

## ANALISI SPETTRALE E STOCASTICA DI ALCUNE SERIE GIORNALIERE DI TEMPERATURA DEL LAZIO

Maria Carmen Beltrano<sup>1</sup>, Stanislao Esposito<sup>1</sup>, Barbara Parisse<sup>1</sup>, Vincenzo Malvestuto<sup>2</sup>, Olivia Testa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CRA-CMA, Unità di Ricerca per la climatologia e meteorologia applicate all'agricoltura

<sup>2</sup> CNR-ISAC, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima

### Riassunto

L'analisi spettrale effettuata sulle serie termometriche giornaliere di alcune stazioni della fascia costiera del Lazio ha permesso di determinare quantitativamente sia le frequenze più rappresentative dei fenomeni ciclici insiti nelle serie temporali (oscillazioni annuali e stagionali), sia l'intensità di energia (variabilità) veicolata da ciascuna componente ciclica. È stato possibile, quindi, apprezzare l'incidenza relativa dei fenomeni periodici presenti all'interno della serie considerata rispetto alla variabilità residua legata alla componente stocastica (rumore bianco). Quest'ultima, anche se di valore piccolo, è in grado di determinare l'attenuazione o il rafforzamento dell'ampiezza della componente ciclica e l'anticipo o il ritardo della fase, rispetto ai valori climatici attesi e alle sequenze standard termometriche. I risultati dell'analisi hanno mostrato la presenza durante il periodo 1951-1999 di una variabilità molto forte nelle serie di temperatura esaminate, più importante per le temperature minime.

**Parole chiave:** analisi spettrale, analisi stocastica, serie meteorologiche.

### Introduzione

L'analisi spettrale, adottata per lo studio di numerosi fenomeni fisici, rappresenta un valido metodo di indagine anche per lo studio delle serie meteorologiche (Easterling D.R. *et al.*, 2000, Donnelly A. *et al.*, 2004). Questo approccio metodologico è stato impiegato nello studio di alcune serie termometriche relative a stazioni di monitoraggio del Lazio con lo scopo di individuare, descrivere e valutare quantitativamente i cicli meteorologici, ricavare il valore della componente stocastica e individuare un modello in grado di simulare artificialmente il segnale, per tentare di ricostruire le serie nel passato e proiettarle nel futuro. Questo metodo può essere utilizzato in ultima analisi per riconoscere la presenza di eventuali processi di cambiamento climatico.

### Materiali e metodi

L'analisi è stata compiuta su 7 serie giornaliere di temperatura minima e massima (1951-1999). Ciascuna serie è stata scomposta nelle componenti deterministiche ed armoniche. Riconosciuta, tramite la trasformata di Fourier l'esistenza di due frequenze prevalenti (annuale e semestrale) si è proceduto, mediante il metodo della regressione multipla, a trovare i 2 parametri del trend (intercetta e pendenza) e i parametri armonici (ampiezza e fase) delle due oscillazioni principali. Sottraendo al segnale originario la componente deterministica si è ottenuta una serie costituita esclusivamente dalla componente residuale erratica della serie (segnale residuo), che è stata analizzata per individuare la presenza di eventuali componenti stocastiche, ciò che ha permesso di rappresentare il segnale con un modello autoregressivo di basso ordine, del tipo AR(p), più rumore. Il correlogramma del segnale residuo (fig. 1.a) non differisce molto dalla autocorrelazione di un processo di tipo AR(1) ed evidenzia una dipendenza interna significativa entro i primi 3-5 giorni.

La variabilità residua (fig. 1.b), evidente dal divario medio fra i punti e la direzione della retta di regressione, fornisce una stima diretta dell'ampiezza del rumore residuo che tutte le caratteristiche di un rumore bianco. Infine, per ogni serie termometrica è stato costruito un segnale artificiale, somma di una parte stocastica -il processo AR(1)-e della parte determi-

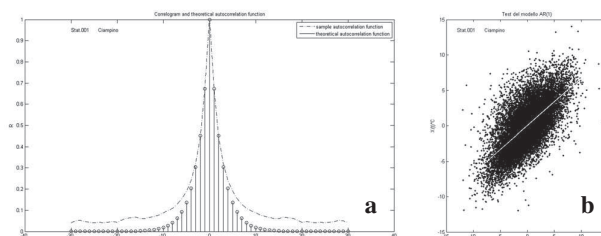


Fig. 1.a - Ciampino: temperatura minima giornaliera 1951-1952. Correlogramma campionario e funzione di autocorrelazione teorica per un processo AR(1).

Fig. 1.b - Ciampino: in ascissa la temperatura al giorno  $j$  e in ordinata la temperatura al giorno  $j+1$ . È evidente la tendenza dei punti a posizionarsi lungo una retta ben definita, la cui pendenza costituisce la stima ottimale del parametro di autocorrelazione  $\alpha$ . La bontà del fit conferma la stretta dipendenza fra le temperature di due qualsiasi giorni consecutivi.

nistica -trend, componenti armoniche annua e semestrale-, che simula abbastanza bene il segnale completo originario, come risulta evidente nel confronto tra le figure 2.a, segnale reale, e 2.d, segnale artificiale ricostruito.

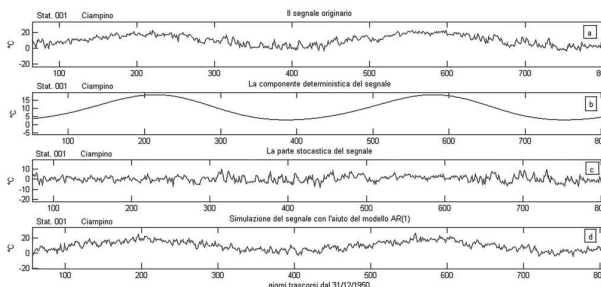
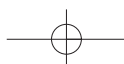
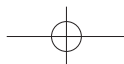


Fig. 2.a - Il segnale originario (temperatura minima);  
Fig. 2.b - La componente deterministica del segnale;  
Fig. 2.c - La componente stocastica del segnale;  
Fig. 2.d - Il segnale artificiale (somma di b+c), ovvero la simulazione del segnale originario mediante l'aiuto del modello AR(1).





Tab.1 - Risultati dell'analisi spettrale. Slope e intercetta: parametri del trend; C1 e  $\phi_1$ , C2 e  $\phi_2$ : ampiezza e fase delle componenti armoniche annuale e semestrale;  $\alpha$ : coefficiente di autocorrelazione del processo AR(1); Z(t): rumore bianco residuale.

Stazione	Slope	Interc.	C1	$\phi_1$	C2	$\phi_2$	AR(1) $\alpha$	Noise st.dev. Z(t)
	$^{\circ}\text{C}/\text{sec}$	$^{\circ}\text{C}$						
Temperatura massima								
Ciampino	-1.70	20.7	9.4	204	1.1	90	0.71	2.0
Roma C. Romano	0.39	20.4	9.5	202	1.0	86	0.76	1.7
Fiumicino	2.03	20.4	8.1	208	0.9	92	0.67	1.8
Ardea	0.89	19.9	8.3	207	0.8	91	0.72	2.1
Roma Eur	0.43	21.5	9.5	203	1.0	92	0.76	2.1
Roma Macao	0.12	20.7	9.3	204	1.0	95	0.73	2.4
Roma Monte Mario	-0.12	20.4	9.7	204	1.2	94	0.75	2.4
Temperatura minima								
Ciampino	0.68	10.0	7.6	208	0.7	80	0.67	2.3
Roma C. Romano	2.40	12.1	7.8	206	0.8	82	0.68	2.0
Fiumicino	0.49	10.6	7.4	210	0.7	84	0.62	2.5
Ardea	-3.36	9.8	7.2	211	0.6	83	0.70	2.6
Roma Eur	0.84	10.8	7.6	208	0.7	64	0.70	2.6
Roma Macao	0.63	11.7	7.6	206	0.7	82	0.70	2.3
Roma Monte Mario	0.97	11.2	7.5	209	0.7	83	0.71	2.4

## Risultati

In tabella 1 sono presentati i risultati dell'analisi condotta per tutte le stazioni. La componente armonica annuale presenta la cresta dell'oscillazione nella 2° decade di Luglio (fasi  $\phi_1$  intorno a 205 gradi) e il ventre in corrispondenza della 3° di Gennaio (25 gradi=205+180-360). Le fasi semestrali presentano creste in corrispondenza di metà Febbraio e metà Agosto e ventri intorno a metà Maggio e metà Novembre. Le temperature minime mostrano la tendenza ad anticipare il culmine, rispetto alle temperature massime. Il modello AR(1) presenta un buon coefficiente di correlazione ( $\alpha \approx 0,7$ ), a significare che i valori di temperatura massima (o minima) di un giorno e quelli del giorno successivo sono positivamente

correlati. Il rumore bianco, Z(t), più elevato per le temperature minime, di minore entità per le massime, è di circa 2°C.

## Conclusioni

L'analisi spettrale ha permesso di apprezzare la presenza di due frequenze principali, apprezzandone ampiezze e fasi, di evidenziare la presenza di una componente stocastica del tutto aleatoria, *rumore bianco*, infine di individuare un modello capace di rappresentare ciascuna serie mediante l'aggiunta di un processo AR(1). La componente ciclica annuale e il trend sono legati principalmente a fattori astronomici; quella semestrale, da indagare con maggiore accuratezza, seppure di piccola ampiezza, andandosi a sommare o a sottrarre all'oscillazione annuale, induce variazioni di temperatura importanti, causando l'asimmetria nell'andamento della serie. A questa variabilità si aggiunge sia una memoria intrinseca -processo AR(1)-sia variazioni aleatorie -rumore- che, sommate alla parte deterministica, tendono ad amplificare la variabilità del segnale.

## Ringraziamenti

Si ringrazia la Commissione tecnico-scientifica dall'Accademia delle Scienze detta dei XL che ha concesso il finanziamento per la realizzazione del presente studio nell'ambito del Progetto "Impatto del clima e della circolazione atmosferica locale sugli ecosistemi costieri mediterranei: la Tenuta di Castelporziano come caso studio".

## Bibliografia

- Donnelly A., Jones M.B., Sweeney J., 2004. A review of indicators of climate change for use in Ireland. International Journal of Biometeorology, 49, 1-12.
- Easterling D.R., Evans J.L., Groisman P.Ya., Karl T.R., Kunkel K.E. and Ambenje P., 2000. Observed variability and trends in extreme climate events. A brief review. Bull. Am. Meteor. Soc., 81(3), 417.

<sup>1</sup>Corrispondenza tra primo giorno di ogni mese di un anno non bisestile e valore della fase  $\phi_1$  (componente ciclica annuale) e  $\phi_2$  (componente ciclica semestrale) in gradi.

mesi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
$\phi_1$ gradi	1	32	60	91	120	151	181	211	242	271	302	331
$\phi_2$ gradi	1	64	120	182	240	302	1	64	120	182	240	302

