

## 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 sesto<sup>4</sup>, 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 progradazione<sup>5</sup> 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*"<sup>6</sup>.

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 decennio<sup>7</sup>. 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 topografici<sup>8</sup>), 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*<sup>9</sup>: 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 proietta 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'infiltrazione<sup>10</sup> e dell'evapotraspirazione<sup>11</sup>, 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 efficace<sup>12</sup> 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 idrogramma<sup>13</sup>. 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*<sup>14</sup> della sezione ai fini dello smaltimento dei deflussi di piena<sup>15</sup>, mentre la durata delle profondità di piena prossima a quella massima determina la configurazione effettiva della linea di filtrazione negli argini<sup>16</sup>. 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 velocità<sup>17</sup> di scorrimento delle acque in un alveo è condizionata anche da un altro fattore: la *scabrezza*<sup>18</sup> 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 Pleistocene<sup>19</sup> 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"<sup>20</sup> 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 m<sup>3</sup>/s del periodo 1801-1860 a 9116 m<sup>3</sup>/s del periodo 1861-1910 a 11585 m<sup>3</sup>/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 km<sup>2</sup> fino a 1000-1500 km<sup>2</sup> 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 vista<sup>21</sup>, 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 <sup>14</sup>C,  $\delta$ , <sup>18</sup>O), 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 1000<sup>22</sup>, un secondo, che per l'area alpina e appenninica inizia dal 1580 circa e termina verso il 1850<sup>23</sup>, 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 moderna<sup>24</sup>, 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 popolazioni<sup>25</sup>. Solo alla metà del secolo le temperature cominciarono a elevarsi e iniziò quel progressivo riscaldamento che perdura tuttora<sup>26</sup>.

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 modenese<sup>27</sup>; 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 Tevere<sup>28</sup> (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 emiliana<sup>29</sup> (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 XX<sup>30</sup>, a gravità, con sistemi non del tutto diversi da quello ideato da Elia LOMBARDINI (1865) per l'acquedotto di Modena<sup>31</sup>: 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 romano<sup>32</sup>. 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 sovralluvionamento<sup>33</sup>, 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 crioclastismo<sup>34</sup> 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” successivi<sup>35</sup>, 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 <sup>2</sup>	km <sup>2</sup> /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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>) non sono influenzate dall'uso del suolo (LEOPOLD, 1997, p. 100). Esse sono generalmente il risultato di combinazioni inusuali di piogge continue su aree estese<sup>36</sup> 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 km<sup>2</sup> 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 m<sup>3</sup>. 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 invaso 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  $\Omega$  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.

