

CAMBIAMENTI CLIMATICI E DISPONIBILITA' DI ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE: TREND IN ATTO E PREVISIONI

POLEMIO MAURIZIO¹, DRAGONE VITTORIA, CASARANO DOMENICO, BASSO ALESSIA
BRUNETTI MICHELE², MAUGERI MAURIZIO^{2,3}, NANNI TERESA², SIMOLO CLAUDIA²
¹ CNR IRPI, Bari, Italia, m.polemio@ba.irpi.cnr
² ISAC-CNR, Bologna, ITALIA
³ Dipartimento di fisica, Università degli Studi di Milano, Milano, Italia

RIASSUNTO

La variabilità climatica spazio-temporale è stata riprodotta considerando un ampio settore dell'Italia meridionale mediante una griglia di 1 km di lato dal 1900 al 2009, ricostruendo piovosità e temperature mensili. Sono stati selezionati un bacino idrogeologico e uno idrografico in base alla disponibilità di dati di portata e al basso impatto antropico sul ciclo idrologico. Una volta definiti i modelli di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali o sotterranei, sono stati stimati i valori di piovosità e temperatura utilizzando uno scenario previsionale applicato a ciascun nodo della griglia. I risultati mostrano che il calo in atto della disponibilità idrica proseguirà nel periodo di previsione.

Parole chiave: Cambiamento climatico, risorse idriche, modelli climatici, serie storiche, Campania, Puglia

INTRODUZIONE

Le recenti variazioni del clima stanno determinando preoccupanti rischi di impoverimento delle risorse idriche in diversi contesti geografici, tra i quali si distingue il caso dell'Italia meridionale (Dragoni e Sukhija 2008, Polemio e Casarano 2008). La valutazione dell'evoluzione della disponibilità delle risorse idriche, presente e futura, richiede una adeguata stima degli afflussi meteorici e delle perdite per evapotraspirazione sull'intera area. Questo non è possibile se si dispone solo di poche serie pluviometriche, in grado di fornire unicamente indicazioni sulla tendenza a lungo termine delle anomalie (caratterizzate da una buona coerenza spaziale) ma non sull'apporto totale integrato sull'intero bacino. Questo perché i gradienti spaziali dei valori assoluti sono molto forti e dipendono in modo determinante dall'orografia.

È quindi necessario mettere a punto metodologie che permettano di trasferire ad un livello il più possibile vicino alla scala locale le informazioni contenute nelle serie temporali di dati rilevati, ovvero che consentano di ottenere in modo opportuno dataset di variabili meteorologiche ad alta risoluzione. Tali dataset ad alta risoluzione sono anche un eccellente strumento da utilizzare per il downscaling degli output dei modelli climatici: essi permettono di costruire informazioni sul clima futuro ad una scala spaziale estremamente fine, indispensabile per la valutazione dell'impatto dei cambiamenti climatici sulla disponibilità delle risorse idriche.

L'articolo riassume l'esperienza di ricerca svolta studiando le principali variabili climatiche a scala di Italia meridionale, nel contesto della quale sono state selezionate due aree particolarmente significative dal punto di vista idrologico.

AREA DI STUDIO E METODI

Le due aree di indagine selezionate sono il bacino idrogeologico della sorgente di Caposele e il bacino idrografico del torrente Cervaro. I due bacini, ubicati in Italia meridionale, impegnano diversi domini geostrutturali, di catena il primo (Appennino Campano-Lucano) e di avanfossa il secondo (Fossa Bradanica). Il bacino di Caposele si estende per circa 110 km² tra le province di Avellino e di Salerno, includendo il monte Cervialto (344-1808 m slm). Il bacino idrogeologico è dominato dall'affioramento di una potente successione di calcari dolomitici, calcari e calcari con intercalazioni di conglomerati. Il

bacino del Cervaro si estende per circa 775 km² tra le province di Foggia e Avellino (per una più dettagliata descrizione si rimanda, per brevità, a Fiorillo e Doglioni 2010 e alla relativa bibliografia). Il torrente Cervaro, lungo circa 85 km, si sviluppa a monte nel Subappennino Dauno e a valle nel Tavoliere, con foce nel mare Adriatico (da 0 a 1103 m slm). A monte affiorano in prevalenza litotipi pelitici e dominano morfologie blande, caratterizzate da pendenze in genere non elevate. La zona del Tavoliere, di pianura, è costituita da sedimenti alluvionali, alluvioni terrazzate e per colmata, depositi fluviali ed eluviali, cordoni litorali e dune determinano in affioramento litologie che coprono un intervallo granulometrico estremamente ampio.

La selezione dei due bacini ha avuto lo scopo di individuare, tra i domini idrologicamente significativi, quelli in cui l'effetto antropico sul ciclo idrologico fosse trascurabile o minimo. I principali dati idrologici utilizzati consistono in due serie storiche: la portata della sorgente Sanità di Caposele (dati recenti su cortesia di Acquedotto Pugliese), costituita da 90 anni di osservazioni (1920-2009), e la portata del fiume Cervaro ad Incoronata, gestita dal Servizio Idrografico della Regione Puglia, con 67 anni di osservazioni pubblicate negli Annali Idrologici (1930-1996). L'analisi delle serie storiche dei dati è stata condotta con metodi statistico-descrittivi e metodologie di analisi delle serie temporali (Box et al., 1994).

I dati per l'analisi idrologica sono stati raccolti e analizzati mediante un geodatabase. I livelli informativi utilizzati sono: formazioni geologiche, lineazioni tettoniche, forme carsiche, limiti idrologici, idrografia superficiale, complessi idrogeologici (associati al coefficiente di infiltrazione CI, secondo Civita, 1987), classificazione pedologica, uso del suolo, gruppi idrologici omogenei (in base alla pedologia e all'uso del suolo e alle procedure definite da USDA (1986) per la determinazione del curve number CN). In ogni cella di discretizzazione, il calcolo della evapotraspirazione reale mensile (Er) viene effettuato con il metodo Thornthwaite-Mather (1957), che utilizza principalmente come dati la piovosità e la temperatura mensile. La piovosità efficace (Pe) mensile si ottiene sottraendo Er alla piovosità (P). L'infiltrazione (I) nel sottosuolo è pari al prodotto tra Pe e CI; infine il deflusso si calcola sottraendo Er e I a P.

GRIGLIE TERMO-PLUVIOMETRICHE

Le griglie termo-pluviometriche ad alta risoluzione sono state realizzate mediante la sovrapposizione di due campi: i valori normali relativi a un periodo standard, che definiscono la climatologia, e le deviazioni da questi, definite anomalie. La proiezione di queste ultime su di un grigliato ad alta risoluzione è pienamente giustificato dal fatto che le fluttuazioni temporali delle variabili meteorologiche, legate alla variabilità climatica, presentano una buona coerenza spaziale; ciò fa sì che i dati registrati presso una stazione di misura non siano rappresentativi del solo punto in cui la stazione è collocata, ma rappresentino una porzione di territorio centrata intorno alla stazione stessa. Le climatologie, al contrario, sono legate alle caratteristiche geografiche del territorio, per cui i gradienti spaziali sono molto più forti ed è necessario un maggior numero di stazioni (tuttavia per un intervallo temporale più ridotto) per rappresentarli. I due campi ora descritti possono essere ricostruiti in modo del tutto indipendente e basandosi su dataset diversi (alta densità spaziale e breve lasso temporale per le climatologie, bassa densità spaziale e lunga estensione temporale per le anomalie).

Le lunghe serie storiche disponibili vengono, in primo luogo, trasformate in serie mensili di anomalie rispetto ai valori medi del periodo di riferimento 1961-1990. Queste serie di anomalie hanno un'elevata coerenza spaziale e possono essere proiettate su griglia (ovvero spazializzate) mediante algoritmi statistici standard. Sui medesimi punti di griglia vengono stimati i valori medi mensili (le climatologie) termometrici e pluviometrici del periodo di riferimento per ogni mese dell'anno. Una volta disponibili le anomalie e le climatologie sulla medesima griglia, si procede semplicemente a sovrapporre i due campi per ottenere serie temporali termopluviometriche in valore assoluto stimate in ogni nodo della griglia. Mentre la procedura di spazializzazione delle anomalie è stata realizzata con procedure statistiche standard, la costruzione delle climatologie ha richiesto uno sforzo notevole, sia in termini di acquisizione di nuovi dati, sia in termini di definizione di nuove metodologie. Le climatologie sono state ottenute con un modello di interpolazione (Brunetti et al., 2009a,b) che usa dati puntuali di stazioni e dati ottenuti da un modello di elevazione digitale (DEM) in modo da catturare la complessità del legame tra la variabile

meteorologica e la quota. Per ciascuna stazione si calcola un peso in base alla distanza e alle differenze di orientazione (facet) e di pendenza (slope) tra stazione e punto di griglia, arrivando alla valutazione della dipendenza locale della precipitazione o della temperatura dalla quota, mediante una regressione lineare pesata.

Seguendo la procedura ora descritta sono stati costruiti due dataset su griglia di risoluzione 1km per il periodo 1900-2009, uno per le precipitazioni e uno per le temperature, per l'area 14.5°-16.0° est 40.5°-41.5° nord.

DISPONIBILITA' DELLE RISORSE IDRICHE

Per quanto siano state analizzate serie di misure mensili se non giornaliere, si riportano per brevità i risultati relativi all'analisi dei valori annuali. Nel periodo di studio 1920-2009 la portata minima, media e massima osservate sono rispettivamente pari a 2,8, 3,9 e 5,7 m³/s per la sorgente Sanità di Caposele e (1930-1996) 0,3, 2,7 e 6,7 m³/s per il torrente Cervaro.

Per ciascuna serie temporale è stato determinato il trend nel periodo di osservazione, quantificato mediante il coefficiente angolare della retta di regressione. In entrambi i casi è risultata una tendenza rilevante alla diminuzione del deflusso, sia superficiale che profondo. La perdita tendenziale della portata nel rispettivo periodo di misura è stimabile per la sorgente di Caposele in 0,62 m³/s (pari al 16% della media) e in 1,09 m³/s (pari al 40% della media) per il torrente Cervaro.

L'attendibilità statistica della regressione è stata positivamente valutata mediante l'indice di correlazione R per ranghi di Spearman, un test statistico non parametrico.

Utilizzando la griglia di 1 km, è stato quantificato il processo di infiltrazione e di formazione del deflusso elaborando i dati dei diversi livelli informativi raccolti. Le serie storiche idrologiche sono state utilizzate per validare i dati e calibrare i due diversi modelli per i due bacini di studio. La procedura di calcolo o modello idrologico è a questo punto in grado di effettuare una stima dei deflussi per il futuro, utilizzando come input i dati di scenario climatico.

Lo scenario di emissioni utilizzato è l'A1B del CMIP3 ottenuto con il modello ECHAM 4.6 dall'INGV. La temperatura a 2 metri e le precipitazioni sono state disaggregate con tecniche statistiche sulla medesima griglia costruita per il passato, generando così una proiezione ad alta risoluzione per le due variabili meteorologiche da innestare nel modello idrologico.

L'applicazione del modello al bacino idrogeologico di Caposele restituisce un valore di piovosità media annua di 1538 mm nel periodo 1900-2009; la tendenza nel periodo risulta lievemente negativa, con una piovosità media di 1479 mm nell'ultimo trentennio. I valori medi annui di temperatura ed evapotraspirazione reale risultano rispettivamente di 9,8°C e di 307 mm. La tendenza termometrica risulta significativamente positiva, con un valore medio di 10,4°C per il trentennio 1980-2009 e di 10,8°C nel decennio 2000-2009. L'infiltrazione media annua è stimata pari a 3,80 m³/s, in buon accordo con i dati sperimentali (3,9 m³/s nel periodo 1920-2009). Le previsioni fino al 2100 mostrano una tendenza all'aumento della temperatura e alla contemporanea riduzione della piovosità. I valori medi di temperatura e piovosità calcolati per il periodo 2010-2100 risultano di 11,7°C e 1258 mm, raggiungendo i 12,5°C e 1102 mm con riferimento al trentennio 2071-2100. Le variazioni inducono anche un aumento dell'evapotraspirazione per cui le previsioni per il periodo 2010-2100 indicano drastiche riduzioni della portata sorgiva. La portata media scenderebbe a 2,29 m³/s nel trentennio 2071-2100, con un calo pari al 41% della portata media osservata.

L'applicazione del modello al bacino del torrente Cervaro indica un valore di piovosità media annua di 664 mm nel periodo 1900-2009; la tendenza nel periodo risulta lievemente negativa (646 mm nell'ultimo trentennio). I valori medi annui di temperatura ed evapotraspirazione reale sono rispettivamente di 14,1°C e di 443 mm. La tendenza termometrica risulta positiva, con un valore medio di 14,6°C nel trentennio 1980-2009 e di 15,1°C nel decennio 2000-2009. I valori di deflusso calcolati indicano, per il periodo 1900-2009, una stima di 2,84 m³/s, in buon accordo con i dati sperimentali (2,7 m³/s nel periodo 1930-1996). Le previsioni fino al 2100 sono nuovamente trend positivo per la temperatura e negativo per la piovosità. I valori medi di temperature e precipitazioni calcolati per il periodo 2010-2100 risultano di

16,0°C e 519 mm, (16,7°C e 451 mm con riferimento al trentennio 2071-2100). Visto il contestuale aumento dell'evapotraspirazione, le previsioni per il periodo 2010-2100 indicano drastiche riduzioni della portata fluviale: la media scenderebbe a 1,58 m³/s nel trentennio 2071-2100, con un calo superiore al 40% della portata media osservata.

CONCLUSIONI

E' stato realizzato ogni possibile sforzo per conseguire la migliore accuratezza delle valutazioni quantitative descritte. La validazione effettuata considerando il ciclo idrologico nel suo insieme garantisce che tali valutazioni rappresentino una stima complessivamente attendibile delle variazioni climatiche in atto e delle conseguenti variazioni idrologiche.

In estrema sintesi, i risultati mostrano che le variazioni climatiche tendenziali, occorse negli ultimi 110 anni, hanno causato un calo rilevante di disponibilità di risorse idriche, superficiali e sotterranee, in particolare negli ultimi decenni; inoltre, i dati risultanti dai modelli previsionali applicati fino al 2100 indicano che tale tendenza potrà ulteriormente aggravarsi nel prossimo futuro.

BIBLIOGRAFIA

- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., and Reinsel, G. C. (1994). *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, 3rd ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Brunetti M., G. Lentini, M. Maugeri, T. Nanni, C. Simolo, J. Spinoni; 2009a. *Estimating local records for Northern and Central Italy from a sparse secular temperature network and from 1961-1990 climatologies*. *Advances in Science and Research*, 3, 63-71.
- Brunetti M., G. Lentini, M. Maugeri, T. Nanni, C. Simolo, J. Spinoni; 2009b. *1961-1990 high-resolution Northern and Central Italy monthly precipitation climatologies*. *Advances in Science and Research*, 3, 73-78.
- Civita M., (1987). *La previsione e la prevenzione del rischio d'inquinamento delle acque sotterranee a livello regionale mediante le Carte di vulnerabilità*, Atti del Convegno "Inquinamento delle Acque Sotterranee: Previsione e Prevenzione", Mantova: 9-18.
- Dragoni W., Sukhija B. S. (2008). *Climatic Change and Groundwater*. London, The Geological Society Publishing House, Geological Society Special Publication, n. 288.
- Fiorillo F., Doglioni A. (2010). *The relation between karst spring discharge and rainfall by cross correlation analysis (Campania, southern Italy)*. *Hydrogeology Journal*, 18: 1881-1895.
- Polemio, M., Casarano, D., (2008) *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. *Climate Change and Groundwater* (Dragoni W., Sukhija B.S. eds), Geological Society, London, Special Publications, 288, 39-51.
- Thornthwaite C.W., Mather J.R., (1957.) *Introduction and tables for computing potential evapotranspiration and waterbalance*. Cencerton.
- USDA (1986). *Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55 (TR-55)* (Second Edition ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division.