

1. Introduzione al Piano

L'approccio metodologico

Il bilancio idrico costituisce l'imprescindibile elemento conoscitivo su cui costruire e condurre i processi di pianificazione e gestione della risorsa idrica. Rappresenta difatti la sintesi di tre elementi strategici.

Il primo elemento riguarda l'interazione tra clima e bacino idrografico, quantificando gli afflussi e definendo la conseguente risposta in termini di volumi potenzialmente destinati al deflusso, alla evaporazione e traspirazione o quelli avviati verso altri bacini attraverso le più diverse connessioni.

Il secondo sta nella definizione delle pressioni antropiche in termini di risorsa prelevata e restituita per i diversi usi, consumo umano, agricolo, energetico, industriale, sia dal reticolo superficiale che dagli acquiferi sotterranei.

Il terzo, forse il più complesso dal punto di vista concettuale, affronta la definizione del deflusso minimo vitale e, più in generale, il tema della sostenibilità delle condizioni ambientali dell'ecosistema fluviale e ripario.

Il risultato della combinazione di questi tre elementi fornisce, innanzitutto, un quadro aggiornato e affidabile delle criticità, indicando i corpi idrici superficiali e sotterranei nei quali il prelievo ha raggiunto, o può raggiungere, livelli insostenibili. È inoltre da sottolineare l'integrazione con i Piani regionali di tutela, ai quali fornisce un criterio chiaro e ordinato per l'indirizzo della gestione, anche a supporto degli Enti titolari dei diversi provvedimenti autorizzativi.

Il bilancio dell'Arno è stato redatto ai sensi delle linee guida contenute nel DM 28/7/2004 ai fini, appunto, di garantire la tutela della risorsa, la sostenibilità dell'utilizzo e consentire il raggiungimento degli obiettivi di qualità. Vale la pena di sottolineare alcuni temi strategici caratterizzanti il Decreto e che, nei fatti, hanno concretamente indirizzato l'organizzazione e la realizzazione del lavoro.

In particolare, quando si parla di *“componente fondamentale del modello qualitativo di bacino destinato alla rappresentazione in continuo della dinamica idrologica e idrogeologica, degli usi delle acque e dei fenomeni di trasporto e trasformazione delle sostanze inquinanti nel suolo e nei corpi idrici”* si comprende come si tratti della predisposizione di un modello matematico quale pietra angolare indispensabile a valutare efficacemente la disponibilità della risorsa e consentire l'analisi dell'interazione con lo stato di qualità e lo sviluppo di scenari di gestione.

A queste considerazioni si aggiungono quelle, altrettanto fondamentali, derivanti dal progressivo riscaldamento del clima. Non si tratta, nella specie dei fatti, del dibattito sull'entità dell'origine antropogenica o sulla potenziale severità indicata dai diversi scenari a lungo termine ma di un processo oggettivamente registrato dagli strumenti nel corso degli ultimi quarant'anni ed acclarato come dato di fatto dalla letteratura scientifica.

Sono elementi che impongono di accantonare del tutto l'ipotesi di un bilancio per così dire tabellare o compilativo, costruito staticamente sulla considerazione di un clima “medio” e basato sull'assunto della stazionarietà delle serie storiche di piogge e temperature. La dinamica mostrata da tutti gli indicatori, a partire dai primi anni '70, impone una visione adattativa, nella quale la ferma definizione di uno strumento operativo - il modello con le relative procedure di calibrazione - conduce alla massima flessibilità nella gestione del presente, nella rianalisi del passato e nella produzione di scenari futuri. A queste indicazioni si aggiunge l'esigenza di disporre di dati

adeguatamente spazializzati sul bacino in determinate sezioni di interesse mettendo in campo strumenti di adeguata flessibilità.

Il problema, una volta impostato l'impianto concettuale, mostra allora quattro filoni di azione. Il primo è quello della raccolta, validazione e traduzione operativa dei dati. Il secondo è costituito dall'inquadramento (il più possibile unitario) del bacino nell'ambito di adeguati strumenti di modellazione numerica. Il terzo è la produzione di criteri per il deflusso minimo vitale. Il quarto la definizione di "criticità", tanto per le acque sotterranee che per quelle superficiali, anche ai fini della definizione di norme e misure di salvaguardia.

È chiaro che i quattro canali sono fortemente interfacciati tra loro: la loro scansione è tutt'altro che seriale e molti sono gli elementi di reciproco condizionamento. È comunque opportuno analizzarli brevemente uno per uno. È inoltre premessa all'intero lavoro, la definizione degli ambiti temporali da considerare e delle relative scale di riferimento. La discussione preventiva delle serie climatiche ha fatto optare per una analisi basata sugli ultimi quindici anni di osservazioni, fissando nella media giornaliera la risoluzione della modellazione idrologica e idraulica.

Il lavoro sui dati ha implicato una estesa attività mirata ai diversi ambiti meteorologico, litologico e geomorfologico, delle coperture e degli usi del suolo, naturalistico ambientale e quello relativo alle pressioni antropiche. Nel seguito si darà dettagliato conto di quanto svolto. Si consenta di ricordare, solo per fissare l'attenzione su qualche elemento peculiare, la prioritaria elaborazione di una base di dati geografica della morfometria del bacino e del reticolo di riferimento, la piena caratterizzazione dei principali acquiferi, la regionalizzazione delle specie ittiche, l'archiviazione e la validazione relativa ai prelievi e alle restituzioni per centinaia di migliaia di punti sparsi sul territorio.

Il secondo elemento, tra quelli più sopra ricordati, implica, nella sostanza, l'accoppiamento di un modello idrologico ed uno idraulico, finalizzato alla ricostruzione dei deflussi a scala quantomeno giornaliera e alla relativa propagazione nel reticolo di drenaggio. Il problema, se da un punto di vista teorico è di facile posizione, mostra forti criticità all'atto pratico. Si tratta, tanto per fissare le idee, di circa 10.000 Km² di bacino sui quali si dispiega un'estensione di oltre 22.000 km di corsi d'acqua che comprendono, per importanza ed assetto piano altimetrico e ambientale, dall'asta principale, ai torrenti montani, a imponenti sistemi di colatori di bonifica. Al contempo resta, parimenti importante, la simulazione degli acquiferi per la descrizione della dinamica della risorsa sotterranea in relazione alle diverse condizioni al contorno.

Rimandando ai successivi paragrafi per una trattazione di maggior dettaglio, riteniamo opportuno far cenno ad un elemento specifico. Nello svolgimento del lavoro si è difatti cercato, per comprensibili ragioni, di contenere una eccessiva proliferazione di modelli prodotti, anche nell'ambito del medesimo Ente, sul territorio del bacino. Tale impostazione, difatti, consente l'accuratezza che nasce da strumenti tagliati esattamente su ciascun specifico problema. Porta al contempo alla generazione di scenari plurimi che non giovano alla chiarezza, soprattutto ove si vadano a produrre misure di ordine normativo.

Si è allora ritenuto di lavorare considerando codici e procedure già operative nell'ambito dell'Autorità di bacino, tra l'altro, per la modellazione del tempo reale e canalizzando le energie disponibili sul relativo sviluppo, raffinamento e calibrazione. Questa scelta ha pagato il prezzo di rinunciare, visto l'insostenibile divario tra le scale temporali implicate, alla simultanea rappresentazione del moto delle acque superficiali e sotterranee nell'ambito del medesimo strumento operativo. Si ritiene che i vantaggi derivanti da questo disaccoppiamento ripaghino ampiamente la perdita, se vogliamo, dell'eleganza formale derivante da un contesto unificato.

Sul deflusso minimo vitale, si è optato per un approccio di carattere prettamente idrologico affidando ai metodi biologici sperimentali, l'importante compito di verifica e validazione puntuale dei risultati ottenuti. Questo approccio tiene conto dell'imprescindibile ruolo del regime fluviale nella definizione degli habitat, assieme a quella dell'assetto piano altimetrico. La mole di letteratura disponibile, sotto questo punto di vista, è davvero imponente. A questa considerazione si aggiunge l'oggettiva incertezza connessa con le metodologie biologiche sperimentali quando, trascendendo il contesto prettamente locale per il quale sono state validate, siano estese alla scala regionale. In questo senso si ritiene di aver pienamente colto il senso delle procedure, così come consigliato nei lavori scientifici di riferimento, senza procedere verso avventurose quanto improprie estensioni.

Ancora, dunque, una nota sulla questione della "criticità" interpretata come sostenibilità dei prelievi. I concetti chiave saranno espressi dettagliatamente nel corso della relazione dalla quale si potrà evincere come, in accordo con la pianificazione di assetto idrogeologico, si sia optato per una zonizzazione del territorio su quattro classi, anche ai fini di semplificare ed ottimizzare la definizione delle misure normative. Sia consentito un breve cenno sulle acque superficiali. Uno degli elementi fondamentali che si è voluto conservare ed esaltare nel bilancio dell'Arno, è quello della dimensione temporale della criticità. Le condizioni di stress degli ecosistemi fluviali, come è noto, non sono tanto dovute a picchi estremi quanto alla prolungata persistenza di valori di magra. Questo aspetto implica, tra l'altro, sia caratteri legati alla quantità, intesa in senso lato come perdita di area disponibile ponderata, che alla qualità, con il favorirsi di processi eutrofici e lo scadere delle indicazioni dei macrodescrittori, primo tra tutti l'ossigeno disciolto. In questo senso si è voluto concentrare l'attenzione sui risultati delle simulazioni per i quattro mesi estivi, nei quali tutti gli elementi portatori di criticità raggiungono la massima concordanza di fase.

Inquadramento normativo

L'opportunità di un inquadramento giuridico-normativo con riferimento al Piano di bacino, stralcio Bilancio Idrico emerge in tutta la sua evidenza sia dal punto di vista contenutistico e di rapporti tra pianificazioni interferenti con la tutela e gestione della risorsa idrica che dal punto di vista meramente procedurale e amministrativo.

Per quest'ultimo aspetto si rinvia esplicitamente al capitolo introduttivo del Rapporto Ambientale che, oltre a richiamare i passaggi procedurali già compiuti ai sensi della ormai abrogata legge n. 183/1989, ricostruisce la nuova procedura da seguire per l'adozione e approvazione del Piano ai sensi dell'articolo 66 del decreto legislativo n. 152/2006 coordinandola con gli adempimenti in materia di VAS e, salvaguardando, laddove possibile, tutto ciò che è già stato compiuto nonché i contributi esterni pervenuti alla luce della previgente normativa.

Sotto il profilo contenutistico risulta invece opportuno, sia pure per brevi cenni, richiamare le principali normative interferenti con la tematica relativa alla tutela quantitativa della risorsa idrica, partendo dal richiamo alla direttiva quadro in materia di acque.

La direttiva 2000/60/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, già nel primo considerando indica che *"l'acqua non è un prodotto commerciale al pari degli altri, bensì un patrimonio che va protetto, difeso e trattato come tale"*. Sulla base di tale assunto, la stessa direttiva chiarisce che, pur essendo l'obiettivo primario quello di migliorare la qualità delle acque, *"il controllo della quantità è un elemento secondario fra quelli che consentono di garantire una buona qualità idrica e pertanto si dovrebbero istituire, altresì, misure riguardanti l'aspetto quantitativo, ad integrazione di quelle che"*

mirano a garantire una buona qualità”, che “lo stato quantitativo di un corpo idrico sotterraneo può influire sulla qualità ecologica delle acque superficiali e sugli ecosistemi terrestri connessi a tale corpo idrico sotterraneo” e infine che “ai fini della protezione ambientale è necessario integrare maggiormente gli aspetti qualitativi e quantitativi delle acque superficiali e sotterranee, tenendo conto delle condizioni naturali di scorrimento delle acque nel ciclo idrogeologico”.

Lo strumento principale che la direttiva riconosce per il raggiungimento degli obiettivi e delle finalità sopra richiamate è, a livello di distretto idrografico, il Piano di gestione, disciplinato all'art. 13 della medesima direttiva. Tale Piano, per quanto attiene il distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale in cui ricade il bacino nazionale dell'Arno, è stato adottato con deliberazione n. 206 del 24 febbraio 2010 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Arno integrato, ai sensi dell'art. 1 della legge n. 13/2009, dai rappresentanti delle regioni ricadenti nel distretto non già rappresentate nel medesimo e include, al suo interno, anche le problematiche connesse al bilancio idrico.

Oltre alla direttiva quadro sulle acque, nel presente paragrafo si richiamano brevemente le ulteriori disposizioni presenti del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e s.m.i. afferenti alla tematica del bilancio idrico e agli aspetti connessi alla tutela quantitativa della risorsa. In particolare l'art. 145 del decreto 152 che, recependo quanto già era contenuto nella legge Galli del 1994, riconosce all'Autorità di bacino il compito di *“definire ed aggiornare periodicamente il bilancio idrico diretto ad assicurare l'equilibrio fra le disponibilità di risorse reperibili o attivabili nell'area di riferimento ed i fabbisogni per i diversi usi, nel rispetto dei criteri e degli obiettivi di cui all'articolo 144”*. In tale disposizione viene altresì attribuito alle Autorità, al fine di assicurare l'equilibrio tra risorse e fabbisogni, il compito di adottare, per quanto di competenza, le misure per la pianificazione dell'economia idrica in funzione degli usi cui sono destinate le risorse.

La redazione del Bilancio Idrico, con i suoi contenuti conoscitivi finalizzati alla regolazione e gestione della risorsa, è quindi lo strumento previsto dalla normativa vigente (laddove assegna alle Autorità di bacino il compito di definire il Bilancio Idrico), per affrontare il problema della risorsa idrica e del suo utilizzo compatibile e sostenibile.

L'art. 95 del medesimo decreto legislativo n. 152/2006 chiarisce tuttavia che lo strumento attraverso cui sono adottate le misure volte ad assicurare l'equilibrio del bilancio idrico come definito dalle Autorità di bacino è il Piano di Tutela, in quanto la tutela quantitativa della risorsa concorre al raggiungimento degli obiettivi di qualità attraverso una pianificazione delle utilizzazioni delle acque volta ad evitare ripercussioni sulla qualità delle stesse e a consentire un consumo idrico sostenibile. Ciò in attuazione degli stessi postulati della direttiva 2000/60/CE e in una prospettiva che vede nel Piano di gestione il piano sovraordinato in cui tutte le pianificazioni in materia, comprese quelle regionali, dovranno in ultima istanza integrarsi.

Il Piano di Tutela delle acque della Regione Toscana, approvato con deliberazione del Consiglio Regionale n. 6 del 25 gennaio 2005, risulta articolato per bacini idrografici e comprende, quindi, anche la parte relativa al bacino del fiume Arno. L'art. 9 delle norme di attuazione di tale Piano stabilisce con riferimento alle misure generali per il raggiungimento della tutela quantitativa della risorsa idrica che *“Per il raggiungimento della tutela quantitativa della risorsa è necessario che vengano adottate le seguenti misure. (...) Le Autorità di bacino devono: a) definire il Deflusso Minimo Vitale (dmv) nonché il Bilancio Idrico del bacino, con particolare riferimento ai corpi idrici sotterranei; b) Individuare i corpi idrici superficiali che presentano portata critica e cioè quelli per i quali si presuppone che la portata idraulica sia per 60 giorni l'anno inferiore al DMV (...) nonché gli indirizzi per ridurre il deficit di DMV; c) Individuare i corpi idrici sotterranei, o loro porzioni, che presentano grave deficit di bilancio idrico (...) nonché definire gli indirizzi per ridurre il deficit; e) definire, nelle more della individuazione dei*

corpi idrici superficiali a portata critica, di quelli sotterranei a grave deficit di bilancio idrico e di quelli interessati da fenomeni di ingressione di acque marine, le misure di salvaguardia per la tutela quantitativa e qualitativa dei corpi idrici in oggetto". Il Piano di Tutela della Regione Toscana conferma, dunque, quanto già contenuto nella normativa di settore: i dati del bilancio idrico e le relative misure, come stabiliti dall'Autorità di bacino, debbono confluire nel Piano di Tutela e sono finalizzati ad integrarne i contenuti, in quanto la tutela quantitativa della risorsa concorre al raggiungimento degli obiettivi di qualità. In tal senso si giustifica anche la struttura "atipica" del Piano stralcio "Bilancio Idrico" che non contiene previsioni esplicite in materia di interventi, confermando dapprima il Piano di Tutela e in ultima analisi il Piano di gestione come gli strumenti migliori per la definizione di interventi preordinati alla tutela quantitativa della risorsa.

Anche il Piano di Tutela delle acque della Regione Umbria, approvato con deliberazione del Consiglio Regionale n. 357 del 1 dicembre 2009, risulta articolato per sottobacini e comprende la parte relativa al bacino del fiume Arno.

Con riferimento ad entrambi i Piani di Tutela, occorre ricordare che l'Autorità di bacino, ai sensi dell'art. 121 del decreto legislativo n. 152/2006, nel contesto della propria attività di pianificazione, ha fissato gli obiettivi su scala di bacino cui i suddetti piani regionali dovevano attenersi e ne ha verificato, prima della loro approvazione, la rispondenza esprimendo al riguardo il parere di competenza.

Per l'analisi più dettagliata dei rapporti con i vari strumenti di pianificazione di settore e la verifica della coerenza esterna del Piano stralcio si rimanda al Rapporto Ambientale che, ai sensi dell'Allegato VI Parte II del decreto legislativo n. 152/2006 e s.m.i., contiene un capitolo che approfondisce tale aspetto. In questa sede si evidenzia, comunque, come il presente Piano si inserisca nel settore pianificatorio relativo alla tutela e gestione della risorsa idrica, in coerenza con la normativa comunitaria in materia di acque e con lo stesso Piano di gestione del Distretto, del quale costituisce uno stralcio settoriale relativo al bacino del fiume Arno. Analogamente nel Rapporto Ambientale viene rimarcata la coerenza con un ulteriore stralcio del Piano di bacino, il Piano stralcio "Qualità delle acque" approvato con d.p.c.m. del 31 marzo 1999 e viene evidenziato il rapporto esistente tra le due pianificazioni.

Nella ricognizione delle disposizioni attinenti alla tematica del bilancio meritano un breve richiamo anche le *"Linee Guida per la predisposizione del bilancio idrico di bacino, comprensive dei criteri per il censimento delle utilizzazioni in atto e per la definizione del minimo deflusso vitale, di cui all'art. 22 comma 4 del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152"* contenute nel decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio del 28 luglio 2004. In particolare le linee guida sono state utilizzate nella determinazione del Deflusso Minimo Vitale (DMV) e nella definizione delle misure relative al bilancio e allo stesso DMV.

In tale decreto viene, infatti, chiarito che l'equilibrio del bilancio idrico è finalizzato alla tutela quantitativa e qualitativa della risorsa, in modo da consentire un consumo idrico sostenibile e da concorrere al raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale definiti nel Piano di tutela delle acque.

Nel medesimo decreto viene inoltre ribadito che l'elaborazione dei bilanci idrici per i corpi idrici superficiali e sotterranei ha lo scopo di costituire uno strumento analitico per la valutazione della disponibilità delle risorse idriche, al netto delle risorse necessarie alla conservazione degli ecosistemi acquatici, e della compatibilità con gli usi delle acque; per l'analisi e la comprensione delle interazioni con lo stato di qualità dei corpi idrici; nonché per lo sviluppo di scenari di gestione delle risorse idriche compatibili con la tutela qualitativa e quantitativa. E viene infine ricordato che il DMV rappresenta una portata di stretta attinenza al Piano di tutela, costituendo sia un indicatore utile per le

esigenze di tutela, sia uno strumento fondamentale per la disciplina delle concessioni di derivazione e di scarico delle acque

Una evidenziazione in questa sede merita, altresì, la disposizione contenuta all'art. 96 del decreto legislativo n. 152/2006 e s.m.i., recante una serie di modifiche al regio decreto 11 dicembre 1933, n. 1775 "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici". In particolare il comma 1 dell'articolo 96 sostituisce il secondo comma dell'art. 7 del regio decreto sopra citato e dispone che *"Le domande (...) - ossia le domande per nuove concessioni di derivazione - relative sia alle grandi sia alle piccole derivazioni sono altresì trasmesse alle Autorità di bacino territorialmente competenti che, entro il termine perentorio di quaranta giorni dalla data di ricezione ove si tratti di domande relative a piccole derivazioni, comunicano il proprio parere vincolante ai competente Ufficio Istruttore in ordine alla compatibilità della utilizzazione con le previsioni del Piano di tutela, ai fini del controllo sull'equilibrio del bilancio idrico o idrologico, anche in attesa di approvazione del Piano anzidetto. Qualora le domande siano relative a grandi derivazioni, il termine per la comunicazione del suddetto parere è elevato a novanta giorni dalla data di ricezione delle domande medesime. Decorso i predetti termini senza che sia intervenuta alcuna pronuncia, il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio nomina un Commissario "ad acta" che provvede entro i medesimi termini decorrenti dalla data della nomina"*.

Tale articolo prevede che l'Autorità di bacino esprima parere vincolante sulle grandi e piccole derivazioni idriche, ai fini del controllo sull'equilibrio del bilancio idrico. Da questo punto di vista il Piano stralcio "Bilancio Idrico" costituisce il quadro conoscitivo - in termini di disponibilità della risorsa e di criticità - sul quale l'Autorità già fonda, quotidianamente, il proprio motivato parere, tenendo conto delle stesse misure di Piano che, adottate dal Comitato Istituzionale ai sensi della deliberazione n. 204/2008 anche quali misure di salvaguardia, sono entrate in vigore a far data dal 2 aprile 2008.

Il piano di bacino nel contesto delle strategie di adattamento al cambiamento climatico

Introduzione

Si è accennato ad una forte dinamica del clima. Questa è riscontrata soprattutto in termini di temperature con un trend che, riassumendo in estrema sintesi i dati sul territorio del bacino, denuncia una deriva sostanzialmente costante stimabile grossomodo in 2,5 centesimi di grado centigrado all'anno a partire dal 1970. A tale deriva fa riscontro una generale intensificazione delle precipitazioni come, tra l'altro, è ben documentato da una ricerca svolta dalla Autorità di bacino in collaborazione con il CNR-IBIMET.

Nella discussione generale, in qualche modo monopolizzata dalla opportunità e dalla scelta di adeguate azioni di mitigazione, non sempre si è mantenuta viva l'attenzione sul "qui e adesso", sulla situazione in atto e in particolare, visto il presente contesto, sugli effetti nei confronti della pianificazione territoriale.

Recentemente, anche alla luce della COM (2009) 147 contenente il Libro bianco su "*L'adattamento ai cambiamenti climatici: verso un quadro d'azione europeo*", è andato sviluppandosi il concetto di "strategie di adattamento" che, parallelamente all'azione di mitigazione, consentano di contrastare efficacemente, localmente e immediatamente gli effetti del cambiamento globale, cogliendo anche le eventuali opportunità che potrebbero derivarne.

Gli effetti al suolo sono particolarmente evidenti soprattutto in termini di bilancio idrico annuo che, confermando quanto avviene sui grandi bacini nazionali, ha subito una sensibile riduzione nelle ultime decadi. L'Autorità di bacino, a partire dal 2001, ha avviato un programma di osservazioni sistematiche sul Casentino, assunto come bacino sperimentale per via delle particolari condizioni di stabilità dell'uso dei suoli, della scarsa antropizzazione e della ricchezza di sensori di temperatura, pioggia e portata, molti dei quali con serie quasi secolari.

Proprio l'analisi dell'andamento del deflusso a Subbiano, sezione di chiusura del bacino sperimentale, mostra alcuni elementi significativi che vale la pena di ricordare. Il primo è l'abbattimento del bilancio idrico dal 1971 che, rispetto al quarantennio 1930-1970, mostra una riduzione media dell'ordine del 30%. Il secondo è l'alternanza di periodi siccitosi con altri di maggiore abbondanza di acqua. Questi periodi, cui può essere attribuita una quasi periodicità più o meno decennale, sono ben correlati con la NAO (oscillazione nordatlantica) invernale, indicando il ruolo di una componente climatica quasi periodica alla scala sinottica. Il terzo elemento, sempre con riferimento ai due periodi antecedente e successivo al 1970, è una diminuzione del bilancio invernale a favore di quello primaverile nella misura di circa il 3%, mentre le quote di estate ed autunno rimangono praticamente invariate.

Volendo individuare un corretto orizzonte temporale di analisi, conviene discutere brevemente le ragioni di questo andamento. È innanzitutto da escludere che la tendenza sia provocata da un progressivo intensificarsi, nel corso degli anni, dei prelievi diretti dall'alveo, soprattutto a fini irrigui, per via di una maggiore estensione ed industrializzazione delle pratiche agricole. I dati, se questo fosse, mostrerebbero una accentuata quanto marcata riduzione della portata nel periodo estivo, in relazione alla massima esigenza delle colture. Questa stagionalità non è riflessa nella serie storica che presenta un trend sostanzialmente coerente in tutte le stagioni e anzi, decisamente più accentuato durante l'inverno. Allo stesso modo il prelievo per gli acquedotti, comunque sottoposto ad un certo controllo da parte dei gestori, è sostanzialmente stabile e relativamente basso nella quantità.

Un altro elemento da prendere in considerazione è lo sviluppo del bosco che può aver sensibilmente contribuito all'incremento del volume evaporato e traspirato. Il Casentino rispecchia difatti l'andamento generale dell'uso del suolo in Toscana che vede, a partire dal dopoguerra, una diminuzione delle colture agrarie associata a uno speculare aumento delle aree naturali e seminaturali, in collina e in montagna.

Si è parlato del Casentino come area sostanzialmente stabile rispetto all'uso dei suoli. Questa stabilità è sostanzialmente riflessa anche nell'assetto della copertura forestale. Si stima tuttavia che la provvigione del bosco sia incrementata nell'ordine di circa il 15% negli ultimi trent'anni. È un dato, si badi bene, tutt'altro che trascurabile, soprattutto come tassello di un mosaico da completarsi alla scala dell'intero bacino dell'Arno. Il differenziale di evapotraspirazione (*ET*) può essere stimato approssimativamente attraverso l'incrocio delle indicazioni della letteratura sulla *ET* potenziale delle diverse specie arboree presenti, con i dati di precipitazione effettivamente osservati. Conviene tuttavia ricordare che i nuovi boschi, vista anche la conformazione del territorio, hanno preso il posto soprattutto dei pascoli (festuceto), più che di aree incolte. Il potenziale traspirante del pascolo è assai elevato e generalmente superiore a quello del bosco. Si può dunque presumere che, dal punto di vista del trasferimento dell'acqua verso l'atmosfera, ben poco sia cambiato.

È così possibile affermare che il riscaldamento del clima sia effettivamente l'attore principale nel determinare l'andamento dei dati del bacino sperimentale. Il meccanismo principale è fornito dall'aumento generale di *ET*. A questo va aggiunto l'effetto della intensificazione delle precipitazioni. In sostanza, moltiplicandosi gli eventi brevi ed intensi a spese di quelli relativamente più estesi nel tempo, si consegue un effetto negativo sul deflusso annuo. Questo, tra le altre ragioni, per una maggiore disponibilità di volumi potenzialmente evaporabili e traspirabili nei suoli a parità (o in presenza di una leggera diminuzione) della altezza di precipitazione annua.

Funzionalità del piano di bacino nei confronti del cambiamento globale

Il bacino idrografico, se si configura naturalmente come uno specifico sistema fisico e ambientale, mostra caratteri sociali ed economici altrettanto specifici. Il regime fluviale, oltre a governare la dinamica di una complessa rete di ecosistemi, determina in questo senso anche una serie di processi la cui manifestazione più immediata è l'elevata concentrazione abitativa, infrastrutturale e produttiva che si riscontra generalmente nelle pianure alluvionali, nelle immediate adiacenze dei corsi d'acqua.

Il fenomeno non è difatti spiegato dal solo favorevole assetto morfologico del territorio, ma mostra forti quanto interessanti correlazioni con la potenziale disponibilità di risorsa idrica. I primi risultati di una indagine in corso del *Censis* confermano, tra le altre cose, il dato del permanere di una forte coesione sociale e di precisi elementi identitari connessi, tra l'altro, con le caratteristiche di generale resilienza sistemica rispetto alle catastrofi naturali.

Queste considerazioni rafforzano l'idea della pianificazione come strumento ottimale per operare uno specifico affinamento delle strategie nazionali di adattamento alla scala del bacino idrografico. Questa unità fisiografica è difatti individuata, nelle politiche nazionali di difesa del suolo, come ambito consolidato per una specifica ed imprescindibile pianificazione sovraordinata di area vasta. Proprio il Piano di bacino costituisce il contesto istituzionalmente naturale ove le strategie di adattamento, elaborate alle scale maggiori, trovano una efficace possibilità di *downscaling* locale ed una operatività pienamente integrata nelle politiche territoriali in atto. Questo, tra l'altro, in piena coerenza con gli indirizzi legislativi comunitari e nazionali.

Peculiarità del bacino dell'Arno

Il bacino dell'Arno, per la sua natura litologica e morfologica, non presenta efficaci serbatoi naturali che consentano una significativa intrinseca modulazione del regime

idrologico. Il carattere risulta dunque sostanzialmente torrentizio, contraddistinto da una tipica risposta impulsiva alla precipitazione. Il deficit di bilancio idrico riscontrato annualmente in modo significativo in numerose aree del bacino, fa da contrappunto al rischio idraulico testimoniato da una serie millenaria di eventi calamitosi.

Nelle stesse zone soggette ad inondazioni eccezionali dell'Arno, la cui superficie non arriva allo 0,3% di quella italiana, si produce, ad esempio, oltre il 2% del prodotto interno nazionale. L'importanza delle reti ecologiche, della biodiversità e dei sistemi di paesaggio, è altrettanto rilevante e documentata. Dati che indicano come il sistema bacino risulti intrinsecamente vulnerabile. Si tratta di una vulnerabilità dotata di una propria dinamica cui il cambiamento climatico aggiunge una ulteriore deriva.

Per valutare le strategie di adattamento a questa scala, conviene dunque utilizzare un approccio di tipo *bottom-up* che ha il vantaggio di rappresentare meglio i problemi locali e le tendenze in atto.

I dati significativi

Il laboratorio del Casentino

Per ottimizzare le attività di analisi della dinamica del clima, si è posta l'attenzione su una specifica area campione ove gli effetti della forzante climatica potessero essere ragionevolmente isolati rispetto a quelli derivanti dalla dinamica del territorio.

Si è preso pertanto in considerazione il bacino del Casentino chiuso a Subbiano, ricadente per intero nella provincia di Arezzo. Si tratta dell'alto bacino dell'Arno ed ha un'estensione di circa 750 km². L'area è abbastanza stabile rispetto all'uso dei suoli che vede oggi (2004) il 75,6% circa di foreste e aree seminaturali, il 23,6% di aree agricole e l'1,7% di superfici artificiali.

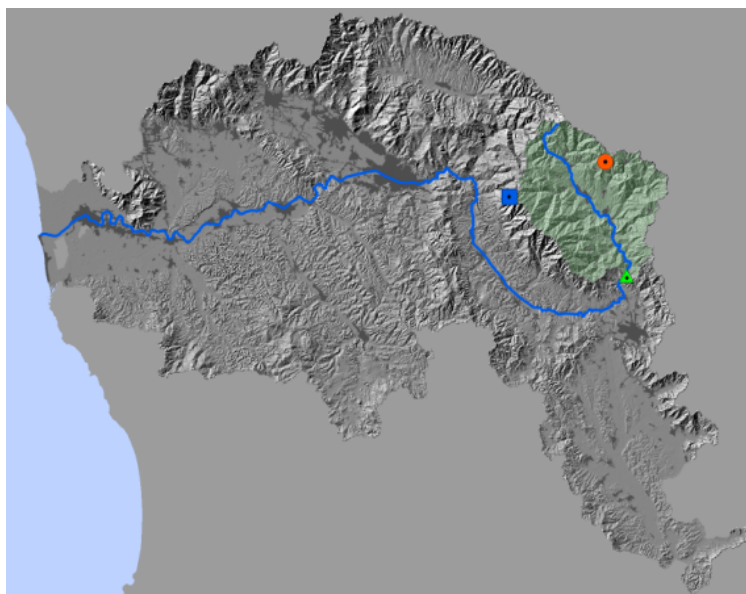


Figura 1 - Il sottobacino del Casentino. In figura sono riportate le collocazioni della stazione idrometrica di Subbiano, a chiusura del bacino, e la stazione di Camaldoli (in cui si dispone di una serie storica di rilevazioni di temperatura secolare)

La popolazione (2005) è pari a circa 37.000 abitanti, sostanzialmente concentrata nei centri abitati di un tessuto fortemente discontinuo. La densità, 50 abitanti per chilometro quadrato, è inferiore al 40% della media regionale. Non si registrano autostrade, gallerie, invasi o altre infrastrutture significative.

Il bacino è assai ben strumentato con due stazioni idrometriche per la misura della portata, 22 pluviometri e 11 termometri. Le serie sono estese a molte decadi e, in diversi casi, hanno estensione quasi secolare.

Analisi annuale del regime fluviale

Uno dei metodi classici per l'analisi dei regimi fluviali è la costruzione della “curva di durata” grazie alla quale è possibile conoscere quanti sono i giorni dell'anno per i quali la portata è superiore ad una certa soglia. È una rappresentazione generalmente utile per verificare i bilanci idrologici, stimare la produzione potenziale di energia o per verificare l'efficienza di un sistema di navigazione fluviale.

Convieni ricordare che, con questo metodo, si perde, oltre alla successione giornaliera, anche la stagionalità del dato e valori relativi a periodi dell'anno molto lontani fra loro, estate ed inverno, primavera ed autunno, si mescolano l'uno accanto all'altro in una visione sostanzialmente poco sensibile alle cadenze dei sistemi ambientali. Resta tuttavia un approccio utile per configurare il regime nel suo complesso.

La figura successiva mostra la curva di durata costruita sulle portate medie giornaliere a Subbiano relativa al periodo 1930-1970 sovrapposta, sullo stesso grafico, a quella del periodo 1971-2009. Dall'analisi degli andamenti si osserva come il regime del periodo remoto sia sistematicamente superiore a quello più recente per tutte e 365 le durate considerate, arrivando addirittura a differenze che superano il 30% per oltre i due terzi dei giorni dell'anno.

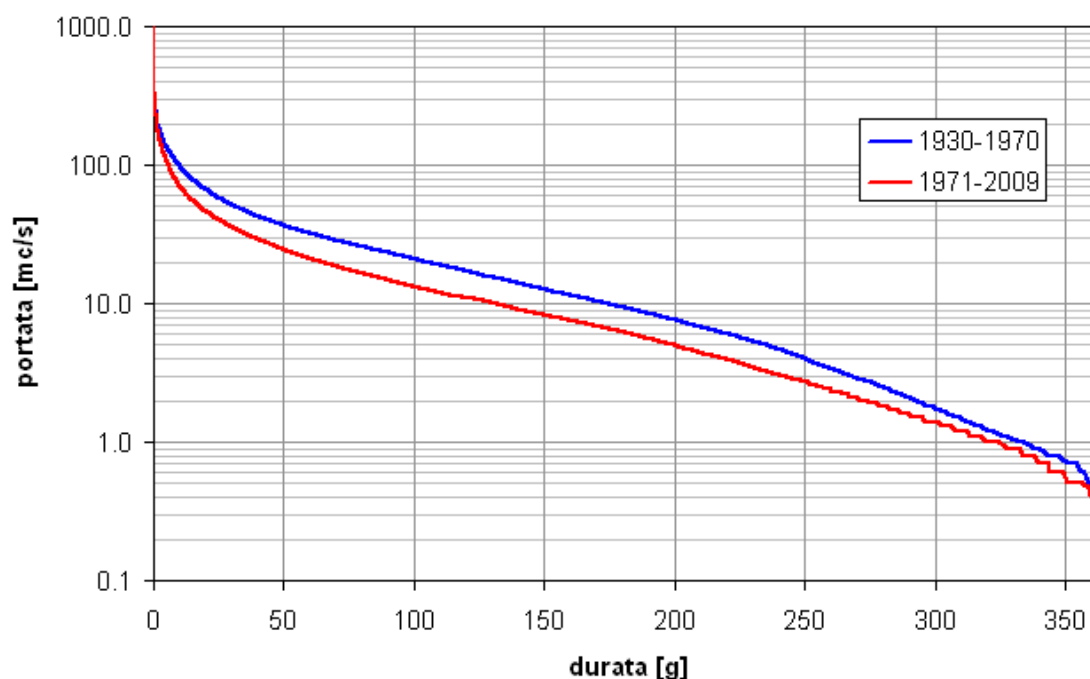


Figura 2 - Curva di durata costruita sulle portate medie giornaliere a Subbiano relativa al periodo 1930-1970 sovrapposta a quella del periodo 1971-2006

Questo dato è un primo segnale che fornisce anche un'informazione quantitativa sul volume complessivamente perduto: oltre 180 milioni di metri cubi ogni anno pari al 30% circa del totale (600 milioni), mediamente defluito annualmente nel periodo tra il 1930 e il 1970. Si pensi, per fissare le idee che 180 milioni di metri cubi corrispondono, in ordine di grandezza, all'intero volume contenuto in un lago artificiale di grandi

dimensioni, almeno per l'Italia Centrale, quale, ad esempio, Corbara o Montedoglio e ben oltre il doppio del necessario a riempire, fino al massimo livello di invaso, il lago di Bilancino.

L'analisi stagionale

Convienne allora guardare più attentamente le curve di durata stagionali che, limitando l'analisi a periodi di 90 giorni circa, forniscono una immagine più pregnante per gli ecosistemi. È un passaggio ulteriore che considera i diversi regimi nel corso dell'anno senza tuttavia conservare la successione temporale dei giorni. Il confronto è ancora riferito alla differenza tra i periodi 1930-1970 e 1971-2009.

Il dato più eclatante riguarda l'inverno ove la differenza media stagionale è più o meno costante sull'intero spettro delle durate con una perdita stabilmente compresa tra il 35 e il 40% e una media di poco meno del 38%. È interessante osservare che questa stagione, che produce circa il 40% del deflusso annuale, tende progressivamente a sottrarre risorsa alla primavera mentre il rapporto con l'estate e l'autunno si conserva stazionario.

L'autunno produce stabilmente un terzo del deflusso annuo. La perdita di risorsa, nella stagione, è più accentuata per le durate intermedie, dove supera il 40%. La media è di poco superiore al 28%. È un dato da sottolineare perché testimonia che le piene significative, corrispondenti alle durate più basse, non subiscono variazioni significative tra un periodo e l'altro. È un tema che riguarda il concetto di invarianza del rischio idraulico sugli eventi maggiori rispetto al cambiamento climatico.

Anche il contributo primaverile al deflusso, conserva invariata la sua quota di un quarto rispetto al totale. La riduzione in termini assoluti invece supera di poco il 18% ed è curioso constatare, anche in questo caso, che gli scarti più bassi, e dunque una sostanziale invarianza nel tempo, occorrono proprio in corrispondenza delle piene maggiori che transitano sostanzialmente invariate, nella frequenza e nell'intensità, attraverso i decenni.

Il deflusso estivo presenta una diminuzione dell'ordine del 22%. Si tratta di un dato forte che, tuttavia, merita uno specifico approfondimento. L'estate costituisce difatti una stagione particolarmente critica per gli ecosistemi. La criticità riguarda soprattutto lo stress relativo all'occorrere di più giorni consecutivi con portate al di sotto del livello di sofferenza per l'ecosistema fluviale.

Sempre facendo riferimento ai due periodi, prima e dopo il 1970, è facile calcolare la frequenza associata al superamento di assegnati valori di portata media giornaliera. Consideriamo, ad esempio, la soglia di un metro cubo al secondo. Ebbene, prima del 1970 è stata superata nell'oltre il 67% dei giorni dei mesi di luglio, agosto e settembre. Nel periodo successivo questa frequenza è scesa al 60%. Consideriamo adesso la soglia della portata e passiamo a considerare mezzo metro cubo al secondo. La frequenza di magre al disotto di questo valore è raddoppiata, dal 6 a oltre il 13%.

Gli indicatori di stress

Convienne insistere su questi indicatori di stress soprattutto per quello che riguarda la capacità degli ecosistemi a rispondere alle sollecitazioni da parte del clima. In questo senso entra in gioco, oltre alla sollecitazione in se stessa, la sua durata; è noto difatti come la criticità per l'ecosistema ripario non è indotta tanto dal picco negativo di una giornata ma nella persistenza di lunghi periodi di magra.

Possiamo dunque verificare ancora le due serie temporali a monte e a valle del 1970, sulla base del numero di eventi nei quali la portata è stata inferiore ad una determinata soglia per due o più giorni consecutivi. Consideriamo ancora il valore limite di $1 \text{ m}^3/\text{s}$ che, vista l'incertezza che gli idrometri mostrano spesso con le basse portate può considerarsi, almeno nella specie dei fatti, un dato largamente affidabile. Gli eventi di

magra persistenti che abbiano raggiunto e superato questo valore, nel primo periodo, sono stati mediamente 2,7 all'anno. Nel quarantennio successivo la media è cresciuta di oltre il 13%, con una frequenza di 3,0 eventi l'anno. È interessante tuttavia che lo stesso dato, riferito agli ultimi dieci anni, indica ben 4,2 eventi l'anno, a sintesi di un trend sostenuto e che non accenna a indebolirsi.

Oltre alla determinazione quantitativa di questi eventi, conviene anche guardare, come si è detto, la loro durata. Dalle registrazioni emerge subito che le magre che si sono protratte per oltre un mese sono il 12% tra il 1930 e il 1970 mentre salgono al 15% tra il 1971 e il 2009. Ancora più significativi sono i sei eventi di estensione superiore a due mesi, addirittura 121 giorni, l'intera estate nel 2003, che non hanno precedenti nella serie prima del 1971 nel quale il dato più severo è quello relativo a 59 giorni consecutivi nel 1962.

È interessante osservare che fenomeni analoghi sono comuni a tutti i grandi fiumi europei. Anche sul Po si è riscontrato, specialmente negli ultimi dieci anni, un imponente aumento proprio nella durata delle magre estreme. Le conseguenze, soprattutto se viste in un'ottica di lungo periodo sono riconducibili a due classi di aspetti che possiamo sommariamente rubricare come "qualitativi" e "quantitativi".

Gli effetti al suolo

La riduzione delle portate ha, tra le conseguenze più immediatamente visibili, un incremento nella probabilità di fenomeni di eutrofizzazione e di morie di pesci. Preme sottolineare, in queste brevi note, gli effetti sulla biodiversità affrontando il problema delle magre persistenti in termini quantitativi, almeno per quanto riguarda alcuni effetti diretti sull'ecosistema. Per l'analisi si farà riferimento al metodo dei "microhabitat" ampiamente descritto in altra parte della relazione.

I diversi livelli di "Area disponibile ponderata" che osserviamo, in funzione della portata, sono correntemente interpretati come indice di sostenibilità locale per la specie considerata. Valutiamo adesso le portate comprese tra zero e l'*optimum*. I livelli di *ADP* considerati di pieno benessere della specie stanno al disopra del 70%. Per le portate corrispondenti attorno al 30% si raggiunge il limite della sopravvivenza in termini di spazio vitale. Ricordiamo che il metodo "dei microhabitat" interpreta difatti l'*ADP* come percentuale appunto di spazio necessario per svolgere le diverse funzioni vitali.

In questi casi entra in gioco un elemento fondamentale dato dalla continuità longitudinale del corso d'acqua. I pesci, se non sono impediti da dighe, traverse o altri ostacoli, si spostano agevolmente e possono sperare di trovare condizioni più favorevoli da altre parti. Altrimenti resistono comprimendo il proprio profilo esistenziale su livelli sempre più defilati. La persistenza della magra, sotto questo punto di vista, diventa sostanziale.

Andiamo a esaminare, ad esempio, la condizione di massimo benessere proprio a Subbiano, alla chiusura del bacino laboratorio del Casentino ove la specie di riferimento è il barbo (*Barbus tyberinus*). Consideriamo la delicata fase riproduttiva che si svolge nella tarda primavera tra i mesi di aprile, maggio e giugno quando la portata corrispondente al 70% di *ADP*, è stimata attorno a 1,4 m³/s. Questa soglia, nel periodo compreso tra il 1930 e il 1970, è stata mancata, per più giorni consecutivi, soltanto quattro volte: più o meno una ogni vent'anni. Nel quarantennio successivo le fallanze sono state 13, circa una ogni tre anni. È ancora più rilevante il fatto che la frequenza e la persistenza di questi fenomeni è aumentata a dismisura negli ultimi anni con episodi di 27 giorni consecutivi nel 2006, 14 nel 2005, 9 nel 2004 e ancora 16 nel 2003, solo per citare i più eclatanti.

L'ecosistema fluviale, come tutti i sistemi perturbati nel proprio equilibrio, reagisce cercando, nello spazio dei parametri, un nuovo punto di equilibrio sostenibile. La prima conseguenza, diminuendo la disponibilità di habitat, è la riduzione degli individui

presenti, sia attraverso la migrazione verso altri tronchi fluviali, sia, più semplicemente, morendo senza la garanzia di un adeguato rimpiazzo.

Le strategie per la redazione del bilancio idrico

Come indicato nel capitolo dedicato alle acque superficiali, la conoscenza delle dinamiche climatiche in atto impone una scelta di indicatori sensibili a tale problematiche. Lo scenario temporale delle analisi di bilancio deve rispondere dunque alle seguenti caratteristiche:

- 1) sufficientemente contenuto rispetto al complesso quasi secolare delle osservazioni in modo da dar conto compiutamente della deriva del clima;
- 2) sufficientemente breve e recente da consentire una fotografia aggiornata e realistica del quadro dei prelievi in atto in relazione alle portate osservate;
- 3) sufficientemente esteso da filtrare le oscillazioni in alta frequenza della NAO invernale che, nella loro quasi periodicità, si articolano su cicli pressoché decennali;
- 4) deve inoltre pesare adeguatamente i dati recenti in maniera da dar conto dei valori assoluti raggiunti dalle forzanti climatiche. Si ricorda, a questo proposito, che gli ultimi anni sono stati effettivamente costellati da importanti estremi, non solo per quanto riguarda precipitazione e la temperatura, ma anche per gli effetti al suolo e, in particolare, le portate fluviali.

Si è così ritenuto che una finestra di quattordici anni, dal 1993 al 2006, possa adeguatamente rispondere alle esigenze appena segnalate. Le serie temporali utilizzate per le elaborazioni modellistiche si fermano al 2006 sostanzialmente perché ha termine a tale anno il più recente set di dati controllato e validato dal produttore del dato, per tutte le variabili di interesse: precipitazioni, portate, temperature, radianza, umidità dell'aria e velocità del vento. Tale scelta è corroborata anche dal fatto che, andando ad analizzare l'impatto degli ultimi tre anni (periodo 2007-2009) in termini di afflussi e deflussi, si osserva per gran parte dei sottobacini dell'Arno una sostanziale ergodicità rispetto al periodo sopra citato.

Di contro, se è vero che l'ecosistema attuale è il frutto dell'adattamento alle mutevoli dinamiche climatiche, per caratterizzarne quantitativamente le condizioni minime di sussistenza è necessario fare riferimento ad una scala temporale estesa a molte decadi, quelle che hanno determinato l'attuale assetto del sistema. Questa è la base temporale su cui viene calcolato l'indicatore idrologico assunto a riferimento per la stima del deflusso minimo vitale, che, come verrà illustrato in modo esaustivo, è rappresentata dalla portata $Q_{7,2}$ (portata media su sette giorni consecutivi con tempo di ritorno due anni).

Per valutare meglio l'impatto di questa scelta, che ha decisive ripercussioni sulla determinazione dei parametri di riferimento e delle condizioni di criticità di acquiferi e corpi idrici superficiali, può essere interessante esaminare la variazione delle curve di durata delle portate, in riferimento proprio al valore della portata indice adottata $Q_{7,2}$. Il caso esaminato è sempre quello della stazione di Subbiano, a chiusura del sottobacino laboratorio del Casentino. Facendo un calcolo del numero di casi in cui la portata fluente non ha raggiunto, per almeno sette giorni consecutivi, tale valore di riferimento, si ottengono i risultati riassunti nella seguente figura:

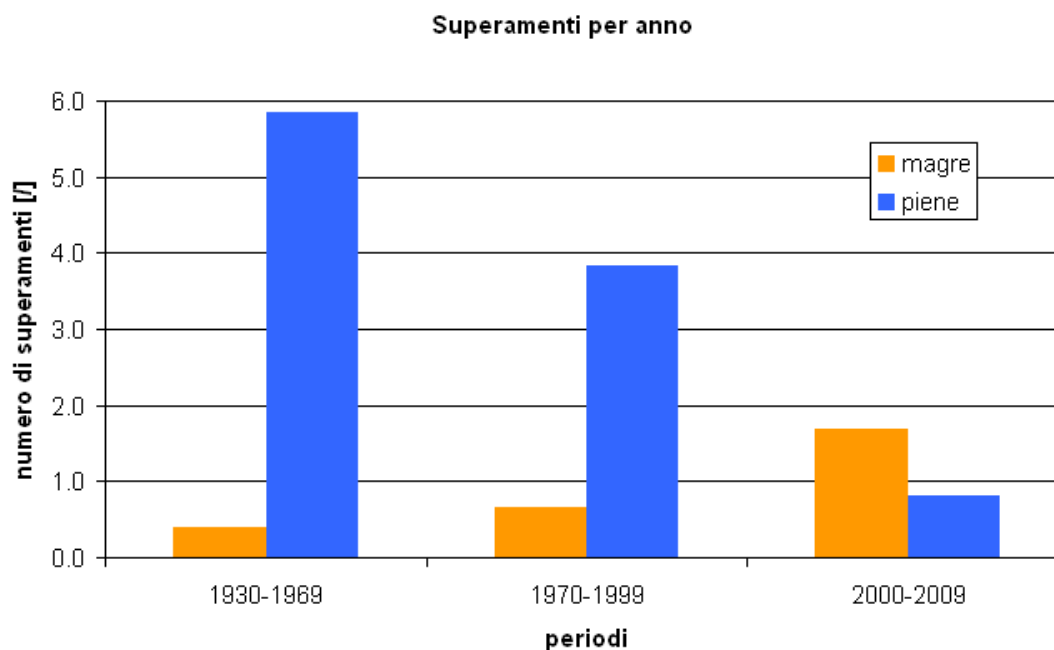


Figura 3 – Numero medio di magre e piene per anno nei periodi 1931-1969, 1970-1999, 2000-2009. Il numero viene valutato considerando per le magre, come soglia inferiore, il valore del DMV; per le piene, il valore di portata di piena associabile ad un tempo di ritorno biennale

Si sottolinea, che, relativamente al caso particolare preso ad esempio (il Casentino), la rilevanza delle pressioni antropiche sulla risorsa idrica è tutto sommato limitata; e questo è corroborato anche, come verrà illustrato nella discussione dei risultati finali, dal fatto che il sottobacino non presenta una situazione di rilevante deficit idrico.

Il dato, ancorché limitato al solo caso di esempio, è particolarmente significativo poiché alcuni dei sottobacini analizzati presentano, al contrario del Casentino, un numero anche elevato di giorni in cui la portata non raggiunge il valore di deflusso minimo vitale adottato. Il manifestarsi della stessa evoluzione comporta quindi un impatto ancora più allarmante.

Ciò è la riprova dell'impatto rilevante, tra gli altri fattori, del cambiamento climatico; in assenza di una strategia di adattamento, tale impatto corre il rischio di modificare in maniera repentina e forse irreversibile molti degli ecosistemi del nostro bacino.