

DEFINIZIONE DI SISTEMI DI "DOWNSCALING" DI MODELLI GLOBALI DI PREVISIONE STAGIONALE PER L'UTILIZZO A VALLE DI MODELLI AGROMETEOROLOGICI A SCALA NAZIONALE

VALENTINA PAVAN, ANTONELLA MORGILLO, CARLO CACCIAMANI
*ARPA – Servizio Meteorologico Regionale dell'Emilia Romagna

INTRODUZIONE

Le previsioni meteorologiche a medio-lungo termine rivestono particolare importanza nell'ambito dell'agricoltura grazie alla loro potenziale utilità ai fini di una corretta programmazione delle coltivazioni, dell'esecuzione d'interventi tecnici in campo, di una corretta stima di rischi climatici per le colture e della pianificazione dei fabbisogni d'acqua per l'irrigazione. La disponibilità di prodotti previsionali a lungo termine sul territorio nazionale può consentire l'impiego di modelli specificamente agrometeorologici basati sulle previsioni stagionali stesse, quali ad esempio quelli che simulano la crescita delle colture, in grado di dare risposta, con un grado d'affidabilità misurabile, ad alcune di queste esigenze.

Il problema che si pone è evidentemente quello di comprendere il grado di affidabilità delle previsioni meteorologiche a lungo termine prodotte con gli attuali strumenti a disposizione, che sono, per lo più, i Modelli accoppiati di Circolazione Generale dell'Atmosfera e dell'Oceano (AOGCM).

È noto che la predicibilità del flusso atmosferico cala sensibilmente quando ci si allontani da un istante iniziale assegnato per un periodo di durate media di 7-10 giorni. L'intrinseca caoticità del sistema atmosfera impedisce che il limite "deterministico" di predicibilità possa estendersi oltre tale intervallo temporale. Da tempo, le simulazioni numeriche hanno confermato che, anche a partire da condizioni iniziali molto simili, dopo tale intervallo di tempo il flusso transita verso stati talvolta anche molto diversi tra loro. Ciò esclude a priori la possibilità di produrre previsioni stagionali in senso "deterministico".

Nonostante questo, esiste un margine di predicibilità degli AOGCM per scale temporali medio-lunghe (mesi e stagioni) legato all'esistenza di fenomeni caratterizzati o da scale temporali più lunghe o, comunque, da maggiore predicibilità. È il caso di anomalie di campi atmosferici associate a modi di oscillazione accoppiati oceano-atmosfera come El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Tale oscillazione influenza non solo il clima del Pacifico Tropicale, dove principalmente si manifesta nel corso della sua fase matura, ma anche quello delle regioni extra tropicali limitrofe e di tutto il continente Americano. Grazie a questo fenomeno le previsioni stagionali prodotte per queste regioni presso i grandi centri previsionali sono caratterizzate da una sufficiente affidabilità. Sulla base di questi risultati è stato concluso che la fattibilità di previsioni meteorologiche su scale temporale medio-lunga è legata alla esistenza di complesse "teleconnessioni" atmosferiche, in grado di trasmettere su scala planetaria i segnali anomali più predicibili ricevuti, ad esempio, dall'oceano tropicale o da altre sorgenti con scale di variabilità temporale più lunghe, quali l'estensione delle calotte polari o

dei ghiacciai. Il trasferimento del segnale meteorologico all'atmosfera alle medie latitudini si esplica attraverso complicate interazioni tra diverse scale di moto, spesso non lineari e la cui esistenza e natura è ancora non del tutto compresa.

Un ulteriore problema che limita la fruibilità delle previsioni stagionali è legato alla differenza fra le scale spaziali risolte dai modelli AOGCM e quelle di interesse per gli utenti finali delle previsioni stagionali. Infatti, mentre le prime sono tipicamente dell'ordine di qualche centinaio di Km, le seconde sono di almeno un ordine di grandezza inferiori (10 Km). Per colmare tale *gap* è necessario, in primo luogo, comprendere quale sia il massimo livello di utilizzabilità delle previsioni dirette degli AOGCM, quindi, se tale utilizzabilità risultasse modesta, definire delle metodologie di regionalizzazione (note come: *downscaling*) di tipo dinamico o statistico o dinamico-statistico che permettano di definire dei prodotti meteorologici usabili dagli utenti su scala locale a partire dalle uscite dei modelli globali di previsione.

Nel corso del presente lavoro, prima di tutto, abbiamo valutato la qualità locale delle previsioni stagionali globali (Direct Model Output, DMO) prodotte presso il Centro Europeo per le Previsioni a Medio Termine (ECMWF) sul territorio italiano facendo uso di un modello atmosferico (AGCM) all'interno del progetto Europeo PROVOST (Prediction of climate variations on seasonal to interannual timescales; Palmer et al., 2000). L'attenzione è stata focalizzata sui parametri superficiali che caratterizzano il clima, vale a dire temperatura superficiale e precipitazione, solo per la stagione invernale, già indicata dalla letteratura come la più predicibile su scala stagionale.

In seguito, sono state poste le basi per definire una tecnica di *downscaling* statistico, in grado di mettere in relazione i parametri superficiali su scala locale con indici di circolazione di larga-scala, caratterizzati da un più alto livello di predicibilità stagionale rispetto al DMO. Tale tecnica potrebbe permettere di sfruttare al massimo il contenuto informativo delle previsioni stagionali su scala globale, e nello stesso tempo di raggiungere un livello di risoluzione spaziale sufficientemente vicino a quello richiesto dagli utenti.

DATA-SET USATI

Nel corso dell'analisi qui presentata sono stati usati diversi set di dati: l'analisi oggettiva e i dati da stazione del MiPAF-UCEA, l'analisi del National Meteorological Center degli Stati Uniti (NMC), la ri-analisi dell'ECMWF, ed i dati delle previsioni stagionali numeriche prodotte nel corso del progetto PROVOST.

Le analisi oggettive MiPAF – UCEA si estendono dal 1979 al 2000. Sono state prodotte su scala giornaliera e su una griglia spaziale regolare $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ che copre tutto il territorio nazionale, sia per Temperatura minima e massima a 2m (T_{\min} e T_{\max}), che per la Precipitazione. Tali analisi sono state prodotte a partire da dati da stazione anch'essi disponibili all'interno di questo data-set. Essi comprendono valori di precipitazione giornaliera cumulata, Tmax e Tmin presso circa 294 stazioni gestite da due diversi enti: l'Aeronautica Militare e l'UCEA.

L'analisi NMC include, tra gli altri, i valori giornalieri di geopotenziale a 500 hPa (Z500) per il periodo dal 1949 al 1994 su una griglia ottagonale di 1977 punti che copre tutto l'emisfero Nord a partire da 20°N . Nel presente lavoro le analisi sono state preventivamente interpolate su una griglia regolare $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ e quindi sono state calcolate le anomalie mensili rispetto al clima 1949-1994 per i mesi da Dicembre a Marzo.

La ri-analisi dell'ECMWF (ERA) copre l'intero periodo in cui sono disponibili le previsioni numeriche PROVOST (1979-1993) e include sia campi di superficie che in quota, sia dati giornalieri che mensili, ad una risoluzione di $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$ (Gibson et al. 1997). I dati qui usati sono stati preventivamente interpolati su griglia regolare $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$. Infine, le previsioni stagionali qui analizzate sono state estratte dal data set prodotto nel corso del progetto europeo PROVOST. In particolare è stato usato l'intero gruppo di esperimenti invernali prodotti per gli anni dal 1979 al 1993. Questo gruppo comprende gli esperimenti prodotti facendo uso di 3 diversi modelli: il modello ECMWF (con risoluzione T63 e 31 livelli verticali), il modello UKMO (con risoluzione $2.5^{\circ} \times 3.75^{\circ}$ e 19 livelli verticali) ed il modello ARPEGE (girato sia a risoluzione T42 che a risoluzione T63, sempre con 31 livelli verticali). Per ogni modello e per ogni inverno è disponibile un ensemble di 9 esperimenti, inizializzati facendo uso dei dati di ri-analisi in 9 giorni successivi (dal 22 al 30 novembre), immediatamente precedenti il primo giorno di previsione. Le condizioni al contorno usate nel corso dell'integrazione sono state ottenute da ERA. Ogni esperimento è della durata di 4 mesi e si estende fino al 31 Marzo di ogni anno. L'archivio da cui sono stati estratti i dati necessari per il lavoro qui presentato è il CD diffuso a conclusione del progetto dall'ECMWF. All'interno di questo CD sono disponibili i dati solo sotto forma di medie su dieci giorni consecutivi, che sono state usate al fine di ricostruire i valori medi stagionali. I valori puntuali di previsione usati per ottenere il DMO sono stati ottenuti mediando le previsioni numeriche per tutti i mesi disponibili da Dicembre a Marzo e su tutti i 9 membri dell'ensemble. Per quanto riguarda il downscaling statistico sono state considerate solo le previsioni mediate sui mesi da Gennaio a Marzo, in quanto le previsioni di Dicembre, troppo legate alle condizioni iniziali, potrebbero aumentare artificiosamente la attendibilità delle previsioni prodotte.

VERIFICA DEL DIRECT MODEL OUTPUT

La diversa risoluzione a cui sono disponibili i dati di previsione e quelli osservati, rende il processo di confronto diretto fra risultati numerici e osservazioni complesso, in quanto i dati osservati contengono un livello di dettaglio maggiore rispetto ai dati previsti. Per ovviare tale problema, è stato necessario eseguire un *upscaling* dei dati osservati riportando le osservazioni alla stessa risoluzione con cui sono disponibili le simulazioni PROVOST. In pratica questo è stato ottenuto applicando un operatore di media spaziale definite diversamente a seconda della variabile considerata: per la precipitazione sono state utilizzate tutte le stazioni con distanza longitudinale dal punto del modello inferiore a circa 250 Km, mentre per la temperatura sono stati usati i valori delle analisi nei punti di griglia interni ad una scatola quadrata di lato circa 250 Km, centrata nel punto di griglia del modello. Si è inoltre fatta attenzione ad escludere quelle stazioni e quei punti di griglia localizzati ad una quota geografica troppo diversa dall'orografia del modello. La Figura 1 (quadri a, b e c) mostra rispettivamente la griglia del modello previsionale, la distribuzione delle stazioni MIPAF - UCEA, e la griglia dell'Analisi Oggettiva UCEA.

Ai fini dell'analisi sono stati presi in esame due punti di griglia del modello ECMWF rappresentativi dell'intero territorio nazionale. I punti presi in esame sono stati uno al nord ($45.0^{\circ}N, 10.0^{\circ}E$), ed uno al centro ($42.5^{\circ}N, 12.5^{\circ}E$).

In Figura 2 è presentato l'andamento temporale delle anomalie stagionali di T_{max} previste (linea verde) ed osservate (linea blu) sul Nord e sul Centro Italia. Come si può notare da questi grafici, le previsioni dirette del modello non hanno un sufficiente

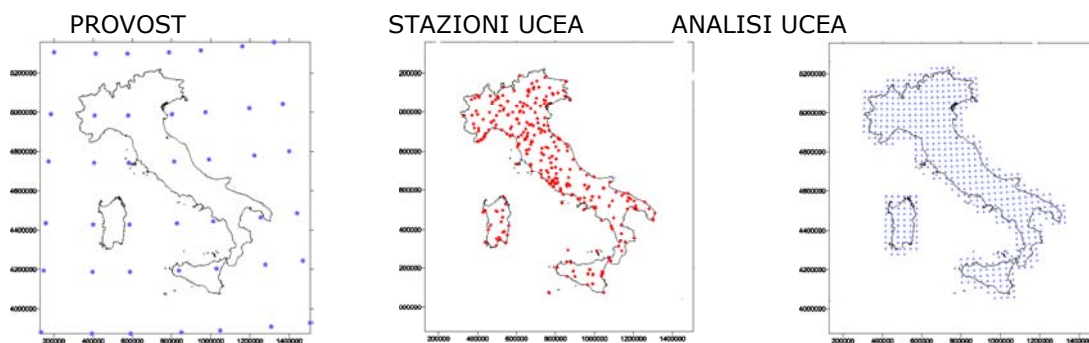


Fig. 1 - Distribuzione dei punti di griglia delle simulazioni di Provost (quadro a), delle stazioni usate per il confronto (quadro b) e dei punti analisi Mipaf su grigliato (quadro C) dei dati osservati.

grado di affidabilità. In particolare il valore della correlazione fra queste due curve è molto basso e pari a -0.07 per il Nord e 0.09 per il Centro.

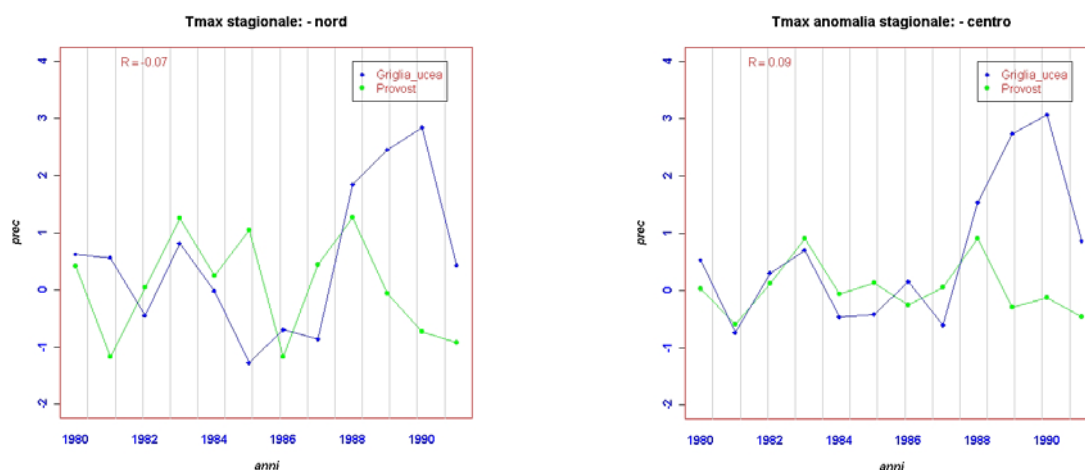


Fig. 2 - Anomalie previste ed osservate di Tmax per il Nord e per il Centro Italia.

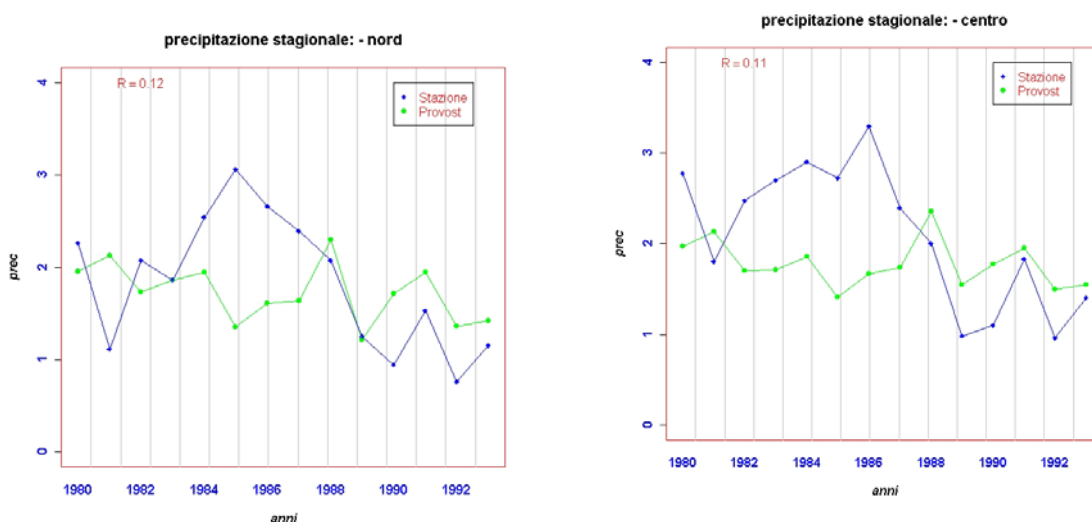


Fig. 3 - Precipitazioni previste e osservate per il Nord e per il Centro Italia.

Una analoga analisi è stata condotta per la precipitazione e i risultati sono riportati in Figura 3. In questo caso i valori delle correlazioni fra anomalie previste e osservate sono di 0.12 per il Nord e 0.11 per il Centro.

IL DOWNSCALING STATISTICO

Visti i risultati del confronto diretto fra previsioni numeriche e osservazioni è stato necessario porre le basi per la definizione di un metodo di downscaling statistico che ci permetta oltre che di trasferire le informazioni previsionali su scala locale anche di estrarre dal modello globale le informazioni più affidabili.

Quest'ultimo obiettivo si può raggiungere estraendo dalle previsioni globali quelle relative alle anomalie di larga scala più rilevanti per la variabilità invernale delle nostre regioni.

Come discusso in precedenza, la letteratura indica che tale anomalie potrebbero essere caratterizzate da un maggiore livello di predicibilità rispetto a quelle su scala locale, in quanto potrebbero essere dinamicamente legate a fenomeni predicibili a livello stagionale. Se queste anomalie fossero predicibili a scala stagionale, e se esistesse un legame forte fra queste e il tempo meteorologico locale, descritto, ad esempio, da anomalie di temperatura e di precipitazione, allora sarebbe possibile impostare dei metodi di downscaling, usando ad esempio regressioni multiple o correlazioni canoniche, con le quali eseguire previsioni stagionali del tempo meteorologico locale a partire da tali pattern di circolazione atmosferica.

Questa discussione ha messo in evidenza i due problemi principali associati alla realizzazione di un metodo di downscaling a scala stagionale: da una parte esiste il problema di individuare i pattern di circolazione atmosferica più correlati con il clima locale, dall'altra vi è il problema di comprendere quale sia la qualità delle previsioni numeriche stagionali di tali pattern di larga-scala.

Per attaccare il primo problema, cioè per individuare queste anomalie, è stata applicata una analisi delle componenti principali (PC) alla matrice di covarianza delle anomalie mensili di Z500 per i mesi da Dicembre a Marzo, ottenute dall'analisi NMC per il periodo 1949-94, sulla regione che va da 90°W a 60°E e da 20°N a 90°N. Le prime quattro PC spiegano insieme intorno al 70% della varianza totale di questo campo e si può dimostrare che hanno una alta correlazione con gli indici rappresentativi della variabilità temporale dei quattro *patterns* di teleconnessione più rilevanti per questa regione: la North Atlantic Oscillation (NAO), l'Eastern Atlantic pattern (EA), l'European Blocking pattern (EB) e lo Scandinavian pattern (SCA). Tali pattern sono stati ampiamente descritti in letteratura (Wallace and Gutzler, 1981; Barnston and Livezey, 1987; Rogers, 1990; Tibaldi e Molteni, 1990; Pavan et al. 2000 a e b).

Questi pattern di larga scala sono profondamente legati alla occorrenza di anomalie stagionali nei campi superficiali di temperatura e precipitazione sulla regione Europea. In particolare è possibile dimostrare la presenza di una correlazione biunivoca fra queste PCs e quelle ottenute per la precipitazione sulla ristretta area del Mediterraneo (Quadrelli et al., 2001 b), e anche di correlazioni significative fra i pattern di larga scala e i regimi di precipitazione osservati su aree più limitate, quali ad esempio l'area alpina (Quadrelli et al., 2001 a). Questi risultati permettono di individuare in questi pattern gli ideali predittori dello schema di downscaling statistico in fase di definizione. A questo punto diventa cruciale riuscire ad estrarre dalle previsioni numeriche stagionali globali provviste da PROVOST, la miglior previsione possibile per questi indici. La abilità predittiva stagionale del modello ECMWF è stata valutata per i mesi da Gennaio a Marzo proiettando le anomalie invernali di Z500 sia per le previsioni numeriche sia per ERA sui pattern di covarianza fra le prime quattro PC Z500 NMC e le anomalie mensili di Z500 osservate.

In Figura 4, i punti blu rappresentano le proiezioni previste da ogni membro dell'ensemble, la linea rossa continua il loro valor medio, la striscia gialla l'intervallo di una deviazione standard intorno al valor medio previsto, ed infine la linea rossa tratteggiata le proiezioni osservate. Da questa figura si nota immediatamente che la abilità predittiva del modello ECMWF non è uniforme per tutti i pattern considerati: essa è buona per SCA (PC4), accettabile per NAO e EB (rispettivamente PC1 e PC3), e quasi inesistente per EA (PC2).

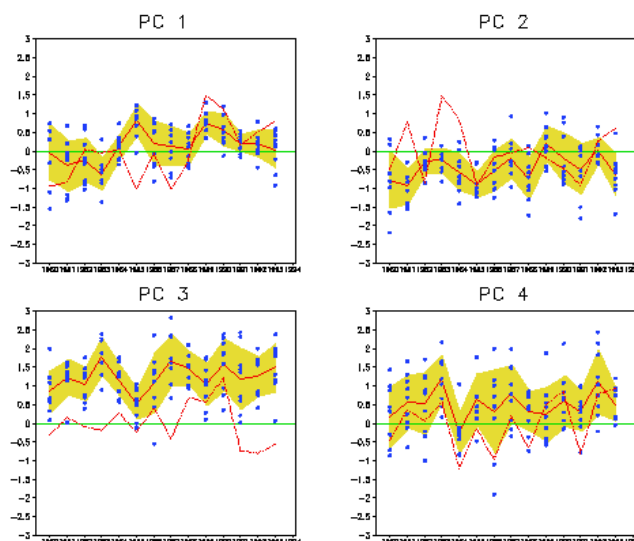


Fig. 4 - Valori previsti ed osservati per PC1, PC2, PC3 e PC4.

Il risultato accettabile della riproduzione della PC1 (legata alla NAO) ci ha spinto ad investigare, a titolo puramente esplorativo, le potenzialità di un semplice schema di downscaling per l'anomalia di precipitazione invernale sul Nord Italia.

In tale primo semplice esempio, che ricade nell'ambito delle tecniche del tipo Perfect Prognostic (Klein et al., 1959), la PC1 rappresenta il predittore mentre il campo mensile di anomalia di precipitazione sul territorio del Nord Italia rappresenta il predittando. I coefficienti dell'equazione di regressione fra predittore e predittando sono stati stimati a partire da dati osservati, e quindi applicati alle previsioni numeriche rese disponibili per il modello ECMWF.

In Figura 5 è raffigurato l'incoraggiante risultato di questo primo tentativo di downscaling. Il semplice metodo proposto sembra riprodurre l'andamento interannuale della anomalia cogliendo anche la transizione da valori positivi a negativi osservabile tra l'inverno 1983 ed l'inverno 1984.

Con questo semplice esempio si è voluto solo mostrare la potenzialità del metodo.

Lo sviluppo completo dello stesso prevede l'estensione dell'insieme dei predittori a tutti e quattro i pattern descritti in precedenza, e l'estensione dei predittandi anche ai campi di T_{max} e T_{min} . Per rendere accettabile la attendibilità della previsione finale non solo per alcuni casi scelti, ma su base rigorosamente statistica, è necessario partire da previsioni attendibili di tutti i predittori usati.

Alla luce dei risultati mostrati in Figura 3, questa condizione non sembra essere verificata: le previsioni del modello ECMWF per i mesi invernali sembrano avere attendibilità molto diverse in funzione del pattern considerato. Diventa dunque necessario aumentare la qualità delle previsioni per ogni singolo pattern. A questo fine si sono stati utilizzati tutti i dati previsionali disponibili all'interno del progetto PROVOST, vale a dire, oltre alle previsioni ottenute con il modello ECMWF, anche quelle ottenute con il modello UKMO, e con il modello ARPEGE. E' possibile dimostrare

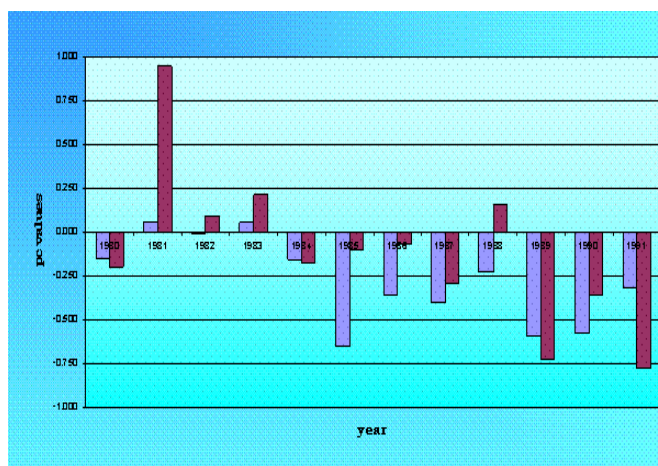


Fig. 5 - Esempio di downscaling della prima PC del campo di precipitazione sul Nord Italia nel periodo Gen-Mar per gli anni 1980-1991 (barra rossa: anomalia osservata, barra celeste: anomalia prevista)

che, mentre calcolando semplicemente la media di ensemble utilizzando tutti i dati disponibili con tutti i modelli non è possibile sempre ottenere per ogni pattern una previsione di bontà confrontabile con quella del miglior modello, tale risultato è ottenibile se si combinano i risultati dei vari modelli dando pesi diversi a diversi modelli per ogni singolo pattern (Pavan e Doblas-Reyes, 2000). In Tabella 1 sono riportati i valori delle correlazioni per ogni pattern fra le anomalie mensili medie previste dai vari modelli e quelle di ERA, ed infine le stesse correlazioni fra le anomalie ERA e le previsioni medie di ensemble a più modelli ottenute facendo uso dei pesi (BLUE). Da questa ultima tabella si può notare che nonostante SCA rimanga comunque il pattern meglio previsto, anche l'attendibilità delle previsioni prodotte per gli altri pattern è migliorata a tal punto da essere confrontabile con quella del pattern SCA.

Tabella 1

	PC1-NAO	PC2-EA	PC3-EB	PC4-SCA
ECMWF	0.39	-0.14	0.39	0.68
UKMO	0.48	0.22	0.15	0.07
ARPEGE T42	0.25	0.30	-0.15	0.53
ARPEGE T63	0.37	0.20	-0.03	0.33
BLUE	0.55	0.52	0.46	0.69

Pur con tutte le cautele necessarie, legate anche alla limitata significatività statistica dei dati dai quali sono stati ottenuti i risultati mostrati in Tabella 1, tuttavia tale risultato ci sembra oltremodo incoraggiante e a nostro avviso rappresenta il fondamento di una (forse unica possibile) strategia di downscaling, sulla quale ci si baserà nel prossimo futuro per tentare di realizzare delle previsioni stagionali di parametri meteo locali sul territorio nazionale.

CONCLUSIONI

Le analisi stagionali numeriche messe a disposizione dal progetto PROVOST sono state analizzate al fine di determinare la affidabilità dei risultati diretti prodotti per il

territorio Italiano. Il risultato di tale analisi ha confermato studi precedenti che avevano indicato uno scarso valore delle previsioni stagionali globali a livello locale. Sono state quindi poste le basi per definizione di uno schema di downscaling statistico in grado sia di massimizzare il contenuto informativo fruibile dalle previsioni stagionali globali, che di trasferire tali informazioni a scala locale. Tale metodo consiste nell'individuare il legame statistico fra un gruppo di predittori e uno di predittandi. Nel nostro caso i predittandi sono le anomalie di temperatura e di precipitazione invernali per le regioni dell'Italia Settentrionale e Centrale. La scelta dei predittori è critica: essi devono essere scelti tra le grandezze significativamente correlate ai predittandi, massimizzandone la predicibilità stagionale. Nel lavoro qui presentato sono stati individuati quattro predittori che rappresentano la variabilità temporale di pattern di teleconnessione atmosferica rilevanti per l'area Euro-Atlantica: la North Atlantic Oscillation, l'Eastern Atlantic pattern, lo European Blocking pattern e lo Scandinavian pattern. Successivamente è stata data prova della presenza di una forte correlazione fra questi indici e il clima osservato nella nostra regione. Infine è stato sviluppato un metodo in grado di produrre, a partire dalle previsioni numeriche globali, rese disponibili da PROVOST, delle previsioni attendibili per ciascuno di questi pattern. Risultati preliminari suggeriscono che questo metodo di downscaling statistico sia in grado di produrre dei prodotti fruibili anche a livello locale.

REFERENCES

- Barnston, A. G. e R. E. Livezey, 1987: Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Weather Rev.*, 115, 1083-1126.
- Gibson, J. K., P. Kallberg, S. Uppala, A. Hernandez, A. Nomura e E. Serrano, 1997: ECMWF Re-Analyssis. Project report Series. 1. ERA description. Ed. ECMWF.
- Klein W.H., F. Lewis, I. ENGER I., 1959: Objective prediction of five-day mean temperatures during winter. *J.Meteorol.* 16, 672-682
- Palmer, T.N., C. Brankovic e D. Richardson, 2000: A probability and decision model analysis of PROVOST seasonal multi-model ensemble integrations. *Q.J.R.Met.Soc.*, 126, part B, 2013-2068
- Pavan, V. and F. Doblas-Reyes, 2000: Multi-model seasonal hindcasts over the Euro-Atlantic: skill scores and dynamical features. *Clim. Dyn.*, 16, 611-625
- Pavan, V., F. Molteni e C. Brankovic, 2000 a: Wintertime variability in Euro-Atlantic region in observations and in ECMWF seasonal ensemble experiments, *Q.J.R.Met.Soc.*, 126, part B, 2143-2173
- Pavan, V., S. Tibaldi e C. Brankovic, 2000 b: Seasonal prediction of blocking frequency: results from winter ensemble experiments. *Q.J.R.M.S.*, 126, 2125-2142
- Quadrelli, R., M. Lazzeri, C. Cacciamani e S. Tibaldi, 2001 a: Observed winter Alpine precipitation variabilità and links with large-scale circulation patterns. *Climate Research*, 17, 275-2854
- Quadrelli, R., V. Pavan and F. Molteni, 2001 b: Wintertime variability of Mediterranean precipitation and its links with large-scale circulation anomalies. *Clim. Dyn.*, 17, 457-466
- Rogers, J.C., 1990: Patterns of low-frequency monthly sea level pressure variabilità (1899-1989) and associated wave cyclone frequencies. *J. Climate*, 3, 1364-1379
- Tibaldi S, Molteni F., 1990: On the operational predictability of blocking. *Tellus* 42A, 343-365
- Wallace JM, Gutzler DS., 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon Wea Rev* 109, 784-812