

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'intuito 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 traguandone 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 tiberometro 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.