

L'oscillazione del Nord Atlantico e la variabilità pluriennale delle risorse idriche sotterranee negli acquiferi carbonatici dell'Italia meridionale

Pantaleone De Vita¹, Silvia Fabbrocino¹

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Napoli "Federico II", Via Mezzocannone 8, 80138 – Napoli. E-mail: padevita@unina.it, tel. 081-2535069; silvia.fabbrocino@unina.it, tel 081-2535071. Fax 081-2535070.

The North Atlantic Oscillation and the decadal groundwater yield variability of carbonate aquifers in southern Italy

ABSTRACT: The precipitation time series (1921-1999), recorded by the monitoring stations of the ex Hydrographic and Tidal National Service (Compartment of Naples), has allowed to analyse the decadal climatic variability in the Campania region (southern Italy). This regional analysis has been based on the yearly data gathered by 18 rain gauge stations that have been chosen among those with longer and more continuous recording period, since 1921. The analysis shows a regional climatic variability apparently not characterised by a dominant trend but by a complex decadal periodicity, which can be correlated to large-scale atmospheric phenomena that influence the circulation of humid air masses coming in the Mediterranean area from the Atlantic Ocean. In particular, natural fluctuations of the precipitations in southern Italy, similarly to what discovered in other Mediterranean areas, result to be influenced by the variation of the barometric gradient between Azores's high and Iceland's low, namely by the North Atlantic Oscillations (NAO). Such a result has been also verified respect to the variability of the aquifer recharge, represented by discharge time series of Sanità spring in Caposele (AV), which belongs to the Monte Cervialto carbonate hydrogeological unit (Campania). This spring is particularly representative both for the discharge time series duration, comparable with those of the precipitation ones, and for the feeding of an important regional aqueduct. A clear correlation between decadal variability of the spring discharges and NAO index has been evidenced also in this case. This result, even if it has to be verified in other types of aquifers, appears original above all for the demonstration of the influence of a large-scale atmospheric phenomenon, well-known in the meteorological and oceanographic scientific community, on the aquifer recharge.

Key terms: Southern Italy, climatic variability, aquifer recharge, North Atlantic Oscillation (NAO).

Termini chiave: Italia meridionale, variabilità climatica, ricarica degli acquiferi, Oscillazione del Nord Atlantico (NAO).

Riassunto:

L'analisi delle serie storiche pluviometriche (1921-1999) delle stazioni gestite dall'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (Compartmento di Napoli) ha consentito di rilevare, a scala regionale, l'evoluzione temporale delle precipitazioni. I dati analizzati derivano dalle registrazioni di 18 stazioni pluviometriche, scelte tra quelle con funzionamento maggiormente continuo, dal 1921. Le elaborazioni hanno evidenziato una variabilità climatica apparentemente non caratterizzata da un *trend* dominante, bensì da una complessa ciclicità pluriennale, correlabile a fenomeni atmosferici a scala continentale. In particolare, le fluttuazioni naturali delle precipitazioni in Campania, analogamente a quanto evidenziato in altre parti del Mediterraneo, sono correlabili al fenomeno atmosferico noto come Oscillazione del Nord Atlantico (NAO). Gli effetti di tale fenomeno si riflettono chiaramente in una analogia e complessa variabilità pluriennale della ricarica degli acquiferi, così come dimostrano i dati di portata della sorgente Sanità di Caposele (AV), afferente all'unità idrogeologica carbonatica del Monte Cervialto (Campania),

particolarmente significativa per la lunghezza della serie storica delle misure. Questo risultato, sebbene da testare anche in altri acquiferi, appare originale soprattutto perchè evidenzia le ripercussioni di fenomeni atmosferici a grande scala, finora noti nell'ambito scientifico meteorologico ed oceanografico, sulla ricarica degli acquiferi.

1. Introduzione

Com'è noto, la variabilità del clima a scala pluriennale (secolare o decennale) è correlabile alla sovrapposizione degli effetti di molteplici e complessi cicli naturali, così com'è bene evidenziato dalle numerose indicazioni geologiche *s.l.*, soprattutto del Quaternario e dell'Olocene. Tuttavia, la variabilità dei parametri climatici è una problematica che solo negli ultimi anni sta suscitando grande interesse nella Comunità Scientifica internazionale, soprattutto per ciò che riguarda il condizionamento indotto sulla stessa dallo sviluppo antropico.

Tra le molteplici ripercussioni di tali cambiamenti sull'ambiente fisico appare di particolare rilevanza, in ambito idrogeologico, la variabilità della ricarica degli

acquiferi, soprattutto laddove i principali sistemi acquedottistici dipendono fortemente dalla circolazione idrica sotterranea, così come in Italia meridionale. Tale problematica è apparsa di rilevante importanza, soprattutto dopo i fenomeni siccitosi degli anni '90 che si sono manifestati con una consistente diminuzione delle portate delle sorgenti basali dei massicci carbonatici dell'Italia meridionale, oltre che con una diminuzione o scomparsa di sorgenti minori e con un decremento dei deflussi fluviali di magra. Il ruolo dei cambiamenti climatici sulla ricarica degli acquiferi appare quindi una tematica di studio molto attuale, soprattutto per l'accresciuta esigenza di una corretta gestione delle risorse idriche, nel rispetto degli equilibri naturali e compatibilmente con il fabbisogno antropico, cui si ispirano le recenti normative in materia di gestione di risorse idriche.

2. Dati e metodi di analisi

Da quanto premesso scaturisce il presente lavoro di ricerca, finalizzato all'analisi, mediante approccio empirico, delle complesse interazioni esistenti tra le condizioni climatiche e quelle idrogeologiche a scala regionale. In particolare, le tendenze evolutive dei caratteri climatici, e le corrispondenti ripercussioni sulla circolazione idrica sotterranea, sono state analizzate a partire dalle serie storiche dei dati pluviometrici annuali, rilevati da stazioni dislocate sul territorio della Campania (1921-1999) e dalla serie storica di misure di portata (1920-1998) della sorgente Sanità di Caposele (AV), che costituisce l'unico recapito della circolazione basale dell'unità idrogeologica carbonatica del Monte Cervialto (Celico, 1978; 1983). La serie storica di misure di portata è stata depurata dal surplus di portate negli anni idrologici 1980-1981 e 1981-1982, connessi al terremoto del 23 novembre 1980 (Celico, 1981; Celico & Mattia, 2002).

Tali serie storiche sono apparse essere le uniche possibili per un'analisi di lungo periodo, in considerazione della scarsa continuità di registrazione di molte stazioni pluviometriche e per la quasi totale assenza di misure di portata di sorgenti, prolungate su diversi decenni consecutivi. Ciò inoltre giustifica l'analisi comparata delle precipitazioni a scala regionale e delle portate dell'area campione, non possibile in altri termini vista l'assenza di dati di precipitazione registrati in prossimità del massiccio carbonatico e, comunque, rappresentativi delle precipitazioni in alta quota sul rilievo montuoso.

2.1 Analisi della variabilità pluriennale delle precipitazioni

L'analisi della variabilità pluriennale delle precipitazioni è stata effettuata sui dati delle serie storiche di 18 stazioni pluviometriche, gestite dall'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale in Campania (Compartimento di Napoli): Cusano Mutri, Sessa Aurunca, Chiazzo, Pescosannita, Caserta, Napoli Istituto di Fisica Terrestre, Palma Campania, Montevergine, Altavilla Irpina, Torella dei Lombardi, Sorrento D'Ardia, Nocera Inferiore,

Eboli/Battipaglia, Muro Lucano (l'unica in Basilicata), Sant'Angelo a Fasanella, Castellabate, Gioi Cilento e Morigerati. La scelta delle stazioni è stata condizionata dalla continuità temporale di registrazione, oltre che dalla omogenea distribuzione sul territorio e quindi dalla rappresentatività nei differenti contesti orografici. Il periodo di riferimento considerato (1921-1999) è quello massimo consentito dalle pubblicazioni dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (Annali – Parte I).

Al fine di rilevare l'esistenza di un *trend* climatico pluriennale, l'elaborazione dei dati è stata rivolta alla stima di un indice rappresentativo delle condizioni pluviometriche regionali, in grado di minimizzare le variazioni indotte da situazioni locali. L'approccio adottato è stato quello di normalizzare, rispetto al valore medio dell'intera serie storica, lo scarto tra la precipitazione annua ed il valore medio della serie storica stessa, definendo un indice di variabilità annuo per ciascuna delle 18 serie storiche (P_{mi}). La stima del valore medio degli indici di variabilità annui, ha in seguito consentito di definire l'indice di precipitazione media annua (P_m), rappresentativo del fenomeno pluviometrico a scala regionale (De Vita, 2001).

Con riferimento al periodo di osservazione (1921-1999), è stato complessivamente possibile apprezzare l'esistenza di una tendenza alla diminuzione delle precipitazioni, anche se appare più chiaramente una ciclicità complessa (Fig. 1). L'andamento periodico complesso è stato evidenziato mediante filtraggio della serie storica dell'indice di precipitazione media (P_m) basato sull'applicazione di filtri quadratici a nove ed a diciassette termini (Savitsky & Golay, 1964). Nel lungo periodo tale ciclicità è ben identificabile in due fasi di massimi relativi, con valori superiori alla media, corrispondenti agli anni 1932-1942 e 1958-1980, ed in due fasi di minimi relativi, con valori inferiori a quello medio, corrispondenti agli anni 1943-1957 e 1982-1999 (Fig. 1). Il filtraggio della serie è stato calcolato rispetto al valore centrale della stringa di coefficienti, fornendo una curva filtrata che è in fase con i dati originali.

Le variazioni attorno al valore medio dell'indice di precipitazione media oscillano, apparentemente con ciclicità complessa, tra -34% e +34% (nell'intervallo di probabilità compreso tra il 2.5% ed il 97.5%).

2.2 Influenza dell'Oscillazione del Nord Atlantico

Le variazioni cicliche di lungo periodo delle precipitazioni, osservate a scala regionale sul territorio campano, già ad un'analisi preliminare sono apparse imputabili più che a fenomeni casuali a cambiamenti climatici con ciclicità complessa, eventualmente riscontrabili a scala continentale. Pertanto questi sarebbero ipoteticamente identificabili nelle aree di provenienza delle masse di aria umida che condizionano il regime pluviometrico dell'Italia occidentale, e del Mediterraneo in generale, e quindi dall'Oceano Atlantico settentrionale.

Dagli studi oceanografici e meteorologici che hanno riguardato il Nord Atlantico è noto che questa parte

dell'Oceano è interessata da vari fenomeni ciclici che controllano l'interazione tra le masse liquide e quelle gassose; tra questi, quello che ha le maggiori ripercussioni sui mutamenti climatici, è l'Oscillazione del Nord Atlantico (NAO) che si manifesta come un'oscillazione a periodicità complessa delle masse atmosferiche delle Azzorre (alto barometrico) e dell'Islanda (basso barometrico) (Walker, 1924).

L'Oscillazione del Nord Atlantico è espressa dall'indice NAO, definito dall'anomalia, rispetto alla differenza standard, tra il minimo barometrico dell'Islanda e l'alto barometrico delle Azzorre. L'indice varia di anno in anno con una ciclicità complessa ma mostra di appartenere alla stessa fase (positiva o negativa) per alcune decadi consecutive (Fig. 2). Il valore positivo dell'indice NAO indica l'esistenza di un'area di pressione atmosferica maggiore del normale sulla zona tropicale delle Azzorre ed una zona di depressione più accentuata del valore medio in corrispondenza dell'Islanda, quindi complessivamente una differenza barometrica maggiore del normale tra i due citati poli. Durante la fase positiva le aree mediterranee e

dell'Europa centro-meridionale godono di inverni temperati e poco piovosi, mentre le aree europee settentrionali sono interessate da violente perturbazioni. Invece, il valore negativo dell'indice NAO indica una riduzione anomala della differenza di pressione atmosferica tra le aree tropicali delle Azzorre ed il minimo barometrico dell'Islanda. In questo caso, il ridotto gradiente barometrico non consente lo sviluppo di violente perturbazioni nell'Europa settentrionale, ma induce perturbazioni di minore intensità sull'area mediterranea e nell'Europa centro-meridionale, generando in queste aree inverni umidi.

L'Oscillazione del Nord Atlantico è causa di variazioni climatiche da interannuali a decennali nel settore marittimo dell'Atlantico (Barnston & Livezey, 1987); questa anomalia periodica è risultata ben correlabile con le variazioni climatiche dell'emisfero settentrionale, quindi con le precipitazioni e le temperature dell'aria (Hurrell, 1995). L'influenza di tale anomalia atmosferica si estende almeno fino alla Turchia, come dimostra la buona correlazione tra i parametri meteoroclimatici medi di quest'area e l'indice NAO (Cullen & De Menocal, 1997; Türkeş & Erlat, 2005).

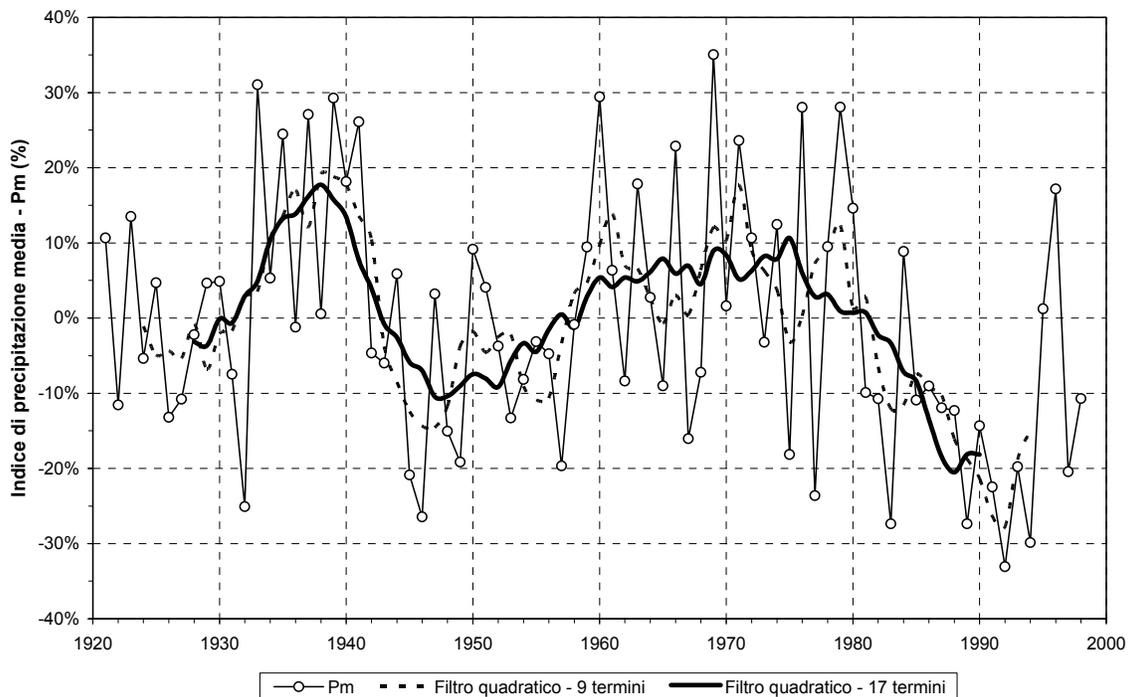


Figura 1: Variazione dell'indice di precipitazione media (P_m) per la Campania (1921-1999). Sono evidenziate le serie storiche derivate dall'applicazione di filtri quadratici a 9 ed 17 termini.

Variation of the mean precipitation index (P_m) in the Campania region (1921-1999). Time series derived by the smoothing with quadratic filters of 9 and 17 terms are also showed.

Tra i differenti indici che esprimono il fenomeno atmosferico, con riferimento ai mesi invernali, tutti basati sul confronto delle registrazioni barometriche di differenti stazioni meteorologiche localizzate nelle Azzorre ed in Islanda, è stato utilizzato quello basato sulle registrazioni della stazione di Lisbona (Portogallo) e di Stykkisholmur

(Islanda) (Hurrell, 1995; Hurrell & van Loon, 1997).

Le analisi sono state basate sulla cross-correlazione tra le serie storiche dell'indice di precipitazione media annua (P_m) e dell'indice NAO. Esse hanno evidenziato la migliore correlazione ($r = -0.409$) con uno sfasamento (*lag*) nullo, dimostrando una corrispondenza di fase tra i due fenomeni.

In particolare, l'analisi della significatività statistica del coefficiente di correlazione (mediante i *tests* di t di Student ed F di Fisher), effettuata tra ciascuna serie storica delle stazioni pluviometriche e l'indice NAO ha evidenziato valori superiori al livello di significatività del 5% solo in cinque casi (Caiazzo, Pescosannita, Napoli Istituto di Fisica Terrestre, Altavilla Irpina, Torella dei Lombardi e Muro Lucano). I *tests*, effettuati anche sulle medie mobili decennali delle stesse serie storiche hanno evidenziato una migliore correlazione, con una riduzione dei casi a soli due (Napoli Istituto di Fisica Terrestre e Muro Lucano) per i quali non appare esistere correlazione con l'indice NAO; ciò è verosimilmente imputabile ad anomalie di funzionamento o ad altri fattori di condizionamento locale.

2.3 Variabilità pluriennale delle portate della sorgente Sanità di Caposele

Per quanto indicato in precedenza, la sorgente Sanità di Caposele (AV) rappresenta un caso eccezionale per ciò che riguarda il monitoraggio delle portate sorgive, iniziato fin dal 1920. Tale condizione è giustificata dal fatto che detta sorgente, caratterizzata da una portata media di circa 4.0

m³/s, alimenta un importante settore dell'Acquedotto Pugliese. La serie storica delle portate sorgive (1920-1998) è stata trattata in maniera analoga a quella dei dati pluviometrici, ciò ha consentito di stimare un indice di portata media annua (Qm), rappresentato dallo scarto della portata media annua rispetto al valore medio dell'intera serie storica, normalizzato rispetto a quest'ultimo stesso valore (Fig. 3). Si è così riscontrato, anche per le portate sorgive, ovviamente rappresentative dei fenomeni di ricarica dell'acquifero, una ciclicità naturale pluriennale del tutto comparabile con le fluttuazioni delle precipitazioni e quindi dell'indice NAO. Infatti, anche in questo caso, dall'analisi di cross-correlazione è possibile riscontrare una rispettiva conformità evincendosi una coincidenza di fase ed una corrispondenza dei principali picchi. Rappresenta un'eccezione solo il periodo 1968-1978, durante il quale le portate hanno subito una diminuzione non in stretto accordo con l'andamento dell'indice di precipitazione media annua (Pm), per la cui interpretazione dovrebbero essere ulteriormente approfondite le dinamiche interannuali delle precipitazioni e dei deflussi sotterranei.

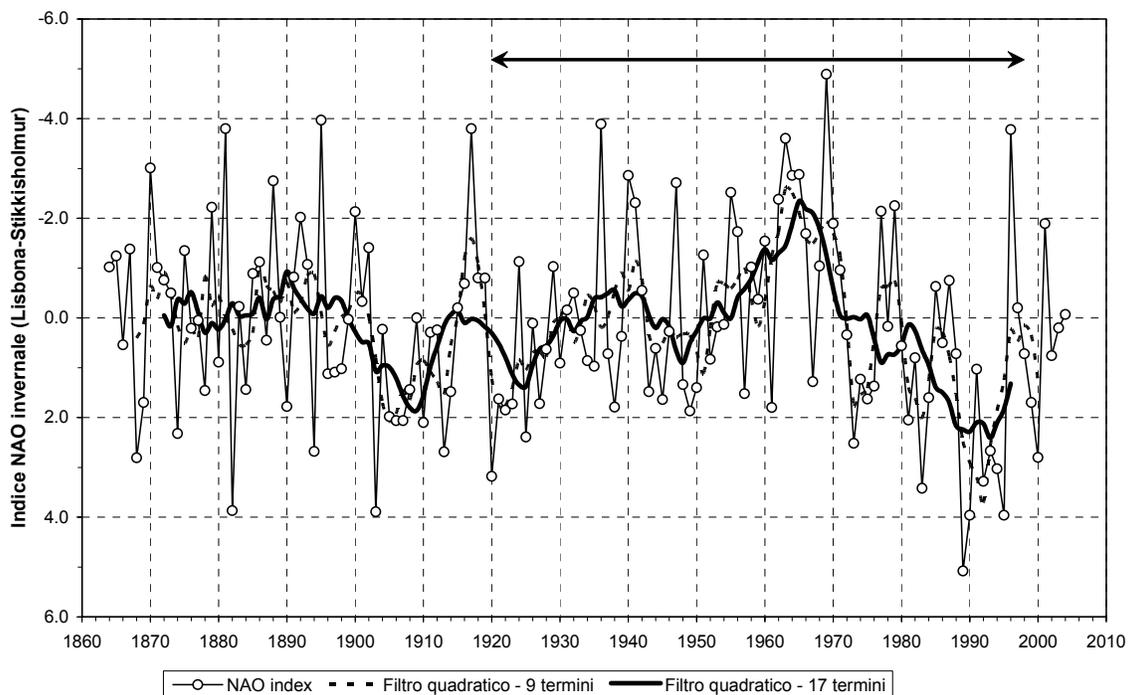


Figura 2: Serie storica dell'indice NAO invernale (1863-2004) registrato tra le stazioni di Lisbona (Portogallo) e Stikkisholmur (Islanda). La doppia freccia indica il periodo considerato nelle elaborazioni

Time series of winter NAO index (1863-2004) recorder by means of Lisbon (Portugal) and Stikkisholmur (Iceland) stations. The double arrow indicates the period considered in the elaborations

L'analisi della significatività statistica della correlazione esistente tra le serie storiche annuali (1920-1998) dei valori minimi, medi e massimi di portata e l'indice NAO (mediante i *tests* di t di Student ed F di Fisher), mostra in ogni caso l'elevato valore della correlazione, in particolare per le stesse serie storiche mediate su un decennio (Tab. 1).

3. Risultati e conclusioni

Le elaborazioni delle serie storiche hanno consentito di evidenziare che la variabilità pluriennale delle precipitazioni, alla scala della regione Campania e nell'ambito dell'intervallo temporale di cui si dispongono

misure strumentali (1921-1999), non è caratterizzata da un trend univoco dominante, bensì da un'articolata e complessa periodicità che è correlabile a fenomeni atmosferici agenti su grande scala. In particolare, le fluttuazioni naturali delle precipitazioni in Italia meridionale sono ben correlate all'Oscillazione del Nord Atlantico (NAO), la cui ciclicità giustifica il recente periodo siccitoso degli anni '90 e lo rende confrontabile con un analogo occorso a cavallo degli anni '40 e '60 (Fig. 1).

Le variazioni climatiche connesse con tale fenomeno atmosferico si ripercuotono chiaramente sulla ricarica degli acquiferi, comportando nel tempo analoghe fluttuazioni naturali cicliche dei deflussi sotterranei. I risultati dell'analisi della serie storica di portate della sorgente Sanità di Caposele (AV) hanno consentito di dimostrare chiaramente la suddetta ipotesi.

Tab. 1: Analisi della correlazione lineare tra le serie storiche dei valori annuali (minimi, medi e massimi) delle portate della sorgente Sanità di Caposele (AV) con l'indice NAO.

Analysis of the linear correlation among yearly discharge time series of Sanità spring in Caposele (AV) (minimum, average and maximum) and the NAO index.

(1920-1998)	Dati naturali			Media mobile 10 anni			
	Q _{min}	Q _{media}	Q _{max}	Q _{min}	Q _{media}	Q _{max}	
Media	(m ³ /s)	3.4	4.0	4.5	-	-	-
CV	(%)	10%	14%	17%	5%	6%	7%
r _{NAO}	(ad.)	-0.42	-0.53	-0.53	-0.62	-0.71	-0.64
t Prob.	(%)	< 0.010%			< 0.000001%		
F Prob.	(%)	< 0.010%			< 0.000001%		

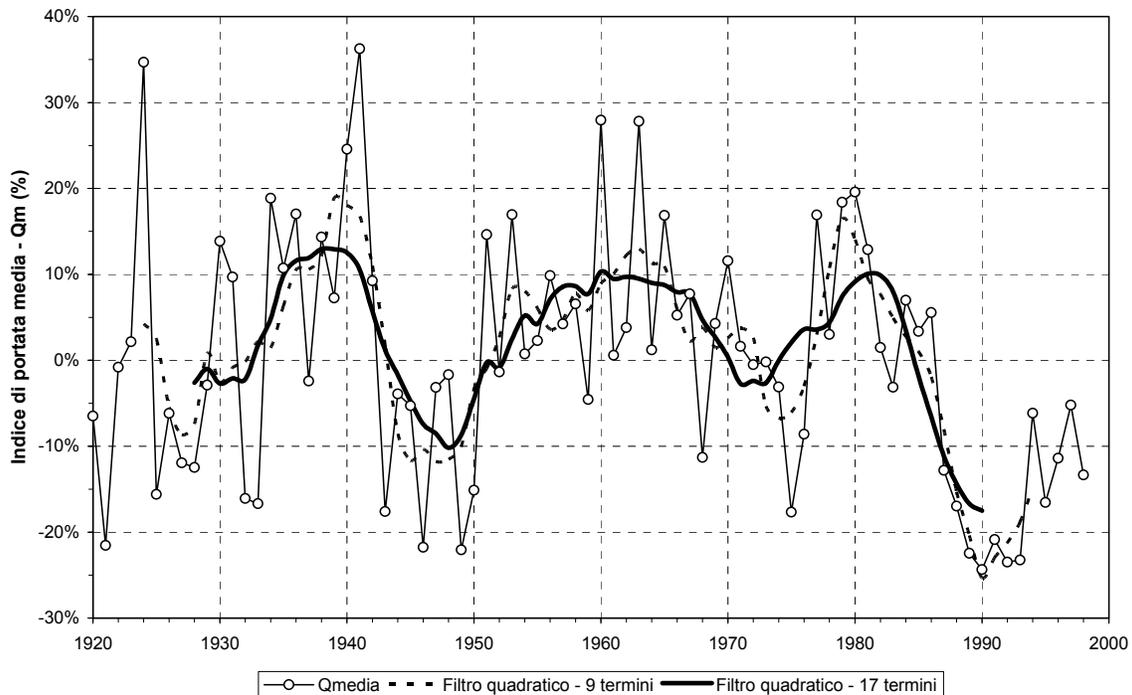


Figura 3: Variazione dell'indice di portata media della sorgente Sanità di Caposele (AV) (1920-1998). Sono evidenziate le serie storiche derivate dall'applicazione di filtri quadratici a 9 ed 17 termini.

Variation of the mean discharge index of Sanità spring in Caposele (AV) (1920-1998). Time series derived by the smoothing with quadratic filters of 9 a 17 terms are also showed.

La buona correlazione esistente tra le portate medie annue della suddetta sorgente e l'indice NAO si presta ad ulteriori approfondimenti del modello empirico (Fig. 4). Infatti, è possibile evincere il carattere non lineare, compatibile con l'effetto dell'evapotraspirazione che diventa progressivamente più rilevante, in termini relativi, al diminuire degli apporti pluviometrici (De Vita & Fabbrocino, 2005). Inoltre, in base alla dispersione dei punti rispetto al modello interpolante, è possibile ipotizzare una suddivisione del modello in tre campi, con riferimento ai valori medi decennali: a) indice NAO fortemente negativo

(< -1), cui sono associabili portate sensibilmente superiori al valore medio; b) indice NAO compreso tra -1 e +1, cui sono associabili portate variabili rispetto al valore medio in relazione a variabilità pluviometriche interannuali ed a fenomeni di riempimento e svuotamento delle riserve regolatrici; c) indice NAO fortemente positivo (> +1), cui sono associabili condizioni di siccità.

In definitiva, i risultati proposti appaiono interessanti, oltre che per la chiara ricaduta applicativa di tipo predittivo, soprattutto per la chiara evidenziazione delle correlazioni tra la variabilità della ricarica degli acquiferi e

l'Oscillazione del Nord Atlantico, un fenomeno molto oceanografico, anche per le presunte ripercussioni sullo studio nell'ambito scientifico meteorologico ed stesso degli effetti del "Global Change".

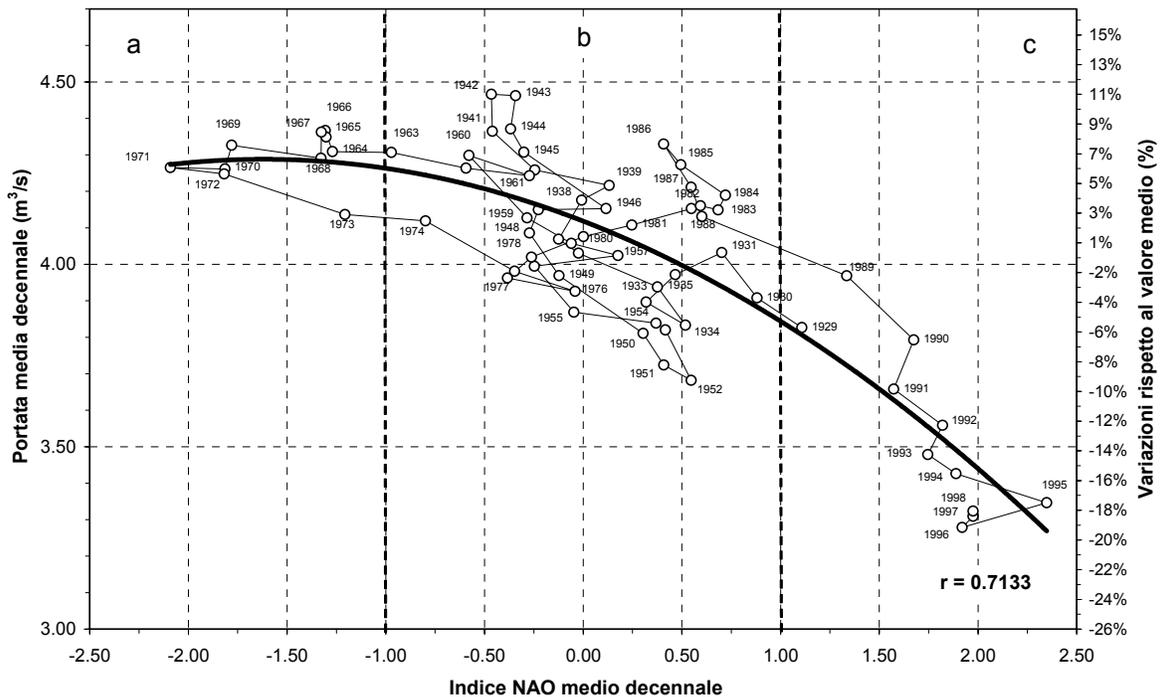


Figura 4: Correlazione tra la portata media decennale della sorgente Sanità di Caposele (AV) e l'indice NAO medio decennale (l'anno indicato rappresenta l'ultimo della serie di 10).

Correlation between 10-years average discharge of Sanità spring in Caposele (AV) and the 10-years NAO index (the indicated year represents the last of the series of 10).

6. Bibliografia

Barnston A.G., & Livezey R.E. (1987) - Classification, Seasonality, and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns. *Monthly Weather Review*, 115, 1083-1126.

Celico F. & Mattia C. (2002) - Analisi degli effetti indotti dal sisma del 23/11/1980 sugli equilibri idrogeologici della sorgente Sanità (Campania), mediante simulazione ragionata delle dinamiche di ricarica e esaurimento. *Quaderni di Geologia Applicata*, 1, 5-18, Pitagora Editrice, Bologna.

Celico P. (1978) - Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale. *Memorie e Note Istituto di Geologia Applicata*, Napoli, 14, 1-97.

Celico P. (1981) - Relazioni tra idrodinamica sotterranea e terremoti in Irpinia (Campania). *Rendiconti Società Geologica Italiana*, 4, 103-108.

Celico P. (1983) - Idrogeologia dei massicci

carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionale, Abruzzo, Molise e Campania). *Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno*, 4/2, Roma.

Cullen H. & De Menocal P.B. (1997) - North Atlantic Influence on Middle Eastern Climate and Water Supply - Proceedings from a Meeting on Atlantic Climate Variability Lamont-Doherty Earth Observatory.

De Vita P. (2001) - Lineamenti climatici e "rischio idrogeologico". In: Vallario A. (2001, Ed.) - *Il dissesto idrogeologico in Campania*, 117-126, Editore CUEN, Napoli.

De Vita P. & Fabbrocino S. (2005) - Influence of the North Atlantic Oscillation on the climatic variability and groundwater resources in carbonate aquifers of southern Italy. In corso di stampa su: *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*.

Hurrell J.W. (1995) - Decadal Trends in the

North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*, 269, pp. 676-679.

Hurrell J. W. & van Loon H. (1997) - Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. *Climatic Change*, 36, 301-326.

Savitsky A. & Golay M.J.E. (1964) - Smoothing and differentiation of data by simplified least square procedures. *Analytical Chemistry*, 36, pp. 1627-1639.

Türkeş M. & Erlat E. (2005) - Climatological responses of winter precipitation in Turkey to variability of the North Atlantic Oscillation during the period 1930-2001. *Theoretical and Applied Climatology*, 81, 45-69.

Walker G.T. (1924) - Correlations in seasonal variations of weather. *Mem. Ind. Meteor. Dept.* IX.