

## Tavola 6.6 Bilancio idrologico di grandi bacini imbriferi nel XX secolo

### Introduzione

Il bilancio idrologico di un bacino imbrifero è improntato in prima istanza dal clima regionale. Un influsso viene però esercitato anche dalla copertura del terreno, dallo sfruttamento territoriale e da diversi interventi antropici concepiti nell'ambito dell'economia idrica. Esempi di questo tipo sono gli ampi sistemi d'irrigazione, l'accumulo negli invasi oppure il governo dei livelli lacustri. Le variazioni del clima o dello sfruttamento del territorio si ripercuotono in modo corrispondente sul bilancio idrologico: a seguito del mutamento climatico osservato già nel XIX secolo la temperatura dell'aria è aumentata, favorendo lo scioglimento dei ghiacciai e l'evaporazione. Anche gli eventi meteorici possono subire alterazioni. Mutamenti nello sfruttamento del territorio, quali ad esempio l'intensificazione dell'agricoltura o l'incremento delle aree boschive, innalzano ulteriormente l'evaporazione. Le lunghe serie storiche inerenti le componenti del bilancio mostrano dunque da un lato quali risorse idriche siano disponibili in un bacino e, dall'altro, come il bilancio stesso si sia eventualmente alterato a causa dei citati fattori influenti. L'equazione semplificata del bilancio, valida per un bacino imbrifero chiuso privo di derivazioni idriche artificiali e di adduzioni o abduzioni sotterranee e superficiali si esprime in modo chiaro come segue:

$$P - R - E - \delta S = 0$$

P rappresenta le precipitazioni, R il deflusso, E l'evapotraspirazione e  $\delta S$  la variazione nelle riserve idriche (ad es. ghiacciai, manto nevoso, laghi, invasi artificiali, acqua del sottosuolo). In un'ottica di lungo termine si possono trascurare le variazioni delle riserve, fatta però eccezione per i ghiacciai. Nella presente tavola è stato pertanto possibile calcolare l'evaporazione, esplicitando la relativa variabile.

### Dati e metodo

Questa tavola costituisce un aggiornamento e un completamento della tavola 6.1 la quale contiene dati solo fino al 1980. È d'altronde proprio dopo il 1980 che la temperatura e il corrispondente scioglimento dei ghiacciai si sono notevolmente incrementati. Nella nuova tavola sono rappresentate solo le componenti di bilancio dei grandi bacini imbriferi e questo per l'intero XX secolo.

I valori di deflusso dai grandi bacini fluviali esaminati si basano in larga misura sui dati forniti da stazioni di misura federali (cfr. tavola 5.1<sup>2</sup>). Rispetto alla tavola 6.1 si segnala inoltre il ricalcolo e la conseguente nuova rappresentazione dei bilanci idrici per due bacini imbriferi parziali della Aar, quello da Berna a Brügg e da Brügg a Brugg. I dati relativi ai due bacini parziali della Aar, Aar-Berna (serie storica solo dal 1917) e Aar-Brügg (serie solo dal 1904), sono stati in parte ricostruiti con l'ausilio di modelli di regressione. Per i bacini intermedi della Aar, quello da Berna a Brügg e da Brügg a Brugg, si è potuto ricorrere a un calcolo fondato sulla ponderazione areale.

I valori di precipitazione «vecchi» 1901–1980 della tavola 6.1 sono stati adattati a quelli nuovi 1961–2007 [3], costituendo così una base dati omogenea per il periodo globale 1901–2007. La serie di misure completa è stata infine normalizzata con i dati di precipitazione indicati nella tavola 6.3 [7]. In tal modo si assicura la coerenza dei risultati con i contenuti delle tavole 4.1 (evaporazione), 2.6 e 2.7 (precipitazioni). I «nuovi» valori di precipitazione sono stati desunti dai dati pluviometrici di più stazioni mediante un'interpolazione ad elevata risoluzione (maglie di 2 km • 2 km) grazie alla procedura PRISM Climate Mapping (cfr. tavole 2.6, 2.7 e [1]).

Relativamente alla determinazione del volume dei ghiacciai sono nel frattempo stati pubblicati lavori scientifici essenziali [2,4]. Nella presente tavola la variazione delle riserve dei ghiacciai nei singoli bacini imbriferi per il periodo 1901–2007 è stata pertanto ricalcolata mediante un nuovo approccio, partendo nella fattispecie dai dati del bilancio di massa del ghiacciaio dell'Aletsch [4]. Per inquadrare lo sviluppo nel XX secolo della superficie dei ghiacciai nei diversi bacini imbriferi si sono derivati dei valori di riferimento per il 1901, 1930 e 1973 con l'ausilio dell'inventario dei ghiacciai del 1973 [5], nonché dei valori di riferimento per il 2007 mediante il supporto del modello

digitale del paesaggio della Svizzera «VECTOR25» dell'Ufficio federale di topografia. Tra un riferimento e l'altro si è proceduto per interpolazione. L'impiego di dati sul bilancio di massa del ghiacciaio dell'Aletsch ai fini della determinazione dello sviluppo annuale del volume dei ghiacciai in tutti i grandi bacini imbriferi esaminati si giustifica con l'assunzione, invero alquanto semplificativa, che il corrispettivo sviluppo volumico risulti rappresentativo per l'intera Svizzera.

I dati sulle variazioni delle riserve idriche nei laghi naturali si basano su registrazioni di stazioni idrometriche federali. Tra i maggiori laghi si sono considerati soltanto quelli che provocano oscillazioni mensili di almeno 1 mm nelle riserve del bacino. La variazione delle riserve nei laghi artificiali e le canalizzazioni sono riportate nella tavola 6.1 a scala mensile per il periodo 1901–1980 [6]. Per ulteriori annate non si dispone di rilevazioni sulle canalizzazioni, ad eccezione della derivazione Spöl (bacino Inn/En–Martina) e dell'adduzione dall'Unteralpreuss ai laghi di Ritom (bacino Ticino–Bellinzona). Si sono dovuti quindi stimare i dati mancanti sulla falsariga degli ultimi anni disponibili.

La variabile evaporazione è stata esplicitata dal bilancio idrologico. I relativi dati 1901–1980 presentati in questa tavola si discostano leggermente da quelli della tavola 6.1, poiché, come già accennato, non sono uguali i metodi di calcolo delle variazioni nelle riserve dei ghiacciai. A grandi linee, i valori di evaporazione dei grandi bacini si dimostrano comunque ben sovrapponibili a quelli riportati nella tavola 4.1.

## Analisi

Dalla carta delle piogge regionali si riconoscono chiaramente le principali zone climatiche della Svizzera: il Ticino riceve parecchi apporti meteorici, ma anche i territori del versante alpino settentrionale sono interessati da precipitazioni sopra la media. Viceversa, il Giura del nord, le depressioni dell'Altipiano e l'Engadina, in qualità di valle intralpina arida, appaiono come regioni secche contraddistinte da precipitazioni nettamente al di sotto della media. Nella carta dei deflussi si configura un modello che ricalca tale distribuzione spaziale, ma in modo anche più marcato, in quanto nelle regioni più infossate dell'Altipiano l'evaporazione supera i valori medi. Siccome per sufficienti valori di precipitazione l'evaporazione è determinata principalmente dalla temperatura, gli effetti della quota s.l.m. dei territori si evidenziano chiaramente nella carta dell'evaporazione regionale. Le variazioni a lungo termine delle riserve sono sotto il giogo del ritiro generale dei ghiacciai; così, sono ben visibili le maggiori variazioni nel bacino imbrifero del Rodano dove giace il più cospicuo volume di ghiacciai (cfr. tab. 1). Dalla Svizzera nel suo complesso e sull'arco di tutto il XX secolo (fig. 2) evapora quasi esattamente un terzo delle precipitazioni. Due terzi degli apporti defluiscono quindi attraverso i grandi fiumi svizzeri. Malgrado negli ultimi 100 anni abbiano perso circa il 40 % del loro volume, i ghiacciai concorrono in media solo per l'1.4 % alla formazione dei deflussi.

In merito alla carta delle variazioni delle riserve, alle figure 2 e 3 come anche alla tabella 1 occorre rimarcare che le cifre per l'anno 2007 relative alle variazioni dei ghiacciai nei singoli bacini imbriferi come pure alle riserve idriche in forma di ghiaccio sono affette da una non trascurabile imprecisione [2]. L'incertezza per i volumi è nell'ordine del  $\pm 12\%$ , ma per le variazioni temporali bisogna aspettarsi scarti senz'altro maggiori.

Sorprendente appare la stabilità di comportamento sul lungo termine delle componenti del bilancio idrologico. Andamenti simili si osservano nella Svizzera presa nel suo insieme e all'interno dei singoli bacini (fig. 4): le precipitazioni annuali e quindi i deflussi annuali sono soggetti a intense oscillazioni. Annate particolarmente umide possono intercalarsi da vicino a quelle più secche, denotando il doppio degli apporti. Sembra inoltre che i periodi umidi e secchi si succedano a intervalli quasi regolari di circa 7–12 anni. Non si apprezzano invece tendenze significative di lungo termine, con eccezione dell'evaporazione. Nella Svizzera settentrionale dalla Birs alla Thur, nella porzione occidentale del bacino dell'Aar e, in modo meno netto, nel Vallese le precipitazioni sono drasticamente aumentate. Non così nella regione della Tresa dove sono invece un po' calate. L'incremento dell'evaporazione ha a tal punto compensato i maggiori apporti meteorici che quasi non si rimarcano variazioni nei deflussi.

## Aspetti specifici

Nella figura 5 si stabilisce una connessione con la tavola 6.5, cercando di comprendere se l'indagine nei piccoli bacini imbriferi sia in grado di gettare lumi sul comportamento idrologico dei grandi bacini sovraordinati ai quali appartengono. Il confronto tra i regimi di deflusso mostra indubbiamente che le regioni minori montane danno luogo a marcati regimi nivali (Rotenbach) o glaciali (Massa), diversamente dunque da quanto accade nelle regioni di bassa quota, caratterizzate da regimi livellati. Paragonando le altezze medie annuali di deflusso, si nota l'abbondanza di deflusso che contraddistingue le regioni più elevate. Nella regione non glaciale del Rotenbach i quozienti di deflusso si mantengono relativamente costanti negli anni, mentre nella regione fortemente glaciale della Massa essi variano considerevolmente di anno in anno, a causa dei differenti contributi del ghiacciaio. Nella rappresentazione dei quozienti di gennaio e giugno le differenze di regime appaiono ancora più accentuate. Degno di nota è nel Vallese l'influsso degli invasi artificiali che dal 1950 circa modificano sensibilmente i suddetti valori relativi, trattenendo d'estate l'acqua di fusione e rilasciandola poi solo d'inverno. L'influsso è tale da ripercuotersi ancora presso l'efflusso del Lemano! Per quanto riguarda i quozienti attribuibili alle precipitazioni di gennaio e luglio grandi analogie sono rimarcabili tra i bacini; gli eventi meteorici mensili sono alquanto costanti nell'ambito di una zona climatica.

La figura 6 illustra la distribuzione spaziale delle precipitazioni stagionali, rappresentando in particolare i rapporti tra il semestre estivo (aprile–settembre) e quello invernale (ottobre–marzo). Sono riscontrabili nella carta nette differenze regionali nei rapporti tra precipitazioni estive e invernali. Procedendo da ovest verso est, soprattutto a sud, tali quozienti crescono, ovvero si evince che si hanno molte più precipitazioni d'estate che d'inverno. Durante il XX secolo si annoverano solo poche variazioni decise nelle precipitazioni stagionali, come attestano i quattro esempi riportati.

Nella figura 7 sono ricapitolate le evidenze risultanti dall'analisi dei comportamenti mostrati nelle figure 1 e 4. È in particolare l'evaporazione ad aumentare in tutte le regioni, fino a oltre il 20 %. Crescono anche le precipitazioni, ma molto meno e non ovunque. I deflussi appaiono infine piuttosto invariabili.

## Bibliografia

- [1] **Daly, C. et al. (2002):** A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. In: *Climate Research* 22:99–113, Oldendorf/Luhe.
- [2] **Farinotti, D. et al. (2009):** An estimate of the glacier ice volume in the Swiss Alps. In: *Global and Planetary Change* 68 (3):225–231, Amsterdam.
- [3] **Frei, C., Schär, C. (1998):** A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. In: *Int. J. Climatol.* 18 (8):873–900, Chichester.
- [4] **Huss, M. et al. (2008):** Determination of the seasonal mass balance of four Alpine glaciers since 1865. In: *J. Geophys. Res.*, Vol. 113(F01015), Washington.
- [5] **Müller, F., Caflisch, T., Müller, G. (1976):** Firn und Eis der Schweizer Alpen – Gletscherinventar. ETH Zürich, Publ. Nrn. 57 und 57a, Zürich.
- [6] **Schädler, B. (1985):** Der Wasserhaushalt der Schweiz. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, Nr.6, Bern.
- [7] **Schädler, B., Weingartner, R. (2002):** Ein detaillierter hydrologischer Blick auf die Wasserressourcen der Schweiz – Niederschlagskartierung im Gebirge als Herausforderung. In: *Wasser–Energie–Luft* 94. Jg., Heft 7/8:189–197, Baden.