponde annualmente a 216 milioni. Ammesso pure che le spese di manutenzione, e sorveglianza, ed i danni... si abbiano a calcolare annualmente in dieci milioni, rimarranno ancora un utile di 206 milioni... Con ciò sarebbe provato che la bassa pianura sommersibile dell’Alta Italia, protetta dalle cosiddette arginature insommergibili, non si trova nella condizione compassionevole che le attribuirebbe il signor Dausse*” (LOMBARDINI, 1870, pp. 95-97). Ovviamente questo criterio, soprattutto con l’attuale nuova sensibilità per la difesa delle vite umane, non è più da considerare esclusivo nella scelta delle politiche di gestione del territorio (cfr. ad es, LEOPOLD & MADDOCK, 1954). Tuttavia esso ci riconduce sempre a considerare in modo con-

creto e operativo le azioni dell'ingegneria e, fra queste, quelle fondamentali dell'idraulica, che nella pianura del Po ha visto tanta parte del suo sviluppo storico insieme a quello di una vera civiltà dell'acqua che ha portato, e porta ancora, tanto benessere e risorse alle sue popolazioni.

Ringrazio il Prof. M. PELLEGRINI e il Prof. S. ORLANDINI, dell'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, per gli utilissimi suggerimenti e riferimenti forniti; un ringraziamento particolare al Prof. L. NATALE, dell'Università degli Studi di Pavia, sia per la notevole mole di bibliografia fornitami, sia per le cortesi osservazioni e suggerimenti.

Note

1. Prima del periodo napoleonico si aggiungevano il Ducato di Mantova, il Granducato di Milano, La Repubblica di Venezia, il Principato Vescovile di Trento, il Ducato di Ferrara, il Ducato di Modena e Reggio ecc.

2. *Rigurgito, rigurgitare*. Si tratta di termini tecnici dell'Idraulica che si usano per indicare un fenomeno che si registra allorché, per ragioni di variazione della geometria di un tratto fluviale (o di un canale) o per ragioni di carattere idraulico, si verifica un innalzamento (o abbassamento) del livello idrico rispetto a quello che si avrebbe se il fiume proseguisse il suo percorso con portata costante e geometria regolare. Ciò, ad esempio, si verifica spesso quando c'è un salto: localmente, com'è a tutti noto, la corrente si incurva verso il salto riducendo il livello dell'acqua rispetto a quello che avrebbe se il salto non ci fosse. La stessa cosa dicasi se in alveo viene posto un ostacolo: in questo caso il livello dell'acqua aumenta finché la corrente non riesce a sormontare l'ostacolo. Un fenomeno del tutto simile si verifica alla foce di fiumi o canali in un altro corso d'acqua. Quando questo (il *ricettore* o ricevente) è in piena impedisce il normale deflusso dell'influente che è costretto a *rigurgitare* (innalzare il proprio livello) per riuscire a scaricare le acque.

3. *Spagliare* = disperdere liberamente le acque; termine derivato dal Fiume Paglia, affluente di destra del Tevere, che presso Orvieto *spagliava* le sue acque e i sedimenti trasportati nelle campagne.

4. Fra tutti questi termini tecnici, diamo una breve definizione di quelli meno usuali. La *traspirazione* è il processo fisico per cui l'acqua, sottratta al suolo dalle piante per la loro crescita, viene rilasciata in forma di vapore in atmosfera; a tale processo, in parte minima, contribuiscono anche gli animali; *filtrazione*, movimento a componente per lo più orizzontale dell'acqua di falda nel sottosuolo; ciò a differenza dell'*infiltrazione*, a componente prevalentemente verticale che avviene nella parte più superficiale del terreno; *deflusso ipodermico*, scorrimento dell'acqua subsuperficiale a livello dei suoli e degli strati immediatamente sottostanti (soprattutto nei depositi di versante ecc.).

5. A Modena, per volontà ducale, le misure pluviometriche e termometriche sistematiche iniziarono nel 1826 (BOCCOLARI *et Alii*, 1998); insieme a quella di Milano, Brera, Brescia si tratta di una delle serie di misure più lunghe esistenti in Italia.

6. Misura dell'altezza dell'acqua nell'alveo, effettuate con scale graduate fisse sugli argini o sulle spalle e pile dei ponti.

7. *Magra ordinaria*: livello corrispondente all'incirca alla media dei livelli minimi annuali giornalieri.

8. Come detto, riuscivano ad arguire, e stimare quantitativamente, gli effetti di richiamo e/o di rigurgito su un affluente di Po dei livelli di questo in relazione alle presumibili portate di quello.

9. *Portata* di un corso d'acqua è il volume di acqua che transita attraverso una determinata sezione nell'unità di tempo; essa è espressa in m³/s.

10. *Scabrezza, scabrezza relativa*; si indica col termine scabrezza una quantità idraulica legata alla "rugosità" che presenta un generico condotto, anche fluviale, all'interno del

quale si muove un fluido" tipicamente essa dipende dall'altezza delle asperità presenti sulla parete del condotto. La scabrezza relativa è una misura del rapporto tra l'altezza di queste asperità e una grandezza atta a caratterizzare l'entità geometrica del flusso di fluido. Per esempio, in un tubo circolare dove il fluido si muova a sezione piena, la scabrezza relativa è data dal rapporto tra quella assoluta e il diametro della condotta; in un alveo fluviale dal rapporto tra la scabrezza assoluta e l'altezza del pelo libero rispetto al punto più depresso della sezione trasversale.

11. *Tirante idrico* è l'altezza del pelo libero dell'acqua rispetto al punto più depresso della sezione trasversale; *area bagnata* è l'area della sezione trasversale di una corrente fluida; *contorno bagnato* (o perimetro bagnato) è la porzione di linea di contorno dell'area bagnata a contatto con la parete del condotto che la contiene.

12. *Asta ritrometrica*: si tratta di un'asta di legno o di metallo (normalmente cava) la cui lunghezza e il cui peso possono essere variati a piacimento. Variando quindi queste due grandezze, ed equilibrando il peso dell'asta con la spinta di Archimede cui essa è soggetta in acqua, si può fare in modo che l'asta resti immersa fino a una distanza di 15-20 cm dal fondo alveo. Inserendola in punti diversi di una stessa sezione trasversale si può misurare la sua velocità traguandandone il passaggio fra due assegnate sezioni; si ottiene così la misura della velocità media lungo assegnate linee della corrente. La media delle velocità misurate nei vari punti della sezione trasversale, opportunamente scelti, dà la velocità media della corrente, che moltiplicata per l'area bagnata fornisce il valore della portata.

13. *Mulinello idrometrico* (o *correntometro*): misuratore di velocità della corrente del fiume, costituito da un'elica e un sistema di conteggio del numero di giri; sulla base di un'apposita curva di taratura, dal numero di giri dell'elica effettuati in un minuto si risale alla velocità della corrente.

14. Dopo la distruzione del porto fluviale di Ripetta, effettuata per la costruzione dei muraglioni sul Tevere, a seguito della disastrosa alluvione del 1870, attualmente il tiberimetro più completo è posto sulla facciata della chiesa di Santa Maria sopra Minerva.

15. *Coefficiente di deflusso*: rapporto tra il volume dei deflussi e quello degli afflussi osservati in un dato bacino idrografico nello stesso intervallo di tempo.

16. *Contributo specifico*: rapporto tra una portata caratteristica e l'area del bacino; in questo caso la portata considerata era quella media, o, come detto, il *modulo*.

17. Attualmente questa disciplina ha un altro significato. Lombardini, in realtà, applica il principio dell'*attualismo* di C. Lyell: i fenomeni geologici del passato sono dovuti a cause identiche a quelle che li provocano nel presente. Sulla base dell'evoluzione dei corsi d'acqua nei secoli passati, cercava di comprendere l'evoluzione dei fiumi nel suo tempo.

18. Per il Po non documentata in età romana (CALZOLARI, 2004).

19. Per questo argomento si veda anche la nota di PELLEGRINI (cap. 3 di questo volume); l'analisi storica più completa è quella di CALZOLARI (2004): indirettamente, sembra confermare l'ipotesi "geofisica" dei ricercatori dell'INGV.

20. Nel 1159 il canale principale del Po passò nell'alveo più settentrionale, nel 1480 circa il Po Vecchio, vale a dire il ramo meridionale, fu completamente disattivato.

21. *Coefficiente di afflusso*: percentuale degli afflussi meteorici caduti in un certo intervallo di tempo che si trasforma in deflussi, sia durante lo stesso intervallo di tempo che anche in tempi successivi.

22. *Tempo di ritorno*: intervallo di tempo medio, normalmente misurato in anni, tra due successivi superamenti di un dato valore di una grandezza. In questo caso la grandezza è l'intensità di pioggia massima tra le medie calcolate come detto nel testo.

23. *Il metodo della corrivazione* (o metodo cinematico) è una procedura matematica che consente di calcolare l'andamento temporale delle portate di piena a partire dall'andamento temporale delle piogge. Questo metodo suppone che ogni goccia d'acqua raggiunga la sezione di chiusura del bacino con un percorso indipendente da quello delle altre e impiegando sempre lo stesso tempo indipendentemente dall'intensità di pioggia.

24. *Tempo di corrivazione*: il tempo che impiega la goccia d'acqua caduta nel punto idrologicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura.

9. Sulle origini e gli sviluppi dell'idrometria del fiume Po

Stefano Orlandini

Il termine “idrometria” significa letteralmente “misurazione dell’acqua”. In passato gli idrologi erano soprattutto interessati alla misura dei deflussi nei corsi d’acqua: ancora oggi questo termine è comunemente impiegato per indicare l’insieme delle tecniche utilizzate per misurare la portata e la velocità delle correnti fluviali, la geometria degli alvei, i volumi di piena o di esondazione¹. Nel caso dell’idrometria del fiume Po, è stato coniato anche il termine specifico “padimetria”. Questa materia trova un momento di grande sviluppo proprio all’epoca della Commissione per il Po istituita nel 1873 e presieduta da Francesco Brioschi allo scopo di *“raccogliere gli elementi di fatto necessari per poter sottoporre a sicuro esame i vari progetti ventilati per menomare il pericolo ed i danni delle rotte ed inondazioni, e proporre le misure praticamente ed economicamente possibili ed efficaci”* (PALADINI, 1882; FASSÒ, 2000). Oggi, nell’epoca dei grandi progressi tecnologici, proprio in un Paese di grande tradizione idraulica come l’Italia, l’importanza dell’idrometria del Po e dei suoi tributari appare alquanto sottovalutata: scarse risorse vengono destinate alle misure idrometriche e, quel che è forse peggio, sembra talvolta ancora viva la convinzione che l’idraulica e l’idrologia sperimentale possano svilupparsi attraverso la mera installazione della strumentazione e la raccolta di dati, convinzione largamente superata nella fisica e nell’ingegneria sperimentale moderna (TAYLOR, 1997; COLEMAN & STEELE, 1999).

Questo capitolo si propone di illustrare i metodi idrometrici utilizzati all’epoca della Commissione Brioschi e di ripercorrere le fasi concettuali essenziali che hanno portato alla concezione e all’applicazione di tali metodi. Viene inoltre riservato un breve spazio all’evoluzione dei metodi di osservazione e di caratterizzazione delle correnti fluviali dall’epoca della Commissione Brioschi ai giorni nostri. Viene proposta, infine, una prospettiva per il futuro dell’idrometria, basata sui grandi progressi metodologici e tecnologici compiuti nel XX secolo e, al tempo stesso, conforme a quei principi, forse talvolta un po’ dimenticati ma ancora insuperati nel merito concettuale, i quali nel XIX secolo hanno permesso lo sviluppo dell’idrometria e dell’ingegneria idraulica italiana.

Dal Rinascimento all’epoca di Elia Lombardini e di Francesco Brioschi

Elia Lombardini (1794-1878), ingegnere idraulico insigne, sente la necessità di comprendere a fondo le basi concettuali della sua disciplina e ci rimanda a Leonardo da Vinci (1452-1519) con la sua nota *Sull’origine della scien-*

za idraulica nel milanese, e sul suo progresso in altre parti d'Italia (LOMBARDINI, 1859; 1860). Così, in questo paragrafo, seguiremo e svilupperemo il suo sguardo alle origini, cercando di mettere in evidenza alcuni aspetti che hanno contribuito alla formazione dell'idrometria padana. Per una trattazione più completa di storia dell'idrometria il lettore è indirizzato allo splendido lavoro di Arthur FRAZIER (1974).

LOMBARDINI (1872) era interessato alla figura di Leonardo per il progetto che il grande artista e scienziato aveva formulato per un canale in Lombardia. Sulla base dei testi contenuti nel *Codice Atlantico* (custodito nella Biblioteca Ambrosiana di Milano) e nel trattato *Del moto e misura dell'acqua* (LEONARDO DA VINCI, 1923), Lombardini conclude che Leonardo è il fondatore della scienza dell'idraulica.

Come documentato dalla Fig. 9.1, l'acqua, con i suoi movimenti, rappresentò per Leonardo uno dei temi privilegiati per i suoi progetti e studi scientifici nel corso di tutta la vita (1452-1519), senz'altro consapevole dell'importanza dell'acqua non solo per la navigazione e per l'irrigazione, ma anche per gli usi energetici, come ci attestano i suoi numerosi disegni e testi, fra i quali occorre ricordare, proprio per l'interesse idrografico e idraulico, gli stupendi *Disegni geografici* conservati nel Castello di Windsor, editi in un'oramai introvabile pubblicazione moderna, curata e commentata da Mario BARATTA (1941). Fu



Fig. 9.1 - Leonardo da Vinci ritrae un vecchio uomo (probabilmente se stesso) mentre osserva i movimenti dell'acqua (Codice Leicester).

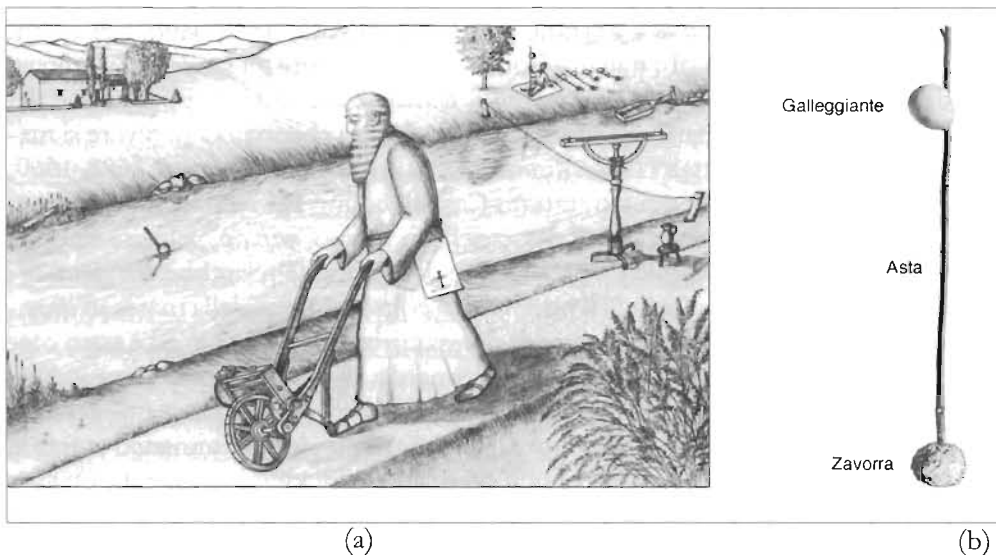
tuttavia negli anni compresi tra il 1508 e il 1511 che Leonardo focalizzò la sua attenzione ai fenomeni idraulici e alla loro misura, con l'intenzione (mai realizzata) di scrivere un trattato sull'argomento. Leonardo fu un avido osservatore dei movimenti dell'acqua: il suo interesse per tutti i casi offerti dalla natura (anche quelli complessi) costituì forse un impedimento alla sintesi di leggi idrauliche applicabili con generalità (seppure ai casi meno complessi). Sarebbe tuttavia inappropriato sminuire il mito di Leonardo in ragione della sua scarsa propensione alla sintesi. Leonardo non disponeva di modelli fisico-matematici e non poteva sintetizzare i fenomeni naturali in termini matematici, ma i suoi disegni rappresentano una sintesi grafica dei fenomeni che egli osservava, mostrando dettagli sorprendentemente conformi alle fenomenologie naturali.

Le osservazioni di Leonardo contribuiscono, quindi, allo sviluppo dei modelli matematici concepiti quasi un secolo dopo da Galileo, CASTELLI (1628) e CABEO (1646), in Italia, e da Newton e Bernoulli, in altre parti d'Europa (BERNOULLI, 1738), in una sequenza temporale che Leonardo stesso aveva ben presente: "Ricordati che quando parli di correnti d'acqua devi portare prima l'esperienza e dopo la ragione".

Leonardo ha gettato le basi anche per i metodi di misura dei fenomeni idraulici, metodi che si perfezioneranno concettualmente grazie al contributo di Galileo e dei suoi allievi, dando origine alla scienza (idraulica) nella sua accezione moderna. Per fare un esempio, e ritornare al tema centrale della

presente nota, può essere commentato il disegno eseguito da Arthur Frazier (1974, p. 11) sulla base delle note di Leonardo (Manoscritto A, foglio 42). Tale disegno è riportato nella Fig. 9.2: Leonardo è ritratto mentre misura la velocità della corrente in un corso d'acqua (a). Il galleggiante zavorrato (b) permette di seguire l'evoluzione spaziale degli elementi fluidi e fornisce un'indicazione della variazione delle velocità lungo il profilo verticale in ragione della sua inclinazione. La distanza compiuta dal galleggiante è misurata mediante un *odometro* (ovvero una ruota e un contagiri), mentre il tempo è stimato attraverso il canto ritmico.

Galileo Galilei (1564-1642) è storicamente riconosciuto come il fondatore della moderna scienza sperimentale: secondo il suo pensiero, ogni fatto,



evento o fenomeno naturale va compreso e analizzato in rapporto alla tecnica dell'esperimento, ovvero il procedimento che permette di accertare l'esattezza delle teorie fisiche mediante la riproduzione isolata e controllata del fenomeno oggetto di analisi. Solo replicando concretamente il fenomeno studiato è possibile accertare, infatti, la comprensione da parte dell'uomo del fenomeno, e quindi la capacità non solo di replicarlo, ma anche di prevederlo³. La grandezza di Galileo risiede nell'aver rivoluzionato il metodo di studio dei fenomeni naturali e, più in generale, il rapporto tra Uomo e Natura.

A differenza di Leonardo (e Aristotele: 384-322 a.C.), ma come Platone (428-348 a.C.), Galileo cerca la verità nascosta, scritta nel linguaggio matematico e comprende che la ragione, senza l'ausilio dei sensi, non è di alcun aiuto, ma che l'osservazione passiva non è più utile³. Galileo comprende che la natura non svelerà mai completamente i suoi segreti più intimi se non quando essa viene osservata con gli strumenti adeguati, rappresentata secondo corretti modelli matematici, e riprodotta attraverso l'intelligente combinazione di osservazione e modelli. Con Galileo comincia quel processo irreversibile che porterà la fisica a staccarsi dalla filosofia, la quale rimarrà pur sempre comprensione generale degli accadimenti e dei concetti legati alla speculazione, ma cederà alla fisica la possibilità di dominare concretamente la realtà mediante la riproduzione dei fenomeni naturali. Galileo si occupa di fenomeni idraulici come, per esempio, quelli necessari per realizzare gli orolo-

Fig. 9.2 - Leonardo da Vinci mentre misura la velocità della corrente in un corso d'acqua (disegno di Arthur FRAZIER, 1974, p. 11, eseguito sulla base delle note di Leonardo da Vinci, Manoscritto A, Foglio 42, Biblioteca dell'Istituto di Francia, Parigi).

gi ad acqua, che saranno fondamentali nei suoi noti esperimenti sul piano inclinato. Per non allontanarci troppo dal tema centrale di questo capitolo, non focalizzeremo tuttavia la nostra attenzione sui suoi studi idraulici, ma su quelli di due personalità legate a Galileo che sono state importanti per l'idrometria: Benedetto CASTELLI (1628), suo discepolo, e Nicolò CABEO (1646), suo oppositore per diverse questioni, ma di fatto anch'egli influenzato dalla rivoluzione intellettuale galileiana.

Benedetto CASTELLI (1587-1643), monaco Benedettino e discepolo di Galileo, riesce a coniugare il legame con il suo Maestro e con l'innovazione intellettuale da lui portata e quello con le Istituzioni Ecclesiastiche alle quali apparteneva e doveva totale obbedienza. Seguendo le disposizioni del papa Urbano VIII, Castelli interviene come esperto per la soluzione di annose questioni idrauliche relative a Ferrara, a Venezia, al Lago Trasimeno, alle Paludi Pontine e ad altri luoghi italiani. Come è noto, durante gli studi dell'idrologia del Lago Trasimeno, Castelli inventa il *pluviometro*, mentre l'applicazione del rigore logico-matematico ai problemi reali che era chiamato a risolvere si materializza nel suo trattato *Della Misura dell'Acque Correnti* (CASTELLI, 1628, 1660; BLACKMAN, 2004). In questo trattato Castelli enuncia la relazione tra sezione idraulica (che lui chiama, come d'uso nel suo tempo, *misura*), velocità e portata, relazione che discende dall'equazione di continuità⁴. Sarebbe sbagliato affermare che si deve a Castelli il principio di conservazione della massa in quanto tale principio era noto a Erone di Alessandria (I secolo a.C.) ed è stato correttamente riscoperto e descritto da Leonardo. Tuttavia, a Castelli va indubbiamente riconosciuto il merito di aver fornito con il suo trattato un'eccellente guida per gli ingegneri dell'epoca, dove rigore logico-matematico si fonde per la prima volta con l'osservazione dei problemi di idraulica fluviale. Questo emerge esplicitamente negli scritti di Castelli, abile didatta e dotato (a differenza di Galileo) di ottime capacità relazionali, richieste dal suo ruolo ecclesiastico e dai compiti a lui affidati. A pagina 3 del suo trattato (CASTELLI, 1628) si legge, a riprova del rigore logico-matematico che gli era stato trasmesso da Galileo: "*E per procedere con dovuto ordine nelle scienze prenderò alcune supposizioni e notizie assai chiare dalle quali andrò poi deducendo le conclusioni principali*". A pagina 7, Castelli dimostra di rivolgersi a ingegneri e periti idraulici con capacità divulgativa: "*Stabilito bene questo principio, e fondamento, che l'istessa acqua corrente va mutando la misura, secondo che varia la velocità, cioè minuendo la misura mentre cresce la velocità, e crescendo la misura quando scema la velocità; passo alla considerazione di diversi particolari accidenti in questa materia meravigliosi, e tutti dipendenti da quella sola proposizione, la forza della quale ho replicata più volte, acciò sia bene intesa*".

In tutta la sua opera, Castelli riesce a coniugare la capacità di osservazione dei fenomeni naturali (così come è stata introdotta da Leonardo) con la capacità di astrazione logico-matematica (così come è stata introdotta da Galileo). Tra i diversi corollari e appendici che Castelli enuncia, il Corollario Secondo e l'Appendice Quarta meritano senza dubbio di essere riportati, almeno in parte, e commentati. Nel Corollario Secondo si legge: "*E perché di mano in mano, che il fiume si ritrova più, e più pieno, viene ancora per ordinario a essere costituito in maggiore, e maggiore velocità, di qui è, che le medesime piene del torrente, che entra nel fiume fanno minori, e minori altezze, quando il fiume si ritrova più, e più pieno, poiché ancora l'acque del torrente, entrate che sono nel fiume, vanno acquistando maggiori, e maggiori velocità, e però scemano di misura, e di altezza*". Qui Castelli dimostra di aver compreso che la velocità della corrente aumenta lungo un sistema fluviale

procedendo da monte verso valle, una consapevolezza che discende presumibilmente da misure più che dalla osservazione qualitativa e che verrà formalizzata da Leopold e Maddock solamente nel 1953 (LEOPOLD & MADDOCK, 1953; LEOPOLD, 1997, p. 56). Il concetto di geometria idraulica introdotto da LEOPOLD & MADDOCK (1953) supporta le proposizioni di Castelli anche rispetto alla variazione della profondità media e della larghezza superficiale della corrente, entrambe crescenti da monte verso valle per portate con ugual probabilità di accadimento.

Castelli dà inoltre prova di saper tradurre il rigore fisico-matematico in onestà intellettuale. Dopo aver trattato, nell'Appendice Terza, del diversivo del *Reno di Bologna nel Po delle Valli*, nell'Appendice Quarta Castelli precisa: *“Non meno si sono ingannati quegli Ingegneri, e Periti, che hanno affermato, che mettendosi il Reno in Po non farebbe alzamento nessuno di acqua in Po: Perché la verità è, che mettendosi il Reno in Po farebbe sempre alzamento, ma alle volte maggiore, alle volte minore, secondo, che ritroverà cò maggiore, o cò minore corrente il Po: dimodo che, quando il Po sarà confluito in gran velocità, pochissimo farà l'alzamento, e quando il medesimo Po sarà tardo nel suo corso, allora l'alzamento sarà notabile”*. Qui Castelli applica, forse per la prima volta in campo idraulico, il rigore fisico-matematico per mitigare le controversie accessissime in quel periodo tra Bologna e Ferrara.

Il miglioramento della conoscenza dei sistemi fluviali e del loro funzionamento rimane a tutt'oggi lo strumento più potente per la soluzione delle controversie e per l'attuazione di corrette politiche territoriali (LEOPOLD & MADDOCK, 1954, p. 232). Tra gli *“Ingegneri e Periti”* menzionati da Castelli, merita di essere ricordato il perito e architetto ferrarese Giovan Battista Aleotti (1546-1636), che, in veste di architetto del Municipio di Ferrara, difese la sua terra dalle acque del Reno e si schierò contro i progetti dei tecnici pontifici per ridare alla città la perduta navigazione (ALEOTTI, 1615 circa; MAFFIOLI, 1999).

Niccolò Cabeo (1586-1650), padre Gesuita e oppositore di Galileo e di Castelli, seguì diversi interessi scientifici focalizzando le sue maggiori attenzioni sulla sperimentazione. Nel 1646, Cabeo pubblica la sua grande opera *In Quatuor Libros Meteorologicorum Aristotelis Commentaria, et Quaestiones* (CABEO, 1646) dedicando nessuno spazio alla nuova scienza del moto introdotta da Galileo e alle sue implicazioni sul Copernicanesimo. Cabeo condivide sostanzialmente il pensiero Aristotelico e critica a Galileo e Castelli di riporre un'eccessiva attenzione a descrizioni matematiche astratte, trascurando in tal modo la verifica sperimentale. In tale prospettiva, Cabeo non comprende la valenza del linguaggio matematico e la necessità di semplificare la complessità dei processi naturali per poterne cogliere gli aspetti essenziali. Tuttavia, sebbene con merito intellettuale sicuramente inferiore rispetto a quello di Galileo e Castelli, Cabeo contribuisce all'avanzamento delle conoscenze e dei metodi di misura delle acque correnti. A lui è attribuita l'invenzione dell'*asta ritrometrica*, strumento che ci riporta all'idrometria del Po e al lavoro di Brioschi e Lombardini. Può essere allora interessante ricostruire le fasi essenziali che hanno portato all'invenzione dell'asta ritrometrica.

Nel suo commento al I libro di Aristotele sulla meteorologia, CABEO (1646) esprime scetticismo sull'opera di Castelli *Della Misura dell'Acque Correnti*. Aristotele giudica irrealistica l'ipotesi che le piogge e le nevi si raccolgano in qualche serbatoio, poiché l'estensione di questo serbatoio dovrebbe essere maggiore di quello dell'intera superficie terrestre. Sulla base della proposizione di Aristotele, Cabeo conduce la sua critica all'opera di Castelli⁵.

LA SISTEMAZIONE DELL'ALVEO DEL RENO: UNA VICENDA DURATA CINQUE SECOLI

Già dalla metà del XV secolo, esisteva un dissidio fra i Bolognesi e i Ferraresi: i primi volevano che il Reno fosse immesso nel Po di Ferrara (Volano) per allontanare i pericoli di inondazioni e impaludamenti delle loro terre; i Ferraresi, invece, si opponevano a tale immissione per timore di esondazioni e interimenti del loro principale corso d'acqua, unica via di navigazione sino al mare Adriatico, essendo il Po di Venezia (Grande) controllato dai Veneziani. La spuntarono i Bolognesi, convincendo, nel 1522, il Duca di Ferrara Alfonso I d'Este a eseguire l'opera. Dal 1530 al 1604, il Reno rimase convogliato nel Po di Ferrara (Volano), seguendo il percorso Sant'Agostino, Mirabello, Vigarano Mainarda e Cassana. Le limacciose acque del Reno non mancarono di provocare i temuti interimenti del Po di Ferrara (Volano), il quale ruppe diverse volte. Papa Clemente VIII (pontificato: 1592-1605), con un suo Breve del 1604, fissò le linee di politica idraulica da adottare per conservare e migliorare la produttività dei terreni del ferrarese. In tale ottica, Clemente VIII favorì la deviazione temporanea del Reno, dal Po di Ferrara (Volano) verso valli della Sammartina e Poggio Renatico, vicine a Ferrara, in modo da colmare quelle zone paludose. Il programma prevedeva inoltre considerevoli lavori sul Po di Argenta (Primaro), sotintendendo una possibile futura immissione del Reno nel Po di Venezia (Grande). Causa la morte di Clemente VIII (1605), non venne dato corso a quest'ultimo piano. I progetti idraulici del 1604 furono curati dai Gesuiti, i quali avevano un'intima relazione con Ferrara, avendo costruito lì un monastero nel 1551. La deviazione del Reno ebbe conseguenze disastrose, causando tra l'altro l'inondazione di diverse terre bolognesi appartenenti a importanti famiglie di quella regione. Era pertanto necessaria una soluzione per mitigare il rischio alluvionale nelle terre bolognesi permettendo allo stesso tempo la navigazione nel Po di Ferrara (Volano). La questione centrale era se il Reno potesse essere deviato verso il Po di Venezia (Grande) e in quale punto. Tale scelta determinava la fortuna di Bologna o Ferrara. Durante il papato di Paolo V (pontificato: 1605-1621), ripresero le discussioni e i progetti per immettere il Reno nel Po di Venezia (Grande), ma a tali progetti non venne dato corso. Nel 1625, il Papa Urbano VIII (pontificato: 1623-1644) decise di affrontare il problema del Reno e inviò Monsignor Ottavio Corsini per studiare il caso e scrivere un rapporto. In quel frangente, i Gesuiti, che non erano visti di buon grado dai Bolognesi, entrarono in conflitto anche con il Papa, a causa della loro posizione nei confronti della Francia. Inoltre, ben prima della pubblicazione dei *Dialoghi*, il Papa era sostenitore di Galileo. Urbano VIII abbandonò allora i Gesuiti di Ferrara in favore di un membro della Scuola di Galileo che fosse capace di apportare un contributo teorico innovativo al problema, supportando la causa di Bologna. Monsignor Corsini fu allora accompagnato da Benedetto Castelli. I Bolognesi proponevano di deviare il Reno verso il basso corso del Panaro, consentendo in tal modo l'allontanamento dei deflussi di piena verso il Po di Venezia (Grande). I Ferraresi temevano che tale soluzione producesse un carico idraulico eccessivo sul Po di Venezia (Grande), aumentando il rischio idraulico per Ferrara. Nel 1624, prima della visita di Monsignor Corsini, i Ferraresi avevano cercato di affidare lo studio del problema idraulico ai Gesuiti, e in particolare al nativo di Ferrara Niccolò Cabeo, ma il Padre Superiore impedì tale studio. Ciononostante, Cabeo scrisse un manoscritto intitolato *Dell'Introduzione dell'Acqua del Po in Volano e Primaro*, nel quale difendeva l'antico progetto dei Gesuiti del 1604. Nel 1628, Castelli pubblicò il suo trattato *Della Misura dell'Acque Correnti*. Nello stesso anno, Papa Urbano VIII favorì il progetto di condurre il Reno nel Po di Venezia (Grande), ma ancora una volta non venne dato corso al progetto. Tale richiesta venne avanzata nuovamente dai Bolognesi nel 1646, ma ancora nessuna attività seguì ai progetti. Con il Papa Innocenzo XII (pontificato: 1691-1700), nel 1694, si decise di immettere il Reno nel Po di Venezia (Grande). Questa volta fu però una guerra a impedirne l'attuazione. Nel 1716 si riesaminò il problema del Reno, ma intervennero, formulando pareri contrari ai progetti, Repubblica Veneta, Duca di Modena e Imperatore d'Austria. La cosa si ripeté nel 1719. Papa Benedetto XIII (pontificato: 1724-1730) decise di porre fine a questa lite proibendo di riproporre, in futuro, il progetto approvato dai suoi predecessori. Con la nomina a Papa di Benedetto XIV (pontificato: 1740-1758), della famiglia bolognese Lambertini, si riaprì nuovamente la questione del Reno, che sembrava essere stata chiusa dall'interdizione di Benedetto XIII. Questa volta, si decise di immettere il Reno nel Po di Argenta (Primaro). Si tentò con un primo canale per scolare le paludi del Reno nel Po di Argenta (Primaro): il Cavo Benedettino, iniziato nel 1724 e finito nel 1742, che nel 1750 fu già inutilizzabile. Nel 1761 si riaprì la pratica e nel 1767, con Papa Clemente XIII (pontificato: 1758-1769), si decise di modificare e completare il Cavo Benedettino, collegando così definitivamente il Reno, dal punto della rotta del Panfilio al Po di Argenta (Primaro) in località Traghetto. In questo modo il Reno trovò definitivamente la via del mare.

In particolare, Cabeo nota che nell'opera di Castelli non vi è alcuna menzione alla variazione della velocità dell'acqua corrente con la profondità. Castelli era consapevole della variazione della velocità all'interno della sezione fluviale, ma non fornisce alcuna indicazione sulla possibilità di misurare tale variazione. Nell'Appendice XI, Castelli si limita a scrivere che l'esame della velocità "si potrà fare tenendo conto per quanto spazio sia trasportata dalla corrente una palla di legno, o di altro corpo che galleggi in uno determinato tempo" (CASTELLI, 1628, p. 41). CABEO (1646) riconosce il rigore fisico-matematico di Castelli e lo attacca evidenziando la mancanza di metodi pratici di misura della velocità: "*Questa cosa è accuratamente ed ingegnosamente trattata in un libro scritto in italiano dal monaco Cassinese Benedetto Castelli, un uomo di matematica che tratta questa cosa intelligentemente ed eruditamente e che io preferisco esaminare in modo più fisico che matematico*". In particolare, CABEO (1646) afferma che "*quando si misura la velocità della corrente non è sufficiente compiere una misura ad una singola profondità perché spesso accade che la velocità è differente alle differenti profondità*".

Dopo aver descritto i problemi che discendono dal trascurare la variazione delle velocità nella sezione fluviale, CABEO (1646) propone una tecnica alternativa che fornisce indicazioni sulla variazione delle velocità con la profondità. Un bastone oblungho o una lancia di legno viene dotata di peso a una sua estremità mediante un piombo o un sasso in modo tale che, una volta disposta in acqua, il bastone si immerga parzialmente. All'estremità opposta, viene disposta una zucca vuota o una vescica di animale riempita d'aria. Quando tale dispositivo viene posizionato nell'acqua fluente, la misura della velocità può essere eseguita come descritto da Castelli, ma la variazione della velocità con la profondità potrà essere osservata attraverso l'inclinazione dell'asta (CABEO, 1646). Come il lettore avrà senz'altro notato, tale idea era stata già concepita da Leonardo (Fig. 9.2).

Domenico Guglielmini (1655-1710), medico bolognese, era particolarmente dedicato alle matematiche, all'astronomia e all'idrometria. Nominato nel 1686 intendente generale delle acque del bolognese, esordì col pubblicare nel 1691 il suo Trattato *Aquarum Fluentis Mensura*. Istituitasi nell'Università degli Studi di Bologna la cattedra di Idrometria, ne venne affidato l'insegnamento a Guglielmini, consentendogli di addentrarsi sempre più nello studio della fisica dei fiumi. Frutto di tali studi fu il libro *Della Natura de' Fiumi*, pubblicato per la prima volta nel 1697, il quale segna l'epoca in cui l'idraulica italiana è stata fondata su principi veramente positivi (LOMBARDINI, 1870).

Come riportato nelle note bibliografiche di Gabrio Piola, incluse nel libro di GUGLIELMINI (1852, p. X), "*egli pubblicò il suo libro De Aquarum Fluentium Mensura, dedicato al Senato di Bologna: e fu quest'opera che cominciò ad acquistargli per tutt'Europa la fama del valente Idraulico. Essa è divisa in sei libri e in un'appendice; è fondata sopra una teorica non molto rigorosa, ma è in generale assai utile per tutti coloro che hanno bisogno di pratici precetti per la condotta delle acque*". Nello stesso volume si trova scritto che "*Le principali proposizioni elementari stabilite già dal Castelli nel suo trattato Della Misura dell'Acque Correnti, pubblicato nel 1628, sono riprodotte nell'opera del Guglielmini; una però (ed è la più rilevante) vi si trova contraddetta, la quale ha per oggetto la misura delle velocità medie e delle portate dei fiumi. Aveva detto il Castelli che una tale velocità doveva prendersi proporzionale all'altezza delle sezioni: e il Guglielmini, dietro il principio generale di stimare la velocità negli efflussi proporzionalmente alla radice quadrata della distanza della luce dal supremo livello (principio ricevuto poi da tutti gl'Idraulici), volle che la suddetta velocità volesse stimarsi non nel-*

la semplice, ma nella sudduplicata ragion d'altezza. Oggi che per mezzo di formole analitiche si hanno delle equazioni fra la velocità media e la portata di un fiume, la pendenza e le dimensioni dell'alveo, è facile provare che quando il moto della corrente è assai rapido, vale la regola del Guglielmini; ma quando è assai lento, torna ancora meglio quella del Castelli; perché avendosi due termini di cui uno contiene la potenza semplice della velocità media, e l'altro il quadrato della velocità medesima, si può supporre senza notabile errore che svanisca il primo rimpetto al secondo nel caso di corrente rapida, ed il secondo rimpetto al primo in caso di corrente lenta".

Rispetto a Castelli, Guglielmini perde rigore nell'osservazione e nella logica matematica con cui riporta le sue proposizioni. Per esempio, la variazione spaziale della velocità lungo un sistema fluviale che Castelli aveva sorprendentemente riconosciuto, torna a essere mascherata dalle apparenze ingannevoli negli scritti di GUGLIELMINI (1852, p. XVII): "S'allontana un fiume dalla sorgente, e va perdendo successivamente l'accelerazione e il pendio; perciò più lontano dalla fonte correndo meno veloce, le acque sono sempre a maggior altezza: ivi dunque cresce la pressione e quindi la velocità, dunque per questa parte cresce la portata: vi è pertanto qui pure la concorrenza di opposti principj che s'intrecciano fra di loro". D'altro canto GUGLIELMINI (1852, p. 7) è ben consapevole che la complessità dei sistemi fluviali riesce difficilmente a essere inquadrata in schemi fisico-matematici "esatti" e scrive: "Io vi diedi, alcuni anni sono, la misura delle acque correnti, nella quale so di aver camminato con più di rigore, dal che fui obbligato a prescindere dagl'impedimenti, da' quali, o non mai, o quasi mai, va scompagnata l'acqua che corre per i canali; ma ora, che ho voluto darvi una Teorica de' fiumi, non poteva io farlo con una perfetta astrazione, senz'incorrere la taccia di fingermi una materia diversa da quella della quale si vale la natura nel formare gli alvei a' fiumi medesimi".

In definitiva, dell'opera di GUGLIELMINI (1852, p. XXIII) colpisce, più che il rigore metodologico e il contributo teorico, il coraggio di affrontare lo studio di complessi sistemi naturali, quali sono i sistemi fluviali e qual è il corpo umano, al quale si dedicava con successo più per necessità di sussistenza che per passione: "Il Filosofo tanto benefico che col frenare un solo torrente salvava immense sostanze, era per ordinario corrisposto di assai bassa mercede, ed ebbe più volte a soffrir disagio in un sistema di vivere, non dirò alieno dal lusso, ma inferiore ben anco alla comune coltura e politezza". Di fronte alla complessità della Natura, GUGLIELMINI (1852, p. 9) trova le sue qualità di Uomo umile e altruista: "Ciò che di buono mi sia riuscito di fare, io non lo so; so bene di non avere avuta altra mira in questo mio assunto, che di cooperare alla pubblica utilità; e perciò, quando non vi fosse altro di considerabile in esso, vi sarà almeno il motivo di aver scritto a tal fine, e soddisfatto all'obbligo ch'a tutti corre di adoperare il proprio, qual si sia, talento in pubblico vantaggio".

Elia Lombardini (1794-1878), emerito direttore generale delle Pubbliche Costruzioni della Lombardia, pubblicò numerose memorie sopra diversi argomenti dell'idrologia fluviale, stimolato dal desiderio di spiegare i rapidi cambiamenti del fiume Po che egli stesso osservava nel tratto cremonese. Tali studi vennero incorporati ed estesi nell'opera *Guida allo Studio dell'Idrologia Fluviale e dell'Idraulica Pratica* (LOMBARDINI, 1870). In tale opera Lombardini ricerca le origini della scienza idraulica (non solo italiana) e scrive: "Sul cadere di quest'ultimo secolo [il XV] era riservato al genio incomparabile di Leonardo da Vinci l'inventare quella scienza, attenendosi al metodo sperimentale, nel proclamare ed applicare il quale, indicandone le regole, precedette di oltre un secolo Bacone e Galileo". Lombardini comprende pienamente l'importanza della sperimentazione nell'idrologia fluviale concepita da Leonardo e può trarre vantaggio al tempo stes-

so dall'impostazione fisico-matematica introdotta da Galileo e sviluppata da numerosi altri scienziati italiani e stranieri.

Con Lombardini l'idrologia fluviale raggiunge la sua maturità e inizia la sua evoluzione scientifica nel senso più moderno del termine. Merita a tal proposito di essere citato un passo (LOMBARDINI, 1870) che appare di uno spessore scientifico del tutto sorprendente per i tempi in cui è stato scritto e riveste notevole significato anche nel contesto più attuale: *“La scienza delle acque, limitando da principio le proprie ricerche a ciò che riguarda l'architettura idraulica propriamente detta, all'arte cioè di farle servire pei comodi della vita, e di frenare le loro irruzioni, ella era scienza del tutto isolata. Ma vennero frattanto a cadere sotto l'occhio dell'osservatore altri fenomeni che per la serie delle cause e degli effetti si collegavano alla meteorologia, e le potevano fornire la controprova delle sue induzioni. Altri fenomeni parvero ripetere quelli che in una più vasta scala dovevano essere avvenute in una remota età del globo, e aggiunsero un nuovo capitolo alla geologia. E finalmente nel paragone de' fiumi la geografia fisica trovò un profondo argomento d'osservazione ed un nuovo lume per determinare la complessiva natura d'ogni regione della terra. Di modo che se si avessero per un momento a dimenticare tutti i diretti servizi che la scienza delle acque può prestare alle nazioni, ella formerebbe ancora un'importante materia di studi per l'aiuto che offre a molte altre scienze naturali?”*

Francesco Brioschi (1824-1897), matematico, si interessò anche dei problemi delle acque nei diversi ambiti dell'insegnamento, della ricerca scientifica e dell'ingegneria. A differenza del campo della matematica, nel quale Brioschi portò fondamentali contributi universalmente riconosciuti, in quello delle discipline idrauliche non si riconoscono suoi importanti apporti originali, neppure negli scritti del suo allievo Ettore Paladini. Tuttavia, a Brioschi va riconosciuto il merito di aver concepito e diffuso in ambiente accademico e professionale la corretta impostazione allo studio dei problemi idraulici (e non solo), dove l'astrazione fisico-matematica si combina armonicamente con la sperimentazione per fornire le migliori rappresentazioni dei complessi sistemi naturali. Brioschi nota lo iato che si era prodotto nel secolo XVIII tra l'idrodinamica teorica (orientata all'enunciazione dei principi idraulici e basata soprattutto su astrazioni matematiche) e l'idraulica pratica (orientata alle applicazioni idrauliche e basata soprattutto su misure di campo) e comprende la necessità di combinare gli strumenti teorici con le misure sperimentali. Nella memoria postuma del suo maestro di matematiche Gabrio Piola (PIOLA, 1852) si legge: *“L'idraulica razionale o la determinazione analitica delle leggi del movimento dei fluidi, sebbene abbia formato soggetto alle speculazioni di molti e distinti geometri, è tuttora avvolta in gravissime difficoltà... D'onde tali discordanze di risultamenti e di opinioni? Forse che le equazioni fondamentali comunemente accettate non sieno sufficienti alla spiegazione dei fenomeni, come alcuni pretendono? O forse che lo studio delle teorie idrauliche non debbasi distinguere da quello dell'idraulica sperimentale, come si fece fino ad ora; anzi debbano l'esperienza e l'osservazione fornire i mezzi principali e servire di guida alle ricerche astratte?”* Questa impostazione caratterizzerà tutti gli studi idraulici di Brioschi e si troverà ribadita in molti suoi scritti. Appare inoltre sorprendente che egli, grande matematico, riconosca nell'idraulica *“una scienza sperimentale, ed in molta parte puramente d'osservazione”*, attribuendo alla matematica *“un tenue ruolo”* subordinato a quello della sperimentazione e dell'osservazione (BRIOSCHI, 1865). Tale aspetto non sfuggì ai suoi successori Ettore Paladini e Giuseppe Colombo, che, subito dopo la sua scomparsa scrissero: *“nello studio dell'idraulica... fu il continuatore di quell'illustre scuola di idraulici italiani che comincia da Leonardo da Vinci per venire a Venturoli e Lombardini. Fu Brioschi che, pur avendo una così gran*

facilità nella trattazione analitica del moto delle acque, riavviò l'idraulica al metodo sperimentale con l'insegnamento e coll'opera" (COLOMBO, 1897).

Il principale campo applicativo nel quale Brioschi ebbe modo di promuovere le sue idee fu quello dell'idraulica fluviale, soprattutto in occasione della Commissione per il Po, da lui presieduta, che operò tra il 1873 e il 1880. Egli, tuttavia, anche in precedenza aveva sottolineato la necessità di basare lo studio dei fiumi sulla misura sperimentale delle portate e soprattutto sulla costruzione di equazioni interpolari che rappresentassero adeguatamente le scale delle portate nelle diverse sezioni⁶. Nella memoria *Sulle formole empiriche per le portate dei fiumi* Brioschi confronta criticamente alcune formule proposte per le scale delle portate di fiumi italiani e francesi (BRIOSCHI, 1866, 1867, 1876)⁷. Egli esprime in particolare un certo scetticismo nei confronti della formula applicata da Lombardini per il Ticino a Sesto Calende, notando un notevole scostamento rispetto alla prima di quelle di Bazin (HAGER, 2001), che egli conosce ed evidentemente giudica affidabile. Delle espressioni riportate e discusse per il fiume Po a Pontelagoscuro, Brioschi riporta quella di Lombardini nella forma $Q = 260,1 a^{3/2} (1 - 0,006 a^2)^{1/2}$, dove Q è la portata in metri cubi al secondo, a è la profondità idraulica (profondità media) della corrente, espressa in metri. Tale relazione si basa sulle assunzioni che la portata sia proporzionale alla radice quadrata della pendenza del "*pelo d'acqua*" (denominata, in termini tecnici, pendenza motrice o gradiente idraulico) e che quest'ultima sia una funzione decrescente della profondità idrica del "tipo" i proporzionale a $1 - 0,006 a^2$. Brioschi critica la formula di Lombardini notando che essa fornisce il massimo della portata per la profondità pari a 10 m e che fornisce valori reali solamente per profondità non superiori a 12,91 m.

In ognuna delle scale delle portate esaminate da Brioschi compaiono coefficienti che devono essere necessariamente determinati attraverso misure di portata e della corrente. Questo motiva l'interesse di Brioschi rispetto ai procedimenti matematici d'interpolazione e, più in generale, nei confronti dell'idrometria. Per il fiume Po a Pontelagoscuro, in provincia di Ferrara, fino al 1866 le uniche misure di portata disponibili erano quelle eseguite negli anni 1811, 1812, 1815 e 1820 da Teodoro Bonati (anch'Egli sarà membro della Commissione presieduta da Brioschi) della Pontificia Scuola d'Ingegneria di Roma; quella del 1815 (l'unica eseguita in condizioni di piena) era stata giudicata, tuttavia, di dubbia affidabilità da Lombardini. Nella sua memoria del 1876, Brioschi scrive: "*Spero di poter mostrare in breve l'uso di questa formola in un caso pratico di qualche importanza*"⁸. In seguito egli applicò le sue conoscenze matematiche alle misure di portata eseguite nel 1878 a Fossadalbero, in provincia di Ferrara, poco a valle della stazione di Pontelagoscuro, dalla Commissione per il Po, giungendo alla "*costituzione di una nuova scala padimetrica per Pontelagoscuro meglio rispondente delle ordinarie ai risultati sperimentali*" (BETOCCHI, 1881). Le campagne di misura di Fossadalbero sono rappresentate nel gruppo delle Tavole Cartografiche *Idrometria del Po* (16-22), aventi per titolo *Idrometria del Po*, allegate al presente volume e che verranno descritte brevemente nel paragrafo che segue. Esse costituiscono, da un punto di vista della storia dell'idraulica padana, la parte più interessante degli elaborati della Commissione Brioschi, almeno fra quelli che si sono conservati sino ai nostri giorni.

Le misure idrometriche di Fossadalbero

Le misure idrometriche di Fossadalbero⁹ sono descritte nelle Tavole Cartografiche (16-22) allegate al presente volume. Il tratto del fiume Po in prossimità dell'abitato di Fossadalbero è rappresentato nelle planimetrie delle Tavole Cartografiche 16 e 17. Tale tratto è stato presumibilmente scelto per le sue caratteristiche di regolarità geometrica, la cui importanza era ben nota a Brioschi, come si deduce dal suo programma di ricerca per il quinquennio 1885-1889, nel quale, riferendosi alle misure di velocità delle correnti, scrive: *“Sarà meglio, visto il carattere delicato di queste esperienze, ripeterle più volte sopra canali in terra di dimensioni, rispetto alla sezione, e di portate, differenti; e forse estenderle a qualche tronco rettilineo di fiume in opportuno stato d'acqua”*. Nel tratto di Fossadalbero sono state selezionate tre sezioni fluviali, distanti tra loro 50 m, che chiameremo qui “di misura” (Sezioni I, II e III). La larghezza dell'alveo in corrispondenza delle Sezioni I, II e III è pari a circa 456 m, come si desume dalle tavole successive. Nella planimetria della Tavola Cartografica 17 sono riportate anche le posizioni di 10 idrometri (5 in sponda destra e 5 in sponda sinistra) relativi a 5 sezioni fluviali, distanti tra loro 500 m, che chiameremo qui “idrometriche” (Sezioni N. 1, 2, 3, 4 e 5). La Sezione idrometrica N. 3 corrisponde alla Sezione di misura II. Tali idrometri venivano utilizzati per determinare le pendenze longitudinali del *“pelo d'acqua”*, come riportato nelle tavole successive.

Nella Tavola Cartografica 17, in basso, vengono illustrati i rilievi della Sezione di misura II di Fossadalbero eseguiti nell'autunno 1879 e nell'autunno 1880. Si può notare una certa variazione del fondo del canale nel corso di ciascuna delle stagioni autunnali considerate e una notevole variazione della sezione da un anno all'altro. Sono segnati in tale tavola i diversi stati di livello idrico in corrispondenza dei quali sono state eseguite le misure di velocità descritte nelle tavole successive. Altri fattori di controllo importanti sono descritti nella Tavola Cartografica 18: in essa vengono riportate le pendenze longitudinali dei peli d'acqua e le variazioni di livello durante le operazioni di misura delle velocità lungo le sezioni trasversali. Tali caratteristiche sono infatti importanti per valutare la validità dell'assunzione di moto quasi stazionario necessaria per la formulazione di una scala di deflusso a un solo valore (ovvero di una corrispondenza biunivoca tra livelli idrici e portate), permettendo in tal modo di spiegare, almeno in parte, possibili deviazioni delle osservazioni sperimentali rispetto a leggi di variazioni polinomiali delle portate con i livelli. Le variazioni temporali dei livelli idrometrici riportati nella Tavola Cartografica 18-VI si riferiscono alla Sezione idrometrica N. 3, ovvero alla Sezione di misura III.

Il quadro grafico riassuntivo dei valori dei deflussi calcolati coi rilievi eseguiti a Fossadalbero è riportato nella Tavola Cartografica 18-VII. I punti e le linee in rosso si riferiscono alle misure eseguite con le aste ritrometriche, mentre i punti e le linee in azzurro si riferiscono ai rilievi con mulinelli idrometrici. In funzione dell'altezza idrometrica (nella Sezione idrometrica N. 3), sono riportati (oltre alla portata) l'area della sezione trasversale della corrente e la velocità media. Si può notare come la velocità media non vari molto con l'altezza idrometrica e la variazione di portata sia pertanto connessa soprattutto alla variazione della sezione trasversale. Nella medesima Tavola Cartografica si rileva, accanto a ogni livello idrometrico osservato, l'indicazione sullo stato di variazione del livello: *“stato dell'acqua permanente”*, *“calante”*, *“aumentando”*, *“leggermente calante”* e *“leggermente aumentando”*.

Nella Tavola Cartografica 19 (VIII e IX) viene illustrata graficamente la procedura di determinazione e di verifica della scala di deflusso per la stazione di Pontelagoscuro, in Provincia di Ferrara. Tale procedura assume che le portate Q osservate a Fossadalbero siano rappresentative di quelle a Pontelagoscuro (un'ipotesi ragionevole data l'assenza di contributi laterali e perdite idriche importanti nel tratto in questione) e possano essere pertanto messe in relazione alle altezze idrometriche a di Pontelagoscuro, contate a partire da un piano orizzontale posto 6 m sotto il segno di guardia. Nella Tavola Cartografica 19-VIII viene riportata la formula di interpolazione $Q = (-14174,4357 - 51761,4660a + 651573,3937a^2 - 334395,9751a^3 + 94935,2697a^4 - 8702,2085a^5)^{1/2}$.

La relativa curva viene confrontata graficamente con i 15 punti, ottenuti nella campagna di misura di Fossadalbero del 1878 e utilizzati per la sua de-

terminazione, e con quelli ottenuti in campagne di misura antecedenti al 1878. In altre parole, viene rappresentata graficamente la qualità delle operazioni di taratura (o calibrazione) e di verifica (o validazione) del modello di interpretazione del legame tra altezze idrometriche e portate a Pontelagoscuro. Tra i dati utilizzati nella taratura, vengono distinti quelli ottenuti con mulinelli e quelli ottenuti con aste ritrometriche. Tra i dati utilizzati per la verifica, vengono menzionati quelli ottenuti nelle esperienze di Bonati e degli Allievi della Scuola Pontificia, in parte corretti dal Possenti. I valori delle profondità idriche a utilizzati per la determinazione della formula variano tra 0,77 e 4,77 m.

Nella Tav. III-9 viene riportata la formula ottenuta elaborando i dati di portata relativi a 19 osservazioni idrometriche effettuate nello stesso anno (1878), ovvero $Q = (-352932 + 286808a + 670833a^2 - 361382a^3 + 84265a^4 - 5862a^5)^{1/2}$.

Le profondità idriche a utilizzate sono comprese tra 0,77 e 6,50 m. Si può notare come i coefficienti del polinomio utilizzato da Brioschi siano fortemente dipendenti dal numero e dalla collocazione dei punti sperimentali. La formula ottenuta risulta soddisfacente rispetto alle misure eseguite nel periodo compreso tra il 1878 e il 1880 dalla Commissione per il Po, ma la validità del metodo di interpolazione utilizzato da Brioschi non riceve la dovuta attenzione da parte degli idraulici del suo tempo. A proposito di tale formula, infatti, PALADINI (1898) scrive: *"Sinora questa formola non ha avuto che scarsissima applicazione ma si può presumere che sarà ripresa e largamente applicata ed anche per essa il nome di Brioschi ricomparirà nel campo dell'idraulica fluviale"*. In realtà, questo non avvenne. Non vi sono tuttavia dubbi sul fatto che gli interessi di Brioschi nei confronti delle scale delle portate abbiano dato un notevole impulso all'idrometria italiana, già fondata sulle solide basi menzionate sopra. Alcuni dettagli sulle operazioni di misura effettuate a Fossadalbero vengono illustrate nelle Tavole Cartografiche 20-XII e 22-XVIII.

I risultati sperimentali venivano ottenuti attraverso un *"doppio sistema accoppiato di misure"*. Ogni misura veniva ottenuta utilizzando due diversi procedimenti: attraverso i mulinelli idrometrici, generalmente di tipo Amsler (rappresentato graficamente nella Fig. 9.3), e attraverso le aste ritrometriche. Queste ultime sono state menzionate in precedenza, quando si è trattata l'opera di

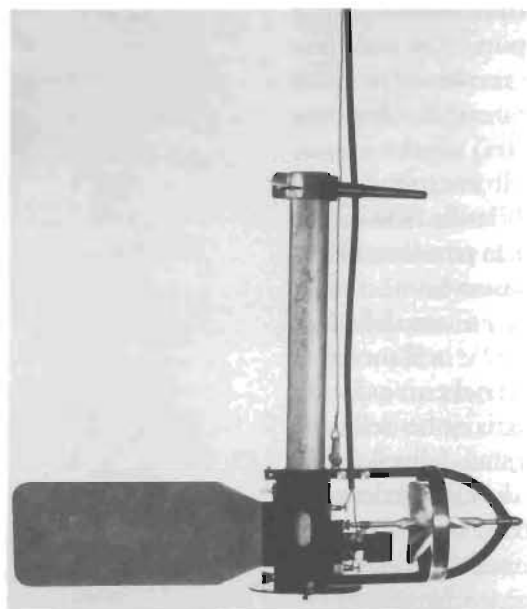


Fig. 9.3 - Mulinello idrometrico inventato dal matematico, fisico e ingegnere svizzero Jakob Amsler Laffon nel 1876, appena due anni prima delle campagne di misura di Fossadalbero. Questo mulinello fu applicato per la prima volta sul Fiume Reno presso Schaffhausen, in Svizzera, la città in cui Amsler Laffon viveva (NOAA Photo Library).

Cabeo e, come si è detto, sono logicamente riconducibili ai galleggianti zavorrati introdotti da Leonardo. Le aste ritrometriche utilizzate dalla Commissione per il Po erano costruite in legno a tronchi congiungibili mediante manicotti di ferro, oppure canne diritte di giunco traforate e zavorrate con pallini di piombo. Esse venivano rilasciate nella corrente in posizione pressoché verticale in modo che il loro moto potesse risultare indicativo della velocità idrica media lungo il profilo verticale. Più precisamente, lanciando da uno stesso punto aste di diversa lunghezza poteva essere valutata per confronto la distribuzione delle velocità idriche lungo la verticale. Riguardo alle misure effettuate con i mulinelli, è il caso di menzionare la cura con la quale veniva effettuata la taratura dei mulinelli e la precisione con la quale veniva determinato l'affondamento dei mulinelli nella corrente. La taratura dei mulinelli era effettuata periodicamente attraverso esperimenti in acqua corrente o in acqua ferma. Nel primo caso la velocità della corrente veniva determinata attraverso galleggianti o aste ritrometriche. Nel secondo caso il mulinello veniva trascinato con velocità nota all'interno di un corpo idrico di grandi dimensioni (ad esempio, il lago di Lecco o la darsena di Porta Ticinese a Milano). Durante le misure, il mulinello veniva appeso a un cavo calato attraverso un argano, o "*martinetto*", e l'affondamento del mulinello sotto il pelo libero della corrente era determinato misurando la lunghezza del cavo svolto. Questa lunghezza si ricavava dal numero di giri compiuto dal tamburo dell'argano tenendo anche in considerazione della diminuzione del diametro di avvolgimento del cavo sul tamburo dovuta allo spessore del cavo stesso.

Nella Tavola Cartografica 20-XII è rappresentata la disposizione degli operatori per le misurazioni di velocità con le aste ritrometriche e con i mulinelli. Tre imbarcazioni ("*navi*"), ancorate al fondo e legate tra loro mediante una fune, servivano per definire la sezione di monte (A-A-A, Sezione di misura I), mentre le altre barche, disposte lungo la corrente e legate tra loro, servivano per determinare i tempi di passaggio dalle Sezioni di misura II e III (B-B-B e B'-B'-B'). La posizione di tali imbarcazioni poteva essere determinata da terra attraverso un teodolite posto nella posizione C e una stadia graduata posta su ciascuna di esse. Nella stessa tavola viene anche fornito il dettaglio delle "*navi doppie*" (barconi, probabilmente del tipo di quelle che erano usate per i ponti di barche), sulle quali erano posizionati i mulinelli. Nella Tavola Cartografica 20-XIII sono illustrati i dettagli sulla disposizione degli operatori per il rilievo delle velocità con le aste ritrometriche e con i mulinelli. Le "*navi*" per il lancio delle aste appaiono trainate da "*navi*" di manovra a monte della Sezione di misura I, mentre barchette di raccolta delle aste sono posizionate a valle della Sezione di misura III. Sono presenti osservatori del passaggio delle aste nelle diverse sezioni di misura (I, II e III) ed è indicata anche la presenza di un operatore con tavoletta per le registrazioni (su carta). Riguardo alle misure con mulinelli, si possono notare le barche ancorate a sostegno della fune che determina la sezione trasversale (A-A-A), le barche dei mulinelli con stadia graduata e osservatore dei tempi (B-B), l'osservatore al teodolite per la lettura delle distanze e la sistemazione delle posizioni (C).

Nelle Tavole Cartografiche 20, 21 e 22 sono riportati i dettagli sulla misura delle velocità con mulinello e sulle relative distribuzioni di velocità lungo le sezioni trasversali. Durante le operazioni di misura con i mulinelli, potevano essere misurate anche le profondità idriche mediante scandagli, secondo "passi" (= intervalli) con valore medio di circa 12 m, su una sezione con lar-

ghezza pari a 456 m. I profili di velocità erano rilevati con cadenza media di circa 30 m, ma con distribuzione addensata in corrispondenza delle variazioni di sezione e di velocità più accentuate. Lungo il profilo verticale erano eseguite numerose misure con mulinello, a intervalli con ordine di grandezza pari a circa 1 m. Le velocità rilevate appaiono variabili da valori prossimi a 0,6 m/s fino a valori prossimi a 1,7 m/s. Vengono poi confrontate le variazioni delle velocità medie (sul profilo verticale) lungo la sezione trasversale, ottenute attraverso le misure con asta ritrometrica e con mulinello. Le velocità medie variano tra valori prossimi a 0,8 m/s fino a valori prossimi a 1,5 m/s. Nella Tavola Cartografica 22 è redatto un quadro complessivo delle misure effettuate con asta idrometrica. Per ogni posizione di misura lungo la sezione trasversale, le misure con asta ritrometrica erano ripetute più volte e veniva presumibilmente riportato il valore medio delle misure del "gruppo" come valore rappresentativo della velocità in quella posizione.

La descrizione tecnica delle campagne di Fossadalbero lascia supporre che esse abbiano fornito misure di portata e di sezione trasversale della corrente del tutto soddisfacenti. La strumentazione impiegata è sostanzialmente paragonabile a quella ancora oggi in uso e i passi di campionamento sono stati scelti in modo decisamente accurato. I metodi di interpolazione utilizzati per determinare le scale delle portate sono quanto mai adeguati, essendo stato Brioschi un maestro di tale specialità. Le incertezze maggiori nell'applicazione delle scale di deflusso ottenute dalla Commissione per il Po sono state probabilmente dovute al loro eventuale uso al di fuori del campo di profondità idrometriche e portate disponibili per la taratura; un aspetto che a tutt'oggi rimane largamente irrisolto.

Dall'Ottocento ai nostri giorni

Come riportato da CAESPERLEIN (1974), non vi sono stati significativi progressi concettuali nelle misure idrometriche dall'Ottocento ai nostri giorni. Gli idrogrammi di piena vengono comunemente determinati attraverso l'uso combinato di misure di livello e di scale di deflusso tarate mediante misure di portata con mulinelli idrometrici. Altri metodi, per esempio quelli basati sull'uso di traccianti o di soluti, non hanno dimostrato la loro superiorità, soprattutto nel caso di grandi fiumi. Per una descrizione tecnica dettagliata dei metodi attualmente utilizzati, il lettore è rimandato alla pubblicazione di RANTZ *et Alii* (1982). Va tuttavia notata la continuità con la quale gli idraulici italiani hanno cercato, con il loro appassionato lavoro, di dimostrare l'importanza delle misure idrometriche (per esempio, DI MARCHI, 1914; CATI, 1981). Le stazioni idrometriche "storiche", ovvero quelle che hanno funzionato con una certa continuità dalla prima metà del XX secolo ad oggi, per il fiume Po ed i suoi affluenti, sono circa 50, di cui 7 sull'asta principale a valle di Crissolo (CATI, 1981, p. 107). Le stazioni pluviometriche storiche, nel senso specificato sopra, presenti sul bacino idrografico del fiume Po, sono circa 500 (CATI, 1981, p. 42). Vi è oggi la consapevolezza che molta dell'incertezza nelle misure delle portate rimane connessa alla variabilità spazio-temporale degli alvei naturali, specialmente di quelli montani e pedemontani. Questa consapevolezza alimenta il desiderio degli idrologi di poter giungere a misure di portata, ovvero della geometria idraulica e della velocità della corrente, continue nel tempo.

Le prospettive future

Il rammarico di Brioschi derivante dalla scarsa attenzione prestata dalle Istituzioni Italiane rispetto alla necessità di eseguire estensive campagne di misura delle correnti fluviali ha accompagnato gli idraulici italiani fino ai giorni nostri. Vi era, e vi è oggi, la consapevolezza scientifica e tecnica che le misure idrometriche fossero essenziali per la soluzione di numerosi problemi territoriali: ad esempio, comprensione innanzi tutto di quello che stava accadendo nel Po durante l'Ottocento e che era stato all'origine della stessa Commissione Brioschi; inoltre, progetti delle costruzioni idrauliche, preannuncio delle piene, gestione dei serbatoi, navigazione interna, approvvigionamento idrico, conservazione e ripristino degli *habitat* acquatici. Le misure idrometriche, effettuate in modo standardizzato, con precisione nota e per un periodo sufficientemente prolungato, sono tuttavia raramente disponibili. Un esame della situazione sino ai giorni nostri e alle prospettive future non può che fare riferimento a quanto avviene in quei Paesi che hanno dimostrato una maggiore sensibilità al problema delle misure idrometriche come, per esempio, gli Stati Uniti d'America, nella speranza che possa servire di stimolo anche all'Italia, che ha dato i natali ai pionieri dell'idrometria fluviale.

Come riportato da HIRSH & COSTA (2004), l'ente statunitense *United States Geological Survey* (USGS) gestisce 7000 stazioni idrometriche, ovvero il 90% delle stazioni che forniscono i dati idrometrici per l'uso pubblico negli Stati Uniti d'America. La maggior parte dei dati di portata non sono basati su misure dirette, ma sulla misura del livello idrico e sulla trasformazione dei livelli in portate ottenuta attraverso una scala di deflusso. La misura di livello viene ottenuta con una precisione di 3 mm e le incertezze maggiori nei dati di portata sono dovute ai limiti delle scale di deflusso derivanti dal fatto che le sezioni fluviali cambiano nel tempo. La maggiore attenzione è stata rivolta, almeno fino a 10 anni fa, all'aggiornamento delle scale di deflusso, eseguito dal personale dell'USGS attraverso misure topografiche e di velocità con frequenza di 8-10 volte all'anno (per ogni stazione). Questo procedimento ha permesso di ottenere dati di portata con una precisione pari a 5-10% e di rendere questi dati pubblici con tempi di 6-18 mesi. La possibilità di ottenere dati di portata adeguati attraverso misure di livello e scala di deflusso è condizionata dal fatto che le misure dirette di velocità con mulinello idrometrico sono molto onerose e possono risultare inaffidabili, talora poco praticabili o impossibili in certe condizioni, come, per esempio, durante le piene o in tratti nei quali la corrente è rapidamente variabile. In tali circostanze la portata viene stimata, sebbene con precisione sensibilmente minore, sulla base delle tracce lasciate dalla corrente sulle sponde (da oggetti galleggianti, vegetali o derivanti dall'*inquinamento* antropico) e formule empiriche. Oggi, la determinazione delle scale di deflusso continua a rappresentare la fase più problematica del processo di raccolta delle misure idrometriche; negli ultimi 10 anni, tuttavia, sono state introdotte alcune importanti innovazioni nella misura diretta delle velocità.

L'innovazione più importante è data dall'uso dell'*Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) (SIMSON, 2001). L'ADCP utilizza onde acustiche, tipicamente con frequenza nel campo 300-3000 kHz, per misurare la velocità idrica lungo gran parte del profilo verticale della corrente, in relazione al cambiamento della frequenza del segnale acustico riflesso dal materiale trasportato in sospensione. L'ADCP determina inoltre la profondità idrica della corren-

te in funzione del tempo di transito del segnale riflesso dall'alveo fluviale e la larghezza della corrente in funzione della velocità della barca su cui viene posizionato il sensore, che è a sua volta determinata attraverso lo spostamento Doppler di un diverso segnale riflesso dall'alveo. L'ADCP ha portato tre importanti contributi alla misura diretta delle correnti fluviali: (1) una misura di portata con mulinelli idrometrici richiede almeno 20 misure puntuali e può essere completata in diverse ore, mentre la misura basata sull'ADCP richiede alcuni minuti e risulta ugualmente precisa; (2) l'ADCP permette di misurare correnti fluviali fortemente variabili nello spazio e nel tempo che non sono misurabili con misure convenzionali basate su mulinelli idrometrici; (3) l'ADCP permette di misurare direttamente la variazione della velocità lungo il profilo verticale senza dovere necessariamente assumere una variazione di tipo logaritmico. L'uso dell'ADCP è già piuttosto diffuso negli Stati Uniti d'America e permette di svolgere un numero di misure dirette delle correnti di piena circa tre volte superiore rispetto a quello ottenibile con lo stesso personale e con mulinelli idrometrici.

Le campagne sperimentali per la misura delle correnti rivelano che in natura si possono sempre realizzare condizioni nelle quali i metodi esistenti, che richiedono il posizionamento di strumenti all'interno della corrente, si dimostrano inadeguati. Esse si verificano per esempio quando l'alveo fluviale è instabile, oppure quando condizioni di trasporto di sedimenti e materiale flottante durante una piena precludono l'uso di mulinelli idrometrici o dell'ADCP. In ragione di tali limitazioni, i ricercatori dell'USGS sono oggi impegnati nello studio di tecniche di misura basate sull'uso di microonde o di radar a bassa frequenza per misurare la portata senza il bisogno di posizionare strumenti all'interno delle correnti fluviali. Per determinare la portata relativa in una sezione fluviale è necessario misurare: (1) la velocità media e (2) la sezione trasversale della corrente, ovvero la larghezza superficiale e la profondità media. I metodi studiati attualmente mirano a determinare la velocità media attraverso una serie di misure puntuali effettuate con un diffusore Bragg ad alta frequenza (10 GHz) che emette un segnale radar Doppler, mentre la sezione trasversale viene determinata sospendendo uno strumento noto con la dicitura inglese di "*ground-penetrating radar*" (GPR) a bassa frequenza (100 MHz) sulla corrente in corrispondenza di un ponte o di una teleferica (COSTA *et Alii*, 2000). In alternativa all'uso del ponte o della teleferica, il GPR può essere montato su un elicottero (MELCHER *et Alii*, 2002). Tali misure, inoltre, offrono il vantaggio notevole di non richiedere una scala di deflusso, essendo le variabili (velocità media e sezione trasversale della corrente) misurate direttamente e in modo continuo. I metodi di misura delle portate, che non richiedono il posizionamento di strumenti entro la corrente fluviale (cosiddetti "non invasivi"), offrono interessanti prospettive, anche se devono essere ancora risolti diversi problemi, per una loro applicazione come, per esempio, quello relativo alla limitazione nella penetrazione del segnale radar in acqua. Nei metodi che misurano le caratteristiche superficiali della corrente, è inoltre necessario fare un'assunzione circa la variazione della velocità idrica con la profondità della lama d'acqua; nonostante sia comunemente accettato che la velocità vari con legge logaritmica, tale circostanza non è sempre verificata in natura (per esempio, negli alvei montani).

Lo sguardo al futuro si completa considerando la possibilità di misurare le caratteristiche delle correnti dallo spazio (FRAMJI, 1974; ALDORF & LETTEN-

MAHER, 2003; ALSDORF *et Alii*, 2003). I sistemi di acquisizione delle misure idrometriche dallo spazio possono essere basati sull'uso dell'altimetria radar, per la misura dei livelli, o dei radar ad apertura sintetica di tipo interferometrico, per la misura delle velocità superficiali (GOLDSTEIN & ZIEBER, 1987). Molti fiumi del mondo non sono provvisti di stazioni idrometriche: per questo motivo, la possibilità di misurare i corpi idrici superficiali su tutto il pianeta apre importanti prospettive al miglioramento della conoscenza del ciclo idrologico e dei relativi fattori meteoroclimatici e biogeochimici alla scala globale. La possibilità di seguire l'evoluzione spazio-temporale delle correnti fluviali, che si esplicano nelle aste fluviali principali di un bacino idrografico di grandi dimensioni, con estensione di oltre 100.000 km², inoltre, offre notevoli potenziali di miglioramento per la previsione e il preannuncio delle piene fluviali.

Si deve precisare, comunque, che l'affidabilità delle misure delle correnti fluviali dallo spazio non è ancora provata e appare in prospettiva più realistica per i grandi fiumi (VÖRÖSMARTY *et Alii*, 2002). D'altro canto, anche i corsi d'acqua di piccole e medie dimensioni, ovvero, in questo contesto, quelli che sottendono aree inferiori a 10.000 km², sono molto importanti per lo sviluppo e la protezione del territorio. Per essi le misure a terra, di tipo convenzionale (per esempio, quelle basate su mulinelli idrometrici) e di tipo avanzato (per esempio, quelle basate sull'ADCP), rimarranno verosimilmente necessarie. In generale, si può prevedere che le nuove tecnologie di misura delle correnti fluviali di piccole e grandi dimensioni costituiranno un'utile integrazione delle tecniche convenzionali e occorrerà concepire sistemi integrati di simulazione e di assimilazione delle informazioni fornite da diverse fonti; i metodi noti con la dicitura anglosassone "*data assimilation*" permettono di determinare lo stato dei sistemi idrologici (per esempio, umidità del suolo o livello idrico nei corsi d'acqua) attraverso la combinazione di diversi tipi di informazioni (per esempio, previsioni modellistiche, misure convenzionali e misure avanzate) e costituiscono l'oggetto di una delle più importanti linee di ricerca attuali in idrologia (TROCH *et Alii*, 2003).

È appena il caso di evidenziare, infine, come la visione per il futuro dell'idrometria fluviale si basi oggi sugli stessi principi ai quali si sono ispirati uomini di scienza del passato come, insieme ad altri, Brioschi, Lombardini, Guglielmini, Castelli, Cabeo, Galileo e Leonardo, e come anche gli strumenti tecnologici di cui oggi disponiamo siano stati concepiti essenzialmente grazie al merito intellettuale che loro stessi hanno fatto germinare. Il processo di formazione dell'idrometria fluviale fornisce un evidente esempio dello stretto legame tra lo slancio scientifico verso la comprensione dei fenomeni naturali, innato nell'Uomo, e lo sviluppo tecnologico, richiesto per la soluzione dei problemi reali; due fasi separate da un unico fattore essenziale: il tempo.

L'autore ringrazia il Prof. Maurizio Pellegrini e la Dott.ssa Laura Arru (Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia), il Prof. Baldassare Bacchi (Università degli Studi di Brescia), il Prof. Stefano Piva (Università degli Studi di Ferrara) e il Prof. Stefano Mambretti (Politecnico di Milano) per le loro revisioni critiche, che hanno portato a miglioramenti del manoscritto.

Note

1. Vi è oggi la tendenza di includere altre misure relative all'acqua. Il termine anglosassone "*hydrometry*" comprende talvolta la misura del trasporto solido fluviale (BOITEN, 2000) o addirittura l'osservazione e la misura di tutte le variabili che descrivono il ciclo idrologico, ottenute attraverso sensori a terra o remoti, nonché i metodi di trattamento dei dati e delle relative incertezze (HERSCHY, 1998). Nel presente capitolo si considera la definizione originale di idrometria, ovvero quella che ripone l'attenzione sulle correnti fluviali.

2. In estrema sintesi, il metodo scientifico introdotto da Galileo richiede una risposta a due domande: (1) È possibile una verifica empirica? (2) È possibile fare previsioni? Se ad almeno una di queste domande non è possibile dare una risposta positiva, allora non si può parlare, in termini appropriati, di scienza.

3. Il metodo scientifico nacque ufficialmente con Galileo, ma già Platone distingueva tra "opinione" e "conoscenza scientifica". Rispetto ad Aristotele, che viene dopo, Platone pensa che le interpretazioni qualitative della natura siano superficiali e nascondano interpretazioni più profonde di carattere quantitativo. Aristotele non è interessato alle leggi matematiche che descrivono quantitativamente come si evolvono i fenomeni naturali, bensì alla spiegazione in termini qualitativi di cosa siano i fenomeni naturali e perché essi si verificano. Galileo non sembra invece interessato alle descrizioni qualitative, ma solo a quelle quantitative esprimibili in termini matematici rigorosi. Apparentemente, la visione Aristotelica è più generale e ambiziosa. In realtà, entrambe mirano a fornire risposte su come (quantitativamente) e perché (qualitativamente) i fenomeni naturali si verificano. La differenza è nel metodo, essendo quello scientifico vincolato alla verifica sperimentale (quantitativa). Tale metodo è accettato anche ai giorni nostri, come espresso in modo inequivocabile dal noto fisico Richard Phillips Feynman: "*It doesn't matter who the physicist is, or how smart he/she is, or how he/she came up with the new law. If it disagrees with experiment, then it is wrong*".

4. Equazione di continuità = esprime una legge di conservazione della massa. Per un osservatore che considera un volume di controllo fisso nello spazio (osservatore Euleroiano), tale equazione esprime che la variazione nel tempo della massa contenuta nel volume di controllo è pari alla portata in massa (massa per unità di tempo) entrante meno la portata in massa uscente. Nel caso di un tronco fluviale compreso tra le sezioni 1 e 2, assumendo che la densità dell'acqua sia uniforme e permanente e che non si abbiano contributi laterali, l'equazione di continuità esprime che la variazione nel tempo del volume idrico compreso tra le sezioni 1 e 2 è pari alla portata (volume per unità di tempo) che transita attraverso la sezione 1 meno la portata che transita attraverso la sezione 2. Se il moto è permanente (ovvero invariante nel tempo) si deduce che la portata nelle due sezioni 1 e 2 è la medesima. Si ottiene dunque che in un tratto fluviale lungo il quale i contributi laterali sono assenti, la portata $Q = \Omega U$, dove Ω è la sezione della corrente e U è la velocità media della corrente, si mantiene costante al variare della sezione fluviale.

5. Tale critica s'inserisce nel contesto della disputa tra Bologna e Ferrara sulla sistemazione idraulica del fiume Reno già menzionata sopra.

6. Lo stesso BRIOSCHI (1876) definisce la scala delle portate come "*una formola per mezzo della quale il valore della portata di una canale o di un fiume in una data località si esprime in funzione dell'altezza media dell'acqua sul fondo, o meglio dell'altezza denominata idrometrica; e nella quale i coefficienti numerici sono determinati in base ai risultati di osservazioni e di esperienze eseguite nella stessa località*".

7. Mentre l'idraulica del XVIII secolo si concentrò sui flussi idrici attraverso gli orifici, l'idraulica sperimentale del XIX secolo cercò di quantificare la velocità idrica delle correnti che si formano nelle condotte e nei canali aperti. Antoine Chézy (1718-1798) legò per primo la velocità media della corrente U , il raggio idraulico R , il gradiente idraulico S e un coefficiente di proporzionalità C (solo in seguito connesso alla scabrezza della parete) attraverso la legge di potenza $U = C(RS)^{1/2}$. Altre formule vennero in seguito proposte da Gaspard Prony (1755-1839) e da Pierre Girard (1765-1836). Un avanzamento decisivo nell'idraulica delle correnti a pelo libero si ebbe tuttavia solamente in seguito alla pubblicazione di due importanti lavori sperimentali: il primo venne svolto negli Stati

Uniti da Andrew Atkinson Humphreys (1810-1883) ed Henry Larcom Abbot (1831-1927), membri del Bureau of Topographical Engineers, e riguardò il fiume Mississippi (HUMPHREYS & ABBOT, 1861), mentre il secondo fu svolto da Frenchmen Henry Darcy (1803-1858) e da Henry Bazin (1829-1917) e riguardò il Canale di Borgogna presso Digione, in Francia (BAZIN, 1865). Questi dati vennero esaminati da diversi idraulici tedeschi e francesi, tra i quali Philippe Gauckler (1826-1905), a cui si deve la formula di Gauckler-Manning-Stickler, $U = k_S R^{2/3} S^{1/2}$, dove k_S è un coefficiente di conduttanza, comunemente usato anche ai giorni nostri (GAUCKLER, 1867a, 1867b, 1868; MANNING, 1891, 1895; HAGER, 2001). Tale formula venne subito recepita anche nella comunità scientifica e ingegneristica italiana, dove il nome di Gauckler venne però scritto erroneamente come "Gauchler" (GIORNALE DELL'INGEGNERE E DELL'ARCHITETTO, 1868).

8. In più circostanze Brioschi dimostra il suo rammarico per il fatto che in Italia, malgrado le sue esortazioni, non fossero state condotte campagne estensive di misura delle correnti fluviali come era invece stato fatto in Francia e negli Stati Uniti (BRIOSCHI, 1871).

9. La località di Fossadalbero è posta in Provincia di Ferrara, in destra idraulica del fiume Po, circa 10 km a valle di Pontelagoscuro.

10. Le alluvioni del Po nel secolo XIX: alla ricerca delle cause

Baldassare Bacchi, Stefano Orlandini, Maurizio Pellegrini

La situazione idrologica del Po, dal Settecento alla prima metà del secolo scorso, è in buona parte documentata dal *Padimetro di Ferrara* (LEZIROLI, 2005), sul quale le grandi piene comprese tra il 1705 e il 1951, riferite all'idrometro di Pontelagoscuro, si succedono nel tempo in modo tale che ciascuna di loro supera in altezza quella precedente, con l'eccezione di un unico caso, il 1857, ma per pochi centimetri. Ciò corrisponde al concetto della cosiddetta "massima piena", utilizzato fino agli anni Sessanta del XX secolo quale indice per il dimensionamento delle opere di difesa idraulica lungo i corsi d'acqua italiani (MAIONE, 1981). Su di esso sono registrati, infatti, otto eventi del secolo XVIII (1705, 1719, 1729, 1733, 1755, 1772, 1777, 1799), dieci del secolo XIX (1801, 1807, 1810, 1812, 1839 due volte, 1857, 1868, 1872, 1879) e due del secolo XX (1917 e 1951): si veda la Fig. 10.1. Come si può comprendere dalla lettura del cap. 7 (curato da P. MIGNOSA), sul manufatto non sono stati registrati tutti gli eventi importanti del secolo XIX, mancandone altri dieci (1802, 1803, 1808, 1811, 1823, 1840, 1841, 1843, 1846 primavera, 1846 autunno), e nemmeno tutti quelli del secolo XX, non essendo indicati tre eventi (1926, 1994 e 2000) sui cinque più importanti. Il *Padimetro di Ferrara*, dunque, non ha un valore statistico assoluto (in senso moderno), ma sintetizza molto bene quello che stava succedendo nel Po dalla fine del secolo XVI: la frequenza delle piene aumentava nel tempo e di pari passo tendeva a crescere il livello delle acque all'interno dell'alveo, vale a dire il *livello idrometrico*, misurato rispetto a un segnale convenzionale di riferimento, lo *zero idrometrico* o *livello di guardia*, riportato per Pontelagoscuro anche sul *Padimetro di Ferrara*. Nei secoli precedenti, infatti, per il Po in area centro-padana, sono documentati tre eventi alluvionali importanti nel secolo XIII, tre nel XIV, due nel XV, sei nel XVI, quattro nel XVII (GRABBI, 1998; LOMBARDINI, 1840), passando poi agli otto del XVIII e ai dieci del XIX, utilizzando per questi due secoli le sole registrazioni del *Padimetro di Ferrara*. Si tratta di un'analisi statisticamente non molto attendibile, in quanto, come sempre accade, il numero dei documenti disponibili decresce andando a ritroso nel tempo, ed è certamente incompleta, come sopra detto, anche per l'Ottocento. Essa rivela, tuttavia, una situazione di fatto abbastanza rappresentativa della realtà di quanto andava succedendo non solo nel bacino del Po e dei suoi affluenti, come descritto dal LOMBARDINI (1840, 1865, 1867-1868), ma anche in molti degli altri fiumi italiani ed europei. In altri termini, la necessità di bonificare le aree alluvionali depresse intorno a grandi e piccoli fiumi, per aumentare le superfici coltivabili e migliorare le condizioni igienico-sanitarie delle popolazioni, poneva la necessità di

mi, partendo dall'esame dei fatti, era di eguale avviso; ed attesa l'importanza dell'argomento, invitava gli ingegneri a fare su di esso più estese ricerche. Egli dubitava per altro che i fiumi i quali traggono il principale loro alimento perenne dalle più alte Alpi, e da perpetue ghiacciaje, o immediatamente, o per mezzo di ampi laghi, siano quelli in cui le anomalie della portata e le diminuzioni delle magre sono state in proporzione meno sensibili?

Un altro idraulico, Angelo Manfredi, avanza tuttavia qualche riserva, sulle "certezze" del Lombardini; questo, a p. 140, mostra un certo scetticismo su quanto afferma il Collega: [A. Manfredi] *"Dice che la pioggia a Milano in un secolo si sia accresciuta di un sesto⁴, ciò che io ho pure ammesso, e che ritengo, abbia a concorrere nell'aumentare la portata delle piene"*, poiché subito di seguito, a sostegno che sia il disboscamento la causa principale, cita gli scritti del Belgrand, sicuro sostenitore del ruolo determinante della vegetazione sul regime dei fiumi, come del resto appare dal titolo del suo scritto, pubblicato a puntate (*Annales des Ponts et Chaussées*; 1846, 1851, 1854), *Hidrologie. De l'influence des forêts sur l'écoulement des eaux pluviales*.

Anche Maurizio Brighenti: *"esposte le ragioni per le quali non troverebbe di ammettere che l'incremento della portata delle piene de' fiumi abbia ad attribuirsi al dissodamento de' boschi; e confutate le mie deduzioni rispetto alle piene del Panaro, ricavate da fatti non abbastanza completi e precisi, conchiude che tornerebbe a bene della scienza astenersene, per non cadere nelle difficoltà degli etimologisti e dei troppo eruditi le quali restano sempre, e danno luogo a controversie interminabili?"* (p. 4). Il LOMBARDINI continua a riportare i commenti molto "pesanti" del Brighenti sulle sue ipotesi, alla divertente lettura diretta dei quali rimandiamo; ma non si lascia certo scoraggiare. *"Queste illazioni per altro non concorderebbero colla massima generalmente accettata, che la fisica de' fiumi, siccome scienza di osservazione, abbia a progredire principalmente collo estendere lo studio dei fatti e col loro coordinamento"*.

Il LOMBARDINI, sempre al riguardo del regime del Po nel suo tempo, qua e là, nelle sue pubblicazioni (1865 e 1867-1868), accenna a un'altra possibile causa, quella del trasporto solido (p. 83), del quale però non riesce forse ad avere una visione d'insieme per la mancanza di rilievi sistematici. Accenna ad esempio, molto giustamente all'enorme trasporto solido del Fiume Trebbia, la cui foce in Po fa tornare "torrente" questo fiume, con isole ghiaiose (si veda anche la Tav. I-6 delle planimetrie della Commissione Brioschi: *Carta Corografica colla livellazione generale del Po nella provincia di Piacenza*; destra idraulica); sopravvaluta quello di Secchia e soprattutto di Panaro, ai quali riconosce però un trasporto fatto quasi esclusivamente di argille, forse in base all'interrimento notato nei tratti finali dei due corsi d'acqua, che occupano rispettivamente gli alvei a grandi meandri del Po Vecchio e del Po di Primaro, entro i quali, formando i loro più piccoli meandri, i due fiumi hanno innescato processi erosivi locali e di susseguente trasporto.

Sempre a proposito del trasporto solido, fa notare la velocità di progradazione⁵ del delta nuovo, formato dopo il compimento del Taglio di Viro, dopo il 1605. A p. 82, scrive: *"... emerge che per gli afflussi dei tributari dell'Apennino, di carattere torrentizio, e generalmente effimero, avverrà un assottigliamento di portata, ma non già per quelli dei fiumi lacuali, di carattere permanente, nei quali il riempimento dell'alveo del Po non ha misura apprezzabile anche nelle piene estive della durata, non di qualche giorno, ma di parecchi mesi, nel qual periodo le acque rimangono di solito contenute fra le piarde, ed il loro livello non va soggetto a notevoli oscillazioni. Nelle maggiori piene autunnali e di primavera, quando vengono inondate le sue golene sopra un'immensa superficie, ha luogo un attenuamento di portata anche nei fiumi lacuali, ma senza alcun danno, poiché in tali cir-*

Fig. 10.1 - Livelli delle piene a Pontelagoscuro, dal 1705 al 1951, riportate dal padimetro di Ferrara, in Piazza Martiri della Libertà, sulla colonna d'angolo del Palazzo Comunale, modellata con la pietra ("marmo") del Biancone di Verona.

costanze si sospende la navigazione, lo che si limita per termine medio ad un periodo di soli 21 giorni. Viene con ciò dimostrato che, mentre afflussi dei fiumi lacuali favoriscono in grado sommo la navigazione del Po, e l'escavazione del suo letto, da quelli dei fiumi dell'Apennino si ha sempre all'opposto una perturbazione, atteso che colmano il thalweg, e rimane così incerta la via da seguirsi dal barcheggio"⁶.

Elia Lombardini comprese, ai fini dell'interpretazione dei livelli idrometrici, che il profilo di fondo del fiume e le sue eventuali variazioni avevano un'importanza fondamentale, tentando di anticipare quello che avrebbe fatto di lì a pochi anni la Commissione Brioschi: *"Intorno al 1854 mi sono interessato perché dall'Istituto Geografico in Vienna venisse tratta copia dei rilievi di livellazione e sezioni praticati dagli ufficiali del Corpo Topografico italiano nel 1813, rispetto all'ultimo tronco del Po a valle di Palantone: copia che allora venne acquistata dall'Amministrazione provinciale di Ferrara. Avendo io pure acquistata in pari tempo copia del profilo longitudinale da Palantone a Cavanella di Po..."* (p. 94). Da questo confronto si rileva che a Pontelagoscuro, dal 1813 al 1853, l'alveo si era alzato di 2,7 m, a Francolino di 0,30 m e da Polesella sino a Cavanella si sarebbe sempre abbassato di anche oltre 5 m.

Nel 1866 un tecnico di valore, ARRIVABENE (1866) *notava che il fiume era cambiato*: le piene e le alluvioni disastrose di quel secolo dipendevano da tanti fattori, quali l'eliminazione dei boschi nelle montagne, la bonifica idraulica e il restringimento delle golene e, soprattutto il *"progressivo elevamento del fiume"*, conseguenza dei fattori precedenti (SALVADORI, 1987). Il LOMBARDINI (1873) non era d'accordo con questa *"diagnosi"* concettualmente credibile, rimaneva sempre della sua idea, che il disboscamento fosse la causa nettamente preponderante.

Il dibattito scientifico, al quale partecipò anche il Turazza, era dunque aperto, anche nella prospettiva degli interventi da compiere, quali l'inalveamento del Reno in Po, già decretato (1805) ai tempi di Napoleone, e la sistemazione di tutta l'idrografia della pianura modenese, mantovana e ferrarese sino al mare, cioè l'area più critica per le grandi alluvioni. Dibattito che continua ancor oggi al cospetto delle nuove situazione determinatesi.

Come affrontare attualmente il problema

La documentazione prodotta nel triennio 1878-1880 dalla Commissione Brioschi, come è stato esaminato nel cap. 9 da S. ORLANDINI, con le tecniche di rilievo da essa codificate, consentirà, nel secolo successivo, non solo misure sistematiche d'altezze idrometriche, ma anche di portata, che, insieme a quelle delle piogge, favoriranno una corretta interpretazione del regime del fiume e delle sue dinamiche complessive.

Il problema, che si pose nell'Ottocento al riguardo dell'aumento di frequenza delle piene e dei relativi livelli idrometrici, potrebbe essere risolto in maniera analitica se si disponesse di tutta quella serie di dati, che furono pubblicati, in maniera sistematica per tutto il bacino padano, il Po e i suoi affluenti, a partire dal 1921, a cura del Servizio idrografico Italiano.

In estrema sintesi, per tutto il periodo al quale ci riferiamo (secoli XVIII e XIX) e per il quale vorremmo rispondere al quesito iniziale, dovremmo poter disporre, quanto meno, degli importi delle precipitazioni giornaliere in stazioni distribuite opportunamente (in relazione alla variabilità spaziale delle

precipitazioni) su tutto il bacino, della determinazione delle altezze idrometriche e delle relative portate giornaliere in un numero congruo di sezioni del Po e degli affluenti e, se possibile le “Sezioni Brioschi” ricostruite almeno ogni decennio⁷. In realtà non disponiamo di tutto questo e quindi le ragioni ricercate vanno basate su congetture sostanziali sulla base delle documentazioni effettivamente disponibili.

Cerchiamo di riassumere quanto si può avere a disposizione. Sono disponibili, innanzi tutto, alcune serie storiche di precipitazioni giornaliere rilevate in alcune città (Tab. 10.1), con registrazioni che sono iniziate oltre un secolo fa e che, in tre casi risalgono alla fine del Settecento (Milano Brera) o, circa, al primo quarto di secolo dell'Ottocento (Modena e Brescia). Queste serie, pur interessantissime, possono dare un'idea, ma non di più, del variare delle precipitazioni nel tempo e non sono certamente utili per lo studio delle portate dei corsi d'acqua. Negli archivi storici, forse, con onerose ricerche specifiche, si potrebbero rinvenire dati climatici interessanti: si ricorda, ad esempio, a questo proposito, il ritrovamento di rilevamenti sistematici dell'altezza delle nevi, recentemente pubblicato (AUTORI VARI, a cura di MORDINI A. & PELLEGRINI M., 2006) e del quale si parlerà in seguito.

Tab. 10.1 - *Elenco delle serie pluviometriche e termometriche secolari per il bacino del Po (comunicazione personale di Luigi MARIANI; si veda anche BRUNETTI et Alii, 2004).*

Stazione	Periodo di Osservazione delle Piogge	Anni	Periodo di Osservazione delle Temperature	Anni
Alessandria	1857 – 1986	130	1878 – 1970	93
Asti	1881 – 1993	113		
Biella	1866 – 1996	131		
Bologna	1879 – 1988	110	1879 – 1988	110
Borgomanero	1881 – 1996	116		
Bra	1862 – 1996	135		
Brescia	1828 – 2005	178		
Casale	1870 – 1997	128		
Cavour	1879 – 1993	115		
Centallo	1883 – 1988	106		
Chiasso	1892 – 1988	97		
Cuneo	1877 – 1994	118	1879 – 1993	115
Domodossola	1872 – 1996	125		
Ferrara	1879 – 1974	96	1879 – 1974	96
Fossano	1875 – 1997	123		
Ivrea	1865 – 1988	124		
Locarno	1886 – 1994	109		
Mantova	1840 – 2005	166	1880 – 1973	94
Miazzina	1893 – 1997	105		
Milano Brera	1763 – 2005	243		
Modena	1826 – 2005	180		
Moncalieri	1864 – 1994	131		
Moncalvo	1889 – 1988	100		
Mondovì	1866 – 1995	130		
Novara	1875 – 1996	122		
Novi Ligure	1880 – 1979	100		
Parma	1878 – 1994	117	1878 – 1994	117
Pavia	1883 – 1979	97	1870 – 1979	110
Piacenza	1875 – 1999	125	1878 – 1999	122
Reggio Emilia	1879 – 1970	92	1879 – 1970	92
Rovigo	1879 – 1966	88	1879 – 1966	88
Sostegno	1897 – 1984	88		
Stroppo	1913 – 1996	84		
Torino	1757 – 1994	238	1870 – 1969	100
Tortona	1873 – 1997	125		
Varallo Sesia	1871 – 1995	125		

Per i corsi d'acqua, fino alla fine dell'Ottocento, possiamo disporre essenzialmente di altezze idrometriche, per lo più riportate nei tanti lavori già citati del Lombardini, Turazza, Brioschi ecc. Anch'esse, seppure molto interessanti, ben poco ci suggeriscono, sempre ai fini della risposta al quesito posto, soprattutto in assenza di un chiaro collegamento alla geometria del corso d'acqua, e al suo *thalweg*, e in mancanza di scale di portata che consentano di trasformare i livelli idrometrici nella variabile idrologica d'interesse.

Altri documenti a disposizione sono rappresentati dalla cartografia tecnica dell'Ottocento, costituita da quella pubblicata da AUTORI VARI (a cura di SIBRA G., 2004), dalle planimetrie della Commissione Brioschi, presentate in questo volume, dalla Carta Topografica dei Ducati di Parma, Piacenza e Guastalla (1820-1821), dalla coeva Carta dei Ducati di Modena e Reggio (nota come "Carta Carandini" dal nome del Direttore dei lavori topografici⁸), dalla Carta del Ferrarese (1812-1814) e, infine, dalle prime levate (a partire dal 1880) delle tavolette IGMI a scala di 1:25.000 del Regno d'Italia.

Numerose informazioni descrittive sui fiumi, le piene e le alluvioni, derivano poi dai documenti d'archivio, da citazioni di autori classici e delle epoche successive: a partire dalle *Historiae* (II, 16, 6-14) di Polibio (metà II secolo a.C.), sino ai giorni nostri, quasi sempre "disperse" nell'abbondantissima produzione di pubblicazioni locali, con pochissime eccezioni di rigorose e complete raccolte, come quelle di TIRABOSCHI (1824) e di CALZOLARI (2004).

Sin qui disponiamo, per qualità, più o meno dello stesso tipo di materiale del quale disponevano il Lombardini e gli altri studiosi a metà Ottocento o la Commissione Brioschi per rispondere ai quesiti sul Po. Vediamo che cosa disponiamo in più rispetto a quel periodo: come strumenti di lavoro citeremo prima di tutto le immagini fotografiche dall'aereo (a partire dal 1940 circa) e da satellite (anni Sessanta del secolo scorso), che hanno consentito, attraverso la loro analisi, basata sulle diverse tonalità di grigio o di colore e delle forme, una ricostruzione della rete idrografica antica, i cosiddetti *paleovalle*⁹: metodo utilizzato anche nella ricerca archeologica e nella ricostruzione della topografia antica, del quale Nereo Alfieri fu il celebre precursore, negli anni Cinquanta del XX secolo, nell'individuazione dell'etrusca città di Spina, nell'area deltizia. Le scienze fisiche, geologiche e botaniche hanno messo a punto, inoltre, metodi di datazioni assolute e dello studio dei climi del passato, basate sull'analisi di *facies* dei depositi antichi e delle forme, dell'analisi dei pollini ecc. Ad esempio, il cap. 3, curato da M. PELLEGRINI, e in parte il cap. 8 di B. BACCHI, hanno sintetizzato ricostruzioni paleoidrografiche padane, che hanno utilizzato tutti questi metodi, dall'esame delle fonti storiche sino all'interpretazione delle fotografie aeree e alla datazione dei sedimenti, e che consentono di pervenire a un quadro evolutivo della dinamica fluviale padana, quanto meno più esteso nel tempo, rispetto a quello delineato da Lombardini. Resta pur sempre un approccio qualitativo, che non consente di fornire precise risposte al quesito sull'idrologia fluviale del Po a partire dal XVIII secolo.

Esaminiamo ora i *fattori* che regolano il *regime* di un corso d'acqua, ovvero la distribuzione delle portate nel corso dell'anno e le variazioni delle portate nel corso del tempo. Per "tempo" intenderemo qui un intervallo cronologico, rapportato alla memoria dell'uomo, costituito da alcuni secoli o al massimo da un paio di millenni, in modo da poter ritenere più o meno costanti i fattori geologici (costituzione litologica, degradazione degli ammassi rocciosi, quantità dei depositi di versante ecc.) e di forma (altitudine, superficie, energia del ri-

lievo ecc.) del bacino idrografico drenato dal fiume: non certo tempi geologici. D'altra parte ci stiamo occupando di una modificazione, quella delle caratteristiche delle piene del Po, che riguarda due o tre secoli al massimo, se protratta sino al presente.

Il primo gruppo di fattori importanti riguarda il *clima* e le sue variazioni: non certo le grandi variazioni climatiche del Pleistocene (vedasi cap. 3) o delle epoche geologiche precedenti, ma quelle che si alternano nel breve periodo, come quel cambiamento che stiamo osservando, in senso *caldo*, e che si è accentuato negli ultimi decenni. Il clima, attraverso le precipitazioni (piogge e nevi) e le temperature è responsabile, in maniera diretta, delle variazioni di portata di un corso d'acqua; esiste un rapporto tra quantità d'acqua o neve caduta al suolo per determinare, al netto dell'infiltrazione¹⁰ e dell'evapotraspirazione¹¹, il ruscellamento superficiale che si concentra nei corsi d'acqua e il cui prodotto, la portata, può essere misurato in sezioni prestabilite, appositamente attrezzate e "tarate". L'entità della precipitazione efficace¹² determina, per definizione, il volume di piena che transita in una data sezione fluviale. Si tratta di una caratteristica importante, ma incompleta, per la corretta descrizione degli eventi di piena e del rischio a essi associato. Occorre, infatti, rappresentare anche l'evoluzione temporale delle portate che sono associate a un dato volume di piena. La curva che esprime quest'evoluzione di definisce idrogramma¹³. Occorre dunque rappresentare la forma degli idrogrammi di piena in quanto essa determina, a parità d'area sottesa, la grandezza della portata al colmo e la durata delle portate di piena. Tali caratteristiche possono essere connesse alla profondità idrica mediante le scale di deflusso (si veda, per esempio, il cap. 9 curato da S. ORLANDINI). La relazione tra profondità idrica e portata gioca pertanto un ruolo fondamentale nella valutazione del rischio idraulico. La profondità massima, contenibile in una sezione, determina, infatti, l'*officiosità idraulica*¹⁴ della sezione ai fini dello smaltimento dei deflussi di piena¹⁵, mentre la durata delle profondità di piena prossima a quella massima determina la configurazione effettiva della linea di filtrazione negli argini¹⁶. Si comprende dunque l'importanza duplice delle esperienze idrometriche condotte dalla Commissione per il Po presieduta da Francesco Brioschi (si veda, p.e., cap. 9): da un lato, esse permettevano di migliorare le valutazioni dei tempi di transito dei deflussi e la forma dell'idrogramma di piena che ne discende, mentre, dall'altro, permettevano un'affidabile conversione delle portate di piena rilasciate dai bacini idrografici in livelli idrometrici nei corsi d'acqua drenanti e viceversa.

In ragione di quanto menzionato sopra, si comprende come altri fattori che controllano la portata e il regime di un corso d'acqua sono la forma dell'alveo, nel senso sia della geometria della sezione (incluso il profilo del fondo o *thalweg*), sia di quella della sua ampiezza e del tipo d'alveo, come descritto nel cap. 3 da M. PELLEGRINI, sulla base delle relative classificazioni di norma impiegate (WOLMAN & LEOPOLD, 1957; MIAL, 1977; RUST, 1978); la velocità¹⁷ di scorrimento delle acque in un alveo è condizionata anche da un altro fattore: la *scabrezza*¹⁸ del contorno bagnato, determinata a sua volta dalla forma della sezione e dal tipo di sedimento presente nell'alveo. Ad esempio, a partire dalla seconda metà del secolo scorso, gli affluenti appenninici sono stati soggetti nel loro solco intravallivo e nell'alta pianura a un'intensa attività estrattiva, che ha in pratica eliminato tutto il sedimento ghiaioso depositato dai corsi d'acqua nell'Olocene, mettendo in luce paleosuoli del tardo Pleistocene¹⁹ o anche il substrato delle argille grigio-azzurre del ciclo plio-pleistocenico. Gli alvei, dal

tipo a canali intrecciati (*braided*) con depositi alluvionali a ciottoli e blocchi, hanno assunto una forma a canale singolo e stretto, inciso in argille, con evidente diminuzione della scabrezza, e quindi con aumento della velocità delle acque, facendo cambiare di forma gli idrogrammi delle portate, anche di piena (MORATTI & PELLEGRINI, 1977; PELLEGRINI *et Alii*, 1979).

Un altro fattore, infine, che può interagire sulle caratteristiche di un corso d'acqua, anche nel breve periodo e in ogni caso nei limiti temporali di qualche secolo, è quello della copertura vegetale e dell'uso del suolo: la copertura vegetale favorisce l'evaporazione e l'infiltrazione, ovvero la sottrazione di una certa parte delle acque di precipitazione, rallenta il *ruscellamento* superficiale delle acque e, di conseguenza, l'erosione dei suoli. Essa, dunque come sosteneva il Lombardini, può controllare la forma dell'idrogramma delle piene e soprattutto le altezze idrometriche (in ragione del legame tra portate e profondità idriche), e limitare il contributo al trasporto solido. Il disboscamento, soprattutto come si realizzò nell'area alpina e appenninica, fra il XVII e la metà del XX, fu un fattore importante nel determinare variazioni idrometriche nei fiumi padani. Relativamente all'asta del Po, quindi, l'effetto potrebbe essere stato duplice. Da un lato, l'incremento di portata da parte dei corsi d'acqua appenninici e alpini non regolati dai laghi, dovuto a un'accelerazione delle piene e, dall'altro, l'aumento delle torbide che, sollevando con i depositi il fondo alveo, produce un innalzamento dei livelli idrometrici senza incremento di portata.

Tra i fattori di forma che interagiscono sulla portata e il regime devono essere inclusi anche gli *interventi dell'uomo*, primi fra tutti le arginature continue sul Po e sui suoi affluenti; inoltre i "drizzagni" (= tagli artificiali di meandro, miranti a rendere sub-rettilineo il corso d'acqua), l'eliminazione delle aree di libero espandimento (golene) delle acque di piena, la costruzione di argini minori, all'interno dell'argine maestro racchiudenti le golene, in modo tale da rendere queste ultime sommergibili solo in occasione dei massimi eventi di piena, come ad esempio raffigurato nella *Corografia generale del Fiume Po dalla foce del Fiume Lambro a quella del fiume... Idda* delle Planimetrie Brioschi (Tavola Cartografica 3), lungo la sponda sinistra del Fiume, in provincia di Milano. Tutti questi interventi, miranti al contenimento della piena in una fascia limitata di territorio, producono un'accelerazione della propagazione della piena verso valle, l'incremento dei colmi che prima potevano liberamente inondare le campagne lungo il percorso e, infine, una riduzione dell'effetto di "laminazione"²⁰ della piena durante la sua propagazione verso valle.

Per un'esemplare sintesi sulle risposte del sistema fluviale alle variazioni ambientali (clima e variazioni climatiche, movimenti tettonici, subsidenza, variazioni del livello del mare, interventi antropici), si rimanda alla nota di CASTIGLIONI (2001).

Come risultato di queste trasformazioni B. BACCHI (cap. 8) fa osservare che "*rimanendo ad alcuni elementi essenziali dell'idrologia delle piene, uno degli argomenti che aveva interessato, e che ancora oggi appassiona gli studiosi, è l'incremento delle piene che si è avuto nel corso degli ultimi due o tre secoli e che è perfettamente documentato dal padimetro di Ferrara* (Fig. 10.1). *In due recenti studi, NATALE (1992), ricostruendo la distribuzione di probabilità delle portate al colmo di piena, mostra come la portata di frequenza centenaria sia cambiata passando da 7632 m³/s del periodo 1801-1860 a 9116 m³/s del periodo 1861-1910 a 11585 m³/s del periodo successivo al 1911. Naturalmente, come fanno osservare GOVI & TURRITO (1993 e 1995) stabilire delle graduatorie fra piene di un corso d'acqua soggetto a numerosissime rotte, e quindi grandi laminazioni, è molto difficile. È inevitabile,*

tuttavia, che la progressiva estensione e potenziamento delle arginature sia sull'asta principale che sugli affluenti abbia progressivamente fatto aumentare l'intensità e il volume delle piene. Questo fatto, oggi assodato, veniva messo in dubbio nel secolo passato da LOMBARDINI (1865 e 1870) che, fra le cause principali della crescita delle piene, già allora manifesta, annoverava il progressivo disboscamento dei versanti con conseguenti diminuzioni dei tempi di formazione delle piene e incremento del trasporto solido. Questa causa, certamente fondamentale a livello di bacini d'estensione da qualche decina di km² fino a 1000-1500 km² perde sicuramente importanza quando riferita ad un grande fiume come il Po, sulla cui asta gli effetti maggiori dell'antropizzazione sono costituiti dalla perdita delle aree di espansione”.

Come emerge da questa breve sintesi relativa alle informazioni effettivamente disponibili nei secoli XVIII e XIX per il Po e i suoi affluenti, per rispondere in maniera esatta al quesito sulla frequenza e crescita di livello delle piene, ci mancano proprio i dati analitici necessari per la risoluzione del problema: gli importi delle precipitazioni, distribuite in maniera diffusa e omogenea nel bacino idrografico e le portate e il regime dei corsi d'acqua, che sono controllati da un numero molto grande di fattori. Nei prossimi paragrafi cercheremo comunque di discutere, i principali fattori che possono essere all'origine di quel fenomeno idrografico, documentato in maniera così efficace dal Padimetro di Ferrara.

Il fattore climatico

Negli ultimi decenni dello scorso secolo, per una serie di motivi, non ultimo quello delle variazioni climatiche che si andavano osservando, le ricerche sulle dinamiche climatiche del passato (paleoclimi) hanno avuto un impulso notevole e sono state affrontate da tanti punti di vista²¹, utilizzando, per i riferimenti cronologici, datazioni assolute e, nel lungo periodo, quelle “classiche”, relative, basate sui reperti fossili. Per l'intervallo di tempo che c'interessa ai fini del nostro problema, accenneremo al clima degli ultimi due millenni, mentre concentreremo la nostra attenzione sugli ultimi secoli. Ricordiamo che le pubblicazioni scientifiche sull'argomento sono moltissime: in questa sede ci limiteremo a ricordare il libro di PINNA (1996), la monografia inedita di ENEA (1987-1990), quella recente curata da ANTONIOLI & VAI (2004), gli articoli di riviste (STOMMEL & STOMMEL, 1979) e anche un libro ampiamente divulgativo che, pur con qualche approssimazione nei contenuti, ha il pregio d'essere reperibile in libreria (FAGAN, 2000); a queste pubblicazioni rimandiamo anche per le notizie che riporteremo senza riferimenti bibliografici, per non appesantire il testo.

Lo studio del clima, dal punto di vista che interessa più da vicino l'idrologia fluviale, è stato quello compiuto dai botanici, sulla base dei reperti fossili e soprattutto delle associazioni polliniche (si veda ad esempio la nota di BERTOLDI, 2000), e dai geomorfologi. Questi ultimi, sulla base dell'analisi delle forme, sulla distribuzione dei diversi tipi di depositi, e in particolare di quelli glaciali, delle facies dei sedimenti recenti (tardo Pleistocene e Olocene) associate a dati geocronometrici (ad esempio ¹⁴C, δ , ¹⁸O), di alcuni indicatori ambientali come corpi di frana d'età nota (per documenti storici o ancora con analisi geocronometriche) sono pervenuti a conclusioni che ben si correlano con quelle botaniche e anche con quelle archeologiche e di paleontologia (umana e dei vertebrati). Anche i depositi alluvionali, connessi a grandi eventi di piena sono stati considerati indicatori climatici; si possono ricordare i casi emblematici

ci della *Mutina* romana (GASPERI *et Alii*, 1987; AUTORI VARI, 2002, CD ROM; CREMASCHI & GASPERI, 1988) o di Lodi (VEGGIANI, 1982).

Da un punto di vista idrologico, tutti questi studi, sebbene molto interessanti ai fini del clima, presentano una grande limitazione: non ci possono fornire mai, nemmeno in maniera approssimata, gli importi e la distribuzione, nello spazio e nel tempo, delle precipitazioni, individuando semplicemente, come in un quadro di Bosch o di Bruegel, scenari relativamente più freddi o più caldi, durante i quali piene, alluvioni, frane ecc. erano più o meno frequenti, collocandovi anche tutti quegli episodi pervenutici dai documenti storici. Con questi tipi di studi, che coniugano spesso ricerche di tipo scientifico con altre di tipo umanistico, durante gli ultimi 2000 anni, si sono individuati

Fig. 10.2 - Il ponte di Spilamberto (MO) attraversante l'alveo del Fiume Panaro, come si presentava nel 1932 (Foto Compagnoni, Spilamberto).



alcuni periodi climatici freddi: uno esteso dal V o VI secolo d.C. sin verso l'anno 1000²², un secondo, che per l'area alpina e appenninica inizia dal 1580 circa e termina verso il 1850²³, e che viene denominato dagli studiosi *piccola età glaciale moderna*. Questo periodo, come si può ben comprendere, riguarda da vicino il nostro problema del Po.

Le condizioni climatiche peggiorarono, infatti, dal XVIII secolo e, soprattutto, nella prima metà dell'Ottocento, quando l'emisfero boreale si trovò nel 1816 al culmine della piccola età glaciale moderna²⁴, iniziata intorno al secolo XV. Nelle Alpi e negli Appennini l'inizio sembra sia avvenuto però dopo il 1580. Il 1816 fu un anno senza estate in Europa e nel nord America: da più parti, non si raccolsero le messi e in agosto nevicò sulle Alpi come nell'Appennino settentrionale, con conseguenze disastrose sull'economia e sulla salute delle popolazioni²⁵. Solo alla metà del secolo le temperature cominciarono a elevarsi e iniziò quel progressivo riscaldamento che perdura tuttora²⁶.

Il deterioramento climatico della prima metà dell'Ottocento è ben documentato nel Nord America, in Europa e un po' in tutt'Italia. Non solo il Po fu

caratterizzato da grandi piene (e gelate invernali), ma anche i suoi affluenti, come il Secchia e il Panaro, che avevano provocato estesi allagamenti nel 1813, 1815, 1816 (due volte, 11 giugno e 23 novembre, per intense piogge dopo nevicate in montagna); anche per questi fiumi ciascuna piena tendeva a superare la precedente (LOMBARDINI, 1865). Tutti i ghiacciai alpini erano avanzati con lingue mai documentate qualche secolo prima; ancora nel 1885 si poteva morire per neve e gelo nell'attraversamento dell'Appennino modenese²⁷; alla medesima area è riferita una lunga (1822-1849) registrazione dell'altezza delle nevi, in quattro stazioni situate a quote comprese tra i 1000 e i 1600 m circa, con altezze del manto nevoso di anche oltre 4 m, che poteva perdurare anche da novembre sino a maggio e oltre (AUTORI VARI, a cura di MORDINI A. & PELLEGRINI M., 2006). Nello stesso secolo si registrarono anche rovinose alluvioni del Tevere²⁸ (1870) e di corsi d'acqua veneti, come l'Adige (17 settembre 1882), che aveva già allagato Verona il 30 settembre 1776, il 2 settembre 1757, il 31 settembre 1567 e il 3 ottobre 1512, come evidenziato dall'*atesimetro* di San Bernardino a Verona. Frane e alluvioni si ebbero un po' in tutta l'Italia centro-settentrionale nel 1836, anno "orribile" anche nell'ambito di bacini idrografici scarsamente antropizzati e con presidi idraulici, relativamente poco sviluppati, come nel Serchio. Le poche strade carrozzabili della montagna furono spesso interrotte da frane (AUTORI VARI, a cura di MORDINI A. & PELLEGRINI M., 2006). In Inghilterra, come accennato nel cap. 4, la tecnica costruttiva delle strade col metodo MacAdam, fu utilizzato subito dopo l'eccezionale gelata del gennaio 1820 e il successivo scioglimento dei ghiacci e delle nevi, che provocarono l'erosione delle sovrastrutture stradali. La coltivazione del riso nella Pianura Padana, si estese notevolmente proprio a metà dell'Ottocento, conquistando nuovi areali nella bassa pianura emiliana, dove le gelate tardive e la frequenza delle alluvioni, impedivano la maturazione del grano.

Le piene del Po nei secoli XVIII e XIX dovettero avere, dunque, una componente "climatica", anche se d'impossibile quantificazione, dando ragione, almeno in parte, ad Angelo Manfredi, che non condivideva del tutto l'eccessivo "peso" che il Lombardini attribuiva alla deforestazione dei bacini idrografici padani. Esaminando le stagioni durante le quali si sono registrate le piene del Po dal 1800 al 1951, si nota che otto su ventiquattro (P. MIGNOSA, cap. 7) si verificano in primavera e soprattutto in maggio, rendendo plausibile che l'innervamento fosse un fattore climatico importante e caratteristico di un periodo particolarmente freddo.

Secondo uno degli estensori del presente capitolo (M. PELLEGRINI) la componente climatica, insieme al disboscamento, dovette influire, tuttavia, in maniera ben più rilevante sul trasporto solido, giustamente considerato per la sua importanza da ARRIVABENE (1866), piuttosto che sulle portate dei corsi d'acqua e condizionare, di conseguenza, le altezze idrometriche. Si tratta di un argomento diffusamente trattato da Elia Lombardini nelle sue pubblicazioni, sia in termini di trasporto solido in senso stretto, sia degli effetti conseguenti, quali le variazioni di quota del profilo di fondo dell'alveo e la progradazione in mare del delta. L'Autore si chiedeva dove andasse a finire tutta la massa di ciottoli che occupava soprattutto gli alvei dell'alta pianura emiliana²⁹ (che oggi de-



Fig. 10.3 - Resti del ponte di epoca romana a Rubiera (RE), sul fiume Secchia, affiorati nel 1965 e riprodotti nella pubblicazione di Brighi (1994, pp. 204 e 205).

finiamo a canali intrecciati) e piemontese – non quelli lombardi, scaricatori dei laghi: l'Autore concludeva, solo in parte correttamente, che il materiale si frantumava lentamente e proseguiva verso i tratti inferiori e verso il Po, il quale, sia nelle Planimetrie della Commissione Brioschi, ma soprattutto nella cartografia 1821-1872 (AUTORI VARI, a cura di SIBRA G., 2004), appare caratterizzato da grandi isole ghiaioso-sabbiose dal Pavese sino alla foce Trebbia, e sabbiose sino a Ficarolo, all'ingresso nelle province di Rovigo e Ferrara.

LOMBARDINI (1865), quando progettò un acquedotto per la città di Modena, la cui presa avrebbe dovuto derivare le acque di percolazione sgorganti lateralmente dall'enorme accumulo convesso delle ghiaie dell'alveo della Secchia, rilevato di qualche metro sulla pianura circostante e contenuto da "muraglie", non si accorse di essere di fronte a una situazione quanto meno particolare: esse non avevano tanto lo scopo di contenere le acque, quanto le ghiaie, difendendo da queste le campagne coltivate adiacenti. È documentato (PIRONDINI, 1982) che, per il medesimo fiume, quelle muraglie, in parte ancora oggi conservate, s'iniziarono a costruire presso Sassuolo nel secolo XVII. In tutti i corsi d'acqua, dal Reno al Trebbia, strutture di contenimento, simili a quelle della Secchia, accompagnavano gli alvei nel tratto d'alta pianura. La derivazione dei canali da questi corsi d'acqua avveniva, sino alla prima metà del secolo XX³⁰, a gravità, con sistemi non del tutto diversi da quello ideato da Elia LOMBARDINI (1865) per l'acquedotto di Modena³¹: una trincea o una vasca di raccolta e carico delle acque ai lati dell'*edificio* rilevato dell'alveo fluviale, fatto da ghiaie, dalla quale si dipartivano i canali medesimi. Particolarmente espressiva di questa situazione l'immagine del ponte di Spilamberto (MO) ripresa nel 1932 (Fig. 10.2) e quella del ponte romano di Rubiera (Fig. 10.3), in corrispondenza della medesima sezione d'alveo, per la quale PELLEGRINI *et Alii* (1979) hanno calcolato che dal 1950 circa erano stati asportati o comunque erose ghiaie per uno spessore di 14 m. È significativa, del resto, la ricostruzione delle vicende storiche fatta da BRIGHI (1993, p. 204), anche sulla base di osservazioni compiute da precedenti Autori, per il ponte, costruito, sembra, in epoca imperiale (III secolo d.C.): nel 1607 si potevano osservare ancora ben 10 pile; nel 1896 ne erano osservabili due sulla sponda destra, nel 1965 (con grande risalto sulla stampa locale) furono ritrovate le basi di queste, che nell'anno successivo vennero distrutte per la costruzione del nuovo ponte ferroviario. Aggiungiamo noi che poco dopo il 1950, il vecchio ponte ferroviario presentava le luci ricolme di ghiaie e che non emergevano sicuramente i resti del ponte romano³². Sembra, quindi, di poter intravedere un progressivo innalzamento dell'alveo dall'inizio del secolo XVII sino alla metà del XX e un susseguente, "rapido", ciclo erosivo nei 20-25 anni successivi. Attualmente, una serie di grandi briglie costruite per la stabilizzazione dei ponti della via Emilia e della linea ferroviaria, attraversano il fiume Secchia, rendendo inimmaginabili le quote originarie delle distese ghiaiose dell'alveo.

Gli alvei fluviali dei corsi d'acqua appenninici fino al 1950 circa, quando cominciò in maniera massiccia l'asportazione di materiale inerte per l'edilizia e le infrastrutture, mostravano, dunque, segni evidenti di sovralluvionamento³³, che l'uomo aveva cercato di contenere con muri costruiti lungo le sponde, estesi dal solco vallivo intramontano sin dove, nella pianura, gli alvei passavano da una forma a canali intrecciati a canale singolo con meandri. Questo sovralluvionamento delle aste fluviali potrebbe essere di tipo climatico, oltre che originato dal disboscamento, ed essere correlato con l'inizio del periodo "freddo"

iniziato alla fine del XVI secolo: episodi di piena ripetuti in rapida successione potrebbero avere mobilitato progressivamente le coltri detritiche del crinale, prodotte dal crioclastismo³⁴ che si esplica ancor oggi alle quote superiori ai 1000 m, anche per le caratteristiche di “debolezza” (*weaky rocks* nelle classificazioni tecniche) e degradabilità delle formazioni appenniniche. L’accumulo del trasporto solido negli alvei fluviali sarebbe avvenuto, quindi, per “salti” successivi³⁵, fino a occupare gli alvei d’alta pianura, a sormontare il livello di questa e arrestarsi, con accumuli enormi, dove iniziava l’alveo a canale singolo e a meandri della media pianura, come a Rubiera (in provincia di Reggio Emilia).

Se il fenomeno di un elevato trasporto solido è ben documentabile negli affluenti appenninici del Po, almeno durante l’Ottocento, non lo è altrettanto sul Po. Come abbiamo visto nel paragrafo iniziale, LOMBARDINI (1867-1868) accenna al problema, che sicuramente esiste, se non altro per il “fallimento” della navigazione fluviale del Lloyd Austriaco, ma l’innalzamento dell’alveo è documentato, attraverso misure del fondo, solo con pochissime misure; la nota di MORETTI (2000) ne accenna chiaramente per il tratto di alveo mantovano. La cartografia del 1821-1872, relativa a tutto il corso del Po a valle del Ponte della Becca presso Pavia, ci mostra chiaramente un alveo sovralluvionato, con vaste isole sabbiose e barre di sponda molto sviluppate. Esiste, inoltre, un dato sicuramente indicativo sul trasporto solido padano: la velocità di avanzamento del delta (Tab. 10.2).

Tab. 10.2 - *Velocità di progradazione della Pianura Padana nell’area deltizia tra Chioggia e Ravenna* (BONDESAN, 2001).

Periodo		Totale km ²	km ² /anno	m/anno
dal 6000 a.C.	al 2500 a.C.	679	0.19	2.2
dal 2500 a.C.	al 1000 a.C.	412	0.27	3.1
dal 1000 a.C.	al 300 a.C.	229	0.33	3.7
dal 300 a.C.	al 200 d.C.	202	0.40	4.6
dal 200	al 900	157	0.45	5.1
dal 900	al 1350	68	0.15	1.7
dal 1350	al 1600	190	0.76	8.6
dal 1600	al 1860	385	1.48	16.8
dal 1860	al 1950	71	0.79	8.9

Dall’esame della tabella è evidente che dal 900 al 1350 d.C. (periodo prevalentemente *caldo*) il trasporto solido fu minimo e la progradazione del delta in mare molto bassa, mentre fu eccezionalmente alto nel periodo 1600-1860, per decrescere vistosamente nel secolo successivo. Il Taglio di Viro, compiuto proprio nel 1604, dovette contribuire a svuotare l’alveo del fiume per un buon tratto, avendo determinato un aumento del gradiente idraulico locale, ma non può giustificare volumi di sedimento che estesero le terre deltizie di 385 km² in 150 anni. La brusca diminuzione del secolo successivo può essere solo in parte giustificata dagli interventi di sistemazione idraulica e forestale nei baciini idrografici, appena iniziata (1925-1940) e presto sospesa per gli eventi bellici; anche i grandi invasi idroelettrici non erano ancora completati, sia quelli costruiti *ex novo*, sia quelli in corso d’ampliamento.

Se tutto quanto esposto fosse vero, dovremmo concludere che nell’Ottocento la frequenza delle piene e la relativa, continua crescita dei livelli idrometrici era determinata da un peggioramento climatico (e dal concomitante

disboscamento), con maggiori precipitazioni anche nevose, che avevano fatto aumentare da un lato le portate liquide defluenti durante le piene, dall'altro, il trasporto dei sedimenti. Di conseguenza si sarebbe innalzato il fondo degli alvei, giustificando quella continua crescita dei livelli idrici. Vedremo, però, nel paragrafo successivo, che nel fiume erano cambiati anche alcuni fattori di forma degli alvei, che interagiscono sugli idrogrammi fluviali, specialmente di piena.

Cambia la forma dell'alveo e diminuisce il volume del contenitore

Se restringiamo le pareti di un recipiente pieno d'acqua, riducendone il volume, questa, al suo interno, cresce di livello e, se continuiamo ancora, può traboccare. Ciò, in modo molto semplificato, è un altro fenomeno capitato al Po a partire dal secolo XVIII e che è stato chiaramente descritto da CASTIGLIONI (2001, p. 182) e del quale ha già accennato B. BACCHI nel suo contributo di questo volume (cap. 8).

Il processo di restringimento del "contenitore" fluviale sembra essere cominciato da un tempo molto lontano, forse, come più volte accennato in altre parti di questo volume, il secolo XI, e sviluppatosi soprattutto nel Rinascimento, mentre in periodi antecedenti non esiste alcuna prova di presidi idraulici continui lungo le sponde. Nel cap. 3, M. PELLEGRINI argomenta che in condizioni naturali, senza l'intervento dell'uomo, il fiume ha potuto liberamente divagare, dalla confluenza col Tanaro sino a quella con il Trebbia, entro un ampio solco, largo sino a oltre 7 km, delimitato lateralmente da orli dei terrazzi olocenici e tardo-pleistocenici. In seguito, per recuperare nuovi spazi all'agricoltura, l'attività antropica ne avrebbe progressivamente ristretta la fascia: nelle planimetrie della Commissione Brioschi, allegate a questo volume, sono rappresentati, quindi già nel 1873 circa, argini di diverso tipo, talora collegati alle scarpate dei terrazzi. Nella sponda sinistra, in provincia di Milano, come già accennato, non compare solo un argine maestro, ma arginelli a difesa di spazi golenali in modo da renderli allagabili solo in occasione dei massimi colmi di piena. Il solito LOMBARDINI (1840, 1865, 1867-1868), con la sua capacità d'osservazione, fa rilevare che il restringimento della zona di divagazione avveniva anche con rettificazioni dell'alveo fluviale, ovvero con il taglio dei meandri. Si restringeva e si accorciava anche l'alveo dei suoi affluenti di destra, soprattutto quando, a partire dal XV secolo circa tutti quelli compresi tra l'Enza e il Reno furono indirizzati a confluire perpendicolarmente nel Po. Situazioni che, sommate insieme, dovrebbero aver fatto crescere le altezze di piena, anche lasciando invariati i deflussi integrali di ciascun evento.

Va qui notato come la forma delle sezioni idrauliche influenzi i tempi di transito dei deflussi di piena, oltre che per l'effetto che essa produce sul meccanismo di trasferimento menzionato sopra (una sezione compatta determina velocità più elevate di una sezione larga), anche per effetto dei meccanismi di invaso. Tali meccanismi si producono in ogni canale durante fenomeni di moto vario (con portate e livelli rapidamente variabili nel tempo) e diventano palesi se si pensa allo scambio idrico trasversale al moto della corrente principale tra la zona centrale della sezione e le aree golenali laterali. Le acque più veloci del filone principale invadono la golenale rallentando; quelle delle golene ritornano nel filone principale producendone un rallentamento. Il canale consente quindi il trasferimento dell'onda di piena (effetto *advettivo*), ma favorisce

anche l'immagazzinamento temporaneo e il rilascio successivo (effetto *diffusivo*) in ragione della sua geometria. Canali compatti determinano in definitiva trasferimenti dei deflussi più rapidi rispetto a canali con sezione larga e irregolare. A ciò si può aggiungere che, in condizioni naturali (ovvero in assenza di arginature e altre sistemazioni), un canale tende a biforcarsi dando luogo a strutture intrecciate quando la potenza della sua corrente è elevata: la biforcazione dissipa l'energia distribuendo il flusso in due o più canali. La costrizione di una corrente entro aree limitate impedisce, o limita significativamente, meccanismi di autoregolazione di questo genere (o di altro genere qui non menzionato) e determina pertanto velocità di scorrimento più elevate rispetto a quelle che si avrebbero in condizioni naturali.

Le grandi alluvioni, disastri inevitabili

Vi è consenso scientifico internazionale sul fatto che le grandi piene che interessano i bacini idrografici di notevole estensione (prossima o superiore ai 100.000 km²) non sono influenzate dall'uso del suolo (LEOPOLD, 1997, p. 100). Esse sono generalmente il risultato di combinazioni inusuali di piogge continue su aree estese³⁶ e, nei climi freddi, di piogge su suoli ghiacciati o su neve. Quando la superficie del suolo di un grande bacino è saturato da una pioggia continua oppure è ghiacciata, la sua capacità di ritenzione per infiltrazione è ridotta drasticamente e la precipitazione contribuisce in larga misura ai deflussi di piena. In tali condizioni, l'azione mitigatrice normalmente esercitata dalla vegetazione, seppure in buone condizioni di mantenimento, diventa trascurabile.

Sul Po, che coi suoi 70.000 km² in quest'ottica può essere considerato al limite inferiore dei grandi bacini, nel 1951, per esempio, la precipitazione media annua è stata di circa 1500 mm, cioè 1,35 volte la media tra il 1918 e il 1970. Nella settimana della grande piena, dal 7 al 13 novembre, sono caduti 230 mm di precipitazione, pari a un volume idrico di circa 16 miliardi di m³. Inoltre, le distribuzioni nello spazio e nel tempo delle precipitazioni cadute durante l'evento alluvionale del 1951 sono state tali da produrre una concentrazione simultanea dei flussi alluvionali prodotti sui rilievi alpini e su quelli appenninici, con ovvie ripercussioni sui carichi idraulici nel basso corso del fiume. Infine, le piogge che provocarono la piena del Po nel 1951, erano state precedute da un periodo molto piovoso, sicché trovarono il terreno già imbevuto e il 60% della precipitazione caduta contribuì alla formazione della grande piena, non potendo essere trattenuta nel bacino idrografico nelle usuali forme di umidità del suolo e invasato nei serbatoi superficiali e sotterranei (le falde acquifere).

La tecnica della regolazione fluviale, nei bacini di dimensioni fino a qualche migliaio di chilometri quadrati, ha fatto uso dei serbatoi per il controllo delle piene (invasi montani e casse di espansione). Tuttavia, gli effetti di tali costruzioni sono rilevanti immediatamente a valle della loro ubicazione, ma svaniscono rapidamente man mano che ci si allontana, verso valle, da essi. Il corso d'acqua, invece, esercita normalmente, in condizioni naturali, un'azione di attenuazione delle portate al colmo ben superiore a quella degli invasi in ragione della sua maggiore estensione. In aggiunta, il sistema fluviale è composto da una complessa struttura di drenaggio ad albero e i contributi dovuti ai tributari posti a valle dei serbatoi non sono ovviamente alterati dalla loro presenza. Il loro effetto è anzi esaltato, rispetto alle condizioni naturali, in ra-

gione di quanto già sosteneva Castelli (si veda il cap. 9 curato da S. ORLANDINI). In tale ottica, se sulla sollecitazione climatica non si hanno altri strumenti oltre a quello di attuare un efficace monitoraggio ai fini di un'allerta delle popolazioni, l'azione di laminazione operata dalla rete di canali merita un'attenzione speciale nella mitigazione degli eventi di piena.

Come si è visto nel capitolo 3, il Po a partire dall'VIII secolo a.C. effettuò una netta svolta verso nord, di circa 12 km, all'altezza di Viadana e Guastalla, e lì vi rimase, con pochi cambiamenti sino ai nostri giorni; verso valle; a Ficarolo, nel 1152, fece un altro cambiamento di rotta verso nord, dirigendosi verso Chioggia, per movimenti tettonici determinati dalle sottostanti "pieghe ferraresi", secondo quanto sostengono studi recenti e già citati e discussi nei precedenti capitoli 3 e 8. Il fiume dapprima costruì, in diverse fasi, un edificio d'alveo pensile, che a partire dal secolo XI, l'uomo cominciò a consolidare con arginature artificiali. Alle sue spalle verso sud (pianura emiliana, mantovana e ferrarese) sino a Ficarolo, e su entrambe le sponde, nel tratto inferiore, per motivi di subsidenza, forse indotti dalla bonifica idraulica che iniziò in epoca rinascimentale, la pianura acquisì quote sensibilmente inferiori. Si arrivò così al XIX secolo, quando le acque di piena del fiume (1872), risultarono pensili anche di 18 m rispetto alla pianura modenese e mantovana, mentre lo stesso canale di magra era più alto di 10 m.

Per secoli e fino ai nostri giorni si è dovuto mantenere, dunque, il fiume in una posizione del tutto "innaturale", mediante grandi arginature artificiali; diversamente, senza i presidi idraulici fatti di argini e di canali di drenaggio, il Po, prima o poi, avrebbe rotto i propri argini e si sarebbe diretto al mare seguendo press'a poco il tracciato dei grandi colettori di bonifica della pianura reggiana (Cavo Fiuma), modenese e ferrarese (Burana e Primaro), per giungere al mare all'incirca dov'era il delta di Spina. È verosimile, quindi, che le alluvioni, come le tre grandi dell'Ottocento (1839, 1872, 1879) e quella del 1951 avrebbero avuto una certa probabilità di verificarsi, anche senza la presenza di condizioni idrometriche estreme: sarebbe bastato qualche tratto di argine meno robusto o qualche pozzo per acqua che entrava "in eruzione" (per sifonamento), com'era capitato nelle Valli di Mirandola (a 12 km di distanza dal fiume!) nel 1705 (documento dell'Archivio di Stato di Modena), o nel 1821 dietro il "froldo" di Pantalone (MORIETTI, 2000), per provocare il disastro, ovvero allagamenti più o meno estesi delle campagne.

Conclusioni

Fino all'inizio del XX secolo era diffusa la convinzione che la presenza di foreste potesse mitigare o prevenire la formazione delle piene fluviali. Oggi si ritiene che ciò sia vero solo per piene di tipo sostanzialmente ordinario. La ricerca in campo idrologico ha rivelato che le grandi piene si verificano quando il bacino idrografico è incapace di assorbire acqua per infiltrazione e le precipitazioni, talvolta congiunte con lo scioglimento nivale, devono scorrere sulla superficie del suolo o nell'immediato sottosuolo (deflusso ipodermico), raggiungendo rapidamente la rete di drenaggio. Tali condizioni si verificano dopo un periodo di piogge prolungate che saturano gradualmente il suolo almeno nella sua parte più superficiale. Quando il terreno è prossimo alle condizioni di saturazione, la generazione di deflusso superficiale su terreni vege-

tati è prossima, sebbene leggermente rallentata, a quella che si ha in una superficie denudata (GHERARDELLI & MARONE, 1968). Pertanto, la presenza di vegetazione gioca un ruolo modesto nella formazione delle piene catastrofiche. Talvolta anzi si possono avere effetti contrari, in quanto il peso della vegetazione favorisce lo smottamento di terreno verso gli impluvi generando colate di fango e detriti che incrementano localmente gli effetti catastrofici delle piene. Tali colate, infatti, sono trascinate verso valle con effetti deleteri anche su strutture ubicate lungo rami importanti della rete di drenaggio.

La presenza di vegetazione gioca tuttavia, mediamente, un importante effetto mitigatore sulla produzione e sul trasporto di sedimenti (SUSMEL, 1968). L'effetto combinato di elevate precipitazioni e del disboscamento può allora aver prodotto nel secolo XIX il sovralluvionamento del Po e dei suoi affluenti principali, con effetti rilevanti sulle altezze idrometriche. In tali condizioni, può avere giocato un ruolo determinante il fatto che i fiumi, confinati tra le arginature, non abbiano avuto la possibilità di costruire una loro geometria, che regolasse l'elevata energia delle correnti prodotte dalle piogge elevate, con implicazioni sui tempi di concentrazione dei deflussi e sulle portate al colmo. In definitiva, è ragionevole pensare che le grandi piene del XIX secolo siano state causate, in primo luogo, da condizioni climatiche particolarmente gravose e, in secondo luogo, dall'effetto che tali condizioni climatiche e il disboscamento ha avuto sul trasporto di sedimenti.

Quando si considerano grandi bacini idrografici e piene catastrofiche, le opere dell'uomo giocano normalmente un ruolo secondario. Tuttavia, il confinamento degli alvei fluviali in fasce ristrette comprese tra arginature impedisce la formazione di strutture naturali di autoregolazione e favorisce pertanto la rapida concentrazione dei deflussi lungo il reticolo idrografico e il conseguente aumento dei picchi di portata e delle massime altezze idrometriche. La gestione delle fasce fluviali appare a tutt'oggi l'aspetto su cui riporre la massima attenzione, in relazione agli effetti sulla formazione delle piene e ai danni che si possono avere in caso di disastro alluvionale.

Restano in ogni modo valide le considerazioni dei grandi idraulici padani del secolo XIX che comparavano sempre gli effetti negativi, indubbi, dell'azione regolatrice dell'uomo che cerca di trarre vantaggio dalle acque sia in termini di risorsa idropotabile sia in termini di alimento dell'irrigazione sia quale fonte di energia. Questi effetti si sono di volta in volta tradotti in diminuzione delle risorse idriche, alterazione degli ambienti acquatici, sovralluvionamenti o erosioni repentine dell'alveo, incremento della frequenza delle piene e dei danni conseguenti. Ma come contropartita se ne è guadagnata una pianura coltivata tra le più fertili e produttive del mondo, l'eliminazione di malattie conseguenti alla presenza di paludi a basso ricambio idrico, una produzione idroelettrica che fino agli anni Ottanta del secolo scorso poneva l'ENEL fra i cinque produttori idroelettrici maggiori del mondo, un'abbondanza di risorse idropotabili e per i consumi industriali che hanno reso, e rendono, la pianura padana una delle aree più produttive del pianeta. Quali le scelte per il futuro? Dipenderà dall'evoluzione generale dell'economia e dalla sensibilità di chi è preposto a queste decisioni. Noi, come studiosi, possiamo collaborare a quest'opera col ricordo attivo del passato e con la previsione degli effetti delle scelte da fare.

Un Santo delle acque (e della Scienza Idraulica?)

Fig. 10.4 - San Giovanni Nepomuceno, in una immagine popolare, affrescata sulla facciata di un maso (Sandgruber Hof) del comune di Tirolo (BZ).



Fig. 10.4

Concluso il nostro tentativo di spiegare le cause che determinarono le grandi alluvioni del Po nell'Ottocento, possiamo aggiungere (scherzosamente) che, forse, le vicende fluviali di quel periodo avrebbero potuto essere ancor più gravose per le popolazioni, se non avessero invocato l'intercessione di un Santo boemo, che le proteggesse dalla furia delle acque: San Giovanni Nepomuceno (Nepomuk 1330-Praha 1393, canonizzato nel 1729 da Benedetto XIII, ma il suo culto era già diffuso durante la Controriforma), familiarmente soprannominato dai Milanesi "*né più né meno*", che gli eressero ben due statue, una nel secondo cortile del Castello Sforzesco e un'altra in Piazza Vetra (Parco delle Basiliche), affinché, forse, mitigasse le piene del Seveso e assistesse i naviganti dei Navigli. Troviamo la sua immagine lun-

go tanti corsi d'acqua, un po' in tutta l'Europa cattolica o d'influenza Asburgica e anche in Italia. Invitiamo il lettore a scoprirne statue e dipinti, che risalgono soprattutto al XVIII e al XIX secolo: anche questo culto, forse, è una prova della particolare situazione climatica di quel periodo. Alcuni suggerimenti per ritrovare la sua immagine: a Praga sul Ponte Carlo si erge la statua nel punto dove, nelle acque della Moldava, si verificò il primo miracolo. In Italia, oltre che a Milano, possiamo osservarne immagini a Roma, Livorno, Ferrara, Modena, Padova, Battaglia Terme e lungo la Riviera del Brenta (PD), Borghetto (Valeggio sul Mincio, VR), Dobbiaco, Bressanone, Glorenza (BZ), Pieve di Cadore (BL), Vigevano (PV), Colorno e Berceto (PR), sul Ponte dell'Enza (Gattatico, RE), Finale Emilia (MO), ma le località sono tante altre. Un Santo oggi dimenticato, forse perché "disoccupato" in relazione al periodo "caldo" del clima? Nel 1993, tuttavia, nel seicentesimo anniversario della morte, le Poste Vaticane emisero un francobollo commemorativo.

Note

1. Si pensi, a questo proposito alla grande canalizzazione del Fiume Reno tra Germania e Francia, del Danubio, dell'Elba ecc.

2. Fra gli studiosi "minori", nel Ducato di Modena e Reggio, così coinvolto dai problemi del Po e dei suoi affluenti di destra, si possono ricordare Bolognini di Reggio Emilia, a cavallo tra Settecento e Ottocento, e Manzotti a Modena, che collaborò col LOMBARDINI (1865) nello studio della pianura compresa tra Enza e Panaro.

3. Era senz'altro l'aspetto più vistoso che si poteva cogliere sulle Alpi e sugli Appennini e che sarebbe perdurato per un altro secolo, sino al 1960 circa, con "scenari" montani, oggi ben difficilmente immaginabili, ma ampiamente documentati da immagini fotografiche, anche relativamente recenti (prima metà secolo XX). In un'Italia assolutamente priva di risorse energetiche, la legna fu impiegata, oltre che per il riscaldamento domestico, anche per usi industriali, quale l'estrazione del tannino per la concia delle pelli, energetici per l'industria e per la trazione (locomotive di linee secondarie e, nel secolo XX, anche per autotrazione con il sistema autogeno).

4. Si veda anche BERGOLLI (1841).

5. Progradare, in geologia il termine è usato per indicare l'avanzamento delle terre emerse in mare.

6. Lombardini decisamente non stimava Brighenti. In nota di p. 82 scrive: "... le cause per cui non ebbe esito felice l'impresa del Lloyd Austriaco nella navigazione del Po con rimorchiatori a vapore [si veda cap. 4]. Gli studi sulla navigazione di questo fiume li feci nel 1849, quando presi parte col ministro barone de Bruck alle trattative cogli Stati di Parma e di Modena, onde renderla libera, a termini dei vigenti trattati..., mi vi era applicato con fervore, intendendo di pubblicare in proposito una memoria. Ma istituitasi nel 1850 una commissione internazionale per la libera navigazione del Po, me ne astenni. A tale commissione apparteneva il Brighenti qual commissario pontificio, e per cinque o sei anni egli risiedette in Ferrara, come preside dell'ufficio permanente di essa commissione. Se in quell'occasione avesse fatte ricerche simili alle mie, egli ne avrebbe sicuramente avuti risultati analoghi, e non gli sarebbero sorti i dubbi da lui esposti circa il regime del Po e de' suoi affluenti?".

7. In effetti, i cambiamenti morfologici dell'alveo del Po richiederebbero il rilievo delle sezioni a intervalli di tempo inferiori (1-2 anni) e secondo collocazioni spaziali non necessariamente vincolate a quelle usate anticamente dalla Commissione per il Po ma variabili in relazione ai cambiamenti morfologici dell'alveo.

8. La carta fu redatta alla scala di 1:28.800 su decisione dell'Imperatore del S.R.I. Ne è stata eseguita una recente ristampa, con riduzione di scala delle tavole (CARANDINI, 1828 e 1999).

9. Le pubblicazioni geomorfologiche sull'argomento, iniziate proprio in area padana, sono numerosissime, alcune delle quali citate nell'elenco bibliografico in fondo a questo volume. La carta di sintesi della Pianura Padana di CASTIGLIONI *et Alii* (1997 a) deriva anch'essa dall'analisi geomorfologica eseguita su immagini aeree, a supporto di osservazioni dirette sul campo.

10. *Infiltrazione*, processo di trasferimento dell'acqua (delle precipitazioni e dei fiumi) nel sottosuolo, la cui quantità è regolata dal grado di permeabilità e dalla condizione di saturazione dei terreni.

11. *Evapotraspirazione*, somma di due processi: dell'*evaporazione* e della *traspirazione* (evaporazione dell'acqua assorbita dalle piante attraverso gli stomi presenti nelle foglie). La quantità di acqua sottratta al ciclo idrologico con questi processi dipende dalla radiazione solare, dall'umidità dell'aria e dalla velocità del vento, ma può essere essenzialmente riferita alla temperatura dell'aria, oltre all'estensione e densità della copertura vegetale; anche nelle nostre fasce climatiche (in pianura) ha un valore tutt'altro che trascurabile, prossimo al 30% delle precipitazioni.

12. *Precipitazione efficace*: precipitazione totale detratta della parte delle perdite per infiltrazione che non contribuiscono alla formazione della piena, dell'intercettazione della vegetazione, dell'invaso nelle depressioni della superficie topografica non connesse alla rete di drenaggio e dell'evapotraspirazione.

13. *L'idrogramma* è la curva che esprime la variazione della portata nel tempo, solita-

mente alla scala di evento. L'area sottesa dall'idrogramma rappresenta il volume di piena transitato attraverso la sezione fluviale.

14. Termine tecnico, che sta a indicare l'adeguatezza o capacità della sezione a far defluire le portate di piena.

15. Se il livello di coronamento delle arginature viene superato, si corre il rischio di collasso per sormonto dell'argine e apertura di una breccia.

16. Se il paramento esterno viene interessato da una superficie di gocciolamento, si corre il rischio di collasso per instabilità o sfiancamento; a ciò si aggiungono i rischi, affatto remoti, di erosione per incremento delle forze di trazione e di sifonamento per effetto di moti di filtrazione tra alveo e campagna, indotti dalle differenze di carico idraulico tra sezione piena e campagna circostante stessa.

17. La velocità media della corrente (U) è un fattore che controlla la portata. Infatti, la portata $Q = \Omega U$, dove Ω è l'area della sezione trasversale della corrente. Dal punto di vista delle dimensioni fisiche è $Q = [L^3 T^{-1}] = [L^2] [L T^{-1}]$, da cui l'unità di misura utilizzata nel Sistema Internazionale è il m^3/s .

18. *Scabrezza* = il concetto di scabrezza è stato introdotto nelle note esperienze di Nikuradse, il quale incollò sabbia con grani di diametro uniforme a pareti lisce per studiare le correnti nelle condotte al variare della scabrezza e del diametro di queste ultime (NIKURADSE, 1933). Tale concetto è stato esteso agli alvei fluviali, dove si considera come dimensione rappresentativa del materiale d'alveo il D_{84} , ovvero il diametro per il quale l'84% del materiale d'alveo è più fine o un altro diametro caratteristico (D_{50} , D_{90} ecc.). Deve tuttavia essere precisato che, nei complessi corsi d'acqua naturali, la scabrezza superficiale non è l'unico fattore che determina la perdita di energia della corrente. Altre forme di scabrezza sono quelle dovute alle strutture del profilo (p.e., gradini e pozze, rapide) o planari (p.e., barre alternate), oppure alla curvatura dei meandri; inoltre, durante le piene, la corrente può uscire dalla sezione fluviale ed essere soggetta alla resistenza opposta dalla vegetazione. La resistenza al moto negli alvei fluviali è un tema di ricerca ancora molto studiato dagli idraulici e idrologi dei nostri giorni.

19. Per la definizione cronologica di queste epoche geologiche si rimanda al cap. 3 nel presente volume.

20. Trattasi, in questo caso, del progressivo allungamento dell'idrogramma di piena e della conseguente riduzione dei valori delle portate massime a causa del temporaneo invaso dei volumi nel letto di propagazione.

21. Per una rassegna dell'argomento si rimanda a un qualsiasi testo di Elementi di Geologia, ad esempio a quello di CASATI (1991).

22. In questo periodo si collocano ad esempio le grandi alluvioni che seppelliscono *Mutina* (PELLI GRINI S., 1999; AUTORI VARI, 2002 CD ROM; ACCORSI *et Alii*, 1998; CREMASCHI & GASPERI, 1988), Lodi, Concordia Sagittaria, l'alluvione del Po (589 d.C.), della quale scrive Paolo Diacono, e quella dell'886. Sembra che nel 589 si siano compiute anche le grandi deviazioni di percorso dell'Adige e del Brenta.

23. Una caratteristica frequente di queste variazioni climatiche di corto periodo è quella di non essere sincrone a livello globale; a nord delle Alpi questo periodo freddo fu anticipato di oltre un secolo.

24. È molto probabile che il freddo di quell'anno sia stato la conseguenza dell'eruzione del vulcano Tambora in Indonesia, peggiorando ulteriormente un clima già di per sé molto freddo.

25. Nel medesimo anno si sviluppò la prima pandemia colerica del mondo, da molti ritenuta conseguenza della denutrizione, provocata dai mancati raccolti durante l'anno senza estate.

26. Una visita alla lingua del ghiacciaio del Bernina, nel cantone dei Grigioni in Svizzera, a partire dalla stazione ferroviaria di Morterarsch lungo la linea Tirano - St. Moritz, permette di verificare, attraverso una serie di targhe riportanti la posizione del fronte della lingua nei diversi anni, il progressivo ritiro dei ghiacci a partire dal 1844, consentendo di calcolarne, quindi, la relativa velocità.

27. Cronache da *Il Montanaro*, II - 10, Pievepelago, giugno 1885.

28. Un *Tiberimetro* si trova sulla facciata di Santa Maria Sopra Minerva, in Piazza della Minerva.

29. Si rammenti sempre che il termine geografico per la regione *Emilia* è dovuto a Carlo Farini e risale al 1860. All'epoca di Lombardini, il Ducato di Parma e Piacenza e quello di Modena e Reggio appartenevano alla regione fisica indicata con il nome di Lombardia (*australe*): Reggio era "Reggio di Lombardia", toponimo che compare ancora nelle prime edizioni dell'IGMI.

30. Documentazione fotografica di M. Pellegrini.

31. Altri acquedotti hanno derivato acque potabili dal subalveo dei fiumi, al loro sbocco in pianura, nelle Province di Reggio Emilia, Parma e Piacenza.

32. Comunicazione orale (a M. Pellegrini, nel 1967) e fotografie di Enzo Roveri (Università degli Studi di Parma), Collega purtroppo deceduto nel 2002, Autore di una pubblicazione riguardante il crollo del ponte della via Emilia sul fiume Secchia, avvenuto nel novembre 1959 (ROVERI, 1960).

33. *Sovralluvionamento*: il termine è usato per descrivere un eccessivo accumulo di sedimenti (ghiaie, sabbie e materiali fini) nell'alveo o nelle sue vicinanze, provocato da un trasporto solido molto superiore alle capacità di smaltimento della corrente fluviale.

34. Frammentazione degli ammassi rocciosi per i cicli di gelo e disgelo, nelle condizioni climatiche attuali e, soprattutto, in ambiente glaciale e periglaciale dei periodi freddi del Pleistocene.

35. Si veda MORATTI & PELLEGRINI (1977), per i bacini dell'Enza e del Secchia, nei quali nel settembre 1972 e nel settembre 1973, a seguito di precipitazioni intense e concentrate, si poté osservare questo comportamento: il primo evento mobilitò (anche con piccoli *debris flow*) le coltri detritiche del crinale, sovralluvionando gli alvei della parte più alta del bacino; il secondo, identico per posizione e caratteristiche idrologiche, fece scendere il materiale rimosso e accumulato dal primo negli alvei mediani del bacino idrografico, dimostrando gli effetti di eventi alluvionali ravvicinati nel tempo sul trasporto solido.

36. In tale contesto, seppure in modo del tutto approssimato vista la complessità dei grandi sistemi fluviali, si può intendere che la pioggia diventi temibile quando ha durata pari al tempo di corrivazione, o di concentrazione, del bacino idrografico. Piogge con durata inferiore sono, a parità di probabilità di accadimento, relativamente intense ma non determinano il contributo dell'intero bacino idrografico alla portata nella sua sezione di chiusura. Piogge più prolungate determinano il contributo dell'intero bacino idrografico ma hanno, a parità di probabilità di accadimento, intensità relativamente inferiore. Le piogge con durata pari al tempo di corrivazione del bacino determinano il contributo dell'intero bacino idrografico alla portata nella sua sezione di chiusura con la massima intensità (tra quelle che consentono questa condizione) per una fissata probabilità di accadimento.

37. *Froldo*: argine direttamente a contatto con le acque del canale principale del fiume.



11. Dall'Ottocento ai giorni nostri. Dalle anse della storia ai progetti per il futuro

Luigi Ciarmatori, Irene Ferrari, Maurizio Pellegrini

I dieci capitoli che hanno commentato le tavole tecniche della Commissione Brioschi, illustrando tanti aspetti del Fiume Po nell'Ottocento, ci delineano non solo un ambiente scomparso e un fiume dalle forme profondamente cambiate, che i più giovani non riescono nemmeno a immaginare, ma anche tutta una serie di problemi, oggi assai differenti da quelli del XIX secolo, o meglio di quel periodo iniziato nel XVII secolo e terminato nel 1951, con l'ultima grande alluvione. Dopo quella presieduta da Francesco Brioschi, si sono succedute tante altre Commissioni d'esperti, alcune delle quali citate in questo volume, e poi convegni, tavole rotonde, congressi, progetti, proposte... L'ultimo Convegno (se non ce ne sarà stato uno successivo, dopo la redazione di questo testo!) si è tenuto a Mantova il 28 maggio 2005 (AUTORI VARI, 2006): *Proposte per arrestare il dissesto idrogeologico*. In questo capitolo cercheremo di dar conto sinteticamente di questi cambiamenti, ponendo sempre come "frontiera" il 1951, non solo per la grande alluvione, ma anche come anno simbolico d'inizio di quella rinascita – *il miracolo economico* – che farà dell'Italia un paese moderno, con tante ricadute non sempre esaltanti, soprattutto in campo ambientale.

Un ambiente e un fiume scomparso

Qualche planimetria allegata agli elaborati della Commissione Brioschi (come quelle delle Tavole Cartografiche 4 e 5 relative alla sponda parmense del fiume, molto dettagliate per scala), la cartografia del fiume Po del 1821 (AUTORI VARI, a cura di STBRA G., 2004) e soprattutto le carte del XIX secolo, antecedenti quindi le grandi trasformazioni del XX secolo, come la Carta Topografica dei Ducati di Parma, Piacenza e Guastalla (1820-1821), quella dell'analoga e coeva Carta dei Ducati di Modena e Reggio e la Carta del Ferrarese (1812-1814), ci consentono una precisa lettura del territorio. A parte l'area deltizia, la fascia della bassa pianura lombarda da una parte e del piacentino dall'altra, compresa tra le scarpate (orli di terrazzo) della pianura principale e il "dominio" del Po in senso stretto, le pianure "dei ducati" di Parma e Reggio, dell'Oltrepò mantovano e, in parte, quella ferrarese mostrano un'organizzazione del territorio, dal punto di vista degli usi agricoli, che si manterrà sostanzialmente invariata sino oltre la metà del secolo XX.

L'economia dell'epoca, che era essenzialmente basata sull'agricoltura, determinava l'impiego di un'altissima percentuale della popolazione, oltre l'80%, e la ricerca di sempre nuovi spazi; si è visto, ad esempio nel capitolo 3,

proprio esaminando le planimetrie della Commissione Brioschi, che le pratiche e gli insediamenti agricoli avevano già occupato anche le aree golenali, rese sommergibili solo in occasione delle massime piene mediante argini secondari, di minore altezza rispetto a quello *maestro*. Dalla Lombardia al Parmense l'agricoltura era organizzata in grandi proprietà, dove prevalevano le colture a seminativi e foraggiere per l'allevamento del bestiame e le abitazioni, padronali e per i lavoratori, le stalle e altri locali per la lavorazione dei prodotti si concentravano in grandi corti, spesso ospitanti centinaia di persone che formavano comunità completamente autonome. Alle colture foraggiere si alternavano lunghi, caratteristici filari d'alberi, soprattutto gelsi e salici. A est di Parma la proprietà fondiaria era molto frazionata, con estensioni di solito inferiori ai 20 ha, ed era basata sulla mezzadria: ciascun podere aveva un edificio per l'abitazione, il fienile, la barchessa e altri "bassi comodi". Le carte tecniche dell'Ottocento indicano chiaramente colture agricole caratterizzate dalla "piantata", alternanza di filari d'alberi da frutta e di vigneti *maritati* a olmi intercalati a seminativi, per lo più di grano e mais. Grandi spazi erano tuttavia incolti e usati come prati stabili, chiaramente segnati con il simbolo "erbaceo" e colorati di verde: si trattava di suoli argillosi, come i *vertisuoli*, che non erano arabili con la forza animale a causa della loro elevata coesione. Le grandi alluvioni del Po invadevano queste campagne, in media ogni 5 anni nell'Ottocento, considerando il tratto di pianura a valle della confluenza con il Ticino, togliendo spesso ogni sostentamento e la stessa abitazione a migliaia di persone: 45.000 nel Ferrarese, durante la piena del maggio 1872; oltre 1000 case distrutte o lesionate durante quella dell'ottobre del medesimo anno, nell'Oltrepò mantovano e nelle province di Modena e Ferrara, come descritto da L. CIARMATORI nel capitolo 1.

I cambiamenti intervenuti negli alvei del Po e dei suoi affluenti dopo la prima metà del secolo XX sono stati ben più marcati di quelli che si possono riscontrare per le campagne. Gli affluenti erano completamente privi di vegetazione arborea, essendo in continuazione "ripuliti" dalle popolazioni rivierasche, sempre "a caccia" non solo di pesce e selvaggina, ma anche di legnatico. Nel Po, le golene semisommergibili, coltivate a seminativi semplici (BENFATTI, 1987) e del tutto prive di vegetazione spontanea, erano assegnate dai Geni Civili ai proprietari confinanti con l'argine maestro. Le grandi barre spondali e le isole sabbiose, quando sufficientemente stabilizzate, erano occupate da grandi boschi, per lo più a salici appena sopra il canale di magra, a salici, pioppi e carpini sino al livello delle piene ordinarie, a querce e carpini a livello delle massime piene (BENFATTI, 1987; ROSSI, 1987; FERRARI, 2003). I boschi erano soggetti alla pratica della ceduzione, con il consenso dei Geni Civili, che rilasciavano "concessioni" alle comunità rivierasche o a privati. La carta del 1821-1872 li indica con colore verde intenso e simboli grafici differenti, forse in base al tipo di bosco e alle essenze prevalenti (SIBRA, 2004); questi grandi boschi erano ceduati e di proprietà privata o d'uso delle comunità rivierasche. Il "panorama" dell'alveo di magra era dominato, tuttavia, da estese isole sabbiose, che cambiavano i loro contorni a ogni piena.

Si compie una radicale trasformazione nel governo del fiume (1800 -1951)

La Repubblica Cisalpina (1800) e Italiana (1802) con il successivo Regno Italico (1805) fu una breve ma proficua parentesi per la “storia” del Po, perché per la prima volta, anche in conseguenza di quello che stava accadendo da oltre un secolo, si sentì la necessità di un “governo” delle acque che prendesse in considerazione tutto il fiume e il suo bacino idrografico.

Già nel 1806 Eugenio Napoleone aveva istituito a Milano un “*Magistrato civile per lavori generali che riguardano il grande sistema del Po*” e a Parma l’“*Ufficio di Ispezione superiore del Genio Civile per il Po*”.

I dieci contributi che precedono questo capitolo conclusivo hanno evidenziato quelli che sono stati i grandi problemi del Po sino a poco oltre 50 anni fa: estese e frequenti piene, con alluvioni disastrose, dal Pavese sino al mare; una navigazione per merci e persone “impossibile” sulle lunghe distanze, già “fallita” dopo la metà del secolo XIX a favore delle ferrovie. Gli Autori hanno ritenuto che queste situazioni fossero dovute all’enorme trasporto solido con innalzamento dei fondali e alla “mobilità” dei canali, all’inalveamento del fiume, con argini maestri e secondari che avevano sempre più ristretto la capacità d’espansione delle piene, realizzato al fine di recuperare tutti gli spazi possibili all’agricoltura. Altre cause, probabilmente decisive, sono da ricondurre alle condizioni climatiche molto più “fredde” e “piovose” di quelle attuali e al disboscamento generalizzato dei bacini. Questo scenario, che evoca da un lato uno stato disastroso per l’economia italiana dell’epoca e dall’altro le peculiarità di ambienti e paesaggi suggestivi, si potrà dire esaurito dopo la grande alluvione polesana del 1951. Cerchiamo ora di ripercorrere le vicende più significative attinenti il governo delle acque del bacino padano durante quel periodo.

Di fondamentale importanza fu la “*proposta che, avanzata dal ministro Baccarini, autorevole ingegnere idraulico, si trasforma in legge il 25 giugno 1882, sancendo il principio dell'intervento finanziario dello Stato, nelle opere di bonifica classificate di interesse generale, nella misura del 50 per cento delle spese previste. Dimostrata l'impossibilità che l'impulso del tornaconto possa sospingere, da solo, al compimento delle grandi opere idrauliche, in una congiuntura in cui la crescita demografica reclama la dilatazione delle superfici coltivate per contenere la disoccupazione e per accrescere la produzione di cereali, che il Paese è costretto ad importare in misura ingente, lo Stato interviene con il proprio contributo nell'escavazione dei canali e nell'installazione delle idrovore. La legge Baccarini sarà seguita dalla legge 4 luglio 1886 che individua come controparti dello Stato nell'opera di bonifica i consorzi, che la legge 6 agosto 1893 dichiarerà obbligatori*” (SALTINI, 2005, p. 117).

Nell’ultimo ventennio del secolo XIX e agli inizi del successivo si vengano a costituire due servizi tecnici fondamentali per il controllo dei fiumi e delle acque in generale: i Geni Civili e i Consorzi di Bonifica, che prenderanno un rinnovato slancio dopo l’interruzione della prima guerra mondiale. Dopo la costituzione del primo Consorzio di Bonifica (Consorzio di Burana, 1892: SALTINI, 2005, p. 118), se ne formeranno alcune decine, soprattutto in Emilia-Romagna, Veneto e Lombardia, tutti più o meno con la finalità di prosciugare le aree paludose, di sistemare la rete scolante e di distribuire, nello stesso tempo, acque irrigue. Adesso ne sono operativi 10 di primo grado e 2 di secondo in Emilia-Romagna (fra quelli interagenti, direttamente o indirettamente, con il Po e il suo antico alveo di Primaro), 2 in Provincia di Rovigo

e 3 in Lombardia, considerando sempre e solo quelli direttamente interagenti con l'alveo del fiume; e infine uno interregionale (il Consorzio di Bonifica Burana, Leo Scoltenna e Panaro).

I problemi connessi con la stabilità arginale e la tutela delle opere idrauliche erano già noti in tempi remoti, mentre gli interventi e i servizi di tutela, pur già esistenti, vennero sistematizzati su tutta l'asta del fiume, in sostanza a partire dall'Unità d'Italia, con l'istituzione degli uffici provinciali del Genio Civile e in seguito con l'emanazione del R.D. 25 luglio 1904 n. 523: "*Testo Unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie*" e del R.D. 9 dicembre 1937 n. 2669: "*Regolamento sulla tutela delle opere idrauliche di prima e seconda categoria e delle opere di bonifica*".

Il 1912 rappresenta un anno fondamentale per l'idrologia padana, perché è istituito a Parma l'Ufficio Idrografico del Po, che, con le sue Sezioni di Milano, Sondrio e Torino, ha costituito sino l'anno 2002 la struttura fondamentale per la misura dei dati meteorologici (precipitazioni, temperatura, velocità del vento) e idrografici (altezze idrometriche e portate) del Po e dei suoi affluenti. Alla direzione di questo Servizio si sono succeduti tanti illustri studiosi di idrologia e idraulica fluviale. L'ultimo Direttore, che gestì il passaggio di competenze del Servizio dallo Stato alle Regioni, è stato un estensore di questa nota, l'ingegner Luigi CIARMATORI.

In conseguenza delle prime grandi piene del secolo XX, quelle del 1907 e del 1917, si sentì l'esigenza di individuare una struttura unica alla quale affidare il coordinamento unitario dell'attività idraulica di tutto il complesso bacino del Po. Nel 1924, infatti, fu istituito il Circolo di Ispezione del Genio Civile per il Po, con sede a Parma, al quale furono affidati i compiti della vigilanza sui progetti, sull'esecuzione delle opere riguardanti la sistemazione e la regolarizzazione degli alvei e sulla polizia idraulica in tutto il corso del Po e dei suoi affluenti.

Il verificarsi della catastrofica alluvione del 1951 determinò l'istituzione del Magistrato per il Po, quale efficace struttura unitaria operante a livello di bacino. La legge istitutiva è del 12 luglio 1956, n. 735 alla quale seguì quella del 18 marzo 1958, n. 240 e quella del 10 ottobre 1962, n. 1484 che lo trasformarono, da semplice ufficio di coordinamento, in organo d'amministrazione attiva con pieni poteri in materia di programmazione, esecuzione e gestione delle opere di difesa dell'intero bacino.

Nella scelta della denominazione "Magistrato" fu seguita la prestigiosa tradizione della Serenissima Repubblica di Venezia, dove già nel 1397 esisteva uno speciale "Magistrato dei Savi" (*Sapientes super aquis*) dal quale derivò, nel 1543, il Magistrato delle Acque di Venezia che cura ancor oggi i corsi d'acqua della pianura veneta, a nord-est dell'Adige.

Il Magistrato per il Po, con sede a Parma, fu istituito con competenza su tutti i corsi d'acqua del bacino idrografico padano per l'esecuzione delle opere idrauliche, sia per la messa in sicurezza degli argini, soprattutto laddove il fiume scorre pensile, sia per interventi mirati a consentire la navigazione fluviale, e inoltre per lo svolgimento del servizio di polizia idraulica e del servizio di piena.

Tutti questi Servizi, attivati tra il 1880 e il 1956, saranno fondamentali per la sicurezza idraulica del bacino padano nel cinquantennio successivo, durante il quale, però, essi si troveranno ad affrontare nuovi, gravi problemi.

L'ambiente e il fiume attuale

Un'escursione in bicicletta lungo un argine del Po è quella che meglio ci consente di cogliere a scala di paesaggio la zona vasta percorsa dall'alveo fluviale, l'espansione dell'area golenale e la campagna circostante. La meccanizzazione agricola ha trasformato radicalmente il mosaico ambientale delle campagne e i panorami, in assenza degli arborati, si sono dilatati a dismisura: nelle giornate più limpide Alpi e Appennini si ammirano insieme a paesi e città che fino a 40 anni fa restavano nascosti alla vista dal verde delle fronde; i frutteti si sono "specializzati" e concentrati in spazi ristretti, con altezze dei fusti sempre più "comode" per la raccolta. Un nuovo elemento del paesaggio agrario è quello delle coltivazioni sotto serra, come ad esempio la coltivazione del melone presso Viadana.

I borghi di riva, descritti nel capitolo 4, si sono dilatati verso terra, con ampie periferie fatte di nuove abitazioni, capannoni industriali e, soprattutto, di tante strade. Le centinaia di case rurali, di corti e cascine, dal Pavese sino al Delta, sono disabitate e in uno stato deplorabile di fatiscenza, testimoni di una tipologia abitativa che sta scomparendo, spesso con forme architettoniche che meriterebbero azioni incisive di tutela.

I cambiamenti dell'alveo fluviale non sono stati meno rilevanti. Scomparsi i grandi boschi spontanei, ma ceduti, che si estendevano sino a Pontelagoscuro, le golene sono state occupate da estesi pioppeti per ricavarne cellulosa, anche se nell'ultimo decennio questa coltivazione è entrata in crisi, lasciando nuovamente spazi per una lenta naturalizzazione vegetale.

Il canale di magra è stato rettificato e ristretto e si è approfondito di oltre 4 m dal 1950, riducendo o facendo scomparire le barre spondali e le isole sabbiose, in conseguenza del diminuito trasporto solido e dell'escavazione intensa di sabbie e ghiaie dal Po e dai suoi affluenti, iniziata in maniera massiccia attorno al 1950.

In tutti i bacini montani delle Alpi e dell'Appennino settentrionale, mentre procedeva il prelievo delle ghiaie dagli alvei fluviali, avvenivano alcuni fatti nuovi: l'abbandono delle pratiche agricole, la sistemazione idraulica forestale, la costruzione di grandi invasi idroelettrici e la progressiva cessazione del taglio dei boschi, per l'abbandono della legna negli usi domestici e industriali. Nelle Alpi, soprattutto lombarde e venete, esisteva una tradizione plurisecolare della "coltivazione" del bosco anche per finalità diverse da quella del prelievo di legna utilizzata come combustibile; negli Appennini, invece, prevaleva la ceduzione intensa: fotografie anteriori al 1960 ci mostrano montagne desolatamente brulle o coltivate, laddove oggi si sono ricostituite vere e proprie foreste, forse come non si erano più viste dal secolo XVI.

I tecnici, addetti al "governo" del fiume, eredi di Elia Lombardini e Francesco Brioschi, devono valutare i nuovi problemi del Po che si sono determinati verso la fine del secolo XX: le grandi piene del 1994 e del 2000 sono passate senza far danni e le nuove arginature, fatte anche di diaframmi impermeabilizzanti e di rivestimenti in cemento, hanno retto all'onda di piena. Al rischio delle piene fa da contrappunto, a ogni estate, l'esplosione dell'*emergenza* idrica. L'alveo riduce drasticamente la propria portata fin quasi ad annullarla da Pontelagoscuro al mare, senza riuscire a soddisfare le esigenze irrigue delle campagne; la navigazione si ferma, l'acqua salata marina risale sin quasi a tutto il ferrarese. Le falde idriche connesse al fiume si sono nel frattempo abbassate... I proble-

mi di conoscenza e gestione del fiume sono stati dibattuti in un numero enorme di convegni: tra gli altri nel Seminario "Partecipare il Po" (Colorno, 29 giugno 2006), organizzato dal CIDIEP e al quale ha partecipato anche un Autore di questo capitolo, Irene FERRARI. Non basterebbe un intero volume per una rassegna di questa complessa materia e per un'analisi delle cause dello stato presente di sofferenza del fiume; se ne richiamano solo alcune: cambiamento climatico, in questa fase volto al *caldo*, eccessivi prelievi per gli usi irrigui essendo tutta la pianura emiliana irrigata dalle acque del fiume sino all'altezza della Via Emilia e sino al mare, gestione dei grandi bacini di ritenuta delle Alpi in maniera non coordinata con il regime fluviale, deviazione del Mincio nel sistema idroviario Tartaro – Canalbiano – Cavanella Po, asse oggi privilegiato per la navigazione "pesante"... Senza dimenticare un elemento di degrado gravissimo del fiume, che esula un po' dall'argomento trattato nella presente opera, l'inquinamento delle acque, perché il Po è, purtroppo, il collettore dei carichi di materiali eutrofizzanti e tossici delle regioni più popolate e industrializzate d'Italia, nelle quali non sempre lo sviluppo economico è stato accompagnato e sostenuto da un'adeguata sensibilità ai problemi ambientali.

Le grandi piene del 1951, del 1994 e del 2000

Quella del 1951 fu l'ultima grande piena del Ventesimo secolo a provocare esondazioni e danni gravissimi nel tronco di pianura del Po. Fu la maggiore mai verificatasi sul fiume da quando esistono rilevamenti idrometrici ed è rimasta tuttora insuperata nella parte inferiore del corso del fiume. Fu causata da piogge persistenti che in sei giorni consecutivi (dal 7 al 12 novembre) si distribuirono in modo abbastanza uniforme su tutto il bacino idrografico del fiume, interessando i versanti alpini e appenninici, di monte e di valle, che con i loro contributi sovrapposti crearono le condizioni per il verificarsi dell'evento eccezionale.

In quasi tutte le sezioni fluviali del tratto di pianura, fino a monte di Pontelagoscuro, la portata massima superò i 12.000 m³/s. Alcune rotte avvennero la mattina del giorno 14 novembre nel Parmense, in destra del Po, provocando l'allagamento di circa 130 km² di territorio. Il disastro maggiore accadde, tuttavia, nel Polesine, dove, nel tardo pomeriggio dello stesso giorno 14, l'argine maestro sinistro del Po cedette in rapida successione su tre diversi punti: prima a Vallice di Paviolo, circa un chilometro a valle di Pontelagoscuro e quindi a Bosco e a Malcantone, in comune di Occhiobello, circa 2 km a monte di Pontelagoscuro. Furono allagate vastissime estensioni della provincia di Rovigo per un totale di circa 1000 km².

Attraverso le ampie rotte verificatesi presso Pontelagoscuro fuoriusci dall'alveo un'enorme massa d'acqua (per un volume totale stimato di circa 7 miliardi di m³), che fece diminuire rapidamente la portata sulla sezione e a valle della stessa. Ciò fece sì che la portata massima registrata a Pontelagoscuro fu pari a circa 10.300 m³/s, mentre la massima che si sarebbe verificata senza le rotte fu stimata in circa 12.000 m³/s. Il livello massimo registrato, sempre a Pontelagoscuro, è stato di 4,28 m sullo zero idrometrico. Entrambi i valori massimi registrati, di portata e di livello, risultano i massimi assoluti del periodo d'osservazione fino a oggi. E ciò, come già detto, nonostante l'enorme quantità d'acqua sottratta al letto del fiume attraverso le rotte. Per avere un'i-

dea dell'entità della piena a Pontelagoscuro si può confrontare il livello raggiunto dalle acque nel novembre 1951 con quelli raggiunti nella stessa sezione durante le precedenti maggiori piene del Novecento, che furono rispettivamente (misurate sempre in metri sullo zero idrometrico) di 3,30 nel 1907, di 3,72 nel 1917, di 3,70 nel 1926 e di 3,67 nel 1928.

Altre due piene di notevole entità si sono verificate sul Po dopo il 1951, entrambe sul finire del secolo, e precisamente nel 1994 e nel 2000.

La piena del novembre 1994 fu provocata soprattutto dal contributo degli affluenti piemontesi e in modo particolare da quello del bacino idrografico del fiume Tanaro, dove le piogge furono violentissime e dove si ebbero decine di vittime. Il Po ne fu interessato intensamente nella parte superiore del suo corso di pianura. Alla stazione di ponte Becca, infatti, la portata fu di $11.500 \text{ m}^3/\text{s}$, superiore di circa $250 \text{ m}^3/\text{s}$ a quella del 1951. Tuttavia, la relativamente breve durata della piena nella parte alta del fiume (all'idrometro di ponte Becca il livello rimase sopra i 6 m per circa 35 ore contro le 70 ore del 1951) e la mancanza di contributi notevoli da parte dei bacini affluenti nella parte medio-bassa causò un notevole affievolimento dell'onda di piena durante il suo trasferimento verso valle. A Pontelagoscuro il livello idrometrico massimo fu di 3,03 m, cui corrispose una portata di circa $8700 \text{ m}^3/\text{s}$ che, seppur notevole, non rappresenta per quella sezione un evento altamente eccezionale.

L'ultima grande piena del Po, quella del 2000, dovette la sua formazione soprattutto alle intense e persistenti piogge verificatesi in Valle d'Aosta e nella parte nord-occidentale del Piemonte, nei giorni fra il 13 e il 16 ottobre, e a quelle, di ancora maggior persistenza (dal 10 al 16 ottobre), verificatesi nel bacino idrografico del Ticino-Lago Maggiore, particolarmente in Svizzera nel Canton Ticino. Anche in questo caso, come nel 1994, il tratto di Po maggiormente interessato dalla piena fu quello della parte alta del corso di pianura. A ponte Becca la portata massima raggiunse $11.600 \text{ m}^3/\text{s}$, fu quindi leggermente superiore a quella del 1994 e risultò la massima assoluta del periodo d'osservazione. In questo caso, inoltre, il Ticino contribuiva abbondantemente all'intensità della piena a causa dell'alta portata in uscita dal lago Maggiore, gonfiatosi per effetto delle piogge nel Canton Ticino: per cinque giorni, dal 15 al 19 ottobre, il Lago Maggiore scaricò portate comprese tra i 2000 e i $2700 \text{ m}^3/\text{s}$. Ciò contribuì alla notevole persistenza della piena a ponte Becca. L'idrometro fece segnare valori superiori ai 6 m per circa 58 ore, intervallo di tempo più prossimo a quello del 1951 che a quello del 1994. La piena si affievolì pertanto più lentamente nel propagarsi verso valle e alla sezione di Pontelagoscuro fece segnare un'altezza idrometrica massima di 3,53 m sullo zero idrometrico, con una portata di circa $9600 \text{ m}^3/\text{s}$, nonostante che, per limitare l'entità della piena, si fosse utilizzata l'ampia golenale di San Benedetto Po, invasandola mediante l'abbattimento di un argine golenale.

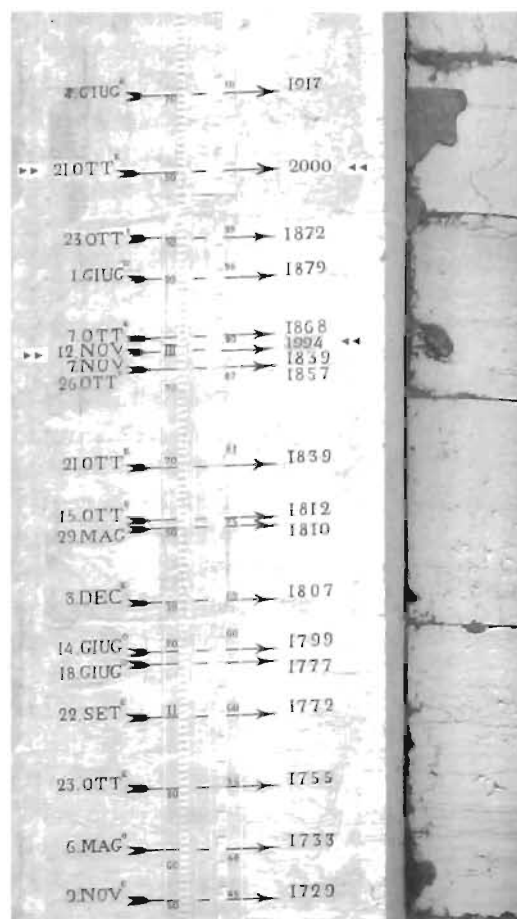


Fig. 11.1 - Il padimetro di Ferrara, "aggiornato" con le piene del 1994 e 2000.

L'immagine reale, ovviamente, è stata riclavorata con programmi di grafica.

Le nuove autorità di governo del Po nel XXI secolo

Il Po è il più grande fiume d'Italia, con il suo vastissimo bacino imbrifero, le sue migliaia di chilometri di arginature, i suoi numerosissimi affluenti e sub-affluenti (22 in sinistra e 21 in destra). Sin dal primo Ottocento, come si è visto, il Po è stato oggetto di particolari cure, da parte di uffici tecnici, che lo hanno tenuto sotto controllo e hanno cercato di curarne i "mali", conservando quei benefici che il grande fiume dà all'agricoltura, all'industria e alle popolazioni riverasche. Il bacino idrografico tributario del Po si estende per circa 70.000 km² e abbraccia pressoché interamente il territorio di tre regioni (Valle d'Aosta, Piemonte e Lombardia), gran parte dell'Emilia Romagna, parte del Veneto per quanto riguarda il delta in Provincia di Rovigo, oltre a modeste porzioni delle regioni finitime (Liguria, Toscana e la Provincia Autonoma di Trento), e circa 3200 km² di territorio svizzero. In totale sono interessate 24 province e 3200 comuni. Esso è solcato da 4500 km di corsi d'acqua, con un'estensione d'arginature di seconda e terza categoria di 3564 km. Esaminiamo quelli che sono oggi gli uffici preposti al suo "governo".

Il Magistrato per il Po, già organo decentrato del Ministero dei Lavori Pubblici, dal gennaio 2003, alla soglia del nuovo secolo, si è trasformato in AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO (AIPO), in attuazione dell'art. 89 del D.L. 112/1998. Le regioni interessate sono la Regione Piemonte, la Regione Lombardia, la Regione Emilia-Romagna e la Regione Veneto. L'Agenzia ha sede a Parma, con sedi operative distaccate a Torino, Alessandria, Milano, Pavia, Mantova, Modena, Ferrara e Rovigo.

Parallelamente all'attività dell'Agenzia opera l'Autorità di bacino del fiume Po, della quale si parlerà subito dopo. Nel Comitato Tecnico di tale Autorità, l'Agenzia Interregionale per il fiume Po è costantemente impegnata al fianco delle amministrazioni statali (Ambiente e Beni Culturali, Infrastrutture e Trasporti) e locali (Regioni, Province, Comunità Montane ecc.), facenti parte dello stesso Comitato, in un contesto più ampio, che trascende l'aspetto meramente idraulico delle proprie competenze, con la presenza dei propri dirigenti tecnici nelle diverse Commissioni e Sottocommissioni.

Particolarmente impegnative, soprattutto per l'ormai intensissima antropizzazione dell'intero bacino e per l'aumentata sensibilità delle popolazioni nei riguardi dei problemi connessi alla tutela ambientale e fluviale, sono le funzioni svolte dall'Agenzia in materia di Polizia Idraulica, per il cui espletamento sono in fase di studio nuovi e più aggiornati criteri di gestione e di organizzazione. Strettamente connesse alla gestione delle opere idrauliche e alla Polizia Idraulica sono la direzione e il coordinamento del Servizio di Piena, che si espleta lungo i tratti del Po e dei suoi affluenti interessati da opere idrauliche di prima e di seconda categoria, i tratti, cioè, posti in corrispondenza di confini nazionali e quelli le cui arginature continue sono poste a protezione degli abitati, delle opere pubbliche e degli insediamenti più importanti per la collettività, oltre che sui tratti arginati di terza categoria di una certa rilevanza.

Le principali attività dell'Agenzia consistono nella progettazione ed esecuzione degli interventi sulle opere idrauliche di prima, seconda e terza categoria, di cui al Testo Unico n. 523/1904, sull'intero bacino del Po; nonché, come già detto, nei compiti di Polizia Idraulica e Servizio di Piena sulle opere idrauliche di prima, seconda (R.D. 2669/1937) e terza categoria arginata (art. 4 comma 10 ter Legge 677/1996). Queste attività sono espletate dal

personale tecnico lungo tutti i tratti arginati che ammontano a 3564 km, suddivisi in 94 tronchi di custodia (Ufficiali Idraulici) e 220 tronchi di guardia (Sorveglianti Idraulici).

Il corpo normativo relativo alle materie di cui si occupa, a vario titolo, la struttura operativa dell'Agenzia Interregionale per il fiume Po, si è progressivamente arricchito nel corso degli anni. In particolare vale la pena di citare le più recenti normative: sulla difesa del suolo la L. 18.05.1989 n. 183: "*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*"; sulla Protezione Civile la L. 24.02.1992 n. 225 "*Istituzione del servizio nazionale della protezione civile*"; sulle acque pubbliche e il demanio fluviale e lacuale la L. 5.01.1994 n. 36: "*Disposizioni in materia di risorse idriche*" e la L. 5.01.1994 n. 37: "*Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche*".

A seguito della legge 183/89 sulla difesa del suolo, che ha tra l'altro istituito le Autorità di bacino, sono state emanate importanti normative quali il "*Piano Stralcio delle Fasce Fluviali*" (PSFF, 1995) redatto appunto dall'Autorità di bacino, nel quale per la prima volta è stata introdotta, a livello di bacino, la suddivisione delle pertinenze fluviali in fasce aventi diverso grado di interesse da parte dei fenomeni di deflusso: fascia A o di deflusso della piena ordinaria, fascia B o di esondazione per la piena di riferimento ($T_r = 200$ anni), fascia C o inondazione per piena catastrofica ($T_r = 500$ anni). Fatto ancor più significativo, all'interno di tali fasce sono state definite le attività ammesse e vietate, mettendo quindi definitivamente un freno alle pericolose intromissioni urbanistiche negli ambiti di pertinenza fluviale e alle attività antropiche che spesso, nel recente passato, hanno messo a rischio l'equilibrio dei corsi d'acqua.

Le attività iniziate col PSFF sono proseguite col "*Piano per l'Assetto Idrogeologico*" (PAI, 2001) che, inglobando i contenuti dei precedenti Piani Stralcio delle Fasce Fluviali, ha preso organicamente in esame tutte le varie situazioni di criticità idrogeologica del bacino. Per quanto riguarda il reticolo idrografico relativo ai corsi d'acqua principali (e le corrispondenti fasce fluviali), il progetto di assetto idraulico per la messa in sicurezza, una volta analizzate le situazioni di dissesto in atto, è proseguito determinando dapprima la portata di riferimento ($T_r = 200$ anni), studiando quindi la risposta idraulica della rete fluviale e ipotizzando l'assetto di progetto sulle aste principali del bacino.

L'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO. La Legge 183/89 "*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*" istituisce le Autorità di bacino per i bacini idrografici di rilievo nazionale (art. 12). L'Autorità è un organismo misto, costituito da Stato e Regioni, operante, in conformità agli obiettivi della legge, sui bacini idrografici considerati come sistemi unitari. L'Autorità di bacino del Po è luogo di intesa unitaria e sinergia operativa fra tutti gli organi istituzionali interessati alla salvaguardia e allo sviluppo del bacino padano, caratterizzato da complesse problematiche ambientali. Ha sede a Parma, ove si è insediata nell'autunno del 1990. Il bacino idrografico è l'ambito ottimale per azioni di difesa del suolo, del sottosuolo e delle acque. La finalità generale dell'Autorità è la tutela ambientale dell'intero bacino idrografico, secondo i seguenti obiettivi: difesa idrogeologica e della rete idrografica; tutela della qualità dei corpi idrici; razionalizzazione dell'uso delle risorse idriche; regolamentazione dell'uso del territorio. Gli ambiti entro i quali l'Autorità svolge le proprie attività di pianificazione, programmazione e attuazione sono: sistemazione, conservazione e recupero del suolo nei bacini idrografici;

difesa, sistemazione e regolazione dei corsi d'acqua; moderazione delle piene; disciplina delle attività estrattive; difesa e consolidamento dei versanti e delle zone instabili; contenimento dei fenomeni di subsidenza dei suoli e di risalita delle acque marine lungo i fiumi; protezione delle coste; risanamento delle acque superficiali e sotterranee; razionalizzazione degli usi delle risorse idriche superficiali e profonde; svolgimento funzionale dei servizi di polizia idraulica; manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere e degli impianti; regolamentazione dei territori per la salvaguardia e la conservazione delle aree demaniali e la costituzione di parchi fluviali e aree protette; gestione integrata in ambiti ottimali dei servizi pubblici di settore; riordino del vincolo idrogeologico.

Dal trasferimento del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale all'istituzione dell'Area Idrologia di ARPA-SIM

L'art. 92 del D.Lgs. 31 marzo 1998 n. 112 dispone che gli Uffici periferici del Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali (DSTN) siano trasferiti alle Regioni e incorporati nelle strutture operative regionali competenti in materia. La gestione tecnico-operativa delle funzioni già svolte dall'Ufficio Idrografico del Po, in modo unitario sull'intero bacino del fiume, viene quindi trasferita alle sette regioni comprese nel bacino idrografico secondo la competenza territoriale e viene affidata da ogni regione al Servizio esistente più adatto a esercitare le funzioni da svolgere. In Emilia-Romagna, la Regione (Delibera della Giunta Regionale 2515/2001) affida le funzioni all'Agenzia Regionale per la Prevenzione e l'Ambiente (ARPA), Struttura tematica Servizio Meteorologico Regionale (ARPA-SMR). Anche la Regione Piemonte affida tali funzioni all'ARPA, mentre la regione Lombardia le affida alla struttura della Protezione Civile. Le competenze del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, trasferite dallo Stato alle Regioni sono: rilievo sistematico ed elaborazione di dati relativi al clima terrestre, ai corsi d'acqua, ai deflussi superficiali, al trasporto solido, ai deflussi sotterranei e delle sorgenti, nonché osservazione e studio dell'erosione superficiale; rilievo sistematico ed elaborazione di dati relativi al clima marittimo, allo stato dei litorali e ai livelli marini; pubblicazione sistematica dei risultati del rilevamento e dell'elaborazione dati; pubblicazione di cartografie tematiche; esame e parere sulle domande di grandi derivazioni e sui progetti di opere civili idrauliche e di bonifica di competenza statale; collaborazione con le Regioni, gli Enti competenti e le Amministrazioni locali sulla tutela delle acque dall'inquinamento mediante controlli quantitativi e qualitativi dei corpi idrici; struttura operativa nazionale del Servizio Nazionale della Protezione Civile.

Anche le competenze in materia di navigazione sulle acque interne sono affidate alle Regioni. In Emilia-Romagna, la Legge Regionale 14 gennaio 1989, n. 1, ha istituito l'AZIENDA REGIONALE PER LA NAVIGAZIONE INTERNA (ARNI), con i seguenti compiti: attuare gli interventi regionali nel settore della navigazione interna; provvedere alla gestione dei servizi e delle infrastrutture relativi alle vie navigabili interne e al trasporto idroviario anche al fine di garantire lo sviluppo del turismo fluviale; svolgere le funzioni di ispettorato di porto, di polizia idraulica e di navigazione di competenza regionale nonché di soccorso in appoggio alle esigenze del turismo fluviale;

elaborare e attuare programmi regionali di intervento per le opere di navigazione, sia per quanto riguarda la loro conservazione e manutenzione, sia per quanto riguarda la realizzazione di nuove opere; elaborare e attuare i programmi di intervento deliberati dalla Intesa fra le Regioni Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna per la navigazione interna; proporre programmi di intervento tecnico-funzionali per il miglioramento della fruizione delle vie d'acqua e di strutture a esse collegate al fine di incrementare e migliorare il trasporto e il diporto nautico.

Le competenze della navigazione interna sono regolate e disciplinate dal D.P.R. n. 616/1977 e dal Decreto Legislativo n. 112/1998 (articoli 105, 169, 170). Quasi tutte le funzioni riguardanti la navigazione interna sono delegate alle Regioni. Allo Stato sono rimaste le competenze in materia di sicurezza della navigazione interna e la programmazione, previa intesa con le Regioni interessate, del sistema idroviario padano-veneto. In questo sistema, di cui il Po è l'asse centrale, l'impostazione attuata dalle Regioni, a partire dal D.P.R. 616/1977 e consolidata nel tempo, prevede un'attività diretta di ogni Regione sul proprio territorio, coordinata dall'Intesa Interregionale per la Navigazione Interna, costituita nel 1979 tra l'Emilia-Romagna, la Lombardia, il Piemonte e il Veneto, e regolata da apposita convenzione che prevede anche il riparto delle spese. Per quanto riguarda il Po, via navigabile di confine, le funzioni di gestione vengono esercitate da un unico soggetto, l'AR-NI, Azienda dell'Emilia-Romagna, in funzione di quanto previsto nella sopra richiamata convenzione.

Partecipare e vivere il Po oggi

Sulla vita delle popolazioni rivierasche del Po nell'Ottocento (e fino alla metà del Novecento) esiste un'ampia documentazione scientifica e letteraria cui hanno attinto anche numerosi Autori dei contributi presentati. L'evidenza più immediata riguarda le condizioni di povertà, fino all'indigenza, di gran parte degli abitanti di quel territorio: vi concorrevano la persistenza di fattori di crisi pesante dell'economia, la durezza della fatica fisica associata alle attività lavorative più diffuse, la penosa qualità della vita sotto il profilo igienico e sanitario, cui si aggiungeva, come fattore permanente di insicurezza, l'esposizione continua al rischio di eventi di piena catastrofici.

Trapela talora, nella rievocazione di quella realtà, una punta di malcelata nostalgia per un tempo in cui la povertà del vivere quotidiano trovava compensazione in una più fervida disponibilità sul piano delle relazioni sociali, dell'impegno solidale all'interno delle piccole comunità insediate lungo il corso del fiume. E in comportamenti di rispetto per l'ambiente, che consentivano di mantenere con il Po un rapporto di fruizione oggi non immaginabile: si ricordano le consuetudini dei bagni estivi e la presenza di "colonie fluviali" per i bambini nel verde delle zone golenali... In realtà, l'intreccio di relazioni sociali ed economiche costruite e vissute in quel contesto ambientale costituiva un sistema che, per usare un'espressione oggi di diffuso impiego, si connotava per un modesto grado di sostenibilità: sul fronte sociale ed economico, ma anche in termini di conservazione e tutela delle risorse della "natura". La fragilità del tessuto sociale e delle basi economiche su cui si reggeva la vita di quelle comunità non poteva che alimentare una pressione sempre

più forte sulle risorse “naturali” in un ambiente già da secoli completamente e profondamente antropizzato. Queste considerazioni ci possono aiutare a capire meglio il senso delle imponenti trasformazioni socio-economiche e ambientali intervenute in quest'ultimo mezzo secolo.

Gli elementi di più forte criticità dello stato presente del fiume sono già stati illustrati diffusamente nelle pagine precedenti con l'indicazione dell'intreccio di cause, per lo più riconducibili ad attività umane, che li hanno determinati. Negli ultimi decenni l'impatto dell'agricoltura e dell'industria, oltre che delle infrastrutture disseminate sull'intero territorio padano, ha avuto effetti sconvolgenti sui caratteri idrogeomorfologici più significativi dell'intera rete idrografica afferente al Po. E ha profondamente inciso sia sulle dinamiche idrauliche del fiume che sulla qualità delle sue acque. È stato superato ogni ragionevole limite di prelievo e utilizzo delle risorse del fiume: il riscontro è immediatamente evidente se si riflette sull'entità dell'uso della risorsa idrica nei singoli comparti produttivi, da quello agricolo a quello energetico, ma soprattutto se si pensa alle incompatibilità, non solo ambientali ma anche di ordine economico, generate dal persistere delle attuali politiche di impiego complessivo della risorsa.

È evidente che servono nuove idee e strategie per il governo del fiume. È altrettanto evidente, per altro, che non ha senso pensare a impossibili ritorni al passato. Paradossalmente, siamo nella condizione di dover perseguire gli obiettivi di una gestione intelligente del fiume collocandoli alla scala dei processi di invasività tecnologica e di globalizzazione ai quali certamente è da ricondurre l'aggravarsi dei “mali” che continuiamo a lamentare. Ma è solo a quella scala che si può sperare e pensare di trovare opportunità, rimedi, soluzioni. Il governo delle acque è diventato un problema di rilievo planetario e su di esso si concentra un'attenzione crescente delle agenzie internazionali, delle autorità governative e delle popolazioni di tanti paesi del mondo. Questa maggiore attenzione e sensibilità è alimentata anche dal diffondersi di indirizzi di pensiero e di esperienze di ricerca che appaiono promettenti.

La sfida che oggi abbiamo di fronte è quella di costruire un futuro possibile di sostenibilità per il nostro fiume: ci si dovrà concentrare sull'analisi delle specificità locali del territorio, ma senza smarrire la dimensione globale dei problemi di ricerca e di gestione che si devono affrontare. Serve, allora, l'impegno responsabile dei governi e delle organizzazioni internazionali, così come degli enti territoriali e delle autorità di governo del fiume. Parallelamente, si richiede alla comunità scientifica un impegno eccezionale: esprimere competenze di primo ordine in campi fondamentali della ricerca, ma nel contempo produrre aggregazioni inedite di saperi. La prospettiva che si può aprire è quella di una scienza per la sostenibilità costruita sulla convergenza di competenze di diverse discipline, che rendano perseguibili da un lato l'analisi e la comprensione delle interazioni tra sistemi naturali, sociali ed economici e della loro evoluzione, dall'altro l'indicazione di percorsi decisionali che garantiscano scelte gestionali mirate alla conservazione delle risorse dell'ambiente e del territorio. Avendo in mente che la conservazione di queste risorse si configura come condizione strategica e insieme conseguenza di uno sviluppo economico e sociale equilibrato.

Il superamento della frammentazione tradizionale delle discipline è un processo che va pertanto incoraggiato e promosso. Anche a questo riguardo, assume particolare valenza la documentazione fornita, che è centrata su te-

mi che attengono principalmente ai caratteri geomorfologici, idrologici e idraulici del fiume, ma si espande poi ad altri campi di conoscenza e di analisi, di ambito economico, sociale e culturale, che non possono essere considerati marginali. Questa espansione è il segno di una crescente consapevolezza, anche tra ricercatori ed esperti di ambiti professionali specialistici, di quanto le dinamiche naturali siano inestricabilmente intrecciate con i percorsi della storia e le condizioni di vita delle comunità umane. Ciò è particolarmente vero per gli ambienti fluviali, quando si considerino come espressione integrata di interazioni e retroazioni tra i processi che si svolgono in natura, nella società, nell'economia. Se si assumono, in altre parole, come sistemi il cui funzionamento regge su dinamiche complesse, su processi non lineari e largamente imprevedibili. La complessità dei fenomeni da studiare e dei problemi da risolvere diventa allora tale da imporre una riflessione seria sull'esigenza di innovazioni profonde negli approcci e nei metodi della ricerca, della formazione di abilità tecnico-professionali, dell'impiego di tecnologie ecocompatibili, dell'educazione a una più viva sensibilità culturale su obiettivi di tutela dei beni e dei valori dell'ambiente.

Se si guarda all'evoluzione nell'ultimo trentennio delle ricerche ambientali in area padana, e sul Po in particolare, è da dire che si è assistito a una crescita impressionante di quantità e qualità della produzione scientifica, oltre che dello sforzo di diffusione e divulgazione dei risultati ottenuti. Si possono citare da un lato i quaderni dell'IRSA-CNR (1977, 1990, 1997) e gli atti di alcuni congressi della Società Italiana di Ecologia (AUTORI VARI, 1993, 2006), dall'altro l'intensa attività pubblicistica dell'Autorità di bacino del Po e del CIDIEP (AUTORI VARI, a cura di FERRARI C. e GAMBI L., 2000; AUTORI VARI, a cura di FERRARI I. e VIANELLO G., 2003; AUTORI VARI, 2006). Sono state anche realizzate esperienze significative di integrazione interdisciplinare. Sulla base, decisamente precaria, delle conoscenze naturalistiche della nostra tradizione nazionale, si è innestata l'applicazione di modelli ecosistemici, prevalentemente di scuola americana, mirati alla definizione di funzioni chiave del corso d'acqua e delle zone riparie. Collateralmente, si sono svolte attività di sperimentazione e monitoraggio per l'applicazione di indici biologici di qualità delle acque, ma anche di indici di funzionalità fluviale, calcolati su una gamma più ampia di parametri ambientali. Sono stati stimati i carichi di inquinanti sversati dai bacini tributari; sui corsi d'acqua minori è stata tentata la valutazione del deflusso minimo vitale e sono state diffusamente applicate tecniche di ingegneria naturalistica.

I risultati prodotti da queste linee di lavoro sono indubbiamente interessanti. E tuttavia non corrispondono che in modesta misura alle sollecitazioni della Direttiva Acque EC 2000/60 che impone ai paesi membri di costruire le basi metodologiche e la cornice istituzionale entro cui affrontare le questioni della protezione, della buona gestione e del governo del patrimonio idrico nazionale. La Direttiva europea ha stimolato un importante processo di ripensamento critico dei percorsi di ricerca finora seguiti. Suggestioni che possono aiutare a focalizzare meglio contenuti e campi di azione di una scienza della sostenibilità sono giunte da più parti: dagli sviluppi dell'economia ecologica, dagli studi ispirati all'approccio dell'*adaptive management* applicato a serie storiche di dati ambientali, dalla biologia della conservazione e dall'ecologia del paesaggio; ma anche da filoni di indagini interdisciplinari, come la riqualificazione fluviale e l'ecoidrologia, centrati tradizionalmente sull'analisi

si di aspetti naturalistici e idraulici, che coltivano ora l'ambizione di proporre strategie mature di governo dei fiumi e del territorio con gli strumenti della progettazione ambientale e della pianificazione. Inerentemente e decisamente connesso all'avanzamento di queste linee di ricerca è il ricorso a nuove metodologie e tecniche di analisi economica e contabilità ambientale: per la valutazione del capitale naturale, delle interazioni tra economia e ambiente, dei costi per proteggere, ripristinare e prevenire; per giungere alla formulazione di bilanci di sostenibilità e alla comparazione di alternative di scenario connesse a diverse scelte gestionali.

Di particolare interesse è l'applicazione di indicatori di assetto ecologico sperimentata recentemente nell'ambito di studi dell'Autorità di bacino del Po, mirati al raggiungimento degli obiettivi del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico sotto i vincoli della sicurezza idraulica e della conservazione e del recupero della qualità degli ambienti fluviali: gli indicatori sono stati stimati secondo una linea di analisi integrata dei caratteri geomorfologici e dei parametri idraulici, delle emergenze naturalistiche e delle funzioni ecologiche delle zone riparie, ma anche degli usi del suolo e dei profili urbanistico-territoriali associati alle diverse tipologie di attività produttive e di insediamenti umani.

Nella prospettiva che è stata indicata, di una sempre più stretta integrazione di competenze implicate nello studio dei sistemi fluviali, può diventare strategico il ruolo dell'educazione ambientale, se questa assume capacità di ricerca attraverso il ripensamento dei contenuti scientifici e delle finalità etiche di progetti da realizzare nel territorio e nella scuola intesa come presidio ambientale del territorio.

Sul Po e sui suoi affluenti, intorno ai temi più svariati, dal capriccioso andamento delle portate alla scadente qualità delle acque, dai microcosmi acquatici osservati al microscopio alle dimensioni ampie del paesaggio studiate con gli strumenti della cartografia fino alla ricostruzione di eventi di rilievo storico (anche sotto il profilo artistico o letterario) della vita nelle città e nei borghi sulle rive dei fiumi, negli ultimi venti-trent'anni sono state condotte, soprattutto nelle scuole, migliaia di esperienze di educazione ambientale. Che sono state sorrette dalla passione e generosità di tanti insegnanti ed esperti di varia estrazione professionale. E tuttavia ci si interroga sul perché sono ancora, tutto sommato, insoddisfacenti le ricadute che un impegno didattico ed educativo così intenso ha prodotto anzitutto all'interno del nostro sistema scolastico e, poi, sui comportamenti e gli stili di vita riscontrabili a livello sociale. Non è semplice dare una risposta univoca. Sembra comunque essenziale, oggi, imprimere una nuova e più qualificata capacità di progettazione all'educazione ambientale, intendendola come motore di ricerca e di nuova cultura d'ambiente, come strumento di attivazione di relazioni virtuose tra innovazione scientifica e tecnologica e processi di partecipazione alle decisioni che riguardano la tutela ambientale, ma contestualmente anche lo sviluppo dell'economia e il consolidamento delle basi democratiche della vita sociale. L'educazione ambientale potrà occupare spazi e funzioni determinanti se sarà in grado di promuovere progetti originali di ricerca e formazione e politiche e azioni incisive nell'orizzonte etico e culturale della sostenibilità. Ma il "risvolto" etico, per non ridursi a raccomandazioni e predicazioni inascoltate e talora controproducenti, non può che radicarsi su una progettazione costruita su conoscenze aggiornate e rapporti di interlocuzione attiva con i nuclei più consistenti e significativi delle conoscenze e delle abilità espresse dalla ricerca e dalle professioni.

I problemi di aggiornamento conoscitivo del Po e di elaborazione e applicazione di modelli, per valutare l'incidenza di opzioni gestionali alternative sulle risorse ambientali del fiume e del suo bacino idrografico, possono diventare un campo di sperimentazione stimolante per aprire una nuova stagione di impegno culturale e scientifico dell'educazione ambientale. Cuore di questa sperimentazione resta la costruzione di percorsi in cui le pratiche di consultazione, diffusione dell'informazione e partecipazione si intreccino flessibilmente con i progressi delle conoscenze acquisite dallo studio di casi e di problemi di rilievo ambientale e sociale. Per far diventare la partecipazione, come processo di trasparenza e di trasferimento di informazioni essenziali all'opinione pubblica, un elemento fondante e costitutivo, e non più marginale o meramente esornativo, del percorso decisionale.

Quale futuro?

È l'interrogativo attuale per il Po, dopo i pesanti cambiamenti dell'ultimo mezzo secolo. Abbiamo cercato di dare una risposta, ora per allora, a quel quesito che era stato oggetto di dibattito dall'Ottocento al Novecento, sulle cause dell'aumentata frequenza delle piene e del continuo crescere dei livelli idrometrici. Abbiamo visto che i nuovi problemi sono tanti e complessi e che le diverse soluzioni prospettate per ciascuno di essi, se attuate, si rivelerebbero reciprocamente incompatibili. Ad esempio, il prelievo idrico per usi irrigui è indispensabile per le campagne, ma appare sempre meno compatibile con l'andamento climatico attuale e, soprattutto, con la navigazione durante l'estate.

L'escavazione di ghiaie e sabbie dal fiume fa molto discutere: senz'altro l'approfondimento dell'alveo apporterà benefici idraulici locali, per la sicurezza idraulica e per la navigazione. Ma la diminuzione di apporti sedimentari al mare ha effetti rovinosi sulle spiagge adriatiche, dove la balneazione avviene nelle acque putride che ristagnano tra spiaggia e (orribili e innaturali) scogliere; il Delta, dove non è mai decollato il Parco Nazionale, affonda non solo per la subsidenza, oggi molto rallentata, ma anche per la mancanza di sedimenti portati dal fiume.

Un altro dilemma: vogliamo un fiume rinaturalizzato da fruire per il turismo e le attività sportive o trasformato in canale navigabile? Entrambe le soluzioni mostrano aspetti positivi. La prima soddisferebbe una richiesta "ambientalista" sempre più pressante e condivisa, che, nei pochi casi in cui è stata accolta, ha dato luogo a ricadute economiche interessanti; la seconda, decisamente più "tecnologica", avrebbe senz'altro il pregio di avere anch'essa una ricaduta ambientale significativa, con l'alleggerimento del traffico pesante sulle strade, estendendo la navigazione turistica da Venezia a Milano e a Locarno (AUTORI VARI, 2001). Si è anche visto che sulla navigabilità del Po esiste un dibattito circa le tecniche da adottare: la sistemazione a corrente libera previo adeguato approfondimento dell'alveo di magra, o la canalizzazione o bacinizzazione, realizzabile con un sistema di chiuse, che consentirebbe di superare l'ostacolo, oggi insormontabile, dello sbarramento di Isola Serafini presso Piacenza, riconducendo, quindi, la navigazione fino alla foce del Ticino. In tutti i casi l'alveo del fiume perderebbe definitivamente le sue caratteristiche di naturalità, che oggi associamo alla presenza di barre e isole sabbiose, destinate a scomparire dal paesaggio fluviale. Per non dire

degli interventi strutturali, realizzati con tanto cemento, sulle arginature.

Non è certamente questa la sede per aprire un dibattito e nemmeno per suggerire opzioni di ordine socio-economico o indicazioni di carattere tecnico e gestionale. Abbiamo voluto semplicemente dare uno sguardo al presente e al futuro, dopo la disanima dei problemi del passato. Quello che forse più preoccupa è la mancanza di strategie precise e univoche, che si traduce nell'ininterrotta redazione di progetti mai finanziati e tanto meno realizzati. Si deve per altro prendere atto che il fiume sembra aver raggiunto, dopo i "collaudi" del 1994 e del 2000, un livello di sicurezza idraulica che si può ritenere, a oggi, soddisfacente. Desti qualche "timore", invece, il lungo elenco, stilato in un paragrafo di questo capitolo, delle Autorità di governo del fiume, per i rischi di sovrapposizione e frammentazione delle competenze, che possono intralciare e bloccare l'avvio e il compimento di percorsi decisionali coerenti e condivisi.

Una richiesta irrinunciabile per l'ambiente fluviale riguarda il miglioramento della qualità delle acque. Questo è un obiettivo ambizioso che ci è imposto dalla già citata Direttiva Acque dell'Unione Europea e potrà essere raggiunto con l'impegno e la partecipazione responsabile degli Enti Territoriali, delle strutture tecniche, delle imprese ma, in definitiva, di tutti i cittadini. Non dimentichiamo che una buona qualità dell'acqua dipende dalla tutela degli ecosistemi che conservano e mettono a disposizione questa risorsa e che gli ecosistemi sono beni pubblici come pubblici sono i servizi che forniscono.

Abbiamo a lungo parlato delle prospettive di un futuro sostenibile per il Po e il bacino padano, insistendo sull'importanza di migliorare la qualità della ricerca nei settori di base come in quelli applicativi e tecnologici, nel campo delle scienze della natura e dell'ambiente come in quello delle scienze dell'uomo e della società. Abbiamo insistito anche sull'esigenza di costruire esperienze di ricerca integrata per lo sviluppo di una scienza della sostenibilità, che ci metta in grado di affrontare i complessi problemi di conoscenza e gestione dei sistemi fluviali. Abbiamo inoltre richiamato il ruolo chiave che può assumere l'educazione ambientale sia nella predisposizione di progetti mirati alla tutela delle risorse del territorio sia nella costruzione di percorsi di partecipazione effettiva ai processi decisionali.

Lasciamo ora al Lettore la libertà e la responsabilità di sviluppare una propria valutazione su quello che vorrebbe fosse (o diventasse) il Grande Fiume.

Note

1. T_r = *tempo di ritorno*, intervallo di tempo secondo il quale è statisticamente attesa una determinata portata.

Opere citate

ACCORSI C.A., BADINI MAZZANTI M., MERCURI A. & PELLEGRINI S. (1998), *Archeologia e paesaggio. Indagini archeologiche, botaniche e zoologiche integrate applicate ai sondaggi geognostici in un settore urbano di Mutina*, in AUTORI VARI (1999), *Atlante Tematico di topografia Antica*, V suppl., *La forma della città e del territorio. Esperienze metodologiche e risultati a confronto*, Atti dell'incontro di Studi S. Maria Capua Vetere (novembre 1998), L'Erma di Bretschneider, Roma, pp. 157-185.

ADANI G. (1990), *Le imbarcazioni mediopadane*, in ADANI G., BADINI G., BARICCHI W., PELLEGRINI M., POZZI F.M. & SPAGGIARI A. (1990), *Vie d'acqua nei ducati estensi*, Cassa di Risparmio di Reggio Emilia, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI), pp. 107-116.

ADANI G., BADINI G., BARICCHI W., PELLEGRINI M., POZZI F.M. & SPAGGIARI A. (1990), *Vie d'acqua nei ducati estensi*, Cassa di Risparmio di Reggio Emilia, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI).

ALEOTTI G.B. (1615 circa e 2000), *Della scienza et dell'Arte del ben regolare le acque*, Franco Cosimo Panini Editore, Modena 2000.

ALFIERI N. (1973), *Tipi navali nel delta antico del Po*, in «Musei Ferraresi. Bollettino annuale», III, Ferrara.

ALSDORF D.E. & LETTENMAIER D. P. (2003), *Tracking fresh water from space*, Science, 301, pp. 1491-1494.

ALSDORF D.E., LETTENMAIER D.P., VÖRÖSMARTY C. & THE NASA SURFACE WATER WORKING GROUP (2003), *The need for global, satellite-based observations of terrestrial surface waters*, Eos, Trans. AGU, 84, pp. 269, 275-276.

ANDREOLLI B. (2000), *Il Po tra alto e basso Medioevo: una civiltà idraulica*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di terra*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 415-443.

ANGHINELLI S. & ANGHINELLI A. (2003), *L'uomo e l'acqua: evoluzione preistorica e storica nel comprensorio di Viadana (Mantova)*, in AUTORI VARI (2003), *Le otto comunità dell'ansa. L'anima del Po, Terre, acque e uomini tra Enza e Oglio*, L. Battei edizioni, Parma, pp. 87-183.

ANTONIOLI F. & VAI G.B. (2004), *Litho-paleoenvironmental maps of Italy during the last two climatic extremes: Map 1 – Last glacial maximum (22 ± 2 ka cal BP) average air temperature of about 4.5°C lower than today; Map 2 – Holocene climatic optimum (8 ± 1 ka cal BP) average surface air temperature of about 2°C higher than today (1:1,000,000 scale)*, Explanatory Notes, Museo Geologico G. Cappellini, Bologna.

ARRIVABENE A. (1866), *Sulle condizioni di scolo delle acque del territorio mantovano a destra del fiume Po e del Secchia*, Mantova.

AUTORI VARI (1878), *Morte del commendatore e senatore ingegnere Elia Lombardini*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», anno XXVI, Milano.

AUTORI VARI (1987), a cura di FERRARI BRAVO A., *Guida d'Italia, Lombardia*, Touring Club Italiano, Milano.

AUTORI VARI (1990 a), *Il mondo della natura in Emilia Romagna. La pianura e la costa*, Federazione delle Casse di Risparmio e delle Banche del Monte dell'Emilia Romagna, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI).

AUTORI VARI (1990 b), *PO AcquaAgricolturaAmbiente*, vol. 2 *L'alveo e il Delta*, Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Consorzio per il Canale Emiliano-Romagnolo, Società Editrice Il Mulino, Bologna.

AUTORI VARI (1992), *Navigare il Po. Idee, progetti, realizzazioni tra Settecento e Novecento*, Rosenberg & Sellier, Torino.

AUTORI VARI (1992), a cura di FERRARI BRAVO A., *Guida d'Italia, Emilia-Romagna*, Touring Club Italiano, Milano.

AUTORI VARI (1993), *Problematiche ecologiche del sistema idrografico padano*, incontro su «Ecologia e Piano di bacino del Po», V Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia (Milano, settembre 1992), in «Acqua Aria», 6, giugno 1993: pp. 569-647, «Acqua Aria», 7, luglio-agosto 1993: pp. 705-794.

AUTORI VARI (2000-2003), *Francesco Brioschi e il suo tempo (1824-1897)*, vol. I *Saggi*, a cura di LACAITA C.G. & SILVESTRI A.; vol. II *Inventari*, a cura di BRUNATI C., FRANCHETTI D., PAPAGNA P. & POZ-

ZI P.; vol. III *Scritti e discorsi*, a cura di LACAITA C.G., Franco Angeli Edizioni, Milano.

AUTORI VARI (2000), *Acqua e terre di Confine. Mantova, Modena, Ferrara e la Bonifica di Burana*, Cons. Bonifica Burana, Leo Scoltenna, Editrice Cartografica, s.i.l.

AUTORI VARI (2001), *In viaggio sui Navigli. Il Naviglio pavese da Milano al Ticino*, a cura dell'Ist. Navigli e Assoc. Amici Navigli, Skira, Ginevra-Milano.

AUTORI VARI (2002², CD ROM), *Mutina. Riscoperta di una città romana*, CD ROM a cura del Museo Civico Archeologico Etnologico di Modena, Modena.

AUTORI VARI (2003), *Le otto comunità dell'ansa. L'anima del Po. Terre, acque e uomini tra Enza e Oglio*, Luigi Battei editore, Parma.

AUTORI VARI (2006), *Il Po un fiume da salvare. Proposte per arrestare il dissenso idrogeologico*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia.

AUTORI VARI (2006), *La valutazione dell'assetto ecologico nella gestione dei corsi d'acqua*, Tavola rotonda al XV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia, Torino, settembre 2005, Soc. It. Ecol., Lettera ai Soci, 12,1, pp. 11-14.

AUTORI VARI (2000, a cura di FERRARI C. e GAMBI L.), *Un Po di Terra. Guida all'ambiente della bassa pianura padana e alla sua storia*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia.

AUTORI VARI (2003, a cura di FERRARI I. e VIANELLO G.), *Un Po di acque. Insediamenti umani e sistemi acquatici del Bacino Padano*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia.

AUTORI VARI (2004, a cura di SIBRA G.), *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872*, 47 tavv. a colori f. t. e un quadro d'unione, Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteoologico – ARPA Emilia Romagna, Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (1999), *Progetto di piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI)*, inedito, Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001), *Caratterizzazione idrologica dell'asta principale del fiume Po nel tratto che va dalla confluenza della Dora Baltea all'incile del Po di Goro*, DIAR, Politecnico di Milano, inedito.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2004 a), *Definizione di scenari di inondazione a seguito di rotta arginale mediante impiego di un modello numerico 2D nell'area in destra Po, tra la confluenza dei torrenti Parma ed Enza*, Technical Report, inedito, DICATEA, Università degli studi di Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2004 b), *Ubicazione preliminare delle rotte arginali del Po documentate a partire dal 1800*, Technical Report, inedito, CNR-IRPI Sezione di Torino.

AVERONE A. (1910), *Cenni storici sul Po*, in *Cenni storici sul Fiume Po e sul suo delta con un saggio bibliografico sullo stesso fiume*, Tip. Donati, Parma, pp. 11-40.

AVERONE A. (1984), *Cenni storici sul Po*, in *Per il Po e i suoi affluenti*, 2° Convegno di Idraulica Padana, Ministero dei Lavori Pubblici, Magistrato per il Po, Parma, Ristampa di Averone (1910), pp. 13-147.

AZZI E. & BETTA C. (1995), *Il Po ieri e oggi*, ARNI, Boretto (RE).

BACCHELLI R. (1957), *Il mulino del Po*, 3 voll., Arnoldo Mondadori editore S.p.A. (Le prime edizioni sono: vol. I: *Dio ti salvi*, Treves, Milano, 1938; vol. II: *La miseria viene in barca*, Garzanti, Milano, 1939; vol. III: *Mondo vecchio sempre nuovo*, Garzanti, Milano, 1940).

BARATTA M. (1941), *I disegni geografici di Leonardo da Vinci, conservati nel Castello di Windsor. Riproduzione fototipica a colori e trascrizione a cura di Mario Baratta (con 20 tavole)*, La Libreria dello Stato, Roma.

BARBERIS C. (1999), *Le campagne italiane dall'Ottocento a oggi*, Laterza Editori, Bari.

BAZIN H. (1865), *Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts*, in «Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences de l'Institut Impériale de France», 19, pp. 1-494.

BEDULLI F. & VALLONI R. (2004), *Struttura fisica della conoide alluvionale gigante del Fiume Taro e ricarica degli acquiferi della pianura parmense*, in «Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences», 17 (2/1), pp. 303-312.

BELLINI S. (2006), *I risultati della commissione Gruppo di lavoro "Fiume Po"*, in AUTORI VARI (2006), *Il Po un fiume da salvare. Proposte per arrestare il dissesto idrogeologico*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 99-106.

BENFATTI C. (1987), *Le attività connesse all'economia del bosco fluviale*, in AUTORI VARI (1987), *Il Po Mantovano storia, antropologia, ambiente*, Studi di cultura materiale del Museo Civico Polironiano, San Benedetto Po (MN), 3 (1986-87), pp. 145-164.

BERGOLLI G. (1841), *L'autunno meteorologico del MDCCCXXXIX considerato in Lombardia in ordine agli avvenimenti di Po*, Eredi Soliani Tipografi Reali, Modena.

BERNOULLI D. (1738), *Hydrodynamica, Sive de Viribus et Motibus Fluidorum Commentarii (Hydrodynamics, or Commentaries on Forces and Motions of Fluids)*, published Strasbourg.

BERTOLDI R. (2000), *Storia del popolamento vegetale della pianura del Po*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di Terra. Guida all'ambiente della bassa pianura padana e alla sua storia*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 37-61.

BETOCCHI A. (1881), *L'idrologia e l'idrometria del fiume Po all'Esposizione Nazionale di Milano del 1881*, in «Giornale del Genio Civile».

BLACKMAN D.R. (2004), *On the Measurement of Running Water, a facsimile edition of Della Misura dell'Acque Correnti*, Olschki Editore, Firenze.

BOCCOLARI M., FRONTERO P., LOMBROSO L., PUGNAGHI S. & SANTANGELO R. (1998), *Climate of Modena (Italy): Temperature and Rainfall time series*, Atti Soc. Nat. Mat. Modena, 129, pp. 5-15.

BOITEN W. (2000), *Hydrometry*, Taylor & Francis Ltd., London, UK.

BONDESAN M. (2000), *L'area deltizia del Po: evoluzione e problemi territoriali*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di terra*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 27-36.

BONDESAN M., ELMI C. & MAROCCO R. (2001), *Forme e depositi di origine litoranea e lagunare*, in CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (2001, a cura di), *Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana*, in Suppl. «Geografia Fisica e dinamica quaternaria», IV, pp. 105-118.

BONDESAN M., GATTI M. & RUSSO P. (2001), *Movimenti verticali del suolo desunti dalle livellazioni I.G.M.*, in CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (2001, a cura di), *Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana*, Suppl. «Geografia Fisica e dinamica quaternaria», IV, Torino, pp. 141-148.

BONINO M. (1979), *Le barche del Po, della valle e del mare*, in AUTORI VARI (1979), *Cultura popolare dell'Emilia-Romagna. Mestieri della Terra e delle acque*, Silvana ed., Cinisello Balsamo (MI), pp. 215-237.

BONINO M. (2001), *Imbarcazioni storiche tra il Po e i navigli emiliani*, in «Archeologia delle acque», 5, pp. 104-114.

BONORI O., CIABATTI M., CREMONINI S., DI GIOVAMBATTISTA R., MARTINELLI G., MAURIZZI S., QUADRI G., RABBI E., RIGHI V., TINTI S. & ZANTEDESCHI E. (2000), *Geochemical and Geophysical monitoring in tectonically active areas of the Po Valley (Northern Italy). Case histories linked to gas emission structures*, in «Geografia Fisica e dinamica quaternaria», 23, pp. 3-20.

BOTTAZZI G. & CALZOLARI M. (1987), *Idrografia padana antica. Ricerche topografiche su paleovalvei e loro datazione*, in «Padusa», 23, fasc. 1-2-3-4, pp. 15-36.

BOTTONI A. (1872), *Appunti storici sulle rotte del Basso Po dai tempi romani a tutto il 1839 e relazione di quelle di Guarda e di Revere nel 1872*, Tipografia Sociale, Ferrara.

BRAGA G. & GERVASONI S. (1985), *Evoluzione storica dell'alveo del Fiume Po nel territorio lodigiano-piacentino: rischi idrogeologici connessi*, in Atti del Convegno Nazionale *Il suolo come risorsa* (Piacenza 9 giugno 1983), Facoltà di Agraria, Università Cattolica, Piacenza, pp. 60-69.

BRAGA G. & GERVASONI S. (1989), *Evolution of the Po river: an Example of the Application of Historic Maps*, in PETTS G.E. (editor, 1989), *Historical Changes of Large Alluvial Rivers. Western Europe*, John Wiley & Son Ltd., Chichester, pp. 113-126.

BRIGHI A. (1994), *I ponti romani di Reggio Emilia*, in QUILICI L. & QUILICI GIGLI S. (a cura di), *Strade Romane Percorsi e Infrastrutture, Atlante Tematico di Topografia Antica*, 2-1993, L'Erma di Bretschneider, Roma, pp. 203-207.

BRILLI A. (2006), *Il viaggio in Italia. Storia di una grande tradizione culturale*, Il Mulino, Bologna.

BRIOSCHI F. (1806), *Memorie pratiche pei deputati, e guard'argini*, Reggio.

BRIOSCHI F. (1865), *Notizie biografiche sull'Ingegnere Colombani lette dal Professore Francesco Brioschi deputato al Parlamento nell'adunanza del 23 febbraio 1865 del R. Istituto Lombardo di Scienze e Lettere*, Rendiconti del Reale Istituto Lombardo, Classe di Scienze Matematiche e Naturali, Milano.

BRIOSCHI F. (1866), *Sulle formole empiriche per le portate dei fiumi*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», vol. II, fasc. 6, pp. 534-541.

BRIOSCHI F. (1867), *Sopra un progetto di inchiesta idrometrica*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», vol. III, maggio 1867, pp. 397-406.

BRIOSCHI F. (1867), *Sulle formole empiriche per le portate dei fiumi*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», vol. III, fasc. 1, pp. 79-87.

BRIOSCHI F. (1871), *Notizie sopra alcune considerazioni del Maggiore Abbot relativamente all'uso della formola di Humphreys-Abbot per la portata dei fiumi e dei canali naturali*, in «Atti del Collegio degli Ingegneri ed Architetti di Milano», anno IV, fasc. IV, agosto-dicembre 1871, p. 180.

BRIOSCHI F. (1876), *Sulle formole empiriche per le portate dei fiumi*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», vol. 8, fasc. 1, 1876, pp. 69-74.

BRIOSCHI F. (1886-1887), *Sulle formole empiriche per le portate dei fiumi*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», parte tecnica, vol. II, dicembre 1886, pp. 534-541, e vol. III, gennaio 1887, pp. 79-87.

BRUNETTI M., BUFFONI L., FASSINA A., IAFRATE L., LENTINI G., MANGIANTI F., MASIELLO C., MAUGERI M., MAZZUCHELLI E., MONTI F., NANNI T., PASTORELLI R. & TORQUATI C. (2004), *Acquisizione, esame critico ed analisi di serie storiche italiane per lo studio delle variazioni del clima, Relazione tecnico-scientifica - Il anno - testo base*, Progetto Finalizzato CLIMAGRI, Sottoprogetto analisi climatiche e scenari futuri, Unità di ricerca 1.1.

BRUSCHETTI G. (1821), *Istoria dei progetti e delle opere di navigazione interna nel Milanese*, Milano, pp. 136-220.

BURRATO P., CIUCCI F. & VALENSISE G. (2002), *Un approccio geomorfologico per la prima ricostruzione di strutture potenzialmente sismogenetiche nella Pianura Padana*, Gruppo Nazionale Geofisica Terra Solida, Atti 18° Convegno Nazionale / 01.12.

- BURRATO P., CIUCCI F. & VALENSISE G. (2003), *An inventory of river anomalies in the Po Plain, Northern Italy: evidence for active blind thrust faulting*, in «Annals of Geophysics», 46-5, pp. 865-882.
- CABEO N. (1646), *In Quatuor Libros Meteorologicorum Aristotelis Commentaria, et Quaestiones*, s.l.
- CAESPERLEIN A. (1974), *Historical development of hydrometry, 1674-1974: Three Centuries of Scientific Hydrology*, Symposium sponsored by UNESCO-WMO-IAHS, Parigi, 9-12 settembre 1974.
- CALZOLARI M. (1983), *Navigazione interna, porti e navi nella pianura reggiana e modenese (secoli IX-XII)*, in AUTORI VARI (1983), *Viabilità antica e medioevale nel territorio modenese e reggiano*, Aedes Muratoriana, Modena.
- CALZOLARI M. (1986), *Territorio e insediamenti nella bassa pianura modenese del Po in età romana*, Banca Popolare dell'Agricoltura, Poggio Rusco (MN).
- CALZOLARI M. (1992), *Le idrovie della Padania in epoca romana: il Po e il Tartaro*, in «Quaderni del Gruppo Archeologico Ostigliese», 2, pp. 85-110.
- CALZOLARI M. (2000 a), *Il Po in età etrusca e Celtica*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di terra*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 367-380.
- CALZOLARI M. (2000 b), *Età romana: le terre lungo il Po*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di terra*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 386-396.
- CALZOLARI M. (2004), *Il Po in età romana. Geografia, storia e immagine di un grande fiume europeo*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia.
- CANEVARI A.P. (2004), *Le mappe del corso del fiume Po: per un paesaggio da tutelare*, in *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteorologico – ARPA Emilia Romagna, Parma, pp. 109-118.
- CANIGGIA G. & MAFFEI G.L. (1979), *Lettura dell'edilizia di base*, Marsilio Editori, Venezia.
- CARANDINI G. (1828 e 1999), *Topografia degli Stati Estensi 1821-1828, Territori di Modena, Reggio, Garfagnana, Lunigiana, Massa e Carrara*, IBC.A.N. - RER, 45 tavv. ristampate in scala ridotta da Editrice Compositori, Bologna 1999.
- CASATI P. & PACE F. (1991, a cura di), *Scienze della Terra*, vol. 2 *L'atmosfera, l'acqua, i climi, i suoli*, Città Studi Edizioni, Milano.
- CASATI P. (1991), *Principali metodi di datazione relativi al Quaternario*, cap. 12 *Le fluttuazioni climatiche*, in CASATI P. & PACE F. (1991, a cura di), *Scienze della Terra*, volume 2 *L'atmosfera, l'acqua, i climi, i suoli*, Città Studi Edizioni, Milano.
- CASTALDINI D. & PIACENTE S. (1991 a), *Channel Changes on the Po river, Mantua Province, Northern Italy*, in HICKIN E.J. Ed., *River Geomorphology*, J. Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK, pp. 193-207.
- CASTALDINI D. & PIACENTE S. (1991 b), *Evoluzione storica e morfodinamica attuale del fiume Po nel tratto fra Viadana e S. Benedetto Po (Provincia di Mantova)*, in «Rivista Geografica Italiana», 923, pp. 342-379.
- CASTALDINI D. (1989), *Evoluzione della rete idrografica centropadana in epoca protostorica e storica*, in Atti Convegno Nazionale di Studi *Insedimenti e viabilità nell'alto ferrarese dall'età romana al Medioevo* (Cento 8-9 maggio 1987), Accademia delle Scienze, Ferrara, pp. 115-134.
- CASTALDINI D. (1996), *Geomorfologia dell'Oltrepò mantovano*, Accad. Naz. Sc. Lett. Arti di Modena, Collana di studi, 15 – *Miscellanea geologica*, Modena, pp. 55-92 e 3 tavv. f. t.
- CASTALDINI D., GIUSTI C. & MARCHETTI M. (2003), *La geomorfologia del corso del Po e del territorio nel tratto foce Enza-foce Oglio*, in AUTORI VARI (2003), *Le otto comunità dell'ansa, L'anima del Po, Terre, acque e uomini tra Enza e Oglio*, Luigi Battei ed., Parma, pp. 5-31.
- CASTELLARIN A., EVA C., GIGLIA G. & VAI G.B. (1986), *Analisi strutturale del fronte Appenninico Padano*. Giorn. Geol., s. 3^a, 47, pp. 47-76.
- CASTELLARIN A., RABBI E., CREMONINI S., MARTELLI L. & PIATTONI F. (2006), *New insights into the underground hydrology of the eastern Po Plain (northern Italy)*, in «Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata», 47-3, pp. 271-298.
- CASTELLI B. (1628), *Della Misura dell'Acque Correnti*, Roma, Stamparia Camerale.
- CASTELLI B. (1660), *Della misura delle acque correnti*, di B. Castelli, Abbate di S. Benedetto Aloysio e Matematico di Papa Urbano VIII, per gli HH. del Dozza, Bologna, MDCLX, ristampa Ed. BIOS, Cosenza 2000³.
- CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (2001, a cura di), *Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana*, Suppl. Geografia Fisica e dinamica quaternaria, IV, Torino.
- CASTIGLIONI G.B. (2001), *Le risposte del sistema fluviale alle variazioni ambientali*, pp. 165-187, in CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (2001, a cura di), *Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana*, Suppl. Geografia Fisica e dinamica quaternaria, IV, Torino.
- CASTIGLIONI G.B., AJASSA R., BARONI C., BIANCOTTI A., BONDESAN A., BONDESAN M., BRANCUCCI G., CASTALDINI D., CASTELLACCIO E., CAVALLIN A., CORTEMIGLIA F., CORTEMIGLIA G.C., CREMASCHI M., DA ROLD O., ELMI C., FAVERO V., FERRI R., GANDINI F., GASPERI G., GIORGI G., MARCHETTI G., MARCHETTI M., MAROCCO R., MENEGHEL M., MOTTA M., NESCI O., OROMBELLI G., PARONUZZI P., PELLEGRINI G.B., PELLEGRINI L., RIGONI A., SOMMARUGA M., SORBINI L., TELLINI C., TURRINI M.C.,

VAIA F., VERCESI P.L., ZECCHI R. & ZORZIN R. (1997 a), *Carta Geomorfologica della Pianura Padana a scala 1:250.000*, S.EL.CA., Firenze.

CASTIGLIONI G.B., AJASSA R., BARONI C., BIANCOTTI A., BONDESAN M., BRANCUCCI G., CASTALDINI D., CAVALLIN A., CORTEMIGLIA F., CREMASCHI M., DA ROLD O., ELMI C., FASANI D., FAVERO V., GASPERI G., GIORGI G., MARCHETTI G., MARCHETTI M., MENEGHEL M., MOTTA M., NESCI O., OROMBELLI G., PARONUZZI P., PELLEGRINI G.B., PELLEGRINI L., TELLINI C., TONIELLO V., TURRINI M.C., ZECCHI R. & ZORZIN R. (1997 b), *Carta altimetrica e dei movimenti verticali del suolo della Pianura Padana a scala 1:250.000*, Selca, Firenze.

CATI L. (1981), *Idrografia ed idrologia del Po*, pubblicazione n. 19 dell'Ufficio Idrografico del Po, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.

CATTINI M. (2001), *Le navi della pianura. Strade liquide e relazioni commerciali nella regione centropadana (secoli X-XV)*, in GUIDONI E. & MAZZERI C. (2001, a cura di), *L'urbanistica di Modena medievale X-XV secolo, confronti, interrelazioni, approfondimenti*, Comune di Modena, Università di Roma "La Sapienza", Edizioni Kappa, Roma.

CAZZOLA F. (1998), *Il Po tra politica ed economia*, in FELISATI D. (1998, a cura di), *In principio era il Po. Storia, cultura, ambiente*, Marsilio Editori, Venezia, pp. 85-97.

CAZZOLA F. (2000), *Lo sviluppo storico delle bonifiche idrauliche*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di terra*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 487-515.

CECCARELLI F. (2000), *Gli insediamenti urbani lungo il Po*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di terra*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 446-485.

CHIODARELLI G. & AVVENTI L. (1953), *La piena disastrosa del Po nel Novembre 1951. Cause e provvedimenti di emergenza e definitivi*, in «Giornale del genio civile», 9, pp. 505-534.

CHOW VEN TE (1964), *Handbook of Applied Hydrology: a Compendium of Water Resources Technology*, New York, NY.

CIABATTI M. (1990), *Geomorfologia ed evoluzione del Delta Padano*, in AUTORI VARI (1990), *Il mondo della natura in Emilia Romagna. La pianura e la costa*, pp. 1-266, Federazione delle Casse di Risparmio e delle Banche del Monte dell'Emilia-Romagna, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI), pp. 57-76.

CIUCCI F., BURRATO P. & VALENSISE G. (2002), *Complex geomorphic response to blind thrust faulting along the northern margin of the Apennines near Mirandola (Po Plain)*, Proceedings of the ESC Annual Meeting, September 2002, Genova, Italy.

COLEMAN H.W. & STEELE W.G. (1999), *Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers*, John Wiley and Sons, New York, NY, USA.

COLOMBO G. (1897), *Francesco Brioschi*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto».

COSTA J.E., SPICER K.R., CHENG R.T., HAENI F.P., MELCHER N.B., THURMAN E.M., PLANT W.J. & KELLER W.C. (2000), *Measuring stream discharge by noncontact methods: A proof-of-concept experiment*, Geophys. Res. Lett., 27(4), pp. 553-556.

CREMASCHI M. & GASPERI G. (1988), *Il sottosuolo della città di Modena. Caratteri sedimentologici, geopedologici, stratigrafici e significato paleoambientale*, in AUTORI VARI (1988), *Modena dalle Origini all'anno Mille. Studi di Archeologia e Storia, catalogo della mostra*, vol. I, Edizioni Panini, Modena, pp. 285-303.

CREMASCHI M., BERNABÒ BREA M., TIRABASSI J., D'AGOSTINI A., DALL'AGLIO L., MAGRI S., BARICCHI W., MARCHESINI A. & NEPOTI S. (1980), *L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del Bronzo, l'età romana e l'alto Medio Evo: geomorfologia e insediamenti*, in «Padusa», 16 - 1, 2, 3, 4, pp. 1-100.

DALL'ACQUA M. (2004), *Cartografare il regno: la topografia austriaca del Ducato di Maria Luigia d'Austria (1820-1821)*, in *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteorologico - ARPA Emilia Romagna, Parma, pp. 55-68.

DALL'AGLIO P.L. (1980), *Proposte per una datazione dei due paleovalvei del Po nel Reggiano*, in «Atti e Memorie della Deputazione di Storia Patria Antiche Province Modenesi», pp. 277, 287.

DE CHAURAND F. (1932), *Le variazioni del tronco medio del Po e dei suoi affluenti durante gli ultimi millenni*, in «L'Universo», 1, pp. 1-22.

DE MARCHI G. (1914), *Norme e istruzioni per il servizio della misura delle portate*, pubblicazione n. 38 dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, Venezia.

DE MARCHI G. (1952), *Il problema della difesa del suolo dalle inondazioni come si presenta dopo l'ultima piena del Po*, Convegno sulla difesa del suolo e le sistemazioni fluviali e montane, Seconda Giornata della Scienza (Milano 16-19 aprile 1952), *L'Energia Elettrica*, Milano.

DE MARTINI G. (2001), *Pavia e il suo Naviglio: un rapporto in evoluzione*, in AUTORI VARI (2001), *In viaggio sui Navigli. Il Naviglio pavese da Milano al Ticino*, a cura dell'Istituto Navigli e Associazione Amici Navigli, Skira, Ginevra-Milano, pp. 129-140.

DE MARTINI P.M., P. BURRATO & G. VALENSISE (1998), *Active tectonic structures in the Padana Plain: new discrimination strategy from a joint study of geomorphic and geodetic leveling data*, abstracts volume, XXIII General As-

- sembly of the European Geophysical Society, part IV, NH3.04, C 1197, Nice-France, 20-24 April 1998.
- DEGLI ESPOSTI V. (1996), *Il luogo e il tipo*, Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale (inedito), Bologna.
- DEGLI ESPOSTI V. (2002), *Aree ad elevata emergenza ambientale: tipologia insediativa e relazione con l'ambiente naturale*, in AUTORI VARI, *Modello integrato di monitoraggio su differenti realtà territoriali collegate ad un sistema informativo geografico*, Franco Angeli, Milano, p. 269.
- DELLA LUNA G. (anni vari), *Relazioni e studi raccolti nell'archivio dell'ing. Gabriele Della Luna, costituito presso la biblioteca ARNI-Boretto*, Boretto (RE).
- ENEA (1987-1990), *Progetto GLANO. Raccolta, analisi, elaborazione e interpretazione di informazioni storiche sugli effetti prodotti da eventi naturali eccezionali in Italia dall'anno 1000 al 1985*, SGA Storia Geofisica Ambiente, Bologna.
- FABBRI P. (1990), *L'idrografia della pianura emiliano-romagnola*, pp. 95-118, in AUTORI VARI (1990), *Il mondo della natura in Emilia Romagna. La pianura e la costa*, Federazione delle Casse di Risparmio e delle Banche del Monte dell'Emilia Romagna, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI), pp. 1-266.
- FAGAN B. (2000), *La rivoluzione del clima*, Sperling & Kupfer Editori, Milano.
- FASOLI G. (1978), *Navigazione fluviale. Porti e navi sul Po*, in AUTORI VARI, *La navigazione mediterranea nell'alto Medioevo*, Atti XXV settimana di studio Centro Italiano Studi Alto Medioevo, Spoleto (PG).
- FASSÒ C.A. (2000), *Brioschi e i problemi delle acque*, in *Francesco Brioschi e il Suo Tempo (1824-1897)*, vol. I a cura di C.G. LACAITA e A. SILVESTRI, Franco Angeli, Milano, pp. 123-155.
- FELISATI D. (1998, a cura di), *In principio era il Po. Storia, cultura, ambiente*, Marsilio Editori, Venezia.
- FERRARI C. (2003), *Le piante del fiume*, in AUTORI VARI (a cura di I. FERRARI e G. VIANELLO, 2003), *Un Po di acque. Insediamenti umani e sistemi acquatici del Bacino Padano*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 85-102.
- FRAMJI K.K. (1974), *Prospects of hydrometry in the light of modern technology, 1674-1974: Three Centuries of Scientific Hydrology*, Symposium sponsored by UNESCO-WMO-IAHS, 9-12 September 1974, Parigi.
- FRAZIER A.H. (1974), *Water current meters in the Smithsonian collections of the National Museum of History and Technology*, Smithsonian studies in history and technology, 28, Washington, D.C., USA.
- GABBI G. (1998), *La grande paura. Il Po di Gualtieri 1951-1994*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia.
- GALBANI M.G. (2004), *Francesco Brioschi (1824-1897): il potenziamento del progetto di difesa delle acque del Fiume, in Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteorologico – ARPA Emilia Romagna, Parma, pp. 92-94.
- GALLIZIA P. (1878 a), *Le piene del Po nel secolo XIX*, in «Giornale del Genio Civile», 1, pp. 3-32.
- GALLIZIA P. (1878 b), *Le piene del Po nel secolo XIX*, in «Giornale del Genio Civile», 2, pp. 61-81.
- GALLIZIA P. (1878 c), *Le piene del Po nel secolo XIX*, in «Giornale del Genio Civile», 3, pp. 125-143.
- GALLONI M. (2004), *I primi risultati di un lungo lavoro*, in *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteorologico – ARPA Emilia Romagna, Parma, pp. 29-34.
- GALVANI I., VERNIZZI S. & VORANO M. (1996), *Dati e considerazioni sulla navigazione interna e sul sistema idroviario Padano-Veneto*, Unione Navigazione Interna Italiana.
- GASPERI G. & PELLEGRINI M. (1985), *Lineamenti geologici della Pianura Padana in riferimento all'area del delta del fiume Po*, Atti della tavola rotonda (Bologna, 24 novembre 1982) su *Il Delta del Po*, Accademia delle Scienze Istituto di Bologna, pp. 5-19.
- GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P., CARDARELLI A., CATTANI M. & LABATE D. (1987), *Evoluzione plio-aternaria del Margine Appenninico Modenese e dell'antistante pianura. Note illustrative alla Carta Geologica*, in «Memorie della Società Geologica Italiana», 39, pp. 375-431 (8 figg., 1 carta f. t).
- GAUCKLER P.G. (1867 a), *Etudes Théoriques et Pratiques sur l'Ecoulement et le Mouvement des Eaux*, Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, tome 64, pp. 818-822.
- GAUCKLER P.G. (1867 b), *Etudes Théoriques et Pratiques sur l'Ecoulement et le Mouvement des Eaux*, Technologiste, tome 27, pp. 612-615.
- GAUCKLER P.G. (1868), *Du mouvement de l'eau dans les conduites*, Annales des Ponts et Chaussées, 38 (1), pp. 228-281.
- GHERARDELLI L. & MARONE V. (1968), *Azione della vegetazione e in particolare del bosco sulle piene dei corsi d'acqua*, Atti del Convegno sul tema *Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, pp. 291-300.
- GIARELLI G. (1987), *La cultura del fiume: i barconi del Po*, in AUTORI VARI (1987), *Il Po Mantovano storia, antropologia, ambiente*, Studi di cultura materiale del Museo Civico Polironiano, San Benedetto Po (MN), 3 (1986-87), pp. 77-144.
- GIORNALE DELL'INGEGNERE E DELL'ARCHITETTO (1868), *Studi teorici e pratici sullo scolo ed il moto delle acque*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», 16, pp. 383-386.
- GOLDSTEIN R.M., & ZEBKER H.A. (1987), *Interferometric radar measurement of ocean surface currents*, in «Nature», 328, pp. 707-709.

GOVI M. & MARAGA F. (1994), *Eventi (Gli) catastrofici del Fiume Po in epoca storica: esperienze ed insegnamenti*, in Accademia delle Scienze di Torino & Accademia dei Concordi di Rovigo, Convegno "Risorsa Po: un bene da proteggere, un bene da valorizzare", Torino, 2 e 3 giugno 1994, pp. 8-9.

GOVI M. & MARAGA F. (1995), *Eventi (Gli) catastrofici del Fiume Po in epoca storica: esperienze ed insegnamenti*, Accademia delle Scienze di Torino, Quaderni, n. 1, pp. 35-48, 3 tavv.

GOVI M. & TURITTO O. (1993), *Processi di dinamica fluviale lungo l'asta del Po*, in «Acqua-Aria», 6, pp. 575-588.

GOVI M. & TURITTO O. (1996), *Distribuzione spazio-temporale degli eventi estremi nel bacino padano: analisi temporale*, Atti Convegno *Eventi estremi: previsioni meteorologiche ed idrogeologia* (Roma, 5 giugno 1993), Accademia Nazionale Lincei, 129, pp. 55-74.

GOVI M. & TURITTO O. (1996), *Scenari di inondazione per rotte negli argini del Fiume Po nel suo tratto terminale: casistica storica*, CNR-IRPI, Torino, Rapporto interno R.T. 96/23.

GOVI M. & TURITTO O. (1996), *Piène antiche e recenti del F. Po: inondazione nelle province di Pavia, Lodi e Piacenza*, CNR-IRPI, Torino, Rapporto interno R.T. 96/22.

GOVI M. & TURITTO O. (1998), *Grandi inondazioni lungo il Fiume Po negli ultimi due secoli: scenari che si ripetono*, vol. 2, Atti del Convegno Internazionale *La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica*, CNR-GNDICI e CNR-IRPI di Torino, pp. 145-156.

GOVI M. & TURITTO O. (2000), *Casistica storica sui processi d'interazione delle correnti di piena del Po con arginature e con elementi morfotopografici del territorio adiacente*, Scienza e vita del momento attuale, V, Ist. Lombardo di Scienze e Lettere, Milano, pp. 105-160.

GOVI M., MASINO A. & TURITTO O. (1994), *Notizie su inondazioni, piene torrentizie e frane avvenute nei bacini lombardi ed emiliani tributari del Fiume Po*, CNR-IRPI, Torino, Rapporto interno R.T. 94/12, tabulati e supporto informatico.

GUGLIELMINI D. (1821), *Della natura dei fiumi – Trattato fisico-matematico del Dottore Domenico Guglielmini con le annotazioni di Eustachio Manfredi*, Dalla Società Tipografica de' Classici Italiani, Milano.

GUGLIELMINI D. (1852), *Della Natura De' Fiumi*, Società Tipografica de' Classici Italiani, Milano.

HAGER W.H. (2001), *Gauckler and the GMS formula*, Journal of Hydraulic Engineering, American Society Civil Engineers, 127 (8).

HERSCHY R.W. (Editor, 1999), *Hydrometry: Principles and Practice*, John Wiley and Sons, Chichester, UK.

HIRSH R.M. & COSTA J.E. (2004), *U.S. Stream Flow Measurement and Data Dissemination Improve*, Eos Trans. AGU, 85, 21, pp. 197-203.

HUMPHREYS A.A. & ABBOT H.L. (1861), *Report upon the physics and the hydraulics of the Mississippi river*, Government Printing Office, Washington D.C., USA.

ISENBURG T. (1997), *Conoscenza e governo dei fiumi: a proposito del Po*, in G. BIGATTI (a cura di), *Uomini e acque*, Giona.

ISTITUTO DI RICERCA SULLE ACQUE IRSA - CNR (1977), *Indagine sulla qualità delle acque del fiume Po*, in «Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque», 32.

ISTITUTO DI RICERCA SULLE ACQUE IRSA - CNR (1990), *Valutazione dei carichi inquinanti potenziali per i principali bacini idrografici italiani: Adige, Arno, Po e Tevere*, in «Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque», 90.

ISTITUTO DI RICERCA SULLE ACQUE IRSA - CNR (1997), *Prospettive di ricerca in ecologia delle acque*, in «Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque», 103.

ISTITUTO PER I BENI CULTURALI, REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1987), *La carta del Ferrarese*, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI).

JACINI S. (1926), *L'inchiesta agraria*, Federazione italiana dei consorzi agrari, Piacenza.

LEONARDO DA VINCI (a cura di CARUSI E. & FAVARO A., 1923), *Del Moto e Misura dell'Acqua*, Zanichelli Ed., Bologna.

LEOPOLD L.B. (1994), *A View of the River*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA.

LEOPOLD L.B. (1997), *Water, Rivers and Creeks*, University Science Books, Sausalito, California, USA.

LEOPOLD L.B. & MADDOCK T. JR. (1953), *The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications*, in «US Geological Survey Prof. Papers», 252.

LEOPOLD L.B. & MADDOCK T. JR. (1954), *The flood control controversy*, The Ronald Press Company, NY.

LEZIROLI A. (2005), *Ferrara e il Po (brevi note sul padimetro di Ferrara, recentemente restaurato)*, stampato in proprio, Ferrara.

LITTA A. (1840), *Sull'antico corso del Po*, Luigi di Giacomo Pirola, Milano.

LOMBARDINI E. (1844), *Cenni idrografici sulla Lombardia*, Tipografia Bernardoni, Milano.

LOMBARDINI E. (1846), *Importanza degli studi sulla statistica dei fiumi e cenni intorno a quelli intrapresi*, in «Giornale dell'I.R. Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti», tomo XIV.

LOMBARDINI E. (1846), *Importanza degli studi sulla statistica dei fiumi e cenni intorno a quelli finora intrapresi*, in «Giornale e Biblioteca dell'Ist. Lombardo», 14, p. 257 e in «Memorie», serie 3, vol. 5, p. 157.

LOMBARDINI E. (1853), *Della sistemazione dei laghi di Mantova per liberare la città dalle inondazioni e per mi-*

gloriarne l'aria e la navigazione, in «Giornale dell'I.R. Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti», tomo V, pp. 415-437.

LOMBARDINI E. (1859), *Sull'origine della scienza idraulica nel milanese, e sul suo progresso in altre parti d'Italia: osservazioni storico-critiche di E. Lombardini*, in «Atti dell'I.R. Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti», vol. 2, fascicolo ottobre, 1859.

LOMBARDINI E. (1860), *Dell'origine del progresso della scienza idraulica nel milanese ed in altre parti d'Italia: osservazioni storico-critiche concernenti principalmente i lavori di Leonardo da Vinci di Benedetto Castelli e di Gian Domenico Guglielmini*, in «Atti dell'I.R. Istituto Lombardo di Scienze, Lettere ed Arti», vol. 2, pp. 99-130 e in «Memorie», serie 3, vol. 8, Premiata Tipografia e Litografia degli Ingegneri, Editore B. Saldini, Milano.

LOMBARDINI E. (1865 e 1990), *Della condizione idraulica della Pianura Subappennina fra l'Enza ed il Panaro*, Tipografia e Litografia degli Ingegneri, Milano. Ristampa anastatica a cura della Deputazione di Storia Patria per le Antiche Province Modenesi (con presentazione di M. PELLEGRINI), Biblioteca – nuova serie n. 113, Aedes Muratoriana, Modena.

LOMBARDINI E. (1867-68), *Studi idrologici e storici sopra il grande estuario adriatico, i fiumi che vi confluiscono e principalmente gli ultimi tronchi del Po, susseguiti da considerazioni intorno ai progetti per la regolazione delle acque alla destra di questi*, Memorie, Serie 3, cl. 1, v. 11, n. 5, pp. 163 e 3 tavv. f. t., Tipografia degli Ingegneri, Milano (e anche in: Rendiconti Ist. Lombardo, classe 1, v. 4, pp. 185-337 e v. 1, pp. 695-743).

LOMBARDINI E. (1867), *Considerazioni sulla scala Padimetrica di Pontelagoscuro*, «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», vol. III, pp. 235-243.

LOMBARDINI E. (1870), *Guida allo studio dell'idrologia fluviale e dell'idraulica pratica*, Tipografia e Litografia degli Ingegneri, Milano.

LOMBARDINI E. (1872), *Dell'origine del progresso della scienza idraulica nel milanese ed in altre parti d'Italia: osservazioni storico-critiche concernenti principalmente i lavori di Leonardo da Vinci di Benedetto Castelli e di Gian Domenico Guglielmini*, Ed. B. Saldini, Milano.

LOMBARDINI E. (1874), *Nuove considerazioni sulle piene e sulle inondazioni del Po nel 1872 e cenno sugli scritti pubblicati su tale argomento*, Tipografia degli Ingegneri, Milano.

LOMBARDINI E. (1876), *L'arginamento del Po ed il bonifimento delle laterali pianure*, Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto, pp. 586-591 e 645-653.

LUGARES L. (1987), *Note per una microstoria: mulini natanti e mugnai del Po Mantovano*, in AUTORI VARI (1987), *Il Po Mantovano: storia, antropologia, ambiente*, Studi di cultura materiale del Museo Civico Poliriano, San Benedetto Po, 3 (1986-87), pp. 123-144.

LUGARES L. (2000), *I mulini natanti del Po: archetipo, memoria, mito*, I, Revere (MN).

MAFFIOLI C.S. (1999), *Gli albori della fisica moderna e l'idraulica del tardo Rinascimento*, Atti del XIX Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia (Como, 28-29 maggio 1999), Como.

MAIDMENT D.R. (1993, a cura di), *Handbook of Hydrology*, McGraw-Hill, New York, NY.

MAIONE U. (1981), *Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, Pavia.

MANNING R. (1891), *On the flow of water in open channels and pipes*, Trans. Inst. Civ. Eng. Ireland, 20, Dublin, pp. 161-207.

MANNING R. (1895), *Supplement to On the flow of water in open channels and pipes*, Trans. Inst. Civ. Eng. Ireland, 24, Dublin, pp. 179-207.

MARCHETTI M. (2000), *Geomorfologia fluviale*, Pitagora Editrice, Bologna.

MARCHETTI M. (2002), *Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities*, Geomorphology 44, Elsevier, pp. 361-373.

MARCHETTI M., BONDESAN M., CASTALDINI D., CREMASCHI M., GASPERI G., MOTTA M., TELLINI C. & TROMBINO L. (2001), *Forme e depositi fluviali, fluvio-glaciali, lacustri*, in CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (2001, a cura di), *Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana*, Suppl. Geografia Fisica e dinamica quaternaria, IV, Torino, pp. 73-103.

MARIENI G. (1828), *Di alcune operazioni topografiche e livellazioni fatte nel Ferrarese negli anni 1812 e 1813*, Imperiale regia stamperia, Milano 1840, in Biblioteca Italiana, tomo 96.

MATTEI E. (1866), *La navigazione interna in Italia*, Venezia.

MATULLI R. & SALOMONI C. (1984), *Il Canale Navile a Bologna*, Marsilio Editori, Venezia.

MEDAS S. (2003), *L'archeologia fluviale del medio corso del Po. Attualità e prospettive*, in AUTORI VARI (2003), *Le otto comunità dell'ansa, L'anima del Po, Terre, acque e uomini tra Enza e Oglio*, Luigi Battei ed., Parma, pp. 159-185.

MELCHER N.B., COSTA J.E., HAENI F.P., CHENG R.T., THURMAN E.M., BUURSINK M., SPICER K.R., HAYES E., PLANT W.J., KELLER W.C. & HAYES K. (2002), *River discharge measurements by using helicopter-mounted radar*, Geophys. Res. Lett., 29 (22), 2084, doi:10.1029/2002GL015525.

MIALL A.D. (1977), *A review of the braided-river depositional environment*, Earth-Sci. Rev., v. 13, pp. 1-62.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI (1881), *Relazione sui Servizi Idraulici del biennio 1879-80*, Tipografia Eredi Botta, Roma.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, MAGISTRATO PER IL PO PARMA, CENTRO STUDI, UFFICIO SPECIALE DEL GENIO CIVILE PER IL PO (1968), *Carta del Corso del Fiume Po da Moncalieri al Mare Adriatico. Scala 1:50.000. Rilievo aereofotogrammetrico anno 1966*, S.p.a. Tip. Riunite, Parma.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, MAGISTRATO PER IL PO PARMA, UFFICIO STUDI (1996), *Carta del Corso del Fiume Po da Moncalieri al Mare Adriatico. Scala 1:50.000. Carta derivata dal rilievo aereofotogrammetrico eseguito nel 1988 e restituito alla scala 1:10.000*, a cura di Edi ANDRETTI, Elio fototecnica Barbieri, Parma.

MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, SERVIZIO IDROGRAFICO CENTRALE (1952), *La piena del Po del novembre 1951*, Giornale Genio Civile, fasc. 1°, 1952, Ist. Poligrafico dello Stato, Roma, pp. 5-12.

MONTANARI M. (1992), *La fame e l'abbondanza. Storia dell'alimentazione in Europa*, Editori Laterza, Bari.

MORACHIello P. & TEYSSOT G. (1983), *Nascita delle città di stato*, Roma.

MORATTI L. & PELLEGRINI M. (1977), *Alluvioni e dissesti verificatisi nel settembre 1972 e 1973 nei bacini dei fiumi Secchia e Panaro (province di Modena e Reggio Emilia)*, in «Boll. Associazione Mineraria Subalpina», anno XIV, n. 2, pp. 323-374, 60 figg., 4 tavv. f. t.

MORETTI A. (2000), *Le rotte dei fiumi e le controversie idrauliche dell'epoca napoleonica*, in AUTORI VARI (2000), *Acqua e terre di Confine. Mantova, Modena, Ferrara e la Bonifica di Burana*, Cons. Bonifica Burana, Leo Scoltenna, Editrice Cartografica, s.i.l., pp. 105-136.

NATALE L. (1993), *Il deflusso delle piene nel medio corso del Po*, in *Rischi nei grandi bacini fluviali italiani*, tavola rotonda (Roma, 23 aprile 1992), Commissione per l'ambiente e grandi calamità naturali, vol. XVII, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, pp. 17-61.

NIKURADSE J. (1933), *Stromungsgesetz in raubren rohren*, VDI Forschungsheft 361.

PALADINI E. (1882), *L'idrotecnica e le questioni relative all'Esposizione di Milano del 1881*, Osservazioni dell'Ing. Ettore Paladini, L'Ingegneria all'Esposizione Industriale Italiana in Milano (1881), opera dedicata a S.M. Umberto I Patrono dell'Esposizione, Premiata Tipografia e Litografia degli Ingegneri, Milano.

PALADINI E. (1898), *Francesco Brioschi*, Atti del Collegio degli Ingegneri e degli Architetti in Milano, Tipografia degli Ingegneri, Milano.

PALEOCAPA P. (1841), *Sulla diminuita portata di magra dei fiumi*, Memorie dell'Imperial Regio Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, tomo I, Venezia.

PARMIGIANI C. (1992), *Dal Po "Vecchio" al Po "Nuovo"*, in «Civiltà Mantovana», serie 3, XXVII, giugno 1992, pp. 67-89.

PATITUCCI S. (1998), *I porti fluviali nell'Italia Padana tra Antichità e Medioevo*, in AUTORI VARI (1998, a cura di LAUDIZI G. & MARANGELO C.), *Porti, approdi e linee di rotta nel Mediterraneo antico*, Studi di Filologia e Letteratura, Università di Lecce, Dipart. Scienze dell'Antichità, 4, Galatina (LE), pp. 239-266.

PELLEGRINI G.B. (1990), *Toponomastica Italiana*, Ulrico Hoepli Editore, Milano.

PELLEGRINI M. & TELLINI C. (2000), *L'origine della Pianura Padana*, in FERRARI C. & GAMBI L. (2000, a cura di), *Un Po di terra*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia, pp. 5-25.

PELLEGRINI M. & VEZZANI L. (1978), *Foglie attive in superficie nella Pianura Padana presso Correggio (RE) e Massa Finalese (MO)*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 1, pp. 141-149.

PELLEGRINI M. (1969), *La pianura del Secchia e del Panaro*, in «Atti della Società di Naturalisti e Matematici di Modena», 100, pp. 3-53.

PELLEGRINI M. (1985), *Interazioni tra corsi d'acqua e falde idriche: responso idrodinamico e idrochimico dell'acquifero*, in *Ecologia dell'ambiente fluviale* (a cura di: MANZINI P. & SPAGGIARI R.), Centro Studi Biologia Ambientale, Amministrazione Provinciale e USL 9, Reggio Emilia.

PELLEGRINI M. (1990 a), *Caratteri geomorfologici della pianura interna*, in AUTORI VARI (1990), *Il mondo della natura in Emilia Romagna. La pianura e la costa*, Federazione delle Casse di Risparmio e delle Banche del Monte dell'Emilia Romagna, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI), pp. 39-56.

PELLEGRINI M. (1990), *I navigli e la rete idrografica negli antichi ducati estensi di Modena e Reggio*, in ADANI G., BADINI G., BARICCHI W., PELLEGRINI M., POZZI F.M. & SPAGGIARI A. (1990), *Vie d'acqua nei Ducati Estensi*, Cassa di Risparmio di Reggio Emilia, A. Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI).

PELLEGRINI M., PEREGO S. & TAGLIAVINI S. (1979), *La situazione morfologica degli alvei degli affluenti emiliani del Po*, Convegno di Idraulica Padana (Parma, 19-20 ottobre 1979), CNR, Pubbl. n. 80 del Progetto Finalizzato "Conservazione Suolo", sub-progetto "Dinamica Fluviale", Ministero dei Lavori Pubblici, Magistrato per il Po, Parma, pp. 1-9.

PELLEGRINI S. (1999), *Ambiente e ricerca storica: la ricostruzione del paesaggio antico attraverso l'analisi dei processi di stratificazione. Il caso di Modena*, tesi di Dottorato in Archeologia (Topografia), Università degli Studi di Bologna.

PERETTO R. (1990), *Idrografia e ambiente del Polesine in età medievale in rapporto alle attuali conoscenze archeologiche*, in *Uomini, Terra e Acque. Politica e cultura idraulica nel Polesine tra '400 e '600*, Atti del Convegno di Studi, Stanghella (PD), pp. 49-54.

PERETTO R. (1998), *Il Po e la sua valle: aspetti fisici del paesaggio*, in FELISATI D. (1998, a cura di), *In principio era il Po. Storia, cultura, ambiente*, Marsilio Editori, Venezia, pp. 71-83.

- PERITI F. (1998), *Agricoltura e istituzioni agrarie a Piacenza*, Editore Tip.Le.Co., Piacenza.
- PETTS G.E., MÖLLER H. & ROUX A.L. (Editors, 1989), *Historical Changes of Large Alluvial Rivers: Western Europe*, John Wiley & Son Ltd., Chichester.
- PEZZOLI S. & VENTURI S. (1987), *La carta del Ferrarese*, in ISTITUTO PER I BENI CULTURALI, REGIONE EMILIA-ROMAGNA (1987), *La carta del Ferrarese*, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI).
- PEZZOLI S. (2004), "La Carta del Ferrarese" (1811-1814) e del "Ducato di Modena" (1821-1828), in *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteoologico – ARPA Emilia-Romagna, Parma, pp. 45-54.
- PICCOLI A. (1976), *Le maggiori piene del Po dal 1900 al 1970*, Commissione di studio delle calamità naturali e della degradazione dell'ambiente, vol. XV, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- PIERCIVALLI E. (2003), *Storia dell'agricoltura piacentina dal 1862 al 1935*, Arti Grafiche Bobbiensi, Bobbio (PC).
- PINNA M. (1996), *Le variazioni del clima*, Franco Angeli, Milano.
- PIOLA G. (1852), *Ulteriori considerazioni sul moto dell'acqua in vasi, canali e fiumi*, Memoria Postuma di Gabrio Piola, Milano.
- PIRONDINI M. (1982, a cura di), *Ducale Palazzo di Sassuolo*, Edizioni Spiga, Genova.
- POLFER M. (2000), *Coûts absolus et coûts relatifs du transport fluvial à l'époque romaine*, pp. 317-329, *Caesaronum*, XXXIII-XXXIV.
- PRETI L. (1955), *Le lotte agrarie nella valle padana*, Einaudi editore, Torino.
- RANTZ S.E. et Alii (1982), *Measurement and computation of streamflow*, vol. 1, *Measurement of stage and discharge*, US Geological Survey Water Supply Paper 2175, Washington, D.C., USA.
- REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI – AGIP (a cura di G. DI DIO, 1998), *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna* (con 9 tavv. f. t.), S.E.L.C.A., Firenze.
- RICCI LUCCHI F., CIABATTI M., PELLEGRINI M. & VEGGIANI A. (1990), *Evoluzione geologica della pianura*, in AUTORI VARI (1990), *Il mondo della natura in Emilia-Romagna. La pianura e la costa*, Federazione delle Casse di Risparmio e delle Banche del Monte dell'Emilia-Romagna, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI), pp. 9-18.
- RODELLA G. (1987), *Imbarcazioni da trasporto fluviale e ingegneri – costruttori a Mantova nel XV secolo. Indagine storico-documentaria*, pp. 51-63, in AUTORI VARI (1987), *Il Po Mantovano storia, antropologia, ambiente*, Studi di cultura materiale del Museo Civico Polironiano, San Benedetto Po (MN), 3 (1986-87).
- RODOLICO N. (1963), *Storia del Parlamento italiano*, vol. 17, "L'inchiesta Jacini a cura di Domenico Novacco", Editore S.F. Flaccovio, Palermo.
- ROMANI M. (1973), *Contributi dell'Istituto di storia economica e sociale*, vol. I, "Aspetti di vita agricola lombarda (secoli XVI-XIX)", Vita e Pensiero, Milano.
- ROMANI M. (1976), *Le campagne lombarde tra Sette e Ottocento – Contributi dell'Istituto di storia economica e sociale*, vol. III, Vita e Pensiero, Milano.
- ROMANI M. (1977), *Aspetti e problemi di storia economica lombarda nei secoli XVIII e XIX – Scritti riediti in memoria*, Vita e Pensiero, Milano.
- ROSSETTI M. (2004), *La piena del Po del Novembre 1951. Annali Idrologici 1951*, Ministero LL.PP. - Ufficio Idrografico del Po.
- ROSSI M.G. (1987), *La flora*, in AUTORI VARI (1987), *Il Po Mantovano storia, antropologia, ambiente*, Studi di cultura materiale del Museo Civico Polironiano, San Benedetto Po (MN), 3 (1986-87), pp. 219-235.
- ROUGÉ J. (1988), *Transports maritimes et transports fluviaux dans les provinces occidentales de l'Empire*, pp. 87-93, *Ktema*, 13.
- ROVERI E. (1960), *Osservazioni sulle cause che hanno provocato il cedimento del ponte sul Secchia della Via Emilia a Rubiera*, Asfalti, bitumi e catrami, pp. 4-29.
- RUST B.R. (1978), *Depositional models for braided alluvium*, in MIALI A.D., *Fluvial Sedimentology*, Canadian Society of Petroleum Geologists Memoirs, 5, pp. 605-625.
- SALTINI A. (2005), *Dove l'uomo separò la terra dalle acque. Storia delle bonifiche in Emilia Romagna*, Edizioni Diabasis, Reggio Emilia.
- SANDRI M.G. (2004), *Bibliografia del Senatore Lombardini Ing. Elia, con cenni biografici*, Tipografia e libreria Ditta C. Franchi di A. Vismara, Como.
- SANDRI M.G. (2004), *Elia Lombardini (1794-1878): il principale interprete delle acque del Po*, in *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteoologico – ARPA Emilia Romagna, Parma, pp. 89-91.
- SBRANA M. (1952), *Deflusso e prosciugamento (Po 1951)*, Ist. Padano Arti Grafiche, Rovigo.
- SBRANA M. (1952), *Le rotte del Po*, Ist. Padano Arti Grafiche, Rovigo.
- SELVINI A. (2004), *L'avvio di un progetto cartografico: "La Carta degli Astronomi (1772-1860)"*, in *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteoologico – ARPA Emilia Romagna, Parma, pp. 37-44.

- SHERMAN L.K. (1932), *Streamflow from rainfall by the unit-graph method*, Eng. News Rec., vol. 108, April 7, pp. 501-505.
- SHOTWELL A. (2005), *Niccolò Cabeo's Reception of Galileo and Castelli in his "In Quatuor Libros Meteorologicorum Aristotelis Commentaria, et Quaestiones"*, MA Thesis, Department of History and Philosophy of Science, Indiana University, USA.
- SIBRA G. (2003), *Ritratto di un territorio: ricerca di un'immagine esatta nelle mappe*, in AUTORI VARI (2003), *Le otto comunità dell'ansa, L'anima del Po, Terre, acque e uomini tra Enza e Oglio*, Luigi Battei ed., Parma, pp. 265-294.
- SIBRA G. (2004), *Carta del corso del Po, sulle tracce di un progetto cartografico*, Rovigo.
- SIBRA G. (2004), *La Carta Generale del Fiume Po (1821-1872)*, in *Carta generale del Fiume Po sulle tracce di un progetto cartografico 1821-1872* (a cura di SIBRA G.), Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma, Servizio IdroMeteorologico – ARPA Emilia Romagna, Parma, pp. 69-86.
- SIMPSON M. (2001), *Discharge measurements using a broad-bank Acoustic Doppler Current Profiler*, Open-File Rep. 01-01, U.S. Geol. Survey, Washington, D.C.
- SPAGGIARI A. (1990), *Uomini e istituzioni nel governo delle acque del territorio modenese*, in ADANI G., BADINI G., BARICCHI W., PELLEGRINI M., POZZI F.M. & SPAGGIARI A. (1990), *Vie d'acqua nei Ducati Estensi*, Cassa di Risparmio di Reggio Emilia, Amilcare Pizzi Editore, Cinisello Balsamo (MI).
- STOMMEL H. & STOMMEL E. (1979), *L'anno senza estate*, in «Le Scienze», n. 132, Milano.
- SUSMEL L. (1968), *Sull'azione regimante ed antierosiva della foresta*, Atti del Convegno *Le scienze della natura di fronte agli eventi idrogeologici*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma, pp. 301-432.
- TAYLOR J.R. (1997), *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*, University Science Books, Sausalito, CA, USA.
- TELESCA P. (2005), *L'impegno dell'AIPO per la valorizzazione e l'aggiornamento della cartografia di carattere idraulico nel bacino del Po*, in *Eridano. Ferrara e il suo fiume* (a cura di SIBRA G.), Provincia di Ferrara, Ferrara.
- TIBALDI S. (2005), *Il Servizio IdroMeteorologico dell'ARPA Emilia Romagna*, in *Eridano. Ferrara e il suo fiume* (a cura di SIBRA G.), Provincia di Ferrara, Ferrara.
- TIRABOSCHI G. (1824), *Dizionario Topografico storico degli Stati Estensi*, Tipografia Camerale, rist. anastatica 1979, Arnaldo Forni Editore, Bologna.
- TORELLI L. (1873), *Delle cause delle principali piene dei fiumi e di alcuni provvedimenti per diminuirle*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», pp. 671-689.
- TORNANI I. (1882), *Notizie e dati statistici sul Reno e suoi influenti*, in «Il Politecnico - Giornale dell'Ingegnere e dell'Architetto», vol. 14, pp. 513-522 ss.
- TOSCANI C. (1998), *L'uomo e il fiume: scrittori di Po*, in FELISATI D. (1998, a cura di), *In principio era il Po. Storia, cultura, ambiente*, Marsilio Editori, Venezia, pp. 99-113.
- TROCH P.A., PANICONI C., & McLAUGHLIN D. (2003), *Preface: Catchment-scale hydrological modeling and data assimilation*, in «Advances in Water Resources», 26, pp. 131-135.
- TURAZZA D. (1867²), *Trattato di idrometria o di idraulica pratica*, Tipografia editrice F. Sacchetto, Padova.
- TURAZZA D. (1880³), *Trattato di idraulica pratica*, Premiata tipografia editrice F. Sacchetto, Padova.
- UGGERI G. (1987), *La navigazione interna della Cisalpina in età romana*, Antichità Altoadriatiche, XXIX, pp. 305-354.
- UGGERI G. (1997), *I canali navigabili nell'antico delta padano*, in *Uomini, acqua e paesaggio*, Atlante tematico di topografia antica, suppl. II, Roma, pp. 55-60.
- VALENTINI C. (1984), *Cenni storici sul delta del Po*, in *Per il Po e i suoi affluenti*, 2° Convegno di Idraulica Padana, Ministero dei Lavori Pubblici, Magistrato per il Po, Parma, pp. 148-162.
- VEGGIANI A. (1974), *Le variazioni idrografiche del basso corso del Fiume Po negli ultimi 3000 anni*, in «Padusa», 2, pp. 1-22.
- VEGGIANI A. (1982), *Variazioni climatiche e dissesti idrogeologici nell'Alto Medioevo in Lombardia e la rifondazione di Lodi. Sibirium*, Collana di Studi e Documentazioni, Centro di Studi preistorici ed Archeologici, Varese, Musei Civili di Villa Mirabello, vol. 16, pp. 199-208.
- VÖRÖSMARTY C.J., BRIRIKETT C., DINGMAN L., LETTENMAIER D.P., KIM Y., RODRIGUEZ E. & EMMITT G.D. (1999), *NASA Post-2002 Land Surface Hydrology Mission Component for Surface Water Monitoring: HYDRA-SAT Hydrological Altimetry Satellite*, A report from the *NASA Post-2002 Land Surface Hydrology Planning Workshop*, 12-14 April, Irvine, Calif., USA.
- WOLMAN M.G. & LEOPOLD L.B. (1957), *River Flood Plains: Some Observations on their Formation*, U.S. Geological Survey Professional Paper 282-C.
- ZAGHI C. (1991), *L'Italia di Napoleone dalla Cisalpina al Regno d'Italia*, Torino.
- ZUCCONI G. (1992), *Ingegneri d'acque e strade*, in FONTANA L. & LAZZARINI A., *Veneto e Lombardia tra rivoluzione giacobina ed età napoleonica*, Bari.

Gli autori

Prof. Baldassare BACCHI, Professore Ordinario di Costruzioni idrauliche, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Ambiente e Territorio, Università degli studi di Brescia, Via Branze, 43 - 25123 Brescia. E-mail: baldassare.bacchi@unibs.it

Prof. Gabriele CANALI, Professore Associato di Economia ed estimo rurale, Istituto di Economia agro-alimentare, Università Cattolica del Sacro Cuore, Facoltà di Agraria, Via Emilia Parmense, 84 - 29100 Piacenza. E-mail: gabriele.canali@unicatt.it

Ing. Luigi CIARMATORI, già Direttore dell'Ufficio Idrografico e Mareografico del bacino del Po. E-mail: l.ciarmatori@virgilio.it

Prof. Vittorio DEGLI ESPOSTI, Ricercatore Universitario, Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale, Università degli Studi di Bologna, Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna. E-mail: vittorio.degliesposti@unibo.it

Prof. Ireneo FERRARI, Professore Ordinario di Ecologia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Parco Area Scienze, 33A - 43100 Parma. E-mail: ireneo@dsa.unipr.it

Ing. Ivano GALVANI, Direttore dell'Azienda Regionale per la Navigazione Interna (ARNI) della Regione Emilia-Romagna, via Argine Cisa, 11- 42022 Boretto (RE). E-mail: igalvani@arni.it

Prof. Paolo MIGNOSA, Professore Ordinario di Costruzioni Idrauliche, Dipartimento Ingegneria Civile, dell'Ambiente, del Territorio e Architettura, Università degli studi di Parma, Viale G.P. Usberti, 181 A - 43100 Parma. E-mail: paolo.mignosa@unipr.it

Prof. Stefano ORLANDINI, Professore Associato di Idrologia, Dipartimento di Scienze Agrarie, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Via Kennedy, 17 - 42100 Reggio Emilia. E-mail: stefano.orlandini@unimore.it

Prof. Maurizio PELLEGRINI, Professore Ordinario di Geologia Applicata, Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Largo Santa Eufemia, 19 - 41100 Modena. E-mail: mpellegr@unimore.it.

Prof. Graziella SIBRA, Dipartimento di Progettazione dell'Architettura, Politecnico di Milano, Via Golgi, 39 - 20133 Milano. E-mail: graziella.sibra@polimi.it

La dinamica fluviale del Po nell'Ottocento
e le tavole della Commissione Brioschi

<i>Presentazione</i>	
Stefano Tibaldi	5
<i>Prefazione</i>	
Ugo Majone	7
<i>Guida alla lettura</i>	
Ireneo Ferrari, Maurizio Pellegrini	9
1. <i>Introduzione: le grandi piene del 1872 e la Commissione Brioschi</i>	
Luigi Ciarmatori	15
2. <i>Ricomposizione di una storia per un progetto di territorio fluviale</i>	
Graziella Sibra	25
3. <i>Evoluzione della rete idrografica e dell'alveo del Po</i>	
Maurizio Pellegrini	33
4. <i>Navigare il Po, tra passato e futuro</i>	
Ivano Galvani, Maurizio Pellegrini	51
5. <i>Borghi di riva lungo il Po nella cartografia dell'Ottocento</i>	
Vittorio Degli Esposti	67
6. <i>L'agricoltura padana e l'acqua nella seconda metà del XIX secolo</i>	
Gabriele Canali	83
7. <i>Le rotte nel tratto emiliano del fiume Po</i>	
Paolo Mignosa	97
8. <i>Idrologia padana all'epoca della Commissione Brioschi</i>	
Baldassare Bacchi	109
9. <i>Sulle origini e gli sviluppi dell'idrometria del fiume Po</i>	
Stefano Orlandini	125
10. <i>Le alluvioni del Po nel secolo XIX: alla ricerca delle cause</i>	
Baldassare Bacchi, Stefano Orlandini, Maurizio Pellegrini	145
11. <i>Dall'Ottocento ai giorni nostri. Dalle anse della storia ai progetti per il futuro</i>	
Luigi Ciarmatori, Ireneo Ferrari, Maurizio Pellegrini	167
<i>Opere citate</i>	183
<i>Elaborati Tecnici della Commissione Brioschi fuori testo</i>	
<i>Planimetrie - Tavole Cartografiche 1-6</i>	
<i>Sezioni e profili longitudinali del Fiume - Tavole Cartografiche 7-15</i>	
<i>Idrometria e sperimentazione per scale di portata a Pieve Portomorone (Pavia)</i>	
<i>e a Fossadalbero (Ferrara) - Tavole Cartografiche 16-22</i>	

Grande lavoro
sulle tavole della Commissione Brioschi
per indagare la situazione del Grande Fiume
nel corso dell'Ottocento
quest'opera viene stampata
nel carattere Garamond
su carta Garda Matt delle cartiere del Garda
dalla tipografia Nuovagrafica di Carpi
per conto di Diabasis
nell'aprile
dell'anno duemila
sette

