

Il Po nel clima che cambia

Stefano Tibaldi¹, Carlo Cacciamani², Silvano Pecora^{3*}

1 ARPA Emilia-Romagna, Direzione Generale, Via Po 5 - 40139 Bologna

2 ARPA Emilia-Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima, Viale Silvani 6 - 40122 Bologna

3 ARPA Emilia-Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima, Via Garibaldi 75 - 43100 Parma

** Referente per la corrispondenza: specora@arpa.emr.it*

Riassunto

Il cambiamento climatico è una realtà con la quale occorre confrontarsi a tutti i livelli e prevenirne e/o contrastarne i possibili effetti negativi è un problema che si pone già ora. La vulnerabilità dell'area mediterranea ai cambiamenti del clima, in particolare del territorio italiano, delle sue risorse naturali e delle sue attività economiche, appare essere la più elevata in Europa, secondo i più recenti scenari delle Nazioni Unite (IPCC) e le più recenti valutazioni della UE (progetto Peseta). La complessità delle previsioni climatiche ad una scala spaziale ridotta rende ancor più difficile la previsione delle conseguenze sul ciclo idrologico del bacino del fiume Po. Tuttavia, il rischio di un'ulteriore riduzione delle risorse idriche disponibili si è recentemente reso manifesto negli ultimi anni, con ricorrenti magre fluviali e situazioni di emergenza idrica che hanno coinvolto l'intero bacino padano. Il bacino idrografico del fiume Po, influenzato da una complessità di fattori sensibili al clima, costituisce infatti un importante scenario di eventi idro-meteo-climatici e socioeconomici.

PAROLE CHIAVE: regime idrologico / cambiamento climatico / impatti / adattamento

The Po river in the climatic change context

The climatic change is a truth with which it is necessary to be confronted to all the levels and preventing and/or contrasting the possible negative effects is a problem already placed. The vulnerability of the Mediterranean area to the climate changes, in particular of the Italian territory, its natural resources and its economic activities, appears to be highest in Europe, according to the most recent scenarios of United Nations (IPCC) and the most recent appraisals of the UE (project Peseta). The complexity of the climatic forecasts to a small spatial scale renders the forecast of the consequences on the hydrological cycle of the Po river basin still more difficult. However, the risk of a further reduction of the available water resources has become manifest recently, with recurrent drought during the last few years and water emergencies that have involved the entire Po river basin. The catchment of the Po river, influenced by a complexity of sensitive factors to the climate, constitutes in fact an important scenarios of hydro-meteo-climatic and socioeconomic events.

KEY WORDS: hydrological regime / climate change / impacts / adaptation

PREMESSA

Le intense e protratte anomalie climatiche verificatesi nel corso dell'ultimo decennio hanno ormai quasi unanimemente indotto la comunità scientifica ad ammettere l'esistenza di una modificazione del clima osservato, dovuta alle attività umane. Durante l'ultimo secolo, l'uomo ha provocato un profondo mutamento nella composizione dell'atmosfera terrestre per quanto riguarda specie chimiche che, se pur presenti in quantità molto ridotte, contribuiscono in modo sostanziale alla determinazione dell'equilibrio radiativo del nostro

pianeta. Variazioni anche piccole nelle concentrazioni di "gas serra" possono modificare la forzatura radiativa del clima e l'equilibrio del sistema climatico terrestre a livello sia globale che regionale.

Se la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra rappresenta la priorità internazionale per rallentare i cambiamenti del clima, combattere le conseguenze negative del cambiamento climatico e procedere verso l'adattamento rappresenta una priorità nazionale per molti contesti ambientali e territoriali italiani sensibili

alle variazioni climatiche come, ad esempio, la disponibilità d'acqua e l'agricoltura.

Quantunque sia difficile e molto complesso prevedere il clima del futuro, specialmente ad una scala spaziale ridotta come quella regionale italiana, ancor più complesso e difficile appare prevederne le conseguenze sul ciclo idrologico, ad esempio sui regimi pluviometrici e sulle portate dei corpi idrici superficiali e sotterranei.

Il problema di un ulteriore depauperamento delle risorse idriche, tuttavia, si pone ugualmente come un probabile rischio per tutta l'area mediterranea, Italia compresa, i cui primi effetti tangibili sono le ricorrenti annate di magra che hanno coinvolto il bacino del Po nell'ultimo quindicennio, ma in particolare le più recenti "emergenze siccità", particolarmente evidenti nell'ultimo quinquennio (CACCIAMANI *et al.*, 2008). Il bacino idrografico del fiume Po, influenzato da una complessità di fattori sensibili al clima, costituisce dunque un importante scenario di eventi idro-meteorologici e socioeconomici.

LA SCALA GLOBALE

Il clima del pianeta sta cambiando con crescente velocità. L'aumento costante delle principali forzanti del sistema atmosfera-oceano, essenzialmente le emissioni dei gas clima-alteranti o gas serra, è il principale responsabile di questo cambiamento. L'ultimo "Summary for Policymakers" redatto dal *working group* I dell'IPCC (IPCC, 2007) afferma in maniera esplicita che "il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile così come appare dalle osservazioni dell'incremento delle temperature globali dell'aria e degli oceani, dallo scioglimento diffuso di nevi e ghiacci e dall'innalzamento globale del livello del mare". Per quanto concerne il riscaldamento globale, nel periodo 1906-2005 il trend di crescita della temperatura risulta essere lineare e pari ad un valore medio di 0,74 °C, compreso tra 0,56 e 0,92 °C, che risulta maggiore di 0,14 °C di quanto stimato nel precedente report IPCC (2001). Dall'analisi del trend a scala globale emerge che il riscaldamento del 20° secolo è probabilmente il più alto degli ultimi 10 secoli. Per dare un segno di quanto si sia accelerato il tasso di crescita, si consideri inoltre che i 12 anni più caldi dal 1860 ad oggi si sono tutti verificati a partire dal 1990. È ormai (quasi) fuori discussione che negli ultimi 40-50 anni il trend di crescita termico sia stato il più elevato mai riscontrato.

A scala europea si nota un'analoga crescita della temperatura. Nell'ambito del progetto europeo del V Programma Quadro STARDEX, a cui ha partecipato anche ARPA Emilia-Romagna, sono stati stimati i trend dei principali indicatori termici su molte località europee, per quanto riguarda sia i valori medi che alcuni

indici di estremi. Nella figura 1 sono rappresentati i trend di crescita del 90^{mo} percentile della temperatura massima rilevata in molte località europee negli ultimi 50 anni. È evidente il chiaro trend di crescita del valore di questo parametro praticamente in tutta l'Europa centro-occidentale.

Per quanto concerne le precipitazioni, a scala globale si rilevano degli aumenti significativi nelle aree orientali del Nord e Sud America, sul nord Europa e sull'Asia centrale. In generale è aumentata la frequenza delle precipitazioni intense, in maniera consistente con il riscaldamento e con il conseguente aumento del vapore acqueo. L'area del Sahel risulta tra quelle più siccitose del mondo, assieme al sud Africa e parte dell'Asia meridionale. In generale, comunque, i periodi di siccità stanno diventando più intensi e più lunghi.

A scala europea la precipitazione annua è aumentata fin dalla metà del XIX secolo con valori ben al di sopra della media dopo il 1940, particolarmente alle latitudini più elevate, con un contributo maggiore durante la stagione invernale. La stagione estiva mostra invece una lieve tendenza alla diminuzione nell'arco degli ultimi 100 anni. Nell'area geografica che si estende dal Mediterraneo attraverso l'Europa centrale sino alla Russia europea, le precipitazioni sono diminuite sino al 20%.

Le nuove conclusioni a cui giunge l'IPCC (2007) in merito alle proiezioni climatiche future confermano sostanzialmente quanto era già stato riportato nel precedente report (IPCC, 2001), pur con delle lievi ma non trascurabili differenze. In particolare, per i prossimi due ventenni è previsto un riscaldamento medio

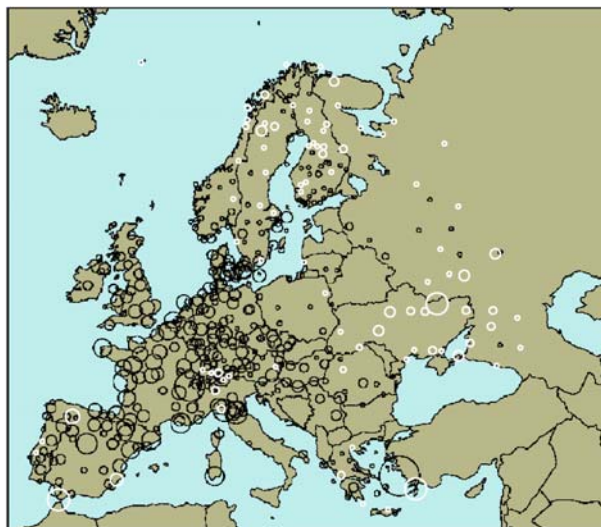


Fig. 1. Trend di crescita (cerchi scuri) o di diminuzione (cerchi bianchi) del 90^{mo} percentile della temperatura massima giornaliera sull'area europea. L'ampiezza del diametro del cerchio indica una maggiore/minore ampiezza del trend.

globale di circa $0,2^{\circ}\text{C}$ per decennio per un vasto range di scenari di emissioni utilizzate dai modelli di circolazione generale dell'atmosfera (AOGCM) che sono gli strumenti di indagine principali per definire degli scenari di cambiamento climatico a scala globale (Fig. 2).

La seconda affermazione rilevante a cui giunge IPCC è che "anche se le concentrazioni di gas serra e aerosol fossero mantenute costanti ai livelli del 2000, c'è comunque da attendersi un riscaldamento di circa $0,1^{\circ}\text{C}$ per decennio". Questi cambiamenti termici, di entità senza precedenti nella storia del pianeta, sono destinati a modificare profondamente il clima. Per le precipitazioni si conferma soprattutto un aumento delle piogge alle alte latitudini e una sensibile diminuzione alle latitudini tropicali. Nel nuovo rapporto, però, sembra essere molto aumentata l'attendibilità su vari scenari di cambiamento di altri indicatori del clima su cui in precedenza non erano state fatte previsioni, come la struttura dei campi di vento o la frequenza del verificarsi di eventi estremi quali onde di calore, precipitazioni molto intense e cicloni tropicali. Ad esempio viene previsto uno spostamento dei cicloni extra-tropi-

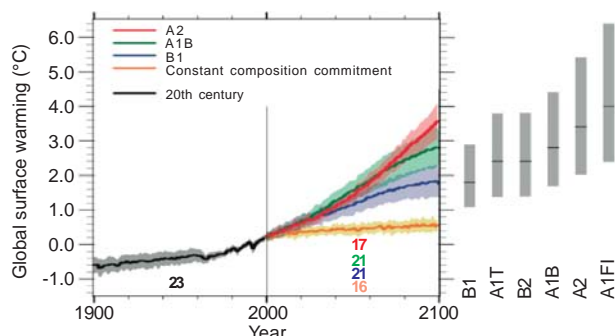


Fig. 2. Tendenze del cambiamento della temperatura media superficiale del pianeta nel periodo 2000-2100 per diversi scenari globali di emissione (IPCC 2007).

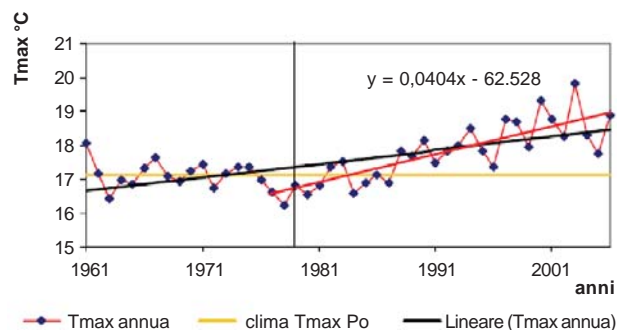


Fig. 3. Andamento delle temperature massime annue del bacino del Po nel periodo 1961-2006. La linea orizzontale è la temperatura media del periodo 1961-2006, mentre le altre due linee rappresentano il trend della temperatura su tutto il periodo e dal 1980 ad oggi.

cali verso latitudini più settentrionali con conseguenti cambiamenti nei venti, nelle piogge e nella struttura del campo termico a queste latitudini.

LA SCALA LOCALE

Le analisi di dati ambientali da parte delle Agenzie ambientali di Emilia-Romagna, Lombardia, Piemonte, Valle d'Aosta e Veneto, territorialmente interessate al bacino del fiume Po, hanno confermato e specificato a livello regionale quanto pubblicato dall'IPCC. Premesso che le analisi climatiche sono fortemente condizionate dalle scale temporali e spaziali cui si riferiscono, a causa della non stazionarietà dei fenomeni e della loro alta disomogeneità spaziale, si osserva un aumento delle temperature massime annue con trend lineari e costanti di crescita di circa $0,5^{\circ}\text{C}$ ogni 10 anni, pari a circa 2°C dal 1960 ad oggi, che potrebbero arrivare a 3 o 4°C alla fine del secolo attuale (Fig. 3). Tale segnale è visibile in tutte le stagioni (TOMOZEIU *et al.*, 2006). In particolare, durante la stagione estiva si osservano valori di temperature massime sempre superiori ai valori climatici di riferimento.

Per quanto concerne le precipitazioni si denota una generale elevata variabilità attorno ad un valore medio che sembra subire una diminuzione repentina, avvenuta all'inizio degli anni '80, piuttosto che una graduale e diminuzione delle piogge in tutto il periodo (Fig. 4).

In particolare, risulta evidente come, a partire dall'inizio degli anni ottanta, il tipico andamento altalenante che evidenzia la variabilità inter-annuale si sia spostato al di sotto dei valori della media climatica trentennale, calcolata per il periodo di riferimento 1961-1990. Il cambiamento del regime pluviometrico nei valori medi annui appare meno immediato da cogliere. In generale si rileva un aumento dell'intensità dei singoli eventi piovosi ma una riduzione complessiva del numero di eventi col risultato di un rilevante calo delle precipitazioni medie annue di circa il 20% nell'ultimo trentennio. Il calo è più evidente in primavera e in estate (sino al 50%) e molto meno in autunno, stagione durante la quale le precipitazioni medie non diminuiscono, ma aumenta molto la variabilità interannuale.

Per quanto riguarda lo studio degli scenari di cambiamento climatico futuro, i modelli di circolazione globale dell'atmosfera sono il principale strumento a disposizione della comunità scientifica e hanno permesso di formulare gli scenari di cambiamento sopra riportati. Per spingersi alla scala regionale è necessario eseguire un ulteriore passo, che consiste nell'applicare delle tecniche di regionalizzazione di tipo dinamico/statistico che permettono di adattare gli scenari di cambiamento dalla scala continentale alle scale nazionale e regionale (BUSUIOC *et al.*, 2007). Tali tecniche di regionalizzazione si basano su metodi di tipo sia stoca-

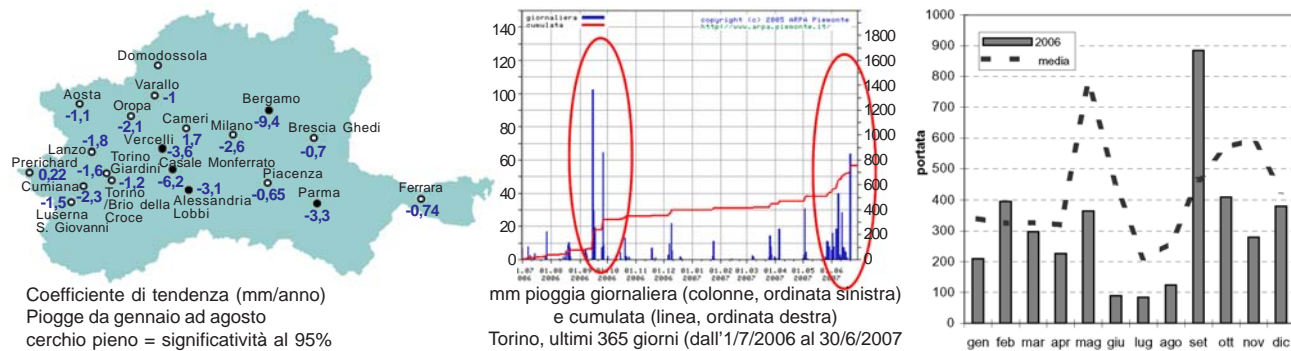


Fig. 4. Distribuzione delle precipitazioni nel bacino del fiume Po alla confluenza del Ticino nel 2006.

stico che deterministico (TOMOZEIU *et al.*, 2007). ARPA è attiva nello studio di queste ultime problematiche attraverso il Servizio Idro-meteorologico e le ha affrontate anche nell’ambito di diversi progetti europei, ad esempio, i progetti STARDEX e ENSEMBLES. Le proiezioni climatiche al 2100 confermano le tendenze in atto rispetto al clima attuale (1961-1990) e indicano aumenti delle temperature massime di circa 5 °C nella stagione estiva ed un po’ inferiori nelle altre stagioni; le precipitazioni sono previste in ulteriore calo, ma con variabilità interannuale e interstagionale in aumento.

Le precipitazioni nevose ed il volume dei ghiacciai alpini risultano essere in forte calo (Fig. 5). La copertura nevosa, che rappresenta una risposta integrata alle variazioni di temperatura e precipitazioni, subisce le maggiori riduzioni in primavera e nel passaggio autunno-inverno, poiché la stagione di accumulo della neve al suolo è ritardata, mentre quella di fusione è anticipata. A causa della forte correlazione negativa della copertura nevosa con la temperatura dell’aria, le proiezioni per il XXI secolo ne danno una diminuzione distribuita su vaste aree del pianeta. Contestualmente

ci si attende anche un costante proseguimento dell’arretramento dei principali ghiacciai alpini: i dati delle variazioni frontali confermano che la loro attività dal 1860 ad oggi è stata generalmente omogenea, eccetto un breve intervallo alla fine del XIX secolo in cui la variabilità di precipitazione a scala regionale può aver causato accumuli differenti. Sino ad oggi, la deglaciazione ha portato alla perdita di circa il 40% della superficie dei ghiacciai.

Le modifiche del clima produrranno degli impatti sull’uomo e l’ambiente in cui vive in modo diretto ed indiretto, interagendo con l’intero sistema sociale ed economico. Le vulnerabilità associate ai molti sistemi suscettibili al cambiamento climatico riguardano in particolare la risorsa idrica, ma anche ecosistemi, aree costiere, capacità produttiva, agricoltura e salute.

In sintesi, il cambiamento climatico potrà determinare impatti significativi in generale nella regione Mediterranea e in particolare nel bacino del Po.

– La maggior frequenza di episodi di precipitazione intensa avrà un impatto molto grande nell’area del Mediterraneo aumentando il rischio idrogeologico e

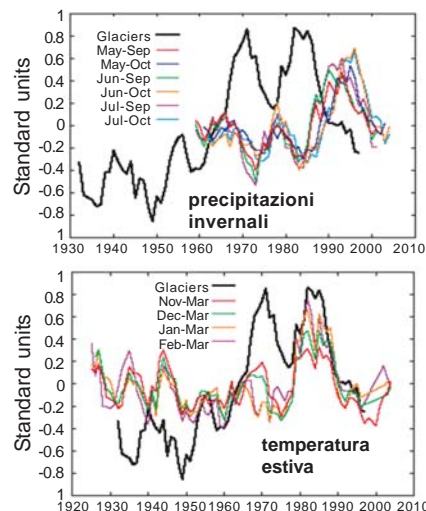
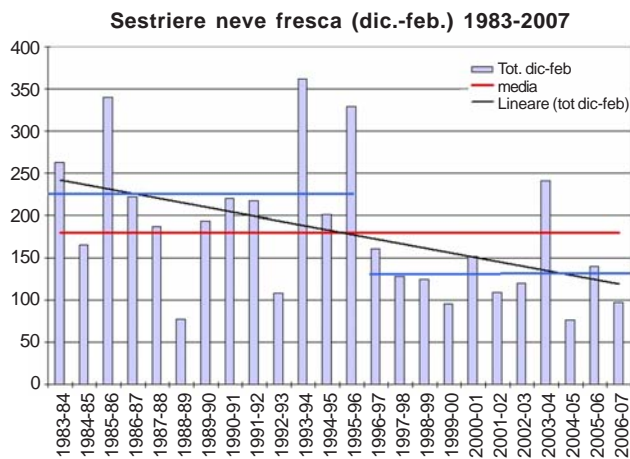


Fig. 5. Distribuzione delle precipitazioni nevose.

idraulico in aree già molto esposte. In parallelo, l'occorrenza di più frequenti eventi di precipitazione intensa alternati a lunghi periodi di siccità potrà alterare il ciclo idrologico e creare seri problemi di disponibilità della risorsa idrica.

- L'innalzamento del livello del mare e l'aumento del numero e della durata dell'invasione marina delle aree costiere basse potranno accelerare l'erosione delle coste e aumentare la salinità negli estuari e nei delta a causa dell'ingresso del cuneo salino.
- L'aumento delle temperature e la diminuzione delle piogge potrà amplificare la durata dei periodi di siccità, anche con durate di molti mesi. La siccità avrà maggiori effetti nei semestri caldi, a causa dell'elevata evapotraspirazione e dell'aridificazione acuta.
- L'aumento delle temperature medie ed estreme potrà determinare una aumentata frequenza e durata delle onde di calore.

GLI IMPATTI

Quantunque sia difficile e molto complesso prevedere il clima del futuro, specialmente ad una scala spaziale ridotta come quella regionale italiana, ancor più complesso e difficile appare prevederne le conseguenze sul ciclo idrologico, in specifico sui regimi pluviometrici e sulle portate dei corpi idrici superficiali e sotterranei. In tutta l'area mediterranea, si prevede un aumento del rischio di un ulteriore depauperamento delle risorse idriche. Tale tendenza è stata più volte evidenziata nel bacino del Po dalle ricorrenti annate di magra che si sono verificate nell'ultimo quindicennio, in particolare nell'ultimo quinquennio quando si sono avute vere e proprie emergenze siccità. Il bacino del fiume Po, influenzato da molteplici fattori sensibili al clima, costituisce infatti un importante sistema idrografico complesso nel quale i processi idro-meteo-climatici interagiscono con quelli socio-economici. Se si considerano la densità della popolazione umana e delle attività produttive insediate, le infrastrutture e il grado di utilizzazione della risorsa idrica, il bacino del Po rappresenta una realtà eccezionalmente varia e

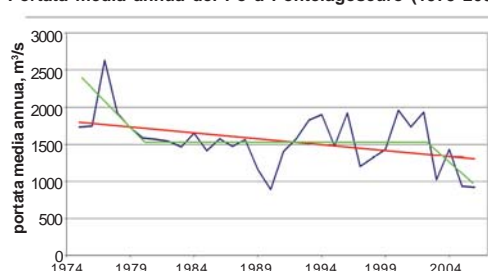
un sistema nevralgico per l'economia nazionale. L'elevata quantità di risorse idriche storicamente disponibili nel bacino idrografico del Po, se da un lato ha svolto un ruolo primario nello sviluppo urbano ed economico, dall'altro ha portato a sovrastimare in generale la capacità di autodepurazione naturale del fiume e soprattutto la disponibilità complessiva della risorsa. In tal modo, i diritti di prelievo complessivi superano oggi la disponibilità idrica media residua allachiusura del bacino.

Alla diminuzione progressiva degli afflussi nell'ultimo trentennio e all'aumento della domanda idrica, fa riscontro un decremento significativo della portata media alla chiusura del bacino relativa agli ultimi anni (sezione di Po a Pontelagoscuro) di circa il 20% su base annua e del 45% nella stagione estiva nel periodo 1975-2006.

Va sottolineato che la stima dell'impatto del cambiamento climatico sulle portate fluviali risente delle incertezze legate alla mancanza e/o all'incompletezza delle informazioni relative ai prelievi effettuati a monte delle sezioni di misura, con conseguente difficoltà nella ricostruzione dei deflussi naturali e quindi disomogeneità delle portate oggetto di comparazione temporale. Analoga considerazione va fatta per quanto riguarda lo studio degli impatti sui laghi naturali ed artificiali, per i quali alle incertezze sui prelievi si aggiunge quella sugli schemi gestionali adottati.

Altro aspetto da considerare riguarda la stima dei tempi di ritorno. Negli ultimi anni le portate minime (estive) a Pontelagoscuro hanno fatto segnare tempi di ritorno (calcolati sui valori climatici storici) superiori a 200 anni, mentre gli stessi tempi di ritorno calcolati in sezioni più a monte mostravano valori tra 5 e 10 anni. Ciò implica da una parte la necessità di rivedere le procedure di applicazione dei metodi statistici classici a sistemi in condizioni non stazionarie perché soggetti ad un rapido cambiamento climatico, dall'altra parte si sottolinea che la percezione della rarità di un evento meteo-climatico che riguarda l'intero bacino cambia radicalmente se il tempo di ritorno viene calcolato alla chiusura del bacino montano piemontese (prima di

Portata media annua del Po a Pontelagoscuro (1975-2006)



Portata media annua del Po a Isola S. Antonio

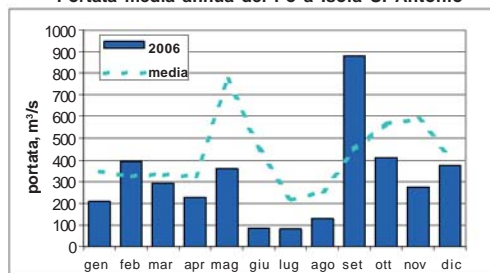


Fig. 6. Andamento delle portate medie annue alle sezioni del Po a Pontelagoscuro e Isola S. Antonio.

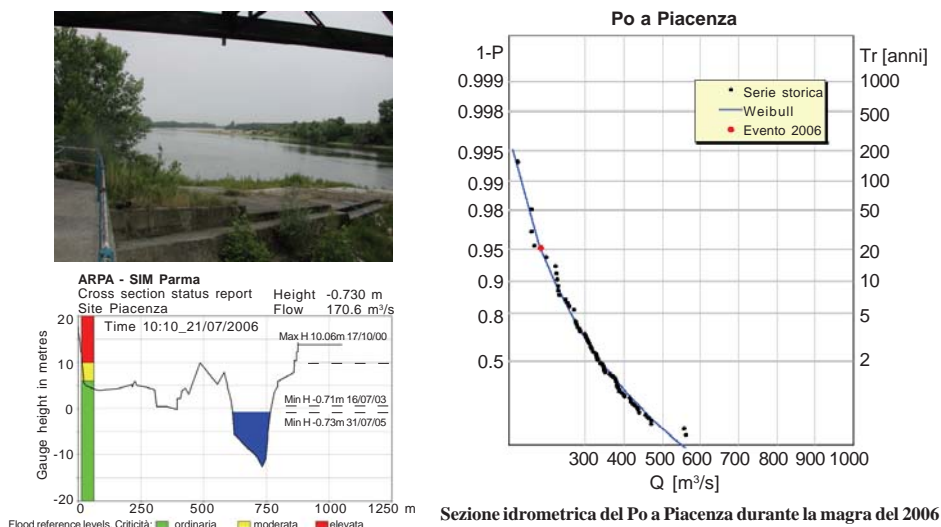


Fig. 7. Criticità ed esempio dei tempi di ritorno di eventi critici nella stazione idrometrica di Piacenza

tutti i grandi prelievi idrici effettuati sull'asta del Po) o alla foce, cioè quando tutti i prelievi sono stati effettuati (Fig. 7).

È chiaro quindi come le tendenze dovute ai fattori climatici in atto possano essere amplificate dai prelievi della risorsa idrica sia sull'asta del Po che sui suoi principali affluenti.

Alle modificazioni significative della distribuzione, durata ed intensità delle precipitazioni liquide e nevose fanno seguito rilevanti modificazioni del regime dei deflussi superficiali e sotterranei.

- Aumentano i periodi di esposizione al rischio di siccità ed alluvioni. Va ricordato che negli ultimi dieci anni il Piemonte ha dovuto affrontare almeno tre eventi di piena che le statistiche correnti indicherebbero come ultracentenarie.
- Diminuiscono durata e capacità di ritenzione idrica del suolo e di ricarica delle falde.
- Aumentano probabilità ed intensità degli episodi di intrusione del cuneo salino.
- Si osserva il deterioramento della qualità dell'acqua (minore diluizione, maggiore temperatura e contenuto di nutrienti) e degli ecosistemi associati;
- Aumenta l'esposizione ai rischi idraulico, di desertificazione e sanitario
- Alcune opere idrauliche diventano progressivamente inadeguate e insufficienti.

Nel bacino padano tali modificazioni sono amplificate ed immediatamente riscontrabili nel delicato sistema deltizio, che può pertanto essere considerato un indicatore di sintesi dello stato dell'intero bacino. Ad un aumento del livello marino (sinora in verità piuttosto contenuto, ma in probabile aumento sia in valore assoluto che nella rapidità del trend) e alla diminuzione delle portate fluviali corrisponde una risalita delle acque

marine dell'Adriatico verso l'entroterra che oggi si attesta sui 20 km contro i circa 2 km degli anni '70. La frequente caduta delle portate al di sotto dei $250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, che favorisce l'intrusione salina, mette in sofferenza circa 30.000 ettari di territorio, causando la salinizzazione delle falde, l'interruzione dell'approvvigionamento idrico per l'uso potabile e per l'irrigazione, l'inaridimento delle zone litoranee, con pesanti effetti anche sugli ecosistemi naturali del delta.

L'ADATTAMENTO

Il cambiamento climatico impone la definizione di obiettivi strategici atti ad individuare politiche di mitigazione, che comportano una riduzione delle emissioni di gas serra, e decise e razionali azioni di adattamento al cambiamento climatico, che siano orientate a limitare i danni potenzialmente derivanti dal cambiamento o, addirittura, a sfruttarne le opportunità. Le azioni di adattamento servono infatti ad ostacolare gli effetti del mutamento del clima puntando a ridurre il rischio e i danni derivanti dagli impatti negativi (presenti e futuri) del fenomeno in maniera efficace anche dal punto di vista economico. Molti impatti del cambiamento climatico possono essere affrontati efficacemente attraverso l'adattamento, in particolare gli impatti a breve termine, mentre all'aumentare dell'entità del cambiamento le opzioni efficaci diminuiscono ed i costi associati aumentano. Le conoscenze attuali già consentono la selezione di azioni di adattamento preventivo, che hanno costi limitati e non minacciano sistemi sociali e settori economici, rispetto all'adozione di forme di adattamento di tipo reattivo, cioè applicate a seguito di frequenti crisi e disastri. Tuttavia tali opzioni sono attualmente applicate in modo limitato ed estemporaneo.

Tra le misure di adattamento, vi sono quelle di tipo

infrastrutturale e tecnologico, caratterizzate da tempi di realizzazione spesso lunghi e da investimenti maggiori, la cui sostenibilità deve essere dimostrata sulla base dei costi stimati del non-agire, in un contesto di conoscenze che presenta margini di incertezza, tanto più elevati quanto più gli scenari di cambiamento sono a lungo termine. Poiché il dimensionamento dell'impatto è importante per definire le priorità ed indirizzare di conseguenza gli interventi, l'applicazione di queste misure, se non fortemente sostenute da politiche ambientali o sanitarie, potrebbe essere limitata. Le misure di adattamento di tipo non-strutturale o "soft" sono invece basate su sistemi di ottimizzazione della gestione delle risorse, di prevenzione dei rischi e di adozione di buone pratiche in tutti i campi di attività dell'uomo, come, ad esempio, la gestione della risorsa idrica orientata ad un uso ottimale e conservativo, la variazione delle rotazioni delle colture e delle date di semina e l'uso di colture meno idroesigenti, i sistemi di preannuncio dei rischi che consentono l'adozione di misure preventive, la sensibilizzazione della popolazione finalizzata all'adozione di stili di vita consapevoli degli effetti del cambiamento climatico ed orientati a contrastarlo. I costi di queste forme di adattamento sono spesso trascurabili rispetto ai costi derivati dalla non-applicazione e sono già inclusi nei costi dell'evoluzione socio-economica, in quanto, rispondendo a necessità di tipo locale implicano benefici ambientali complessivi, e creano importanti sinergie con le politiche di sostenibilità ambientale. Queste forme di adattamento, se da un lato sono più facilmente realizzabili, richiedono però la formazione di un contesto sociale e culturale permeabile e pro-attivo, insieme ad una capacità di governance coordinata a tutti i livelli.

In particolare, l'influenza del cambiamento climatico sulle variabili idrologiche ha sottolineato, ancor di più durante gli ultimi anni, la necessità di una governance di bacino capace di assorbire le potenziali tensioni sociali nell'utilizzo competitivo delle acque e nel controllo delle piene fluviali e di valorizzare e mettere a sistema la cooperazione tra le amministrazioni territorialmente interessate.

Inoltre, vi è sia la necessità che l'opportunità di integrare le strategie di adattamento all'interno delle politiche di tutela e gestione delle acque già esistenti (Direttiva Quadro Acque e direttive associate: direttiva acque sotterranee, direttiva per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvione, piano di azione per la scarsità idrica, ecc.) in coordinamento con le altre strategie di sviluppo (energetico, territoriale, agricolo, ecc.) e secondo un piano direttore nazionale di sviluppo sostenibile.

In tale contesto, la recente esperienza del Po costituisce il primo esempio operativo di gestione degli usi

concorrenziali delle risorse idriche e del controllo delle piene a scala di bacino, attraverso un processo partecipato tra le amministrazioni territoriali, gli enti tecnici del bacino, i concessionari e tutti gli attori del processo produttivo.

CONCLUSIONI

Negli ultimi tre decenni il cambiamento climatico è stato uno degli argomenti di maggiore interesse da parte della comunità scientifica, che ancora oggi si adopera a ricercare fattori, meccanismi e processi climatici, oltre che a simulare scenari climatici a scala globale, mediante i cosiddetti modelli di circolazione generale, ovvero a scala locale, mediante opportune tecniche di rappresentazione del fenomeno in aree di interesse specifico. Un altro recente e importante campo di ricerca è anche l'individuazione di cambiamenti nel clima passato, che continua ad alimentare il dibattito scientifico sull'interpretazione delle serie storiche di osservazioni del clima attuale rispetto a quello trascorso e all'attribuzione del fenomeno a forzanti naturali o antropiche. La riduzione del grado di incertezza è una delle sfide delle previsioni del comportamento di variabili e fattori legati a processi climatici complessi, quali temperature, variabili idrologiche, precipitazioni e portate fluviali. I problemi aumentano passando dalla scala spaziale grande dei modelli climatici ad una di dimensioni spaziali più piccole dei modelli idrologici. Inoltre, quando le priorità diventano la pianificazione di un bacino idrografico, la realizzazione di opere di difesa idraulica e la gestione integrata delle risorse idriche, l'importanza degli effetti dei cambiamenti climatici sulle variabili idrologiche richiede anche l'acquisizione di una governance di bacino idrografico, capace di assorbire le potenziali tensioni sociali nell'utilizzo competitivo delle acque, nel controllo delle piene fluviali e nella cooperazione delle amministrazioni territorialmente interessate.

Il bacino idrografico del fiume Po, influenzato da una complessità di fattori sensibili al clima, costituisce un importante bacino nel quale valutare scenari di eventi idroclimatici, socioeconomici e gestionali. La sua superficie, che si estende per oltre 71.000 km², un quarto dell'intero territorio nazionale, interessa 3.200 comuni, le Regioni Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Veneto, Liguria, Emilia-Romagna e la Provincia Autonoma di Trento. La popolazione che vive nel bacino è di circa 16 milioni di abitanti. Se si considera la densità del territorio, le attività produttive insediate, le infrastrutture e il grado di utilizzazione della risorsa idrica, il bacino del Po rappresenta una realtà eccezionalmente varia, un punto nevralgico dell'economia nazionale. In quest'area infatti si forma il 40 per cento del prodotto interno lordo, il 37 per cento dell'industria

nazionale, che sostiene il 46 per cento dei posti di lavoro, il 55 per cento della zootecnia in sole 5 province, il 35 per cento della produzione agricola. Il consumo di energia elettrica, inoltre, è pari al 48 per cento del consumo nazionale.

In questo territorio, è stata avviata una importante

iniziativa per affrontare con sistematicità i temi del monitoraggio delle grandezze idrologiche, della pianificazione del bacino idrografico, della gestione delle risorse idriche, dell'ecosistema acquatico, della navigazione e della realtà socioeconomiche influenzate dagli effetti del clima.

BIBLIOGRAFIA

- BUSUIOC A., TOMOZEIU R., CACCIAMANI C., 2007. Statistical downscaling model for winter extreme precipitation events in Emilia Romagna region. *Theoretical. Applied Climatology* (submitted).
- CACCIAMANI C., PECORA S., TIBALDI S., 2008. Quanto il clima pesa sul bacino del Po. *ARPA Rivista* 3/2008: 12-13.
- IPPC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. J.T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. Van Der Linden, D. Xiaosu (eds.), Cambridge University Press, 881 pp.
- IPPC, 2007. *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- STARDEX: *STATistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions*. A research project supported by the European Commission under the Fifth Framework Programme and contributing to the implementation of the Key Action "Global change, climate and biodiversity" within the Environment, Energy and Sustainable Development. Contract no: EVK2-CT-2001-00115. February 2002 to July 2005. (<http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex>)
- TIBALDI S., 2007. Il cambiamento climatico nel bacino del Po: variabilità e trend. In *Workshop effetti dei cambiamenti climatici sul bacino del Po*, Parma, 16 Luglio 2007.
- TOMOZEIU R., PAVAN V., CACCIAMANI C., AMICI M., 2006. Observed temperature changes in Emilia-Romagna: mean values and extremes. *Climate Research*, **31**: 217-225.
- TOMOZEIU R., CACCIAMANI C., PAVAN V., MORGILLO A., BUSUIOC A., 2007. Climate change scenarios for surface temperature in Emilia-Romagna (Italy) obtained using statistical downscaling models. *Theoretical. Applied Climatology* (in press).