

ANALISI DELLE RISORSE IDRICHE

Immagazzinate nel manto nevoso nei bacini alpini

Rabuffetti Davide
Salandin Alessio
ARPA Piemonte

In questi ultimi anni la gestione della risorsa idrica è diventata un tema centrale dell'amministrazione e pianificazione del territorio. In particolare si è evidenziato come gli impatti socio-economici ed ambientali legati al fenomeno della siccità non siano più associabili soltanto ad aree geografiche costantemente afflitte da carenza idriche ma anche a porzioni di territorio storicamente caratterizzate da abbondanza di tali risorse.

A partire dall'eccezionale prolungarsi del periodo di siccità registrato nel 2003, Arpa Piemonte ha approfondito le proprie competenze in materia. In particolare, dall'analisi dei dati rilevati dal monitoraggio speciale per l'emergenza del lago Effimero sul ghiacciaio del Belvedere nel comune di Macugnaga [Salandin et al. 2004], si è analizzato il ruolo decisivo della fusione nivale per i bacini alpini.

La successione di situazioni di scarsità della risorsa idrica ha messo in evidenza la necessità di disporre di un quadro di riferimento dello stato idrologico su tutto il territorio regionale, al fine di consentire all'amministrazione Regionale una miglior gestione delle situazioni di emergenza. Il Bollettino Idrologico Regionale è uno dei prodotti forniti dall'Agenzia per venire incontro a questa nuova esigenza; i dati in esso contenuti derivano dall'utilizzo su vasta scala dello stesso approccio modellistico confortato dai buoni risultati ottenuti in alcuni casi studio.

Le ultime attività di studio proseguono con l'intento di perfezionare la calibrazione della modellistica idrologica del manto nevoso applicando la metodologia sviluppata alla scala di piccoli bacini alpini. Le misure di portata desunte dalle misure degli invasi idroelettrici verranno utilizzate per il controllo e la taratura del modello stesso tramite il confronto tra il deflusso generato dalla fusione nivale e quello misurato.



INTRODUZIONE

L'amministrazione e la pianificazione della risorsa idrica a fini agricoli, industriali e domestici, è da sempre materia di interesse e di criticità per tutti i soggetti deputati alla sua gestione. In questi ultimi anni inoltre, gli scenari evocati in tale ambito dai cambiamenti climatici in corso ed eventi fortemente anomali come l'eccezionale prolungarsi del periodo di magra del Po registrato nel 2003, hanno evidenziato che gli impatti socio-economici ed ambientali legati al fenomeno

Fig. 1 della siccità non sono più associa-

bili soltanto ad aree geografiche costantemente afflitte da carenze idriche ma anche a porzioni di territorio storicamente caratterizzate da abbondanza di tali risorse.

All'interno di questi scenari, Arpa Piemonte, tramite l'Area Previsione e Monitoraggio Ambientale, ha approfondito le proprie competenze in materia tramite la partecipazione a progetti cooperativi di cui si è fatta promotrice la Comunità Europea quali SEDEMED I e II – Interreg IIIB – MedOcc, incentrati specificatamente sulle tematiche legate alla siccità, identificando in sinergia con altri partner istituzionali europei una serie di metodologie adeguate al monitoraggio e previsione della siccità.

Grazie a queste esperienze, Arpa Piemonte ha quindi fornito alla Direzione Pianificazione delle Risorse Idriche della Regione Piemonte il proprio contributo per la realizzazione dei rapporti sulla "situazione" idrica in termini di analisi del fenomeno dal punto di vista meteorologico, idrologico e nivologico, prodotti a partire dall'estate del 2003.

In particolare, il monitoraggio speciale e la modellistica numerica predisposti per l'emergenza riguardante il lago Effimero del ghiacciaio del Belvedere a Macugnaga ha permesso di avere una notevole mole di dati utili per lo studio del ruolo della fusione nivale nell'andamento dei deflussi del Torrente Anza. In questo modo, l'importanza della quantificazione della risorsa idrica immagazzinata nel manto nevoso è risultata evidente ed ha permesso di migliorare l'analisi della siccità estiva del 2003 registrata in tutta la regione Piemonte ed in particolare nell'arco alpino.

Il susseguirsi di situazioni di deficit idrico ha messo in evidenza

la necessità di disporre di un quadro di riferimento dello stato idrologico sempre più preciso da fornire all'amministrazione Regionale per la gestione delle situazioni di emergenza. In questo quadro l'esperienza modellistica per il bacino dell'Anza è stata estesa a tutto il territorio piemontese. Il modello idrologico del manto nevoso è stato applicato e verificato sull'intero arco Alpino utilizzando le immagini satellitari MODIS disponibili per l'inverno 2004/2005.

Per questo scopo è stato studiato un Bollettino Idrologico Regionale mensile che fornisce, in termini confrontabili con la climatologia locale, lo stato aggiornato delle riserve idriche a scala di bacino fluviale tra cui una stima della risorsa nivale fondamentale per la gestione dei bacini alpini. I dati del monitoraggio idrometrico pluviometrico e nivometrico, integrati con i risultati della modellistica numerica e statistica sono quindi utilizzati per la produzione del Bollettino, emesso all'inizio di ogni mese dall'Area Previsione e Monitoraggio Ambientale e disponibile sul sito Internet dell'Agenzia.

Attualmente le attività di studio proseguono con l'intento di perfezionare la calibrazione della modellistica idrologica del manto nevoso sfruttando l'importante base dati della gestione degli invasi artificiali che consentono una stima molto accurata delle portate idriche nei bacini sottesi. Si stanno effettuando quindi delle analisi alla scala di piccoli bacini alpini al fine di verificare le prestazioni del modello di accumulo e fusione del manto nevoso. I bacini campione, rappresentativi delle varie realtà regionali, sono stati scelti tra bacini chiusi in sezioni di controllo di cui si dispone di misure di portata desunte dalle misure degli

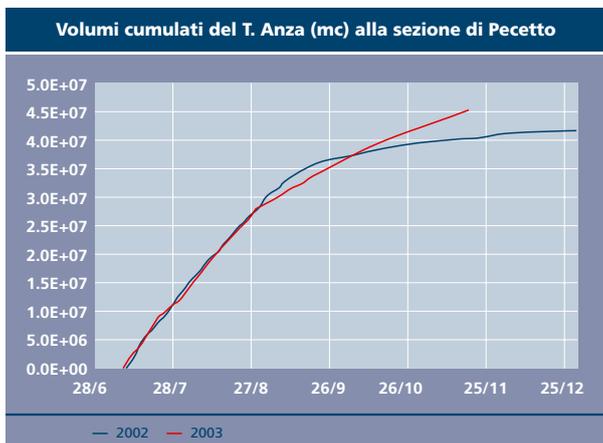
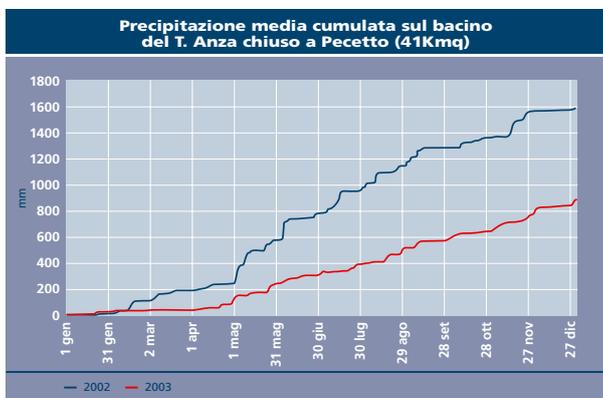


Fig. 2

Fig. 3

invasi idroelettrici. Questi dati verranno utilizzati per il controllo e la taratura del modello stesso tramite il confronto tra il deflusso generato dalla fusione nivale e quello misurato.

IL MODELLO IDROLOGICO

Per l'analisi del manto nevoso si è utilizzato lo strumento modellistico numerico di tipo idrologico FEST [Mancini et al. 1990], un modello fisicamente basato e spazialmente distribuito, utilizzato in numerose applicazioni sia per la simulazione e la previsione delle piene fluviali, sia per le analisi di bilancio idrologico su medio e lungo periodo.

In particolare, il modello idrologico della componente nivale simula la dinamica del manto nevoso al fine di poter stimare i volumi idrici effettivamente immagazzinati sotto forma di neve. Viene considerato l'accumulo della neve al suolo, la fase di fusione e la propagazione dell'acqua generata all'interno del manto nevoso. Le grandezze modellate sono l'equivalente idrico (SWE) immagazzinato nel bacino sotto forma di manto nevoso e le portate di acqua di fusione generate dallo scioglimento della neve.

CASO STUDIO LAGO EFFIMERO DI MACUGNAGA-VALLE ANZASCA 2003

I dati raccolti durante l'emergenza del Lago Effimero del 2003 [Salandin et al. 2004], oltre alla comprensione delle dinamiche di riempimento dell'invaso, hanno consentito di effettuare un'analisi dettagliata del bacino del Torrente Anza a Pecetto nel comune di Macugnaga (VB) e del sottobacino che alimenta il lago epiglaciale formatosi nell'estate del 2001 ai piedi del

Monte Rosa.

Ovviamente la prima analisi effettuata riguarda l'afflusso meteorico; dalla Figura 1 si evince chiaramente come la carenza di precipitazioni sia estremamente elevata sia rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente (2002) sia rispetto alla media climatologica di circa 1300-1500 mm relativa al periodo primavera-estate.

L'analisi del volume idrico defluito nel T. Anza alla sezione di Pecetto mostra invece un quadro completamente differente (Figura 2 e Figura 3). Nel periodo estivo 2003 infatti le portate registrate nell'Anza non hanno subito significative variazioni rispetto al medesimo periodo nel 2002.

Questo comportamento è senza dubbio spiegato considerando sia il contributo fornito dalla fu-

sione del manto nevoso invernale sia il contributo del deflusso dal ghiacciaio del Belvedere. La di-



Fig. 4

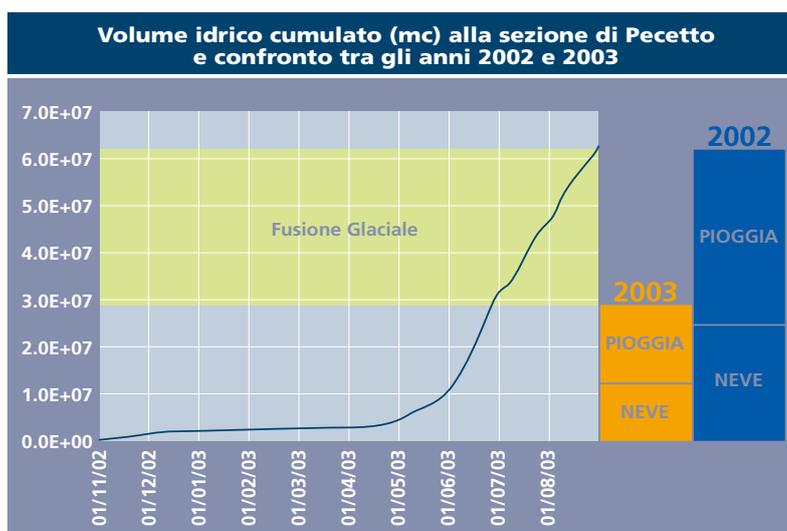


Fig. 5

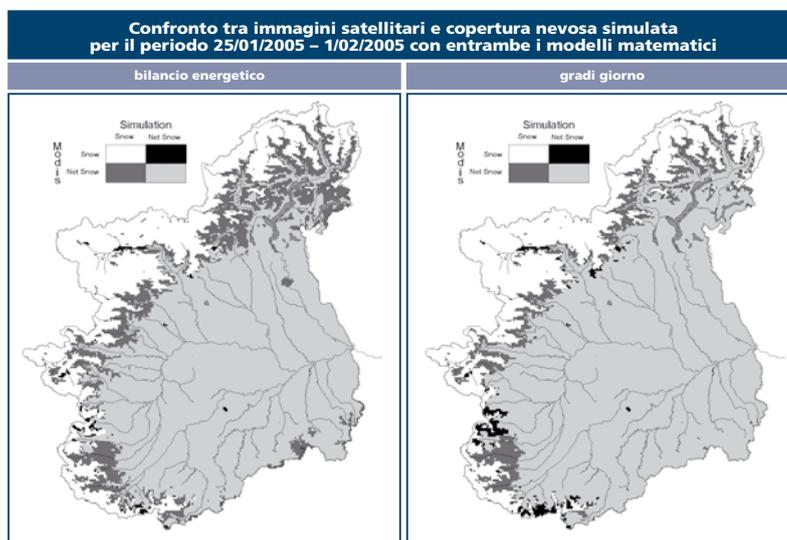


Fig. 6

namica del manto nevoso è stata quindi oggetto di simulazione al fine di poter stimare i volumi idrici effettivamente immagazzinati sottoforma di neve nel bacino e valutare quindi l'effettivo ruolo della fusione della neve nella formazione del deflusso a Pecetto distinguendolo dal contributo del deflusso dal Ghiacciaio. La risoluzione di calcolo è 100 m. Il confronto con i risultati ottenuti dalle simulazioni con la

risoluzione di 10 m disponibili per il solo sottobacino del lago Effimero non hanno presentato significative differenze. Il primo risultato ottenuto dalla simulazione è l'andamento del volume idrico immagazzinato sottoforma di neve nel bacino. In Figura 4 si nota come l'andamento temporale di questo sia molto differente tra il 2002 e il 2003. Mentre per il 2002 la copertura nevosa si mantiene consistente fino alla fine di Giugno, nel 2003 la scarsità di precipitazione porta ad una fusione della neve pressoché completa già ad Aprile. Come sintesi dei dati disponibili e dei risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche è possibile ottenere una stima del contributo della fusione dei ghiacciai al volume idrico defluito nel T. Anza nella sezione di Pecetto.

Il grafico in Figura 5 evidenzia, per le annate in studio (2001/2002 e 2002/03), la differenza tra i contributi legati alle piogge e quelli legati alla fusione della neve. Il confronto con il volume cumulato defluito a Pecetto che invece, come già mostrato, non manifesta differenze apprezzabili, porta a stimare il sostanziale contributo della fusione dei ghiacci avuta nel 2003. La siccità estiva del 2003 in Valle Anzasca è prodotta quindi da un notevole deficit pluviometrico primaverile ed estivo unito ad un ridotto innevamento invernale. Tuttavia, in termini di deflussi al T. Anza, lo scarso afflusso meteorico non produce effetti significativi. Lo studio del bilancio idrologico del bacino ha evidenziato la fondamentale importanza nei bacini Alpini del contributo della fusione della neve e dei ghiacciai. L'interazione di più variabili meteo-idrologiche quali pioggia, temperatura, neve, radiazione solare e la loro distribuzione spazio-temporale evidenzia l'importanza di uno strumento modellistico distribuito.

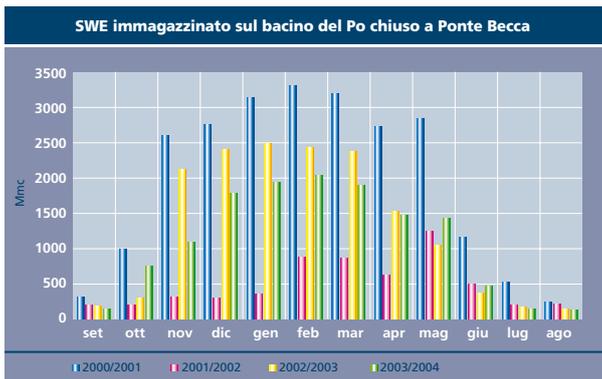
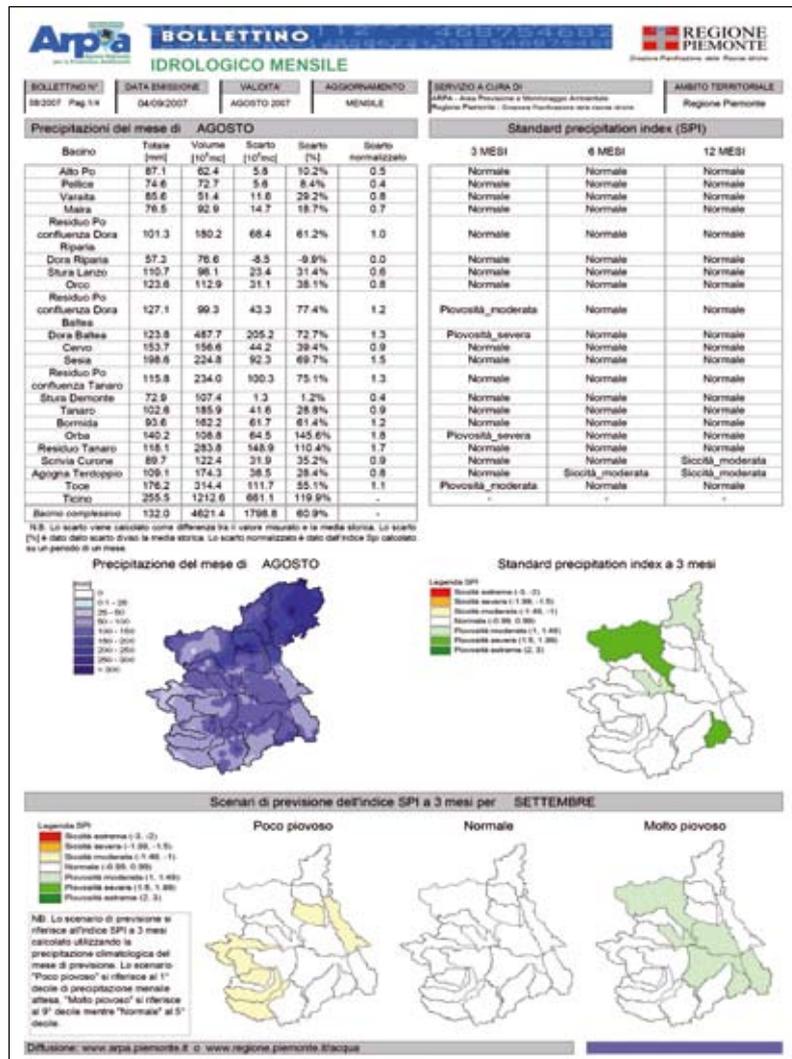


Fig. 7
Fig. 8a



dellata del manto nevoso e quella ottenuta da immagini satellitari MODIS [Rabuffetti et al. 2006]. Una caratteristica importante di questa verifica è legata alla scala spaziale di interesse. Il bacino del fiume Po caratterizzato dalle alte Alpi che circondano la pianura di Padana rappresenta un caso significativo per il modello idrologico della fusione nivale. L'applicazione del modello idrologico di fusione nivale ha fornito risultati soddisfacenti (esempio in Figura 6) in termini di corrispondenza tra superficie del manto nevoso rilevato da satellite e modellato. L'uso di immagini satellitari della copertura del manto nevoso ha offerto un'importante metodologia per la conoscenza del comportamento del modello. Successivamente a questa ve-

rifica, l'analisi è stata estesa all'intero periodo 2000-2004 e ha permesso di evidenziare l'andamento delle annate invernali in termini di SWE sull'intero territorio regionale (vedi Fig.7). Si sono quindi confrontati i volumi di SWE immagazzinati nel bacino per le diverse stagioni invernali producendo una prima caratterizzazione dei valori di SWE di riferimento. Le differenze fra l'andamento climatico registrato nei diversi anni vengono sicuramente evidenziate. Dal punto di vista quantitativo si nota la grande importanza dell'immagazzinamento nivale alpino soprattutto se si tiene presente che mediamente il volume cumulato dei deflussi idrici per il fiume Po a Isola S. Antonio nel periodo maggio-luglio è circa 4000 Mmc.

ANALISI DEL BOLLETTINO IDROLOGICO REGIONALE

Il Bollettino Idrologico Regionale è nato per fornire una indicazione quantitativa dello stato dei bacini idrologici principali del bacino del fiume Po con l'obiettivo di evidenziare il possibile instaurarsi di condizioni siccitose e di scarsa disponibilità idrica. Per questo scopo è risultato particolarmente efficace l'utilizzo di indici climatici e idrologici.

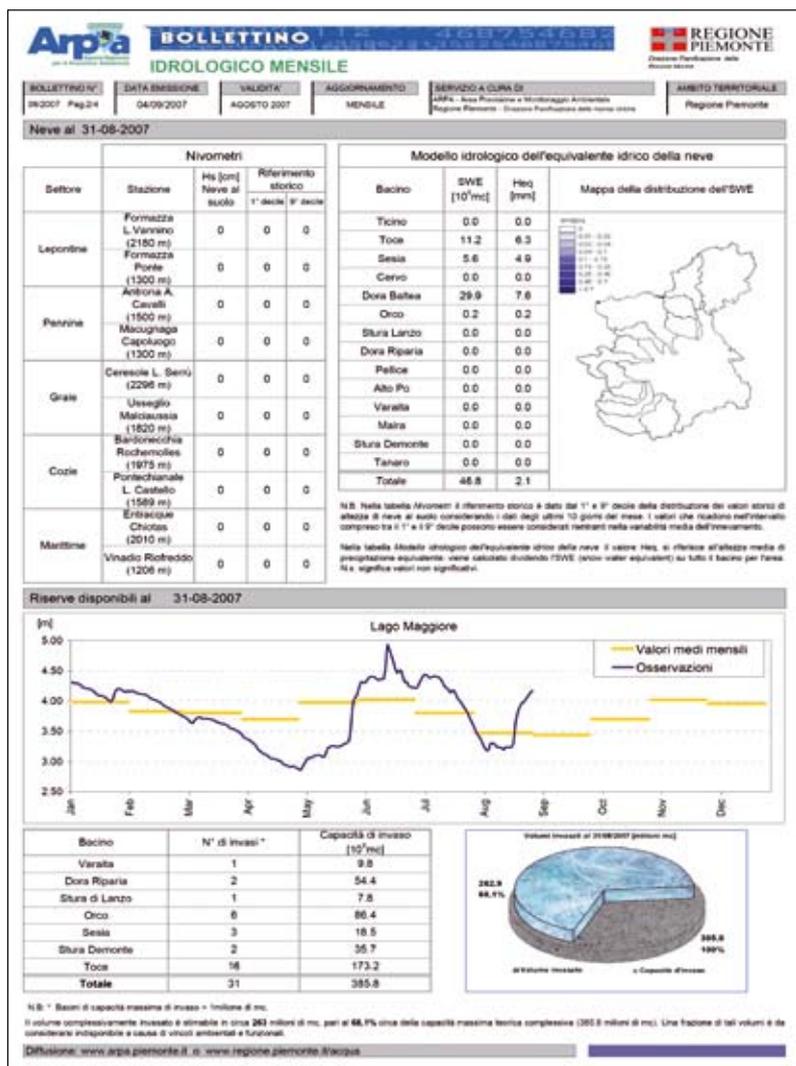
I volumi di pioggia rappresentano la forzante del sistema e sono senza dubbio il principale indicatore dello stato del sistema idrologico nel breve medio termine. Tuttavia la copertura nivale consente di tenere conto del fatto che nei bacini alpini, con regime idrologico nivale o pluvio-nivale, l'accumulo idrico nei mesi invernali è spesso così consistente da influenzare la disponibilità idrica nei periodi primaverili ed estivi. In particolare, al fine di stimare correttamente il contenuto idrico del manto nevoso e l'incidenza della fusione dello stesso sulle portate, i risultati ottenuti nelle esperienze descritte in precedenza, hanno suggerito di utilizzare il modello idrologico che ne simula la dinamica in quanto sufficientemente affidabile.

Per la realizzazione (Fig. 8a, b, c) si utilizzano le rilevazioni effettuate dalle reti in telemisura disponibili nel bacino del Po e i dati misurati da stazioni meccaniche e manuali della rete storica dell'Ufficio Idrografico e Mareografico Nazionale.

In particolare vengono presi in considerazione:

- le precipitazioni
- le temperature
- la radiazione ad onde corte
- altezza manto nevoso
- le portate dei corsi d'acqua

L'analisi degli afflussi meteo- Fig. 8b



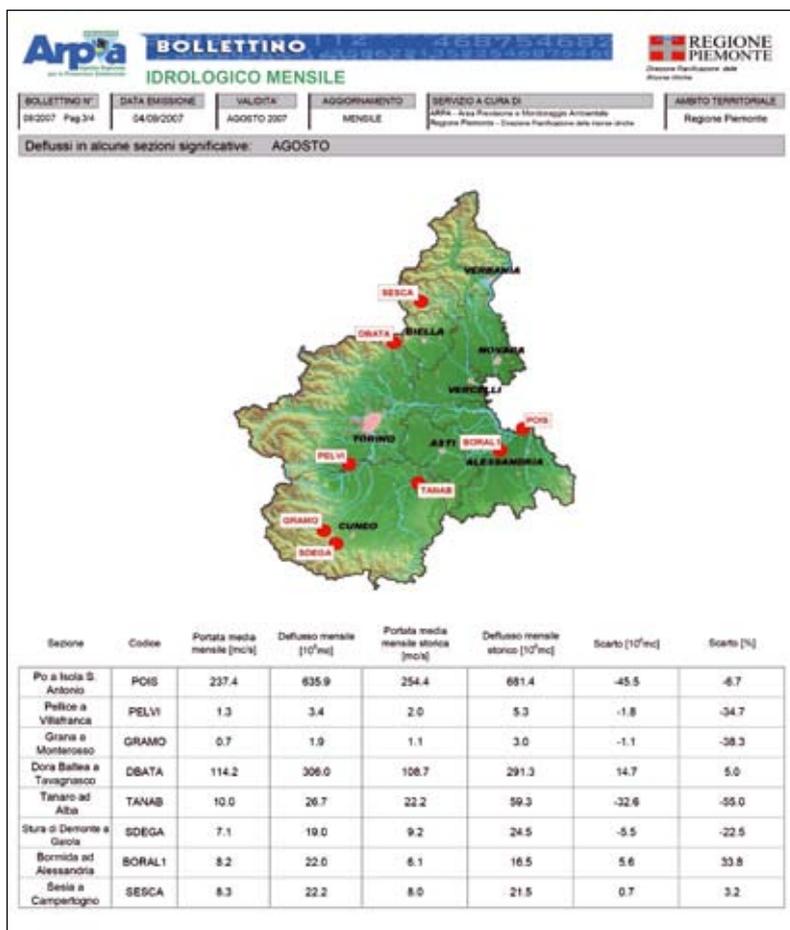
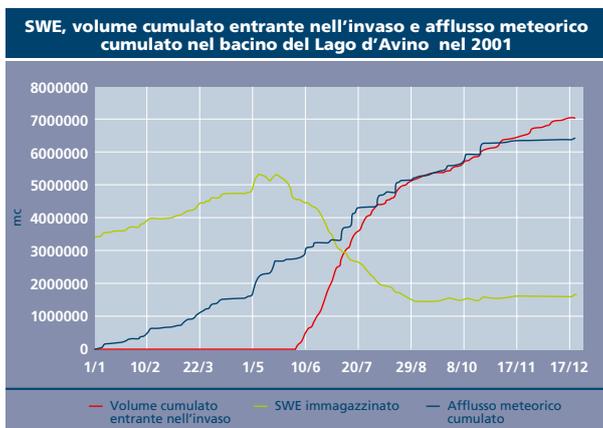


Fig. 8c
Fig. 9



rici viene effettuata a scala di bacino idrografico in termini di precipitazioni ragguagliate. Sulla base di tutte le osservazioni disponibili è possibile costruire il campo di precipitazione e quindi calcolare il valor medio su ciascun bacino di interesse. L'indice SPI (Standardized Precipitation Index), calcolato sulla serie storica di pioggia ragguagliata disponibile, permette la valutazione del deficit di precipitazioni su di una serie di dati pluviometrici in corrispondenza a svariati regimi climatici ed

è, quindi, applicabile a regioni geografiche diverse. Si basa su scale temporali, che in media hanno cadenza di 3, 6, 12, 24 mesi e permette l'individuazione di una tendenza climatologica mensile. Queste scale temporali riflettono l'impatto della siccità sulla disponibilità dei vari tipi di risorse idriche. L'indice si presenta in forma standardizzata, così da poter confrontare lo stato di siccità per aree diverse, indipendentemente dalla locazione del sito di misura.

Parallelamente si considerano i dati nivometrici ed il confronto con le osservazioni storiche disponibili in alcuni punti rappresentativi del territorio regionale.

La quantificazione del volume idrico immagazzinato nel manto nevoso (SWE - Snow Water Equivalent) è effettuata sulla base dei risultati delle simulazioni del modello idrologico del manto nevoso descritto.

IL CASO DEI BACINI SOTTESI DAGLI INVASI ARTIFICIALI

Le metodologie utilizzate fin ora ed in particolare il modello di accumulo e fusione del manto nevoso, presentano ancora un significativo grado di incertezza e richiedono una verifica quantitativa, come quella effettuata per il T. Anza, estesa il più possibile a tutto l'arco alpino piemontese.

Una delle possibilità più concrete per una tale analisi sarebbe quella di utilizzare la grande mole di dati reperibili presso i gestori degli invasi artificiali, sia per la loro numerosità sia per l'accuratezza ottenibile nelle stime degli afflussi idrici al lago.

I risultati ottenuti ovvero i volumi di neve accumulati sul bacino durante le stagioni invernali e successivamente le portate generate che entrano nella diga possono essere confrontati con i dati degli invasi idroelettrici permettendo così la valutazione delle performance del modello. A titolo di esempio si mostrano i risultati di alcune simulazioni preliminari (vedi Fig. 9). In particolare si mostra l'SWE immagazzinato nel bacino del lago Avino (VB) di estensione pari a 5,3Km², il volume cumulato entrante nell'invaso e l'afflusso meteorico cumulato. Si nota lo sfasamento temporale tra l'afflusso meteorico e l'afflusso al lago spiegato dall'accumulo e fusione del manto nevoso.

CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

La quantificazione della risorsa idrica immagazzinata nel manto nevoso è di fondamentale importanza per la corretta definizione dei processi di formazione delle portate idriche nei corsi d'acqua di origine alpina. Inoltre l'acqua proveniente dalla fusione della neve è una delle più importanti

fonti di approvvigionamento idrico, non solo in ambiente montano; il cambiamento climatico in atto rende la disponibilità di risorsa idrica molto fragile e incostante, come recenti episodi hanno dimostrato. Le applicazioni espone mostrano le potenzialità dell'approccio modellistico idrologico alla simulazione della dinamica del manto nevoso. Sebbene il trascurare le modificazione meccaniche del manto e quella degli effetti del vento comporti forti semplificazioni, queste non pregiudicano la qualità dei risultati alle scale temporali lunghe utilizzate nel lavoro.

Le verifiche sono state effettuate sia su piccola scala in termini quantitativi, nel caso del T. Anza chiuso a Pecetto, sia su grande scala in termini qualitativi, considerando l'intero bacino del Po chiuso a La Becca.

In ambito operativo e previsionale l'approccio adottato può permettere, una volta effettuata la stima dell'SWE immagazzinato durante la stagione invernale, di prevedere la fusione del manto nevoso associato ad un predefinito scenario climatico offrendo un importante strumento di gestione della risorsa nel periodo primaverile-estivo. In questo contesto si inserisce la pubblicazione, da parte di ARPA e Regione Piemonte, del bollettino idrologico mensile finalizzato alla gestione delle risorse idriche in periodi siccitosi.

La necessità di migliorare le stime e le simulazioni dei processi è tuttavia ancora presente. Attualmente, le attività di verifica sono in corso attraverso l'applicazione su alcuni bacini alpini di piccola-media scala; i dati che possono essere forniti dai gestori degli invasi alpini offrono infatti l'opportunità di verificare direttamente le stime effettuate tramite il modello in quanto dan-

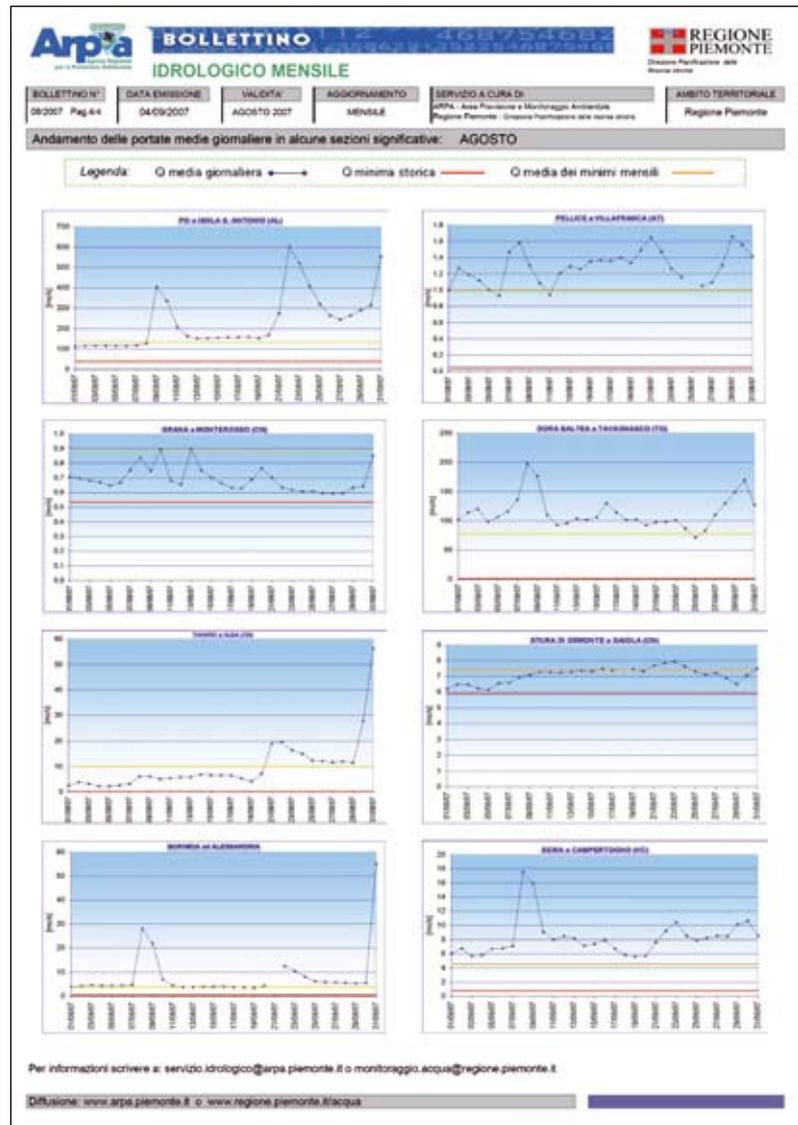


Fig. 8d

no la possibilità di ricostruire con estrema precisione l'andamento dei deflussi idrici al lago. I risultati ottenibili a la corretta stima della disponibilità idrica sotto

forma di neve nei piccoli bacini montani a monte di invasi regolati possono anche offrire un valido aiuto per una corretta gestione della risorsa.

Bibliografia

- Mancini, M., Montaldo, N. & Rosso, R., "La modellazione distribuita nella valutazione degli effetti di laminazione di un sistema d'invasi artificiali nel bacino del fiume Toce", L'acqua, Vol. 4, pp. 31-42, 2000.
- Rabuffetti, D., Salandin A., Cremonini R., "Hydrological modelling of snow cover in the large upper Po river basin: winter 2004 results and validation with snow cover estimation from satellite", Geo-Environment and Landscape Evolution II, pp. 293-302, 2006.
- Ronchi C., Rabuffetti D., Salandin A., Vargiu A., Barbero S., Pelosini R., "Development of the piedmont region hydrological bulletin as a support to water resources monitoring and management", Methods and Tools for Drought Analysis and Management, Vol. 62, pp. 49-65, 2007.
- Salandin A., Rabuffetti D., Barbero S., Cordola M., Volontè G., Mancini M., "Il lago Effimero sul ghiacciaio del Belvedere", Neve e Valanghe, Vol. 51, pp. 58-66, 2004.