

Le problematiche ecologiche del bacino padano: pressioni, stato, impatti e possibili risposte

1. Inquadramento del problema e modalità di lavoro

Il bacino del fiume Po ha una superficie di circa 74.000 km² per la maggior parte in territorio italiano (71.057 km²) e con una piccola estensione nel Canton Ticino e in Francia: comprende Piemonte, Valle d'Aosta e Lombardia, la maggior parte dell'Emilia Romagna e una piccola parte di Liguria, Trentino, Veneto e Toscana (Fig. 1).

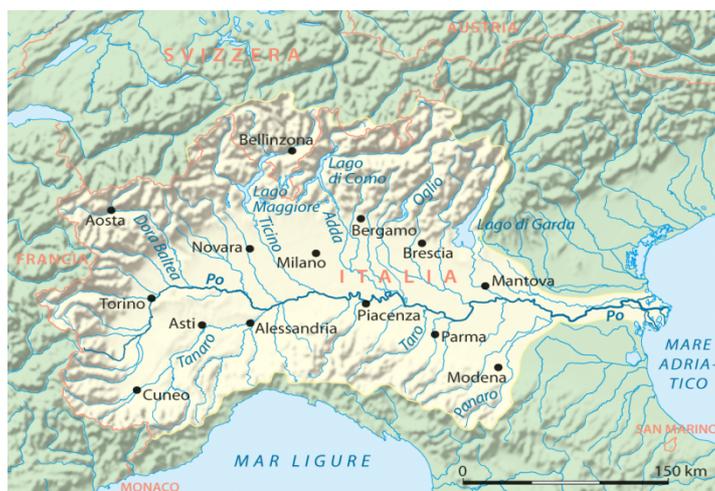


Figura 1. Il bacino del fiume Po (<http://it.wikipedia.org/wiki/Po>).

La parte pianeggiante occupa circa la metà del bacino del Po, una superficie maggiore di quella occupata dall'insieme di tutte le altre pianure italiane. La sua formazione risale a circa 11-12 milioni di anni fa (Pliocene), quando i fiumi alpini ed appenninici riempirono di detriti il grande golfo del Mare Adriatico che arrivava fino alle Alpi Piemontesi. I detriti più grossolani si sono depositati ai piedi delle montagne ed hanno formato l'alta pianura, composta principalmente da suoli permeabili. I sedimenti più fini e a bassa densità, che sedimentano più lentamente, hanno invece formato i suoli compatti e poco permeabili della bassa pianura.

Nella zona di confine tra l'alta e la bassa pianura, soprattutto lungo il versante alpino e in misura minore nella pianura emiliana, sono presenti sorgenti denominate fontanili o risorgive. I fontanili sono il risultato di bonifiche, in particolare di quelle portate avanti dai frati cistercensi. La grande disponibilità di acqua è stata per secoli alla base del fiorente allevamento bovino da cui ha avuto origine una grande varietà di formaggi, in particolare i tipici formaggi a "grana" (Grana Padano e Parmigiano Reggiano). Le acque che sgorgano dai fontanili, provenendo da falde profonde, hanno temperatura quasi costante durante tutto l'anno, con piccole escursioni tra i 10 e i 14 °C, che è

all'origine di condizioni microclimatiche locali favorevoli allo sviluppo di peculiari pratiche agronomiche. Fino a poche decine di anni fa nella pianura a sud di Milano veniva praticata la tecnica del "prato marcitoio" o "marcita", introdotta dai monaci cistercensi nel XII secolo. Le marcite, prati irrigui in cui l'acqua di risorgiva scorreva sul terreno in permanenza impedendo la formazione di ghiaccio, consentivano di ottenere numerosi tagli di foraggio durante tutto l'anno, anche d'inverno, mentre con le tecniche convenzionali il foraggio verde era disponibile solo da maggio a settembre.

Soprattutto nel versante alpino, le acque dei fontanili alimentano una fitta rete di canali che tuttora sono elementi costitutivi del paesaggio rurale, anche se lo sfruttamento delle risorse idriche, l'uso intensivo dei suoli e la cementificazione ne hanno causato la progressiva scomparsa.

La rete dei canali naturali e artificiali, che si estende per oltre 50.000 km, confluisce in una cinquantina di fiumi e torrenti principali che a loro volta hanno una lunghezza complessiva di circa 5.000 km. La spina dorsale del reticolo idrografico è costituita dal fiume Po che scorre da ovest ad est per 652 km. A nord del fiume si trovano i grandi laghi sud-alpini (Orta, Maggiore, Como, Iseo, Garda) e decine di piccoli laghi alimentati dai ghiacciai alpini. Questa riserva d'acqua è alla base della ricchezza del bacino padano che gode anche di condizioni climatiche particolarmente favorevoli, in quanto è protetto dai venti freddi del nord dall'arco alpino ed è influenzato dalla vicinanza del Mediterraneo a sud.

In questo capitolo vedremo come al notevole sviluppo economico, registrato soprattutto negli ultimi decenni, si sia accompagnato l'insorgere di seri problemi ambientali. Cercheremo di individuarne le cause, di valutarne gli effetti e di verificare le possibili soluzioni.

Per svolgere questo tipo di indagine ci aiuteremo con lo schema concettuale DPSIR (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatti e Risposte) sviluppato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (Fig. 2) e già descritto nel capitolo 7. I principali determinanti saranno analizzati sia per la valenza positiva (agricoltura, industria, zootecnia, settore energetico, mobilità e trasporti) che per le pressioni ambientali, con riferimento all'emissione di carichi inquinanti nelle diverse matrici ambientali, alla produzione e allo smaltimento dei rifiuti solidi, all'uso e alla modificazione dei suoli e degli ambienti acquatici, agli effetti del cambiamento climatico. Dalle pressioni derivano impatti che si traducono in alterazioni dello stato di salute degli ecosistemi acquatici, terrestri e urbani e dell'atmosfera. Il degrado ambientale che ne consegue viene affrontato con risposte di tipo legislativo e normativo, con la pianificazione generale e settoriale che agiscono sia in termini di prevenzione che di interventi di ripristino e riqualificazione. Una sintesi delle principali conoscenze sullo stato ecologico del bacino padano e della sua evoluzione recente è riportata in due volumi monografici pubblicati nel 1993 [1] e nel 2010 [2].

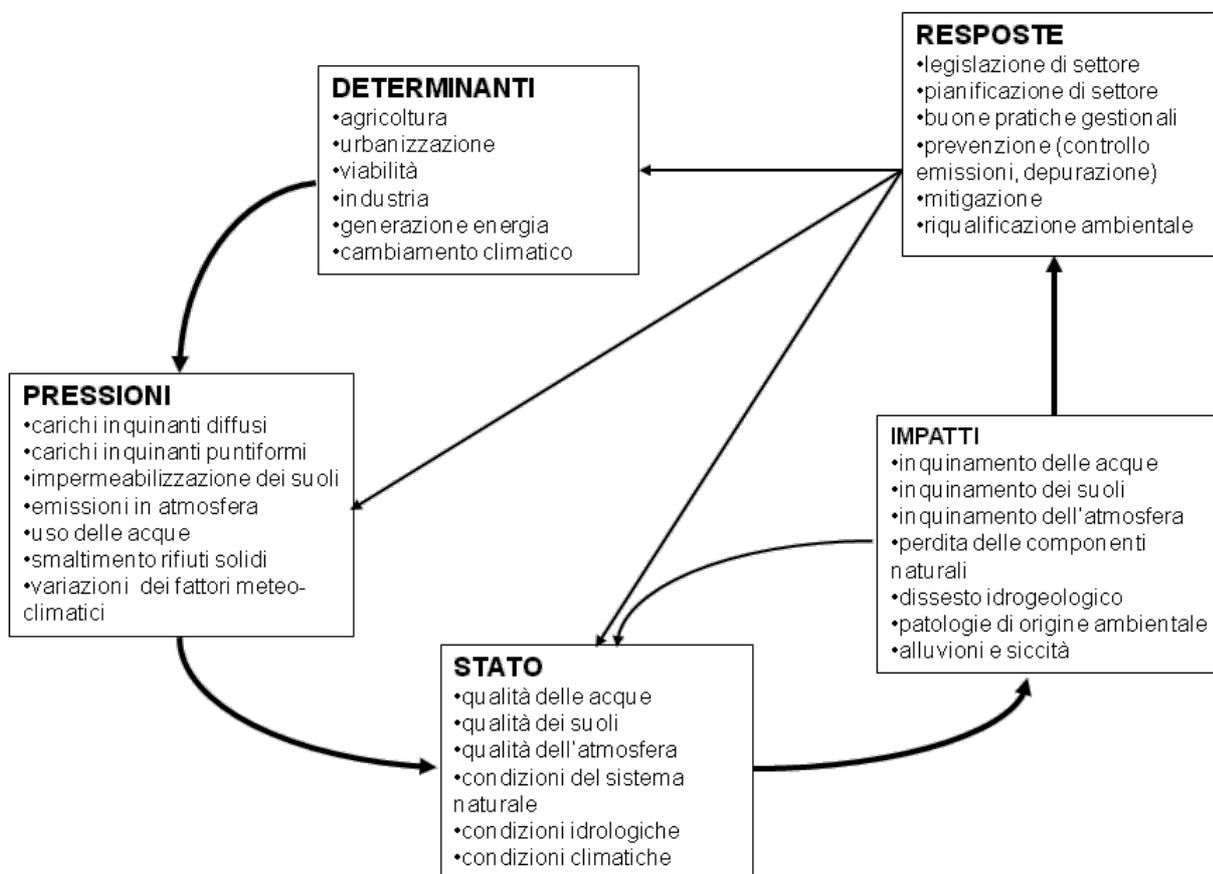


Figura 2. Applicazione dello schema DPSIR al bacino del fiume Po.

2. Il bacino del Po fino alla metà del XX secolo.

Fino alla metà del XX secolo il principale problema nel bacino del Po era rappresentato dalla gestione delle acque, in particolare dalla sicurezza idraulica e dalla difesa dalle alluvioni. La piena del novembre 1951 può essere considerata come un evento fondamentale nella storia recente del fiume in quanto ebbe effetti catastrofici nel delta e in tutta la zona rivierasca della bassa pianura, dove campagne e paesi restarono sommersi dall'acqua per mesi. La piena ebbe anche profondi effetti sociali ed economici e causò una migrazione interna dal Polesine verso la Lombardia, l'Emilia e il Piemonte. La risposta a quell'evento drammatico fu l'avvio di lavori imponenti di innalzamento e potenziamento delle arginature e di bonifica e canalizzazione delle zone soggette ad esondazione, con conseguente riduzione della sinuosità e della ramificazione dell'alveo attivo.

In quegli anni, si rese necessario il reperimento di suoli da destinare all'agricoltura per rispondere all'emergenza occupazionale del paese che usciva distrutto dalla seconda guerra mondiale. Iniziò così l'ultima grande bonifica che vide l'occupazione e il recupero di suoli agricoli nel delta e nella golena, ovvero in quella fascia alluvionale che è compresa tra gli argini del fiume.

Con lo sviluppo agricolo del dopoguerra venne ulteriormente potenziato lo sfruttamento delle risorse idriche ad uso sia industriale che agricolo. Aumentarono così le pressioni non solo sull'asta fluviale principale, ma anche sugli affluenti, soprattutto in quelli alpini. Occorre ricordare che i grandi laghi sud-alpini sono regolati da dighe costruite sull'incile in modo da poter accumulare acqua da destinare soprattutto all'agricoltura.

Fino agli anni '60 del secolo scorso, le acque del Po, dei suoi affluenti e dei laghi erano di buona qualità e si caratterizzavano per una ricca biodiversità. La pesca professionale veniva praticata soprattutto nei laghi e nei settori fluviali della pianura. Nei primi, le specie di pregio erano soprattutto la trota e il coregone, mentre nel Po lo storione era una delle prede più ambite, anche per il suo notevole valore commerciale (Fig. 3).



Figura 3. Esemplare di storione cobice (*Acipenser naccarii*) pescato nel tratto di fiume tra Cremona e Polesine Parmense (foto archivio G. Gandolfi).

3. Lo sviluppo del dopoguerra e le alterazioni idro-morfologiche

A partire dal 1950, si ebbe una fase di grande sviluppo, il cosiddetto “boom economico”. Questo periodo fu segnato dalla ricostruzione e dall'ampliamento delle aree urbane e dei grandi centri industriali, ma soprattutto si caratterizzò per la costruzione delle grandi infrastrutture viarie, quali le reti autostradale e ferroviaria, che nel tempo hanno costituito le direttrici lungo le quali si è avuto il massimo sviluppo di attività economiche importanti, ma anche parallelamente, l'emersione di pesanti problemi ambientali.

Il 19 maggio 1956 iniziarono i lavori di costruzione dell'autostrada del Sole (A1). Il tratto Milano-Parma fu inaugurato nel dicembre 1958 e due anni più tardi fu completato il troncone fino a Firenze. Dal 1964 al 1972 fu costruita la A21 Torino-Piacenza-Brescia; nel 1972 fu aperta al traffico la A15, Parma-La Spezia. Se si considera che per il solo tratto Milano-Parma dell'A1 furono usati circa 5.000.000 m³ di materiale inerte che fu reperito nell'alveo dei fiumi, si può comprendere come queste opere, importantissime per lo sviluppo economico e sociale del paese, abbiano avuto un grande impatto sui corsi d'acqua. Nel 1955 nel tratto Paesana-Pontelagoscuro

vennero estratti dal Po e dai suoi affluenti circa 500.000 m³/anno di ghiaia e sabbia; nei due anni successivi si passò a circa 2.000.000 m³/anno [3] (Fig. 4). Dal 1960 in poi si ebbe una crescita esponenziale fino al picco di circa 10.000.000 m³/anno raggiunto tra il 1980 e il 1985. Negli anni successivi, in seguito alle profonde alterazioni morfologiche degli alvei del Po e dei suoi affluenti, venne posto il divieto di escavazione nel letto fluviale e l'attività estrattiva fu regolamentata e spostata nelle golene e nelle aree laterali [4].

Lo sviluppo industriale del dopoguerra necessitò anche di una grande quantità di energia che fu generata in parte con impianti idroelettrici. Nell'arco alpino furono costruite circa 600 dighe. Un numero decisamente inferiore di sbarramenti con impianti idroelettrici si trovano anche lungo il corso di pianura del Po e dei suoi affluenti. L'impianto di maggiori dimensioni, con una potenza efficiente lorda di 84 MW e una producibilità annua di 484 GWh, è stato costruito tra il 1960 e il 1962 sul Po a Isola Serafini, tra Piacenza e Cremona. Questo impianto ha un impatto particolare in quanto determina una cesura netta del corso d'acqua con l'esclusione di un meandro lungo circa 9 km. In aggiunta, la traversa costituisce un ostacolo al trasporto solido del fiume.

La combinazione dell'attività estrattiva con lo sbarramento del fiume ha causato un marcato abbassamento dell'alveo a valle di Isola Serafini; in particolare, a Cremona dal 1960 al 1995 la quota di fondo è passata da circa 32.5 a circa 27.5 m s.l.m. (Fig. 5).

La profonda incisione dell'alveo ha effetti rilevanti sulla struttura e sul funzionamento dell'ecosistema fluviale e della golena. In golena si trovano ambienti umidi (lanche, stagni, zone palustri) che sono disposti a cascata e connettono il fiume agli ecosistemi terrestri contigui (Fig. 6): essi formano un filtro che trattiene e trasforma le sostanze inquinanti che provengono dall'ambiente terrestre e scambiano acqua, energia e materia con il fiume. La fascia golenale contiene inoltre una grande varietà di habitat con un'elevata diversità di specie vegetali e animali. Gli ambienti di acque basse svolgono un ruolo ecologico fondamentale in quanto sono aree di riproduzione e nursery per molte specie presenti nel fiume che qui passano fasi critiche del ciclo vitale. In definitiva, la funzionalità degli ambienti acquatici della golena dipende dalla connettività con l'alveo fluviale e, reciprocamente, la qualità delle acque del fiume e la presenza di molte specie fluviali dipendono dalla persistenza degli ambienti umidi golenali.

L'abbassamento dell'alveo ha determinato la scomparsa della maggior parte degli ambienti acquatici della golena [5]. Il fiume stesso, nel tratto che attraversa la media pianura, ha assunto la forma di un canale profondo, monocursale e non connesso con l'ambiente laterale (Fig. 7). L'asportazione di sabbia e ghiaia dall'alveo fluviale ha alterato profondamente anche i processi biologici e biogeochimici che avvengono sulla superficie dei materiali litoidi e negli spazi interstiziali. Il letto del fiume è infatti un "reattore biogeochimico" costituito da materiale inerte

entro il quale l'acqua scorre, si ossigena e viene "depurata": nello spessore di pochi centimetri di sedimento sono presenti infatti centinaia di specie di batteri, protisti, vegetali e animali che operano come agenti biologici della "depurazione naturale" del corso d'acqua.

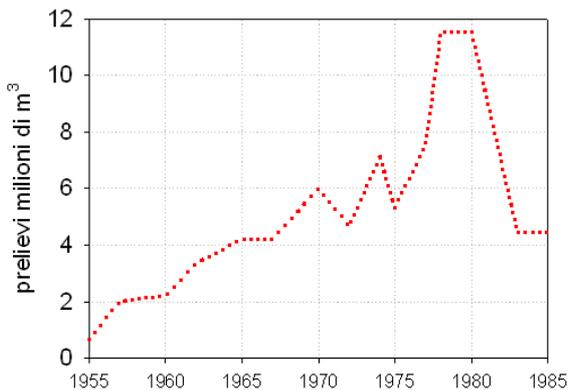


Figura 4. Prelievo di inerti dal Po (milioni di m³) autorizzato dal Magistrato per il Po nel tratto Paesana – Pontelagoscuro. Immagine riprodotta da [3].

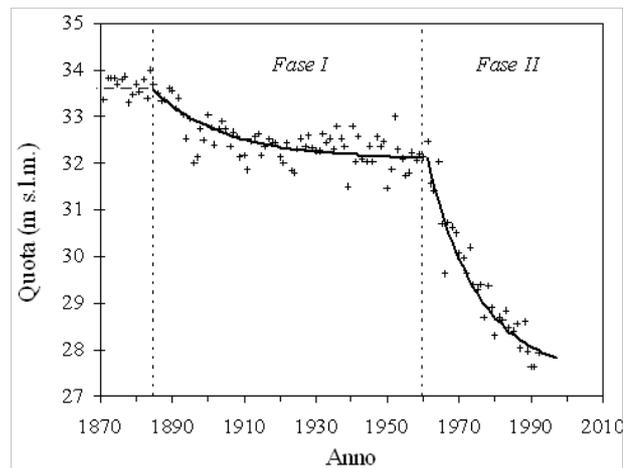


Figura 5. Variazioni temporali della quota del fondo del fiume Po a Cremona [4].

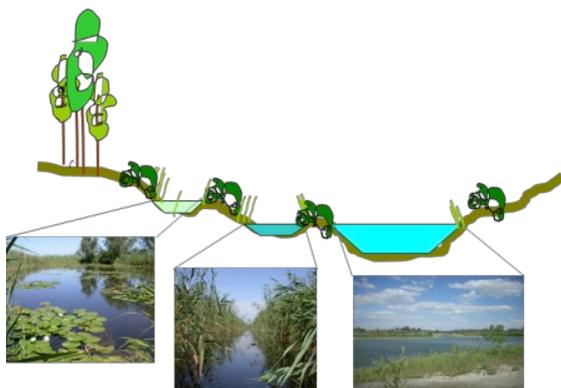


Figura 6. Rappresentazione di un sistema integro di ambienti acquatici disposti lungo il gradiente che connette l'alveo fluviale all'ambiente terrestre della piana alluvionale.

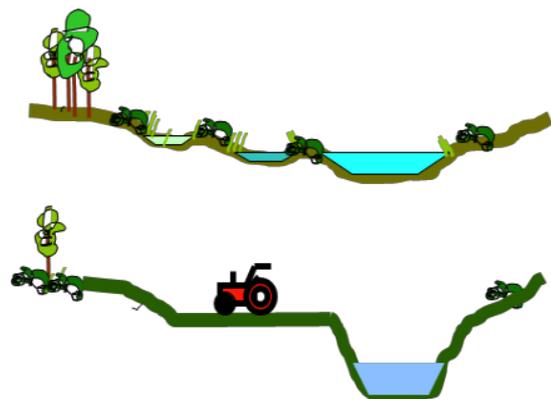


Figura 7. Rappresentazione schematica delle modificazioni della gola dovute all'abbassamento dell'alveo fluviale. In alto: ambiente naturale; in basso: ambiente fortemente modificato con alveo inciso e canalizzato e piana golenale completamente rettificata e occupata dalle attività agricole ed estrattive [5].

4. Urbanizzazione, uso e impermeabilizzazione dei suoli, e inquinamento

Nel bacino padano, la popolazione umana è rimasta praticamente costante per oltre 30 anni, a partire dal 1970, mentre nel 2010 è stato registrato un lieve ma significativo incremento (Fig. 8). L'aumento più consistente (circa il 25%) si è verificato tra il 1950 e il 1970 ed è coinciso con un'urbanizzazione diffusa, cresciuta ulteriormente in modo caotico soprattutto negli ultimi decenni nelle zone di pianura e nelle valli principali. La densità abitativa raggiunge i 1500 abitanti/km² nell'area metropolitana di Milano, mentre non supera i 25 abitanti/km² nelle aree montane antropizzate sia dell'Appennino che delle Alpi.

In un'area che è poco meno del 25% del territorio nazionale si genera il 40% del prodotto interno lordo (PIL) totale, il 44% del PIL industriale, il 55% del PIL zootecnico, concentrato in sole 5 province, e il 35% del PIL agricolo (Tabella 1). L'altra faccia della medaglia della significativa produzione di ricchezza del bacino del Po è rappresentata dall'inquinamento delle acque da parte soprattutto di azoto e fosforo che derivano per il 15% dal settore civile, per il 52% dall'industria e per il 33% dal settore agro-zootecnico.

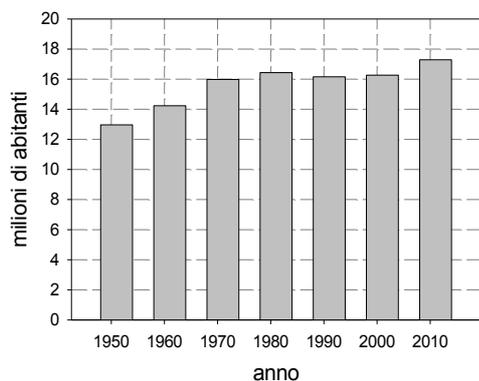


Figura 8. Popolazione nel bacino padano dal 1950 al 2010 (dati censimenti ISTAT).

Settore	% PIL
Agricoltura	35
Zootecnia	55
Industria	44
Totale	40

Tabella 1. Contributo del bacino del Po ai principali settori produttivi come percentuale del rispettivo PIL nazionale [3].

La crescita delle aree urbane e industriali può essere desunta, in modo indiretto, dall'emissione media annua della luce notturna (Fig. 9): il colore azzurro rappresenta l'assenza di sorgenti luminose significative (aree montane remote, mare aperto); il nero rappresenta le aree che emettevano luce intensa nel 1992-93 (es. l'area metropolitana di Milano); il colore rosso è dato da quelle aree che avevano una bassa emissione nel 1992-93 e che hanno raggiunto i livelli di Milano nel 2000; il giallo indica le zone in cui l'emissione è presente nel 2000, ma non nel 1992-93. Il grigio chiaro rappresenta infine la luce soffusa stabile nel 1992-93 e nel 2000. L'emissione di luce più che con la densità abitativa è correlata con la presenza di attività antropiche di forte impatto

ambientale: edifici ad uso civile e commerciale, aree industriali, viali, parcheggi e svincoli stradali. Nella figura 9 sono anche indicate le maggiori direttrici del traffico. Si può osservare come alla fine del ventesimo secolo vi sia stato un enorme sviluppo delle aree antropizzate, specialmente verso il Nord-Est e lungo le principali linee stradali e ferroviarie, nonché nelle aree di fondovalle.

Il grande sviluppo urbano e industriale è stato accompagnato da una crescente domanda di energia elettrica, che ha raggiunto circa il 48% del fabbisogno nazionale. La richiesta di energia elettrica è in larga misura soddisfatta da impianti localizzati nel bacino padano, dove sono operative otto centrali termoelettriche di grandi dimensioni e numerosi piccoli impianti per un totale di circa 20.000 MW, pari a 1/3 dell'intera potenza termoelettrica nazionale (Tabella 2). L'inquinamento generato da queste sorgenti può essere calcolato usando i fattori di emissione dei veicoli e delle centrali illustrati nel capitolo 5. La domanda di energia è in parte soddisfatta anche dal settore idroelettrico che, come abbiamo visto nel paragrafo 2, è sviluppato soprattutto nell'arco alpino. La presenza di impianti idroelettrici è causa di pressioni multiple sui corsi d'acqua; in particolare si possono presentare conflitti d'uso e problemi legati alla scarsità del deflusso a valle degli impianti. Per questi aspetti si rimanda al capitolo 6.

Tabella 2. Potenza installata e produzione degli impianti termo- e idroelettrici localizzati nel bacino del Po; è riportata anche la percentuale rispetto al totale nazionale. I dati sono riferiti all'anno 2004 [6].

	Potenza efficiente lorda		Produzione lorda	
	MW	%	GWh	%
Termoelettrico	19.500	31,6	77.000	32,5
Idroelettrico	8.200	47,9	19.600	45,7

Le immagini relative all'emissione della luce notturna sono sovrapponibili alla mappa dell'inquinamento atmosferico da biossido di azoto (Fig. 10). Le ragioni dell'inquinamento atmosferico sono molteplici. Le emissioni domestiche e industriali sono presenti in modo diffuso in tutto il territorio. Una quota consistente dell'inquinamento atmosferico è però dovuta al traffico veicolare e alla produzione di energia termo-elettrica. Particolarmente evidente è la contaminazione dell'area metropolitana di Milano e lungo le reti viarie più importanti, in particolare l'autostrada A4. Lungo la direttrice Torino-Milano-Brescia grava un traffico giornaliero di circa 110.000 veicoli; sulla Milano-Bologna circolano circa 60.000 veicoli al giorno, mentre lungo le altre direttrici principali il traffico medio è circa 30.000-40.000 veicoli al giorno [7].

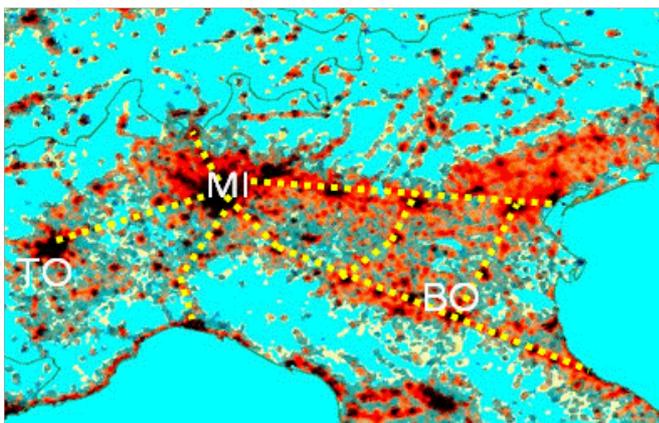


Figura 9. La pianura padana-veneta vista attraverso l'emissione media annua di luce notturna. Le linee tratteggiate rappresentano le principali vie di traffico. Per l'interpretazione dei colori si veda il testo. Dati ed immagine elaborati dal NOAA National Geophysical Data Center. I dati DMSP sono stati raccolti dall'US Air Force Weather Agency.

ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/DMSP/web_data/1992_93_change_pair/italy/00_9293_v1.jpg

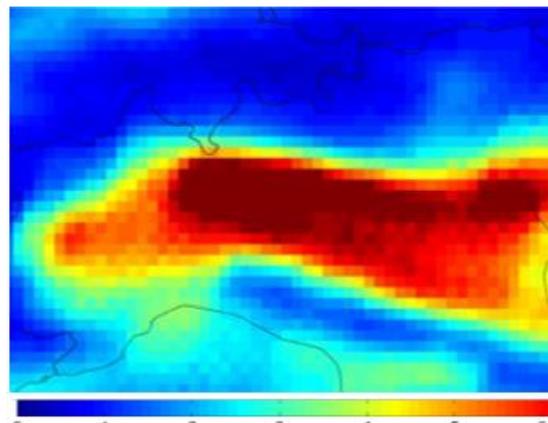


Figura 10. Valori medi della densità di NO_2 (10^{15} molecole cm^{-2}) rilevate nella colonna d'aria della troposfera dal 2003 al 2011 dal sensore SCIAMACHY del satellite ESA-ENVISAT. La mappa è stata gentilmente fornita dal Dott. Steffen Beirle, MPI Chemistry Mainz, Germania [8].

I tassi di urbanizzazione nel bacino padano hanno raggiunto picchi di 20 ha/giorno [9]. Ne è un esempio la provincia di Parma dove le aree cementificate sono raddoppiate dal 1881 (29,9 km^2) al 1960 (59,0 km^2), in proporzione all'aumento della popolazione, che è passata da 119.000 a 258.850 unità [10]. Dal 1960 al 2003 le aree urbane sono pressoché triplicate arrivando a 137,6 km^2 , mentre la popolazione è cresciuta di pochi punti percentuali arrivando a quota 295.000. Altrettanto pesante è lo sviluppo delle aree urbane nella pianura bresciana, anche in zone di grande pregio agricolo come la Franciacorta [11]. Tale sviluppo si è verificato soprattutto nelle zone di fondovalle e nella pianura, erodendo spazi naturali, suoli agricoli di pregio e aumentando il dissesto idrogeologico e il rischio idraulico.

Lo sviluppo delle aree urbane e industriali richiede inoltre la messa in opera di infrastrutture per la viabilità, per la distribuzione di acqua potabile e di acqua ad uso industriale e per la depurazione delle acque reflue che, a loro volta, presentano significativi impatti ambientali.

5. Agricoltura, zootecnia e inquinamento da azoto e fosforo

Il 40% circa del bacino del Po è destinato all'agricoltura ed alla zootecnia. La superficie agricola utilizzata è ~32.000 km^2 , con una netta prevalenza di colture cerealicole e foraggere destinate in larga parte agli allevamenti (Tabella 3). D'altra parte, le attività agricole e zootecniche sono alla base di produzioni alimentari pregiate quali Parmigiano-Reggiano, Grana Padano, Prosciutto di Parma; pomodoro e riso e decine di altri prodotti tipici che hanno un grande valore commerciale anche sul mercato internazionale (Fig. 11).

Tabella 4. Carico animale effettivo e popolazione equivalente corrispondente riferita all'anno 2000. Sono stati applicati i coefficienti di conversione (abitanti equivalenti per capo) IRSA-CNR [15]. I dati relativi al numero di capi sono stati ottenuti dalle statistiche ISTAT [13] e approssimati a 100.000 unità.

	Numero capi	Coefficienti di conversione	Abitanti equivalenti
Suini	6.300.000	1,95	11.505.000
Bovini	3.000.000	8,16	24.480.000
Avicoli	48.500.000	0,20	9.700.000
Totale			45.685.000

Il contributo dei vari settori produttivi all'inquinamento può essere stimato utilizzando i fattori di generazione descritti nel capitolo 4.

Sulla base delle stime svolte dall'Autorità di bacino del fiume Po si osserva che nelle acque superficiali l'inquinamento da fosforo è soprattutto di origine civile (56%), mentre quello da azoto è prevalentemente di origine zootecnica ed agricola (63%). Nelle acque sotterranee l'inquinamento da fosforo è trascurabile, mentre quello da azoto riveste una grande importanza ed è soprattutto di origine agro-zootecnica (Tabella 6).

Tabella 5. Contributo dei diversi settori produttivi alla formazione dei carichi reali di azoto e fosforo rilasciati dal fiume Po nel Mare Adriatico [6].

COMPARTO	AZOTO		FOSFORO	
	t/anno	%	t/anno	%
CIVILE	61.000	23	6.000	56
INDUSTRIALE	22.000	8	700	6
ZOOTECNICO	105.000	40	2.100	20
AGRICOLO	60.000	23	1.200	11
DILAVAMENTO	15.000	6	750	7

Tabella 6. Contributo dei diversi settori produttivi alla formazione dei carichi di azoto nelle acque sotterranee [6].

COMPARTO	AZOTO	
	t/anno	%
CIVILE	15.000	16
INDUSTRIALE	1.000	1
ZOOTECNICO	50.000	52
AGRICOLO	30.000	31
DILAVAMENTO	0	0

Come abbiamo visto, agricoltura e allevamento hanno un ruolo importante soprattutto per l'inquinamento da azoto. Per meglio comprenderne le ragioni, occorre esaminare l'evoluzione che questi settori hanno avuto nel corso degli ultimi 50 anni. Prendiamo anzitutto in considerazione i carichi di azoto e fosforo che il Po ha versato nel mare Adriatico (Fig. 12). Si può osservare che il periodo critico si ha tra il 1960 e il 1980, quando la quantità di fosforo passa all'incirca da 5.000 a 12.000 t/anno e la quantità di azoto da 60.000 a oltre 100.000 t/anno. Negli anni seguenti, se si esclude la grande piena del 2000, la quantità di fosforo tende a diminuire progressivamente per effetto della riduzione dei fosfati nei detersivi e dello sviluppo della depurazione delle acque reflue urbane, mentre il carico dell'azoto si mantiene su valori particolarmente elevati. La diminuzione che si osserva nel 2003 e dal 2005 al 2007 è, molto verosimilmente, dovuta alla grande siccità e al minor dilavamento dei suoli agricoli. Se prendiamo in considerazione l'evoluzione dei settori agricolo e zootecnico nello stesso periodo possiamo osservare che tra il 1960 e il 1980 si verificano cambiamenti sostanziali nella produzione agricola, nella consistenza del patrimonio zootecnico e nelle modalità di conduzione delle aziende (Tabella 7). La produzione di grano si riduce progressivamente, mentre aumenta, fino a quadruplicare, quella del mais; rilevante è la diminuzione della superficie destinata ai prati stabili. Questa trasformazione implica un maggiore uso di fertilizzanti di sintesi e comporta una maggiore lavorazione dei suoli.

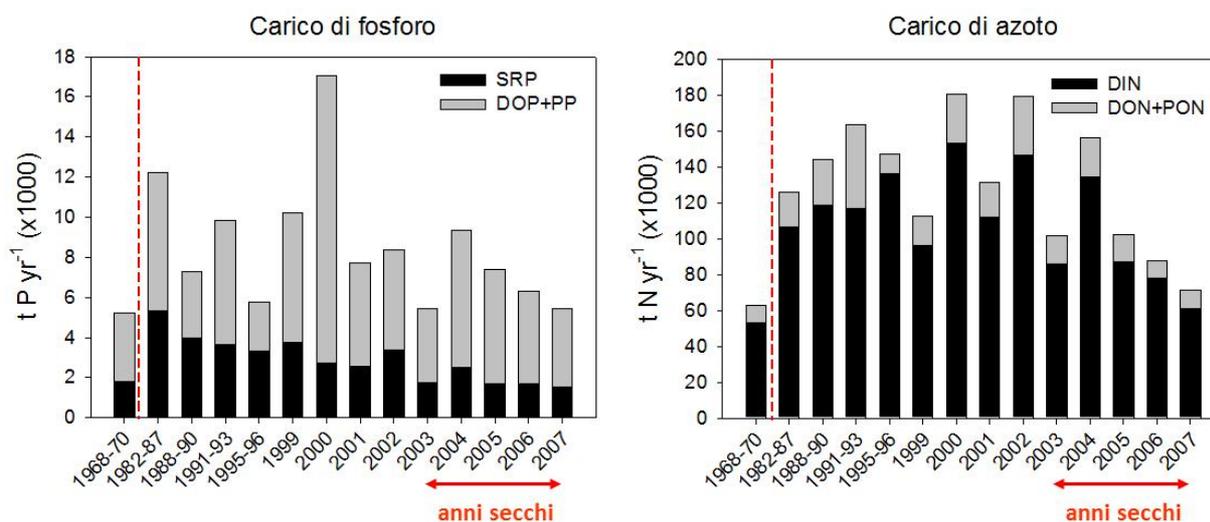


Figura 12. Evoluzione dei carichi di azoto e fosforo scaricati dal Po nel mare Adriatico dal 1968 al 2007. SRP: fosforo reattivo solubile; DOP+PP: fosforo organico disciolto+fosforo particellato; DIN: azoto inorganico disciolto (nitrico+nitroso+ammoniacale); DON+PON: azoto organico disciolto e particellato [16].

Tabella 7. Variazioni dal 1960 al 2010 della consistenza delle principali tipologie di allevamento, dell'estensione delle colture agricole prevalenti e del consumo di fertilizzanti azotati e fosfatici nel bacino del Po [17].

Anno	Bovini (milioni)	Suini (milioni)	Grano (km ²);	Mais (km ²);	Prati stabili (km ²);	Azoto (kt N yr ⁻¹).	Fosforo (kt N yr ⁻¹).
1960	4.2	1.2	7232	3688	8051	147	60
1970	4.0	2.5	7098	3504	5806	170	63
1980	4.2	5.1	5086	5561	5393	202	60
1990	3.8	5.0	3936	6177	4475	248	61
2000	3.0	5.9	2785	7027	3806	275	39
2010	2.8	6.7	3049	6559	3128	175	32

In parallelo, si ha una trasformazione del settore zootecnico, con un'impennata del numero dei capi suini che in dieci anni raddoppia e una progressiva flessione del numero dei bovini. Le modificazioni degli assetti colturali e della tipologia del patrimonio zootecnico sono accompagnate anche dal cambiamento della struttura delle imprese agro-zootecniche: diminuiscono le aziende con un piccolo numero di capi ed aumentano quelle di grandi dimensioni. In pratica si passa da un sistema di sussistenza ad un'organizzazione di tipo industriale. In particolare, si ha un deciso incremento degli allevamenti di suini con più di 1.000 capi e di bovini con più di 100 capi.

Nell'allevamento bovino, viene progressivamente abbandonata la stabulazione fissa con lettiera in favore dell'allevamento semi-brado, con gli animali liberi di muoversi in aree recintate. Queste profonde modificazioni delle tipologie e delle modalità di allevamento hanno come conseguenza la trasformazione della gestione dei reflui zootecnici: aumenta la quota dei liquami sia suinicoli che bovini e diminuisce la quantità di letame bovino. In aggiunta, in numerose aziende si presenta un'eccedenza di reflui rispetto alla disponibilità di suolo su cui effettuare gli spandimenti, per cui letame e liquame che prima erano una risorsa per il mantenimento della fertilità dei suoli agricoli diventano un rifiuto da depurare e/o da smaltire.

Il letame prodotto dall'allevamento bovino tradizionale (stabulazione fissa con lettiera) è costituito da una miscela di escrementi e paglia. Gli escrementi contengono una notevole quantità di batteri cellulolitici che decompongono lentamente la paglia assimilando nel contempo azoto e fosforo che restano fissati nella matrice organica. Il materiale ammassato nel letamaio si riscalda progressivamente fino a raggiungere temperature di 55-60 °C che provocano una sorta di pastorizzazione del materiale in decomposizione. Nella gestione tradizionale, quando il letamaio raggiunge una certa dimensione (in genere dopo un paio di mesi di stoccaggio), il letame viene trasferito e stoccato in prossimità dell'area in cui avverrà lo spandimento. La rottura della massa ne provoca il raffreddamento che causa la sostituzione della microflora mesofila con attinomiceti che

completano il processo di maturazione della matrice organica favorendone l'umificazione. Nel giro di tre-quattro mesi si forma così un materiale stabilizzato e ricco di azoto, fosforo e microelementi che viene poi sparso sui suoli ed interrato con l'aratura. Nel suolo avviene quindi il lento rilascio delle sostanze nutritive che possono essere assimilate dalla vegetazione, con un minimo impatto in termini di dilavamento superficiale e percolazione.

Con la stabulazione libera, l'impiego di paglia è ridotto al minimo o addirittura assente. Il lavaggio delle stalle o dei paddock viene fatto con acqua e, anziché letame solido, si forma una miscela fluida non palabile detta anche liqui-letame. In questa matrice avvengono processi di mineralizzazione della componente organica con formazione di azoto ammoniacale e fosforo minerale solubili. Lo spandimento causa dunque il rilascio di azoto e fosforo che si accumulano nel suolo; l'azoto ammoniacale può anche essere rilasciato in atmosfera per volatilizzazione. Nei suoli sciolti e ben areati, l'azoto ammoniacale viene ossidato a nitrato grazie alla nitrificazione batterica. Come abbiamo visto nel capitolo 2, mentre lo ione ammonio (NH_4^+) si lega alle particelle del suolo a carica negativa, lo ione nitrico (NO_3^-) viene respinto e va facilmente in soluzione. Se il suolo è poco permeabile, l'azoto nitrico verrà dilavato e trasportato nei canali e da qui ai corsi d'acqua principali. Se invece il suolo è permeabile, ad esempio nelle aree delle conoidi alluvionali, il trasporto avverrà per percolazione verso le falde acquifere. Al carico dei liquami zootecnici si somma il contributo della fertilizzazione con concimi di sintesi, largamente impiegati nella coltivazione di grano, mais, pomodoro, ecc. Va qui ricordato che anche i reflui urbani rilasciano quantità significative di azoto e fosforo ai corsi d'acqua superficiali. Per quanto riguarda l'azoto si può però ritenere che le quantità in gioco siano nettamente più basse di quelle del comparto agro-zootecnico [18, 19].

In Emilia-Romagna le zone di conoide (Fig. 13a) sono intensamente sfruttate con una produzione agro-zootecnica di grande pregio che può essere letta con la "geografia dei salumi e dei formaggi": ad esempio, da ovest a est troviamo in successione la pancetta e la coppa piacentina, il prosciutto di Parma e il salame di Felino, lo zampone di Modena e la mortadella di Bologna e le due aree lattiero casearie di grana padano e parmigiano-reggiano (Fig. 11). Al grande valore del comparto agro-alimentare corrisponde un marcato inquinamento da nitrati delle acque di falda, al punto che in alcune zone le acque non sono potabili (Fig. 13b).

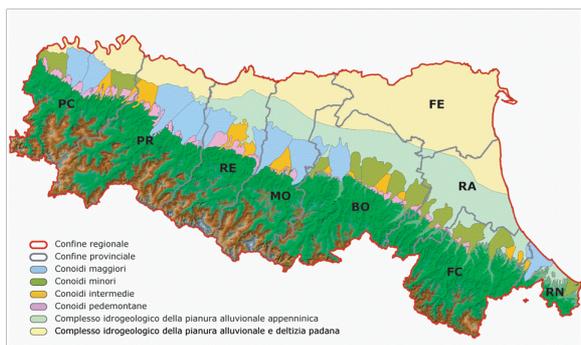


Figura 13a. Distribuzione delle diverse tipologie di conoide alluvionale lungo la fascia pedemontana dell'Appennino emiliano [20].

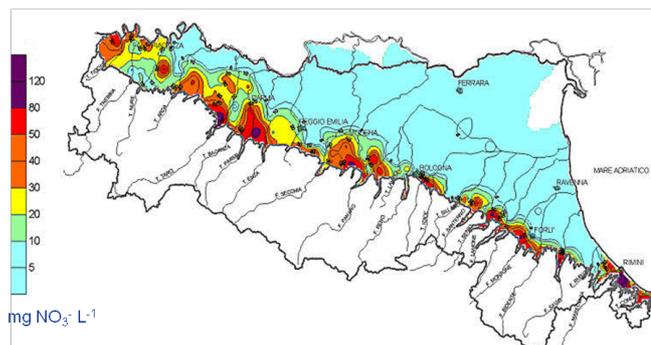


Figura 13b. Distribuzione dei nitrati nelle acque sotterranee lungo nella zona delle conoidi lungo la fascia pedemontana dell'Appennino emiliano nel 1998 [20].

6. Inquinamento da sostanze organiche di sintesi, idrocarburi e metalli pesanti

Nel paragrafo precedente abbiamo visto come agricoltura e allevamento animale abbiano un impatto significativo sulla qualità delle acque in termini di inquinamento da azoto e fosforo, i cosiddetti nutrienti che sono responsabili dell'eutrofizzazione delle acque superficiali e dell'inquinamento di quelle di falda (si veda il capitolo 6). L'agricoltura è anche causa dell'immissione nell'ambiente di composti organici di sintesi largamente impiegati come fitofarmaci o pesticidi. Nel bacino del Po è presente un pesante inquinamento di origine industriale che ha provocato la contaminazione di acque e sedimenti. Nei sedimenti in particolare, sono ancora presenti decine se non centinaia di principi attivi di pesticidi di uso agricolo e di sostanze di uso industriale, ad esempio DDT, PCB, idrocarburi policiclici aromatici e metalli pesanti [21, 22]. Le concentrazioni di questi composti raggiungono picchi particolarmente elevati a valle dei grandi centri abitati: la situazione peggiore si verifica a valle del fiume Lambro per l'elevato carico di metalli pesanti e contaminanti organici che provengono da un bacino ad elevata densità industriale [23]. I composti più frequentemente rinvenuti sono utilizzati in agricoltura. In un'indagine condotta nel 2008 (<http://www.isprambiente.gov.it/files/fitosanitari-9-giugno/paris.pdf>) di 300 sostanze ricercate nelle acque di superficie e sotterranee italiane ne sono state ritrovate 118, di queste 48 erano erbicidi, 37 insetticidi e 24 fungicidi. Quando ricercati con adeguate tecniche analitiche, si trovano anche principi attivi di farmaci e droghe [24].

Un capitolo a parte meritano quelle sostanze, chiamate “distruttori endocrini”, che hanno un'azione biochimica simile a quella degli ormoni e che possono causare serie interferenze con i processi metabolici e dello sviluppo degli animali acquatici, ad esempio nello sviluppo sessuale. Tra queste ci sono numerose sostanze presenti nei detersivi e impiegate nella produzione di materie plastiche.

Nel bacino padano si sono verificati gravi casi di inquinamento e sono tuttora presenti siti contaminati di interesse nazionale, individuati dai DM 22/97, detto decreto Ronchi, DM 471/99 e Dlgs 152/06.

Nel 1975, le acque di falda nel comune di Milano risultarono contaminate da solventi clorurati [25]. Questi composti chimici che includono trielina, percloroetilene, cloroformio, bromoformio, cloruro di metilene ecc. venivano usati in svariate attività industriali che andavano dal trattamento dei metalli alle lavanderie. I solventi esausti venivano spesso smaltiti nel suolo e da qui percolavano verso la falda. Tale inquinamento mise in crisi tutta l'area urbana di Milano e la pubblica amministrazione dovette avviare piani di depurazione delle acque destinate al consumo umano e di risanamento degli acquiferi.

L'ACNA di Cengio, in provincia di Cuneo, è stata un'importante azienda chimica attiva per oltre un secolo, fino al 1999. Nata come industria di esplosivi per anni ha prodotto pigmenti e coloranti e successivamente intermedi per la chimica industriale e in particolare per coloranti, farmaceutici, fitofarmaci, industria della gomma, antiparassitari, inchiostri. Le materie prime, gli intermedi ed i prodotti finali coinvolti nella produzione ACNA erano quasi tutte sostanze tossico-nocive, molte delle quali cancerogene. Tale attività ha causato l'inquinamento delle acque e gravi problemi ambientali e sanitari nell'alta fin dai primi anni del ventesimo secolo. Il problema è apparso in tutta la sua gravità a partire dagli anni '70 del secolo scorso quando si costituirono movimenti e comitati che portarono alla chiusura dell'azienda e all'avvio della bonifica del sito.

La Caffaro di Brescia ha prodotto PCB (policlorobifenili) dal 1932 al 1983. I PCB sono inquinanti organici persistenti (POP – persistent organic pollutants) ad elevata tossicità, paragonabile a quella della diossina. Sono composti molto stabili con prestazioni elevate come isolanti termici ed elettrici. Erano usati in condensatori e trasformatori elettrici, nei circuiti termici ed idraulici, come lubrificanti e come additivi in vernici, pesticidi, sigillanti, ritardanti di fiamma ecc. Le indagini svolte dall'Azienda Sanitaria Locale di Brescia dal 1999 in poi hanno rilevato nei suoli concentrazioni di PCB fino a 5000 volte superiori ai limiti di legge.

Il polo industriale di Mantova comprende aziende petrolchimiche, chimiche di sintesi, metallurgiche e cartiere. Negli ultimi anni, il significativo aumento dei tumori nella popolazione esposta all'inquinamento ha portato ad individuare la presenza di diossina, mercurio, arsenico, cloro, idrocarburi e di una numero elevato di altre sostanze di sintesi che hanno inquinato falde suoli e atmosfera.

Il fiume Lambro, che attraversa il sottosuolo di Milano, è uno dei corsi d'acqua più inquinati d'Italia. I sedimenti hanno accumulato negli anni grandi quantità di metalli pesanti e POP scaricati dalle industrie che hanno fatto la storia del boom economico del nostro Paese. L'ultimo e forse più

eclatante caso di inquinamento si è verificato il 24 febbraio 2010, quando una quantità imprecisata di idrocarburi ed oli finirono nel depuratore di Monza e da qui nel fiume.

1. Aree protette, biodiversità e specie invasive

Numerosi corpi idrici e le relative aree marginali appartengono a parchi regionali o ad aree protette da convenzioni sia nazionali che internazionali. Relativamente ai corsi d'acqua, troviamo numerosi parchi fluviali regionali; citiamo ad esempio: Po e Orba, Ticino, Oglio Nord e Sud, Mincio, Basso Trebbia, Stirone, Taro e delta del Po Veneto ed Emiliano-Romagnolo; sono presenti inoltre oasi naturalistiche: ad esempio Le Bine, lungo il fiume Oglio, e le Paludi di Ostiglia).

Il principale strumento per la protezione e la conservazione della biodiversità è costituito da Rete Natura 2000 istituita ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE) per garantire il mantenimento a lungo termine degli habitat naturali e delle specie di flora e fauna minacciati o rari nel territorio dell'Unione Europea. Rete Natura 2000 è costituita dai Siti di Interesse Comunitario (SIC) e dalle Zone di Protezione Speciale (ZPS), identificati dagli Stati Membri in accordo con le Direttive Habitat e Uccelli (2009/147/CE) e attualmente in fase di conversione in Zone Speciali di Conservazione (ZSC). Nelle aree di Rete Natura 2000 sono consentite attività antropiche, purché ne sia garantita una gestione ecologica ed economica sostenibile. In particolare, è prevista la conservazione anche degli habitat semi-naturali, prevalentemente in ambito agricolo, ai quali sono legate numerose specie animali e vegetali ormai rare e minacciate che possono essere tutelate solo attraverso attività agro-zootecniche di tipo tradizionale.

Nel bacino idrografico del Po è rappresentata la maggior parte degli habitat di interesse naturalistico presenti in Italia, specialmente quelli legati ecologicamente agli ambienti acquatici (Tabella 8). Nei contesti di pianura, questi habitat rappresentano i residui della naturalità diffusa che caratterizzava il bacino del Po prima dell'avvento dell'industrializzazione e dello sviluppo agricolo moderno. Si tratta di sistemi di piccola estensione, spesso frammentati, ma che hanno un grande valore in quanto possono costituire gli elementi spaziali e funzionali di una rete ecologica minima. Questo sistema che segue il profilo dei corsi d'acqua costituisce l'ultimo baluardo per la conservazione della diversità di specie della pianura.

Il bacino del Po ospita però decine di specie vegetali e animali alloctone, alcune delle quali hanno avuto un'ampia diffusione a partire dalla metà del ventesimo secolo (Fig. 14).

Valutazioni svolte fino al 2005 segnalano la presenza di 83 specie animali aliene, pari a circa il 75% della fauna alloctona rinvenuta nelle acque interne italiane [26]. Probabilmente la xenodiversità reale è molto più elevata perché mancano informazioni soprattutto sugli invertebrati. Tra le specie a

maggiore impatto si annoverano la nutria o castorino, una specie introdotta e allevata tra il 1960 e il 1970 per la produzione di pellicce. Il rilascio nell'ambiente, nel tratto tra Pavia e Piacenza, coincise con il crollo del mercato di questo settore. Questo animale molto prolifico è diffuso in tutto il bacino e può provocare danni agli argini, in quanto scava tane lunghe e profonde, e alla vegetazione di cui si nutre. La cozza zebrata, *Dreissena polymorpha*, arrivata nel lago di Garda dall'Europa centrale con le imbarcazioni dei turisti tedeschi ed austriaci, ha colonizzato numerosi laghi e corsi d'acqua. In via di diffusione è anche *Trachemys scripta elegans* una tartaruga ornamentale che compete con successo con *Emys orbicularis*, la tartaruga d'acqua indigena.

Tabella 8. Principali habitat acquatici presenti nel bacino idrografico del fiume Po.

CODICE NATURA 2000 31 Acque stagnanti	3130 - Acque stagnanti, da oligotrofe a mesotrofe, con vegetazione dei Littorelletea uniflorae e/o degli Isoëto-Nanojuncetea; 3140 - Acque oligomesotrofe calcaree con vegetazione bentonica di <i>Chara</i> spp. 3150 - Laghi eutrofici naturali con vegetazione del Magnopotamion o Hydrocharition
CODICE NATURA 2000 32 Acque correnti - tratti di corsi d'acqua a dinamica naturale o seminaturale (letti minori, medi e maggiori) in cui la qualità dell'acqua non presenta alterazioni significative	3220 - Fiumi alpini con vegetazione riparia erbacea 3230 - Fiumi alpini con vegetazione riparia legnosa a <i>Myricaria germanica</i> 3240 - Fiumi alpini con vegetazione riparia legnosa a <i>Salix eleagnos</i> 3260 - Fiumi delle pianure e montani con vegetazione del Ranunculion fluitantis e Callitricho- Batrachion 3270 : Fiumi con argini melmosi con vegetazione del <i>Chenopodion rubri</i> p.p e <i>Bidention</i> p.p.);
CODICE NATURA 2000 64 Praterie umide seminaturali con piante erbacee alte	6410 - Praterie con <i>Molinia</i> su terreni calcarei, torbosi o argilloso-limosi (<i>Molinion caeruleae</i>) 6430 - Bordure planiziali, montane e alpine di megaforbie idrofile
CODICE NATURA 2000 71 Torbiera acide di sfagni	7110* - Torbiere alte attive 7120 - Torbiere alte degradate ancora su-sceutibili di rigenerazione naturale 7140 - Torbiere di transizione e instabili
CODICE NATURA 2000 72 Paludi basse calcaree	7210*: Paludi calcaree con <i>Cladium mariscus</i> e specie del Caricion davallianae; 7220* - Sorgenti petrificanti con formazione di tufi (Cratoneurion); 7230 - Torbiere basse alcaline
CODICE NATURA 2000 91: Foreste dell'Europa temperata	91E0* : Foreste alluvionali di <i>Alnus glutinosa</i> e <i>Fraxinus excelsior</i> (Alno-Padion, Alnion incanae, Salicion albae)
CODICE NATURA 2000 92 Foreste mediterranee caducifoglie	92A0 - Foreste a galleria di <i>Salix alba</i> e <i>Populus alba</i>);

Nei corsi d'acqua e nei laghi si verifica una pesante contrazione delle popolazioni ittiche indigene di pari passo con il sopravvento di alcune specie alloctone. Il fattore scatenante è stato identificato con la cosiddetta "globalizzazione ittica" dovuta all'introduzione per scopi commerciali o ricreativi di un elevato numero di specie estranee [27]. Per quanto concerne la fauna ittica, prima del 1900 risultano introdotte 7 specie, tra cui la carpa comune e il pesce gatto "nostrano" (*Ictalurus melas*);

tra il 1900 e il 1950 arrivano altre 5 specie e, negli anni successivi si ha un incremento esponenziale con 26 nuove specie, soprattutto negli ultimi 10-20 anni (Tabella 9). Per le specie alloctone il bacino del Po può dunque essere considerato come una sorta di “hub” tra l'Italia e il resto dell'Europa.

Tabella 9. Incremento delle specie introdotte nelle acque del bacino Padano negli ultimi 200 anni [27].

periodo	Numero specie
Prima del 1850	3
1850-1900	4
1900-1950	5
Dal 1950 al 2010	26

L'introduzione volontaria delle specie ittiche è stata accompagnata dalle profonde alterazioni degli alvei e delle golene fluviali e delle aree litoranee dei laghi. Sono scomparsi ecosistemi e habitat di primaria importanza per molte specie pelagiche o di acqua corrente, in quanto aree di foraggiamento, riproduzione o nursery. Molte popolazioni indigene hanno dunque sofferto uno svantaggio competitivo a favore delle specie aliene. In parallelo, è cresciuto l'inquinamento delle acque che ha favorito specie opportuniste e generaliste rispetto a quelle indigene e specializzate. In aggiunta, molte specie aliene sono state favorite dal fatto di non avere predatori a differenza dei loro competitori locali. In alcuni casi, specie di interesse commerciale e/o ricreativo sono state decimate dalla pesca eccessiva o addirittura illegale: è il caso dei salmonidi nei corsi d'acqua montani che sono di grande interesse per la pesca amatoriale e dello storione il cui stock è stato sovrasfruttato per scopi commerciali. Ad oggi, delle 48 specie ittiche indigene segnalate nel bacino del Po, 47 sono ritenute fortemente danneggiate e alcune di esse sono prossime all'estinzione locale.

Le alterazioni idro-morfologiche accompagnate all'eccessivo prelievo d'acqua hanno infine effetti pesanti sul deflusso residuo [27]. Su questo tema si è aperto un confronto tra i diversi portatori di interesse e le pubbliche amministrazioni per definire regole e criteri in merito alla quantità minima di acqua da lasciare negli ambienti fluviali a tutela delle componenti biologiche. Ad oggi, le amministrazioni regionali stanno applicando il cosiddetto deflusso minimo vitale (DMV). Il DMV viene in genere calcolato su base idrologica, con correttivi che considerano i fattori ambientali e naturali da tutelare. Nel bacino del Po si applica, in prima approssimazione, un valore fisso pari al 10% della portata media annua. Sono invece oggetto di sperimentazione gli effetti biologici del DMV. Per il futuro, la Commissione Europea sta predisponendo i criteri per l'applicazione del

flusso ecologico (FE), ovvero le portate minime che garantiscono il mantenimento del buono stato ecologico secondo la direttiva quadro sulle acque (2000/60/CE).



Tartaruga dalle orecchie rosse (1)



Siluro (2)



Nutria (3)



Cozza tigrata (4)



Gambero killer (5)



Indaco bastardo (6)

Figura 14. Alcune delle specie invasive che hanno avuto maggiore impatto nel bacino del Po

(1) *Trachemys scripta elegans*:

http://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Trachemys_scripta_elegans#mediaviewer/File:2004_04_18_Trachemys_aspect1.5.jpg © Massimo Lazzari

(2) *Silurus glanis*: http://commons.wikimedia.org/wiki/Silurus_glanis#mediaviewer/File:Silurus_glanis_01.jpg ©Dieter Florian

(3) *Myocastor coypus*:

http://commons.wikimedia.org/wiki/Myocastor_coypus#mediaviewer/File:Charlottenburg_muskrat.jpg ©Henri Sivonen

(4) *Procambarus clarkii*:

http://commons.wikimedia.org/wiki/Procambarus_clarkii#mediaviewer/File:Procambarus_clarkii_top.jpg © Duloup

(5) *Dreissena polymorpha*: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/21/Dreissena_polymorpha2.jpg, cortesia dell'U.S. Geological Survey

(6) *Amorpha fruticosa*: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3d/Amorpha_fruticosa_05.JPG

2. Il cambiamento climatico e le sfide per il futuro.

Nel Mediterraneo gli effetti del cambiamento climatico si stanno manifestando con crescente frequenza e intensità, al punto che gli uragani mediterranei (*Medicane*) sembrano avere un crescente impatto [29]. In particolare, il bacino del Po presenta un'elevata vulnerabilità [30].

Le temperature medie annuali in Italia sono cresciute negli ultimi due secoli di 1,7 °C, ma il contributo più rilevante è avvenuto in questi ultimi 50 anni, per i quali l'aumento è stato di circa 1,4 °C. Questa tendenza è particolarmente accentuata nel bacino del Po, dove dal 1960 al 2010 la

temperatura media è aumentata di circa 2 °C: da qui a fine secolo, gli scenari peggiori prevedono un aumento di 3-4 °C [31].

Su tutta l'area mediterranea è prevista una diminuzione delle precipitazioni, con un gradiente negativo Nord-Sud particolarmente accentuato soprattutto nel periodo invernale: nel Nord Italia si avrà un incremento medio compreso tra il 10 e il 30%, mentre al Sud e nelle isole si potrà verificare una riduzione compresa tra -10 e -30% con picchi di -50% [32]. In alcune zone del bacino Padano, ad esempio a Pallanza sul lago Maggiore, dal 1955-1990 al 2000-2012 la precipitazione media annuale è passata da 1760 a 1925 mm e sono cresciute le piogge di forte intensità e con durata inferiore ai 60 minuti [33]. Le previsioni al 2050 indicano una generalizzata diminuzione delle portate fluviali medie annue, fino ad oltre il -30%. In questo quadro climatico, potrà verificarsi una significativa riduzione della disponibilità idrica nel periodo estivo, con perdite di oltre 50% rispetto al periodo di riferimento 1961-1990.

Negli ultimi venti anni (1992-2013), le portate del fiume Po hanno manifestato una forte variabilità, caratterizzata da piene di forte intensità come nel 1994 e nel 2000, e da prolungati periodi di magra (Fig. 15). Di particolare rilievo sono le portate medie annuali registrate dal 2003 al 2007 che si collocano decisamente al di sotto della media storica.

I sintomi di una possibile riduzione della disponibilità di acqua nel bacino del Po si sono già manifestati dal 2003 al 2007 e, in una certa misura, nel 2012. In particolare, nel 2007 la portata annua del Po è stata di $26,3 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{anno}$, a fronte di una media del periodo 1961-1990 di $46,4 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{anno}$ [30, 34]. La rilevanza di tali variazioni può essere meglio compresa confrontando la disponibilità con il fabbisogno idrico: il valore minimo del 2007 è infatti di poco superiore alla richiesta di $22 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{anno}$ [6]. L'80% dei prelievi è destinato all'irrigazione nel periodo estivo, per cui in queste condizioni si può verificare un deficit idrico con gravi conseguenze per l'agricoltura.

Le condizioni di spinta siccità che si sono verificate in quegli anni sono state pesantemente influenzate dall'alterazione dell'assetto fluviale. Infatti, soprattutto sul versante appenninico e delle Alpi sud-occidentali, è andato accentuandosi il regime torrentizio di numerosi corsi d'acqua. Periodi prolungati di siccità sono stati accompagnati da piene improvvise e di breve durata (flash flood). Complessivamente, la forte variabilità idrologica lascia prevedere un aumento della vulnerabilità dell'intero sistema idrografico, che risulta così maggiormente esposto ai rischi connessi con la siccità estiva e il dissesto idrogeologico [30, 33]. In tali condizioni diminuiscono anche la capacità di laminazione delle piene e di ritenzione delle masse idriche ed aumentano i fenomeni di erosione che sono alla base del dissesto.

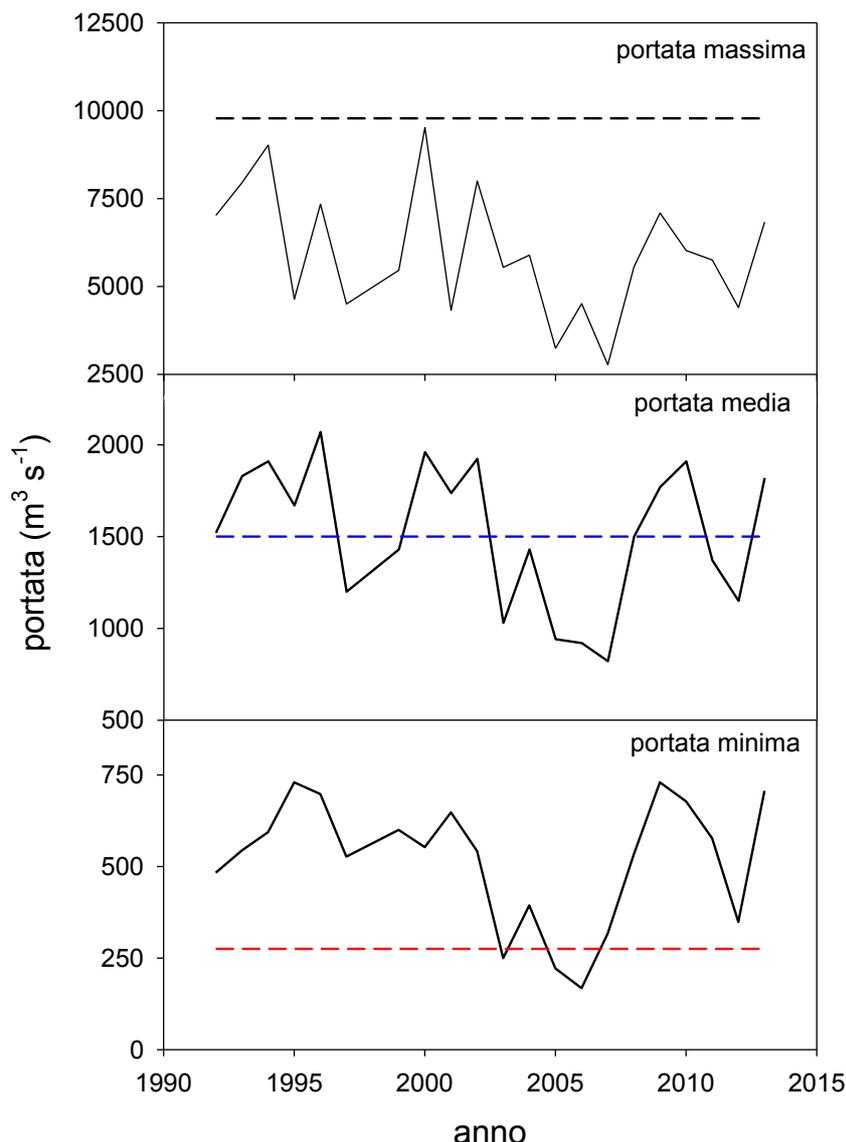


Figura 15. Confronto delle variazioni delle portate minime, medie e massime del fiume Po dal 1992 al 2013 con le medie del periodo 1923-1990 misurate nella stazione di chiusura del bacino idrografico a Pontelagoscuro. Rielaborazione dei dati degli Annali Idrologici di ARPA Emilia-Romagna [35].

La variabilità dei fenomeni idrologici è amplificata dagli effetti dell'innalzamento della temperatura, in particolare dallo scioglimento e dall'arretramento dei ghiacciai e dalla diminuzione della copertura nevosa nell'arco alpino. Ciò comporta una minore disponibilità idrica nel periodo estivo, quando è massima la richiesta.

Le marcate variazioni dell'ambiente fisico hanno riflessi rilevanti sulla capacità di adattamento di numerose specie vegetali e animali; in particolare, ci si può attendere l'impoverimento o l'estinzione locale di numerose specie, molte delle quali endemiche e come tali adattate alle condizioni climatiche precedenti. Potranno infine cambiare la diffusione e la virulenza degli agenti patogeni, alcuni dei quali cominciano ad avere una certa incidenza per la presenza dei loro vettori.

Ne è un esempio la zanzara tigre alla quale sono collegate tipiche malattie tropicali come la Chikungunya, la Dengue e la febbre del Nilo.

3. Le risposte ai problemi ambientali

Le risposte istituzionali ai problemi che si presentano nel bacino del Po passano attraverso le direttive europee (Tabella 9), la legislazione nazionale, le norme regionali e la pianificazione. Particolare importanza rivestono la pianificazione integrata a livello di bacino idrografico, i piani di tutela delle acque, i piani di spandimento agronomico, la regolamentazione delle attività estrattive di materiali inerti e della derivazione di acqua.

Tabella 9. Principali direttive Europee che si applicano alla gestione degli ecosistemi acquatici e dei bacini idrografici corrispondenti

91/676/CEE	Protezione delle acque dall'inquinamento da nitrati di origine agricola
91/271/CEE	Trattamento delle acque reflue urbane
2000/60/CE	Direttiva quadro sulle acque
2006/118/CE	Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento
2007/60/CE	Valutazione e gestione dei rischi dalle alluvioni
2008/60/CE	Marine strategy directive
2009/147/CE	Conservazione degli uccelli selvatici
92/43/CE	Conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche

9.1. Risposte al cambiamento climatico

Di fronte a cambiamenti climatici così significativi si presentano diverse possibili strategie che devono essere considerate in modo integrato e sinergico [30]:

- riduzione delle emissioni di gas serra,
- mitigazione degli effetti del cambiamento climatico,
- adattamento delle attività antropiche e degli ecosistemi naturali al cambiamento.

Secondo l'OCSE, la riduzione delle emissioni può essere raggiunta migliorando l'efficienza di attività produttive, trasporti e generazione elettrica. In particolare dovranno essere impiegate le nuove "tecnologie verdi", dovrà essere migliorata l'efficienza energetica e dovranno essere adottati processi per uno sviluppo pulito (Clean Development Mechanism).

La mitigazione può essere attuata controllando le concentrazioni dei gas serra in atmosfera, ad esempio con interventi di riforestazione. Sia la riduzione delle emissioni che la mitigazione sono processi che richiedono tempi lunghi. In tempi più brevi si dovrà ricorrere a misure di adattamento che dovranno essere sostenute con adeguati finanziamenti. Nell'ambito di queste misure, devono trovare adeguata considerazione i temi della conservazione e riqualificazione degli ecosistemi delle acque interne e di transizione che svolgono un ruolo cruciale nella conservazione delle riserve idriche e della qualità delle acque superficiali.

Le emergenze e le priorità di intervento sono contenute nella *Strategia nazionale per l'adattamento ai cambiamenti climatici* (SNACC) istituita dal Ministero dell'Ambiente, del Territorio e della Tutela del Mare (<http://www.minambiente.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0#>). Nella SNACC hanno ricevuto particolare attenzione sia le risposte reattive al fabbisogno idrico, che ad esempio prevedono la bacinizzazione fluviale, sia le risposte pro-attive, basate sulla riqualificazione fluviale, ovvero sul ripristino della funzionalità e dei processi ecologici dei corsi d'acqua.

3.2. Risposte al fabbisogno idrico

Risposte reattive: bacinizzazione fluviale. La prima risposta al fatto che ci sia una minore disponibilità idrica, dovuta all'alternarsi di prolungati periodi di siccità e di piene lampo, può essere la costruzione di dighe o traverse che formano invasi in cui è possibile raccogliere l'acqua quando è disponibile e rilasciarla successivamente a valle, in caso di necessità. I benefici sono immediatamente percepiti e il problema può trovare una soluzione in tempi relativamente rapidi. Gli effetti negativi sono meno evidenti e, soprattutto, possono verificarsi su tempi più lunghi, anche con un notevole ritardo rispetto alla costruzione della diga.

Nei sistemi fluviali, dighe e sbarramenti interrompono il continuum fluviale e modificano anche profondamente le interazioni laterali del corso d'acqua con il sistema terrestre confinante. Si tratta dunque di interazioni che hanno notevole incidenza sull'organizzazione e sui processi dell'ecosistema.

A monte dello sbarramento l'innalzamento dei livelli idrici causa l'inondazione degli ecosistemi terrestri che vengono sommersi e quindi perdono le loro caratteristiche originarie. Parallelamente, processi che interessavano solo la componente terrestre hanno ora effetti diretti sul corpo idrico. Ad esempio, nutrienti e sostanze inquinanti che erano trattenuti nei suoli asciutti con condizioni ossidanti, diventano solubili per effetto del metabolismo riducente che si instaura nei suoli sommersi.

A monte dello sbarramento la diminuzione della velocità della corrente e l'aumento dei tempi di ritenzione idraulica inducono la comparsa di condizioni e processi che sono tipici di laghi e zone umide. A monte, nel lago, si avranno lunghi periodi di sommersione che possono causare anossia e condizioni riducenti nei suoli sommersi. A valle si avranno effetti opposti, con suoli e sedimenti esposti all'aria e dunque potenzialmente ossici.

Le variazioni della velocità della corrente e del battente idrico hanno effetti sui processi fisici che avvengono nell'ecosistema acquatico, in particolare sulle condizioni termiche. A loro volta, le variazioni delle condizioni fisiche influiscono su organizzazione, struttura e processi delle comunità biotiche e, in ultima analisi, sui processi biogeochimici che avvengono nell'ecosistema acquatico.

A valle degli sbarramenti possono verificarsi "hydropreaking", abbassamento e canalizzazione dell'alveo bagnato. Tali effetti sono misurabili a scale spaziali e temporali anche molto diverse tra di loro. Le alterazioni che interessano l'ecosistema fluviale e costiero in seguito alla creazione di uno sbarramento si manifestano ed evolvono lentamente ed interferiscono potenzialmente con altre pressioni antropiche, il più delle volte amplificandole. Di seguito sono elencate le perturbazioni di maggiore rilievo.

Modifiche idrologiche. Lo sbarramento causa una cesura del corso d'acqua: a monte si forma un lago, a valle si ha una profonda canalizzazione con portate minime.

Deflusso minimo vitale. L'interruzione del continuum fluviale determina una profonda alterazione dell'ecosistema. La diminuzione del deflusso al di sotto di certe soglie può causare perdita di specie, in particolare di pesci e di macroinvertebrati, che richiedono corrente elevata o presenza di acque profonde.

Riduzione di trasporto solido. Lo sbarramento funziona da trappola per i solidi in sospensione che non sono trasportati verso valle. Ne consegue una diminuzione del trasporto solido che si può propagare fino alla fascia marina costiera, dove si possono verificare fenomeni di erosione e regressione della linea di costa.

Modifiche della qualità dell'ecosistema e dell'acqua. Possono mutare temperatura, concentrazioni ioniche, torbidità, concentrazione dei nutrienti. Nel lago le condizioni lentiche possono favorire l'eutrofizzazione e la stratificazione delle masse d'acqua. In presenza di stratificazione, in acque eutrofiche si può verificare deficit di ossigeno sul fondo. In tali condizioni possono essere modificati anche i rapporti tra i vari nutrienti algali con effetti sulla composizione delle comunità fitoplanctoniche e possibile comparsa di specie che producono tossine.

Cambiamenti delle falde a valle dello sbarramento. I livelli di falda possono modificarsi soprattutto nelle zone di pianura con aumenti a monte e diminuzioni a valle dello sbarramento.

Innesco di movimenti franosi. La presenza di movimenti franosi in corrispondenza delle sponde di un vaso è una delle cause più frequenti che provocano l'interramento del bacino o, nei casi più estremi, pesanti alterazioni degli equilibri geomorfologici dell'intera area. Le frane e gli smottamenti sono per lo più causati dall'infiltrazione di acqua e dal cedimento delle sponde durante lo svasso.

Variazioni delle condizioni edafiche e microclimatiche. Il lago generato dallo sbarramento può alterare le caratteristiche dell'area modificando le condizioni edafiche, il microclima e gli habitat. Si possono pertanto verificare variazioni della struttura delle comunità biologiche. Frequentemente si assiste alla scomparsa di specie indigene e alla comparsa di specie aliene.

Risposte proattive: riqualificazione fluviale, ripristino della funzionalità e dei processi ecologici.

La riqualificazione ecologica ha l'obiettivo di recuperare il ruolo del fiume come componente fondamentale responsabile della struttura e dell'evoluzione del mosaico ambientale delle pianure alluvionali [36, 37]. La tutela e la valorizzazione del territorio non sono in contrasto con le attività produttive, ma identificano processi e strategie eco-sostenibili che interessano uso dei suoli e delle risorse idriche a sostegno dell'agricoltura; manutenzione e gestione dei sedimenti; sicurezza idraulica; rinaturalizzazione delle fasce fluviali; promozione dell'agricoltura ecocompatibile; ripristino e conservazione della buona qualità delle acque; riqualificazione del paesaggio fluviale.

L'analisi delle pressioni e dello stato del sistema idrografico padano, del Po in particolare, mette in evidenza condizioni di forte degrado della struttura e del funzionamento dell'ecosistema fluviale; ciò è dovuto soprattutto all'interruzione della continuità fluviale longitudinale e della connettività laterale. Il cambiamento climatico contribuirà prevedibilmente a peggiorare questa situazione se non si adottano misure in grado di contrastare il degrado.

Per il ripristino dell'assetto ecologico del fiume sono state individuate azioni volte alla progressiva rimozione degli elementi artificiali con gli obiettivi di minimizzare le interruzioni della continuità longitudinale e di riattivare la connettività laterale:

- l'adeguamento delle opere di presa in alveo in ottica eco-idrologica;
- la realizzazione di rampe per la risalita dell'ittiofauna;
- interventi finalizzati al miglioramento della configurazione morfologica;
- il recupero di elementi di naturalità nei contesti golenali;
- la riattivazione delle forme fluviali relitte;
- la ricostruzione di micro-habitat acquatici retro-ripariali;
- la ricostruzione della continuità delle fasce laterali boscate;
- la riduzione della vulnerabilità dell'ecosistema fluviale ai carichi diffusi mediante l'uso di ecosistemi filtro e il recupero funzionale del reticolo idrografico artificiale.

Il recupero della naturalità degli ambiti golenali e la valorizzazione delle biocenosi naturali potranno contribuire alla stabilizzazione dei siti della rete Natura 2000. In particolare, vincoli e piani di gestione delle singole regioni dovranno essere armonizzati nel contesto di una più coerente rete ecologica fluviale.

Tra i tanti temi che in prospettiva risultano importanti ai fini di progetti di riqualificazione ambientale ricordiamo anzitutto lo studio, ad una scala spazio-temporale adeguata, delle componenti strutturali e delle dinamiche degli ecosistemi fluviali con l'obiettivo di individuare le funzioni ed i servizi ad esse associati.

Le soluzioni che nell'immediato sembrano avere ragionevoli margini di fattibilità ed una buona efficacia dovrebbero essere realizzate adottando un approccio adattativo improntato al principio di precauzione.

La riqualificazione deve essere attuata non solo ed esclusivamente nel corpo idrico principale, ma soprattutto nel bacino idrografico: nel sistema dei canali di bonifica e dei corsi d'acqua naturali, nelle fasce di pertinenza fluviale e nel sistema ripario sono infatti localizzati i principali processi idrologici, biologici e biogeochimici responsabili del funzionamento dell'ecosistema fluviale. Per questa ragione, e in dipendenza della topografia, la riqualificazione di questi ambiti diventa non solo un'opportunità per la conservazione naturalistica, ma anche un sistema attraverso il quale sono trasformati e trattenuti acqua, composti organici, nutrienti ed inquinanti.

Negli ultimi anni le relazioni tra reticolo idrografico e bacino di competenza sono state anche oggetto di studi che si riferiscono ai principi e ai metodi dell'ecologia del paesaggio, con l'avvio di una vera e propria ecologia del paesaggio fluviale. Le scale spaziali a cui opera l'ecologia del paesaggio sono coerenti con quelle della riqualificazione fluviale e della conservazione della biodiversità e delle risorse naturali e forniscono un ulteriore strumento utile per l'analisi e la gestione degli ecosistemi fluviali. È chiaro che nel breve termine gli effetti sono misurabili soprattutto a scala locale, ma a lungo termine si potrebbero avere riscontri positivi anche a più vasta scala. La riqualificazione fluviale ha infine l'obiettivo di ripristinare e conservare i servizi ecosistemici e i valori e benefici (ecologici, economici e socio-culturali) che vi sono inclusi.

3.3. Riduzione del carico dei nutrienti

Uno dei problemi più gravi che affligge il bacino idrografico del fiume Po riguarda l'inquinamento di acqua, atmosfera e suoli. Gli aspetti relativi a suolo e atmosfera sono stati trattati nei capitoli 3 e 5. In questa sezione sono riassunti alcuni aspetti della prevenzione e del controllo dell'inquinamento delle acque, in particolare di quello derivante dai carichi di azoto e fosforo. Maggiori dettagli sono riportati nel capitolo 6.

Anche in questo caso il problema può essere affrontato in modo reattivo, costruendo e gestendo in modo adeguato gli impianti di depurazione. La depurazione non risolve però il problema alla radice, ma semplicemente trasferisce gli inquinanti dalla massa idrica ad un solido che di solito è rappresentato dai fanghi di depurazione che, a loro volta, devono essere smaltiti. Quando i fanghi sono destinati allo spandimento agronomico si può innescare una sorta di corto circuito, in quanto i prodotti della loro degradazione ritornano nel comparto acquatico. Il recupero energetico attraverso la digestione anaerobica per la produzione di biogas rappresenta un'alternativa interessante, anche se alla fine del processo rimane il digestato che deve essere smaltito e che ha ancora un contenuto elevato di azoto, fosforo ed elementi metallici.

La riduzione delle emissioni si è rivelata particolarmente interessante. Ad esempio, l'eliminazione del fosforo dai detersivi ha consentito di ridurre in modo significativo il carico trofico dei laghi e del mare costiero.

L'inquinamento diffuso derivante dall'agricoltura e dalla zootecnia è al momento ancora irrisolto. La contaminazione da nitrati che, secondo la direttiva omonima (91/676/CEE) doveva essere affrontata entro il 2000, è ancora un grave problema irrisolto in tutta l'area padano-veneta. In questo caso non ci possono essere soluzioni se non preventive, attraverso il miglioramento delle pratiche agricole e zootecniche e il ricorso alle azioni ambientali riportate nel capitolo 7. Tra le pratiche agronomiche sta prendendo piede la fertilizzazione frazionata, che prevede lo spandimento del concime in più rate, favorendone così l'assimilazione da parte dei vegetali coltivati. In tal modo, si usa una minore quantità di fertilizzante, con un duplice beneficio, sia ambientale che economico. Sono in fase di sperimentazione le cosiddette "cover crops", ovvero le colture di copertura che vengono utilizzate per proteggere i suoli dal dilavamento. Trova anche crescente applicazione la semina su sodo, senza lavorazione del terreno, che riduce notevolmente l'erosione del suolo. Questa pratica agronomica dovrà però essere valutata con attenzione in quanto potrebbe causare la compattazione e l'impermeabilizzazione del terreno.

Di particolare interesse è la costruzione delle fasce tampone boscate che vengono inserite ai margini dei corpi idrici, tra l'ambiente acquatico ed il suolo coltivato. Si tratta di sistemi polifunzionali che possono garantire la protezione delle acque dall'inquinamento dovuto al runoff e nel contempo costituiscono rifugi per numerose specie animali e possono essere sfruttate per produrre legname a scopo energetico.

Ricordiamo infine che la pianificazione si sta orientando verso la gestione integrata dei bacini idrici, con particolare attenzione alla gestione della rete idrografica minore, vale a dire dei canali di bonifica e delle piccole acque lentiche. Questi ecosistemi possono essere utilizzati per fornire acqua

per l'irrigazione, per il drenaggio, per la riduzione dei carichi inquinanti e per la conservazione delle componenti biotiche naturali del paesaggio rurale.

In campo zootecnico, sono state introdotte nuove tecniche di alimentazione del bestiame che prevedono una diversa formulazione dei mangimi e delle diete, ad esempio con la riduzione delle quote di azoto, fosforo e sostanze minerali.

3.4. Esempi di progetti di sviluppo sostenibile e recupero ambientale per il fiume Po

Po fiume d'Europa. Il programma speciale d'Area "Po Fiume d'Europa" ha interessato le province di Piacenza, Parma e Reggio Emilia con 24 comuni rivieraschi. Ha avuto l'obiettivo prioritario di recuperare il ruolo del fiume come fattore primario dello sviluppo del territorio e dell'ambiente. Gli obiettivi specifici riguardano il paesaggio e la qualità ambientale, le attività socio - economiche e la valorizzazione dell'entroterra. Il rapporto fiume-territorio viene sviluppato avendo come riferimento la costruzione di una rete ecologica a livello europeo, la sperimentazione di modelli di sviluppo territoriale sostenibile e l'attivazione di azioni concertate a livello locale [33].

Progetto Strategico Speciale "Valle del Fiume Po". In occasione del quarto congresso nazionale del Po (Piacenza, novembre 2007) è stato lanciato il Progetto Strategico Speciale "Valle del Fiume Po" finalizzato alla messa a sistema delle diverse politiche e misure in materia di gestione degli ambiti fluviali. Nonostante il progetto non sia stato finanziato, il programma ha identificato azioni prioritarie che toccano temi centrali della pianificazione ambientale: uso dei suoli e delle risorse idriche, agrarie, forestali ed estrattive; manutenzione e gestione dei sedimenti; sicurezza idraulica; rinaturalizzazione delle fasce fluviali; promozione dell'agricoltura ecocompatibile; valorizzazione del patrimonio architettonico rurale; qualità delle acque; promozione dell'immagine del Po; navigabilità e turismo fluviale.

Applicazione della Direttive della Commissione Europea.

Il recepimento della direttiva 2000/60/CE impone agli stati membri dell'Unione Europea il raggiungimento di obiettivi di qualità ecologica che per il fiume Po stanno incontrando difficoltà di realizzazione. L'analisi delle pressioni e dello stato del sistema idrografico padano, del Po in particolare, mettono in evidenza condizioni di forte degrado di struttura e funzionamento dell'ecosistema fluviale; ciò è dovuto soprattutto all'interruzione della continuità fluviale longitudinale e della connettività laterale [36].

Il recupero morfologico è stato anzitutto affrontato attraverso il programma di gestione dei sedimenti. Il "piano sedimenti" ha come obiettivo il recupero di condizioni di equilibrio dinamico all'interno di una fascia di mobilità compatibile con gli standard di sicurezza e di qualità ambientale previsti dalla vigente pianificazione di bacino e dalle Direttive europee 2000/60/CE e

2007/60/CE [37]. Al momento, è stata anzitutto individuata la porzione di regione fluviale (fascia di mobilità di progetto) entro la quale garantire la mobilità dell'attuale alveo inciso attraverso processi morfologici naturali. In parallelo, sono state individuate le zone di tutela delle forme relitte che hanno un pregio ambientale in quanto sedi di habitat acquatici e ripariali (fascia di tutela morfologica e ambientale)

Ripristino ecologico delle golene fluviali e riqualificazione delle aree di cava. Negli ultimi anni sono emersi problemi inediti di gestione in relazione ai corpi d'acqua che nelle golene del tratto medio del Po e dei suoi affluenti sono andati formandosi su cave in acqua non ritombate. Nella porzione di bacino compresa tra foce Adda e foce Mincio sono stati censiti circa 300 laghi di cava per una superficie complessiva di circa 50 km² di specchi d'acqua.

La Regione Emilia-Romagna ha definito le linee guida ufficiali da utilizzare per il recupero delle cave in ambito fluviale nel tratto di pianura del Po [38]. L'elaborazione delle linee guida è basata sui risultati di ricerche svolte in laghi di cava e ambienti di zone umide perfluviali naturali, situati nello stesso ambito fluviale. Ciò ha permesso di delineare alcune significative connessioni funzionali tra processi ecosistemici e i principali parametri morfometrici ed idrologici dei corpi d'acqua indagati.

Bibliografia

1. Marchetti R., 1993. Problematiche ecologiche del sistema idrografico padano. *Acqua e Aria*, 6-7.
2. Viaroli P., Puma F., Ferrari I. (Eds) 2010. Aggiornamento delle conoscenze ecologiche sul bacino idrografico padano. Atti della sessione speciale su "Aggiornamento delle conoscenze ecologiche sul bacino idrografico padano, XVIII Congresso S.It.E., 1-3 settembre 2008, Parma. *Biologia Ambientale* 24, 366 p.
3. Lamberti A., 1993. Le modificazioni recenti verificatesi nell'asta principale del Po e problemi connessi. *Acqua-Aria*, 6: 589-592.
4. Rinaldi M., Surian N., Pellegrini L., Maraga F., Turitto O. (2010) Attuali conoscenze sull'evoluzione recente di corsi d'acqua del Bacino Padano ed implicazioni per la gestione e riqualificazione fluviale. *Biologia Ambientale*, 24:29-40,
5. Viaroli P., Bartoli M., 2009. Ricerca Ecologica e riqualificazione fluviale. *Riqualificazione Fluviale* 2: 15-22
6. Autorità di Bacino del Fiume Po, 2006. Caratteristiche del bacino del fiume Po e primo esame dell'impatto ambientale delle attività umane sulle risorse idriche. Autorità di bacino del fiume Po, Parma: 643 pp.
7. Autostrade per L'Italia, http://www.autostrade.it/studi/doc/SINTESI_volumi_2012.pdf
8. Beirle S., Kühl S., Pukite, J., Wagner T., 2010. Retrieval of tropospheric column densities of NO₂ from combined SCIAMACHY nadir/limb measurements. *Atmospheric Measurement Techniques* 3: 283-299.
9. Gardi C, Dall'Olio N, Salata S (2013) L'insostenibile uso di suolo. Edicom Edizioni, Collana Ambiente e territorio
10. Dall'Olio N., Cavallo M.C., 2009. Dinamiche di consumo di suolo agricolo nella pianura parmense 1881-2006. Servizio agricoltura e sviluppo economico, Provincia di Parma, 96 pp.
11. Tira M., Mazzata S., 2009. Franciacorta sostenibile. I Quaderni della Fondazione Cogeme, onlus, 273 pp.
12. Agricoltura e pesca, Regione Emilia-Romagna
<http://agricoltura.regione.emilia-romagna.it/produzioni-agroalimentari/doc/prodotti-dop-e-igp-dellemilia-romagna/mappa-dei-prodotti-dop-e-igp-dellemilia-romagna>
13. Istituto Nazionale di Statistica, www.istat.it
14. Viaroli P., Nizzoli D., Pinardi M., Rossetti G., Bartoli M., 2013. Factors affecting dissolved silica concentrations, and DSI and DIN stoichiometry in a human impacted watershed (Po River, Italy). *Silicon*, 5: 101-114.
15. Pagnotta R., Barbiero G., 2003. Stima dei carichi inquinanti nell'ambiente marino-costiero. *Annali Istituto Superiore Sanità*, 39: 3-10
16. Viaroli P., Bartoli M., Castaldelli G., Naldi M., Nizzoli D., Rossetti G., 2013. Recent evolution and expected changes of nutrient loads in a heavily exploited watershed: the Po River, Italy. In Arheimer B., Collins A., Krysanova V., Lakshmanan E., Meybeck M., Stone M. (eds) *Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World*. IAHS Publ. 361: 176-182.
17. Viaroli P., Nizzoli D., Pinardi M., Soana E., Bartoli M., 2014. Eutrophication of the Mediterranean sea: a watershed-cascading aquatic filters approach. *Rendiconti Lincei-Scienze Fisiche e Naturali* (in stampa).
18. Bartoli M., Racchetti E., Delconte C.A., Sacchi E., Soana E., Laini A., Longhi D., Viaroli P., 2012. Nitrogen balance and fate in a heavily impacted watershed (Oglio River, Northern Italy): in quest of the missing sources and sinks. *Biogeosciences*, 9: 361- 373.
19. Soana E., Racchetti E., Laini A., Bartoli M., Viaroli P., 2011. Soil budget, net export and potential sinks of nitrogen in the lower Oglio River watershed (northern Italy). *CLEAN – Soil, Air, Water*, 39: 956- 965.

20. http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/acque/informazioni/normativa/Direttiva_91_676_CEE_Parte_1.pdf/view
21. Camusso M., Galassi S., Vignati D., 2002. Assessment of river Po sediment quality by micropollutant analysis. *Water Research*, 36: 2491–2504.
22. Viganò L., A. Arillo, A. Buffagni, M. Camusso, R. Ciannarella, G. Crosa, C. Falugi, S. Galassi, L. Guzzella, A. Lopez, M. Mingazzini, R. Pagnotta, L. Patrolecco, G. Tartari, S. Valsecchi, 2003. Quality assessment of bed sediments of the River Po (Italy). *Water Research*, 37: 501–518.
23. Farkas C., Erratico, L. Viganò, 2007. Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere*, 68: 761–768.
24. Calamari, D., Zuccato, E., Castiglioni, S., Bagnati, R., Fanelli, R., 2003. Strategic survey of therapeutic drugs in the rivers Po and Lambro in Northern Italy. *Environmental Science & Technology*, 37: 1241–1248.
25. Cavallero A., Corradi C., De Felice G., Grassi P., 1985. Underground water pollution in Milan by industrial chlorinated organic compounds. In J.F. de L.G. Solbe, *Effect of land use upon freshwater*. Ellis Horwood, Chichester, pp. 68-84.
26. Gherardi F., Occhipinti-Ambrogi A., Savini D., Tricarico E., 2010. Xenodiversità animale nel bacino idrografico del Po. *Biologia Ambientale* 24: 129-134.
27. Gandolfi G., 2010. L'ittiofauna del bacino padano. *Biologia Ambientale* 24: 135-140.
28. Poff N.L., Zimmerman J.K.H., 2009. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55: 194-205.
29. Cavicchia L., von Stoch H., Gualdi S., 2014. A long-term climatology of medicanes. *Climate Dynamics* 43: 1183-1195.
30. Viaroli P., Bartoli M., Bolpagni R., Pecora S., Rossetti G., 2014. Stato attuale e vulnerabilità dei tratti planiziali dei corsi d'acqua nel bacino del Po in relazione a pressioni locali e cambiamento climatico. *Biologia Ambientale* 28: 75-86.
31. Tibaldi S., Cacciamani C., Pecora S., 2010. Il Po nel clima che cambia. *Biologia Ambientale* 24: 21-28.
32. Saidi H., Dresti C., Ciampittiello M., 2014. Il cambiamento climatico e le piogge: analisi dell'evoluzione delle piogge stagionali e degli eventi estremi negli ultimi 50 anni nella stazione di Pallanza. *Biologia Ambientale* 28: 5-16.
33. Viaroli P., Puma F., Ferrari I., 2010. Aggiornamento delle conoscenze ecologiche sul bacino idrografico padano: una sintesi. *Biologia Ambientale* 24: 7- 19.
34. Naldi M., Pierobon E., Tornatore F., Viaroli P. 2010. Il ruolo degli eventi di piena nella formazione e distribuzione temporale dei carichi di azoto e fosforo nel fiume Po. *Biologia Ambientale* 24: 59- 69.
35. ARPA Regione Emilia-Romagna, *Annali idrologici*
http://www.arpa.emr.it/documenti.asp?parolachiave=sim_annali&cerca=si&idlivello=64
36. Bolpagni R., Spotorno C., Gualmini M., Gallani P., Moroni F., Farioli C., Puma F., Bodini A., Viaroli P., Ferrari I., 2010. La gestione conservativa del fiume Po: valutazione dell'assetto ecologico e definizione di linee guida per la redazione di piani di monitoraggio ai sensi della Direttiva 2000/60/CE. *Biologia Ambientale* 24: 349-366.
37. Colombo A., Filippi F., 2010. La conoscenza delle forme e dei processi fluviali per la gestione dell'assetto morfologico del fiume Po. *Biologia Ambientale* 24: 331-348.
38. Rossi G., Dominione V., Muzzi E., Fresia I., Neri G., Ravaglia F., Virgilli G., Spotorno C., Viaroli P., 2010. Linee guida per il recupero ambientale delle aree di cava lungo il fiume Po. *Biologia Ambientale* 24: 319- 329.

Si ringraziano

Chris Elvidge, NOAA National Geophysical Data Center, Boulder, Colorado (USA) per l'immagine della figura 9.

Steffen Beirle, MPI Chemistry Mainz, Germania, per l'immagine della figura 10

Rossano Bolpagni e Giampaolo Rossetti, Dipartimento di Bioscienze, Università degli Studi di Parma, per la revisione del testo.