

**Ministero
dell'Università
e della Ricerca**



**Consiglio
Nazionale
delle Ricerche**

**Il progetto I.S.PA.RI.DE.
Identificazione e Stima
dei Parametri per la valutazione
del Rischio di DEsertificazione**

a cura di
ROBERTO COSCARELLI



NUOVA BIOS

VALUTAZIONE DI TREND CLIMATICI IN UN'AREA DEL VERSANTE IONICO DELLA CALABRIA

Climatic trend analysis for an area located on the Ionian side of Calabria

T. Caloiero¹, R. Coscarelli²

Sommario

Da diversi studi effettuati negli ultimi anni, sia a livello regionale che nazionale, emerge una evidente variazione temporale di alcune delle principali grandezze meteorologiche quali ad esempio la precipitazione e la temperatura. La conoscenza di queste variazioni è di notevole importanza; si pensi, ad esempio, alle conseguenze date dalla variabilità delle precipitazioni sulla disponibilità delle risorse idriche, sulla pianificazione dell'uso del suolo e sulle attività antropiche.

Le analisi illustrate nel presente lavoro sono riferite alle serie storiche pluviometriche e termometriche registrate in Calabria tra il 1916 ed il 2000 nella porzione di territorio compresa tra i bacini del Trionto e del Neto. L'applicazione di alcuni test ha evidenziato trend negativi significativi per le precipitazioni annuali e per quelle autunno-invernali. Una tendenza opposta si è invece riscontrata per le piogge estive, come d'altronde già studi di letteratura hanno rilevato per altre aree del Mediterraneo

Summary

Over the last few years several local and national studies have shown a marked temporal variation in some of the principal meteorological and climatic variables such as precipitation and temperature. Knowing these variations is paramount in order to establish, for example, the effects of precipitation variability on the availability of water resources, for land planning and human activities.

The present work illustrates the analyses referring to the pluviometric and thermometric historical series registered in Calabria from 1916 to 2000 over an area between the Trionto river and Neto river basins, on the Ionian side of Calabria. The application of some simple tests evidenced significant negative trends in the yearly and in the autumn-winter precipitations. An opposite trend seems to be present for the summer precipitation, as literature applications have demonstrated for other Mediterranean areas.

¹ Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento (DIAR), Politecnico di Milano

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI), sede di Cosenza

1. Generalità

Gli studi effettuati su scala globale da parte di diverse agenzie delle Nazioni Unite hanno messo in evidenza le variazioni che si stanno registrando, più o meno sensibilmente, in alcune grandezze climatiche, quali la precipitazione, la temperatura, la composizione chimica dell'atmosfera e il livello medio del mare.

In particolare, l'organizzazione WMO (World Meteorological Organization) e il programma UNEP (United Nations Environment Programme) hanno lanciato una serie di iniziative come la Second World Climatic Conference (1990), il World Climate Programme (con l'International Council of Scientific Unions, ICSU) e specialmente l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), composto da scienziati provenienti da più di 100 paesi.

In riferimento alle precipitazioni, l'IPCC ha rilevato che sulla Terra, dalla fine del XIX secolo, si è manifestata una tendenza positiva di pioggia alle latitudini maggiori, in particolare nell'emisfero settentrionale durante la stagione fredda, con una concomitante diminuzione delle precipitazioni in molte aree sub-tropicali dello stesso emisfero.

Il Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC (2007) descrive i progressi raggiunti nella comprensione dell'apporto antropico e naturale al cambiamento climatico, dei cambiamenti climatici osservati, dei processi climatici e delle loro relazioni di causa-effetto, della valutazione (in proiezione) dei cambiamenti climatici futuri.

Il Rapporto è stato costruito basandosi sulle precedenti valutazioni fatte dall'IPCC e incorporando i nuovi risultati delle ricerche degli ultimi sei anni. I progressi scientifici fatti dopo il Terzo Rapporto di Valutazione (TAR), sono basati su un grande numero di dati più recenti e più completi, su analisi più sofisticate dei dati stessi, su miglioramenti nella comprensione dei processi e sulla loro simulazione tramite modelli, e su un'esplorazione più estesa dei gradi di incertezza.

Dal Quarto Rapporto di Valutazione emerge come la concentrazione globale di anidride carbonica è cresciuta da un valore riferito al periodo preindustriale di 280 ppm ad un valore di 379 ppm nel 2005. La concentrazione nell'atmosfera di anidride carbonica nel 2005 supera notevolmente i valori massimi degli ultimi 650.000 anni (da 180 a 300 ppm) come determinato dall'analisi delle carote di ghiaccio. Il tasso annuo di crescita della concentrazione di anidride carbonica negli ultimi dieci anni (media 1995-2005 = 1,9 ppm per anno) è stato il più alto da quando sono iniziate le misure in continuo dell'atmosfera, anche se si riscontra una variabilità annua nel tasso di crescita.

Undici degli ultimi dodici anni (1995-2006) sono stati indicati fra i più caldi mai registrati da quando si hanno misure globali della temperatura alla superficie (dal 1850). Il più recente trend lineare per 100 anni (1906-2005) è di 0,74 °C quindi maggiore della corrispondente variazione disponibile per gli anni 1901-2000 riportato nel TAR pari a 0,6 °C. Il trend di riscaldamento lineare per gli ultimi 50 anni (0,13 °C per decade) è quasi il doppio di quello per gli ultimi 100 anni. L'aumento totale della temperatura dal 1850-1899 al 2001-2005 è di 0,76 °C.

Il livello medio globale dei mari è cresciuto ad un tasso medio di 1,8 mm per anno dal 1961 al 2003. Il tasso di crescita è stato più veloce durante il periodo 1993–2003 (circa 3,1 mm per anno).

Su molte grandi regioni sono stati osservati trend a lungo termine delle quantità di precipitazioni dal 1900 al 2005. Significativi incrementi nelle precipitazioni sono stati osservati nelle parti orientali del Nord e del Sud America, nell'Europa del Nord e in Asia settentrionale e centrale. Una diminuzione delle precipitazioni è stata osservata nel Sahel, nel Mediterraneo, nell'Africa meridionale e in parte dell'Asia meridionale.

A partire dagli anni sessanta i venti occidentali alle medie latitudini si sono intensificati in entrambi gli emisferi. Siccità più lunghe e di maggior intensità sono state osservate in aree sempre più estese a partire dagli anni settanta, particolarmente nelle zone tropicali e sub-tropicali. L'aumento di periodi secchi collegati alle alte temperature e alla diminuzione delle precipitazioni ha contribuito ai cambiamenti dei periodi di siccità. I cambiamenti della temperatura alla superficie del mare, delle strutture dei venti e la diminuzione del manto nevoso e della copertura nevosa sono anch'essi strettamente connessi ai periodi siccitosi. La frequenza di eventi di abbondanti precipitazioni è aumentata sopra la maggior parte delle terre emerse, in linea con il riscaldamento e con l'osservazione di un aumento di vapore acqueo in atmosfera. Ampi cambiamenti delle temperature estreme sono stati osservati negli ultimi 50 anni. Giorni freddi, notti fredde e gelate sono diventati meno frequenti, al contrario dei giorni caldi, delle notti calde e delle cosiddette ondate di calore.

L'aumento registrato in alcune aree del pianeta delle piogge tropicali, degli uragani e in generale degli eventi pluviometrici estremi sembra essere il risultato di cambiamenti climatici in corso (Qian e Lin, 2005).

Diverse elaborazioni statistiche sono state effettuate sulle grandezze idrologiche più comuni (temperatura e precipitazione), al fine di rilevare eventuali variazioni temporali. Chen et al. (1996) hanno studiato la variazione delle precipitazioni verificatesi negli inverni dal 1950 al 1994 lungo la costa pacifica degli Stati Uniti, rilevando una diminuzione estensibile all'intero emisfero boreale.

Morrissey e Graham (1996), attraverso l'analisi dei dati pluviometrici provenienti dalle stazioni del settore tropicale del Pacifico, hanno dedotto un aumento delle precipitazioni nell'area centrale durante il periodo 1971-90. Kertész e Mika (1999) hanno riscontrato, per quanto concerne il sud-est dell'Europa, un aumento della temperatura media annua negli ultimi 110 anni di 0,0105 °C e una diminuzione delle precipitazioni di 0,917 mm/anno. Kiely (1999), sulla base delle precipitazioni orarie rilevate in 8 siti irlandesi, ha verificato un aumento della precipitazione annua a partire dall'anno 1975.

Per quanto concerne il territorio calabrese, alcuni Autori (Simeone, 2001; Cotecchia et al., 2004; Ferrari e Terranova, 2004), sulla base di analisi effettuate su dati di pioggia hanno rilevato un trend negativo delle precipitazioni. Capra et al. (2004), a fronte di una riduzione regionale media delle precipitazioni pari a circa 6,5 mm/anno, hanno riscontrato una riduzione di circa 3 mm/anno alle quote più basse e 11 mm/anno a quelle più alte. L'utilizzo di tecniche statistiche

ha permesso, inoltre, d'individuare punti di shift (o change points), ossia anni in cui i dati delle serie storiche mostrano una variazione più o meno marcata delle tendenze.

Coscarelli et al. (2004a; 2004b) hanno valutato i trend delle precipitazioni nel bacino del Fiume Crati, il maggiore della Calabria, rilevando come oltre l'80% delle stazioni mostra un trend negativo.

Buttafuoco et al. (2006 e 2007) mediante l'applicazione dei metodi della Geo-statistica alla distribuzione delle piogge medie annue registrate per il periodo 1921-2000 nelle stazioni pluviometriche presenti sul territorio calabrese hanno quantificato la struttura spaziale delle precipitazioni e stimato il valore di precipitazione nei punti privi di misura, risultato alquanto utile nell'ambito delle politiche di gestione delle risorse idriche, data l'influenza che le precipitazioni rivestono nel complesso fenomeno del bilancio idrologico. Inoltre hanno confermato il trend negativo della precipitazione sia a scala annua che stagionale e semestrale e, attraverso il calcolo, decennio per decennio, degli scostamenti standardizzati rispetto alla media hanno valutato i decenni con distribuzione meno uniforme delle precipitazioni. Aree, quasi sempre localizzate lungo la fascia ionica, presentano differenze negative più o meno marcate rispetto alla media regionale; zone, ricadenti nell'area più meridionale dell'Appennino Calabrese e lungo la fascia settentrionale della Catena Costiera, mostrano al contrario scostamenti positivi di un certo rilievo.

Oltre a trend significativi dei valori medi, si è osservato, negli ultimi decenni, anche un cambiamento della loro variabilità. In Italia, ad esempio, si è riscontrata un'elevata frequenza della siccità (Capra et al., 1992 e 1994; Mendicino e Versace, 2002) che sta determinando un elevato rischio di desertificazione, con la riduzione della produttività biologica ed agricola e la progressiva perdita di biodiversità degli ecosistemi naturali in alcune aree del meridione.

Nella presente memoria si presentano le tecniche statistiche maggiormente utilizzate per la valutazione dei trend e i risultati di alcune applicazioni relative a grandezze idrologiche misurate nelle stazioni ricadenti nell'area di studio del progetto "ISPARIDE" compresa tra i bacini del Trionto e del Neto.

2. Metodologie

2.1 Metodo dei minimi quadrati

Al fine di rendere meno "soggettiva" la stima del trend, come avviene invece con un semplice approccio grafico, si adopera il metodo dei minimi quadrati, che permette di ottenere una curva o una retta interpolante i dati, caratterizzata dalla proprietà di minimizzare la somma del quadrato degli scarti in ordinata.

La retta dei minimi quadrati che meglio rappresenta un insieme di punti $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ può essere espressa nella forma $Y = mX + q$ (Spiegel, 1961) in cui i parametri m e q si ricavano dalle note relazioni:

$$m = \frac{N \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (1)$$

$$q = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X_i)(\sum X_i Y_i)}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

2.2 Rapporto percentuale

Tra i vari indici proposti in letteratura, il rapporto percentuale è adoperato per la valutazione del trend di una variabile e per il confronto tra i valori che essa assume in un anno di riferimento e negli altri anni della serie storica. Esso è definito come segue (Simeone, 2001):

$$R_{n/x}(i) = \frac{X'_n(i)}{X'_n(x)} \cdot 100 \quad (2)$$

essendo x l'anno di riferimento e $X'_n(i)$ e $X'_n(x)$ i termini rispettivamente i -esimo e x -esimo della media mobile di ordine n .

Valori del rapporto percentuale superiori a 100 indicano trend negativi rispetto all'anno di riferimento; viceversa per valori inferiori a 100.

2.3 Test di Mann-Kendall

Si tratta di un test non parametrico capace di verificare la presenza di trend nella serie temporale, senza però specificare se il trend è lineare o meno. Questo test si è dimostrato efficace per l'identificazione di trend nelle variabili idrologiche, con buone caratteristiche di robustezza anche in presenza di valori estremi (Hirsch et al., 1982; Burn, 1994). Ciascun valore della serie è confrontato con tutti i valori che lo seguono. La statistica del test di Kendall è la seguente (Mann, 1945; Kendall, 1975):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3)$$

dove x_i è il valore di x al tempo i , n è la dimensione della serie e $\text{sgn}(x_j - x_i)$ è uguale a +1, 0, -1 rispettivamente se la differenza in argomento è maggiore, uguale o minore di zero. L'ipotesi nulla è che i dati siano indipendenti e identicamente distribuiti, cioè che non esista trend nei dati; in questo caso la statistica S è approssimativamente normale, con media e varianza rispettivamente pari a

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$Var(S) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)(2i+5) \right] / 18 \quad (5)$$

dove t_i rappresenta il numero di valori doppi di lunghezza i . Per $n > 10$, la statistica standardizzata, Z_{MK} , è definita come:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{for } S > 0 \\ 0 & \text{for } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{for } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

e segue una distribuzione approssimativamente normale (Kendall, 1962). L'ipotesi di trend positivo o negativo, pertanto, risulta verificata con livello di significatività α se:

$$|Z_{MK}| > Z_{1-\alpha/2} \quad (7)$$

essendo $Z_{(1-\alpha/2)}$ il quantile $(1-\alpha/2)$ della distribuzione normale standardizzata.

2.4 Median change point test

Il test, sviluppato da Pettitt (1979), consiste in una forma particolare del test non-parametrico di Mann-Whitney mediante il quale si può verificare l'eventuale presenza di variazioni nel valor medio della serie senza stabilire esattamente il tempo in cui avviene l'eventuale variazione (Kiely et al., 1998; Kiely, 1999). Il test è considerato robusto a cambi nella forma della distribuzione e potente a confronto con test come Wilcoxon-Mann-Whitney.

La statistica del test per uno specifico passo temporale t ($1 \leq t \leq n$) è la seguente:

$$U_t = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad (8)$$

Una serie temporale che non presentasse variazione della media fornirebbe al test un valore della variabile $|U_t|$ sempre crescente, mentre nel caso di variazione significativa, la statistica mostrerebbe valori locali massimi. Il tempo relativo alla variazione più significativa può essere identificato dal valore massimo di $|U_t|$, $K_n = \max_{1 \leq t \leq n} |U_t|$. La probabilità che una variazione significativa della media accada nel tempo in cui il valore di $|U_t|$ è un massimo si può calcolare approssimativamente con la relazione (Pettitt, 1979):

$$p = 1 - e^{-\frac{6K_n^2}{n^3+n^2}} \quad (9)$$

Introducendo la serie $\hat{U}(t) = |U_t|$, per ciascun anno t si può valutare la probabilità di variazione della media con la seguente relazione:

$$p(t) = 1 - e^{-\frac{6\hat{U}(t)^2}{n^3 + n^2}} \quad (10)$$

La forma di Pettitt del test di Mann-Whitney è molto usata per identificare variazioni nella media di una serie campionaria quando l'istante in cui ciò avviene è incognito. Il test fornisce in ogni modo, in corrispondenza del valore più elevato della grandezza $p(t)$ il valore di tempo in cui è più probabile che si sia verificato una variazione nella media.

3. Caso di studio

La Calabria si estende su un'area di 15080 km², con un perimetro di 818 km caratterizzato dal confine con la Basilicata, a nord per 80 km, e da uno sviluppo costiero di 738 km. Per la sua posizione geografica e per la sua natura orografica (Fig. 1), con una dorsale appenninica perpendicolare alla direzione delle principali correnti umide, la Calabria presenta una marcata variabilità spaziale delle caratteristiche climatiche e dei fenomeni idrologici estremi (Fig. 2).

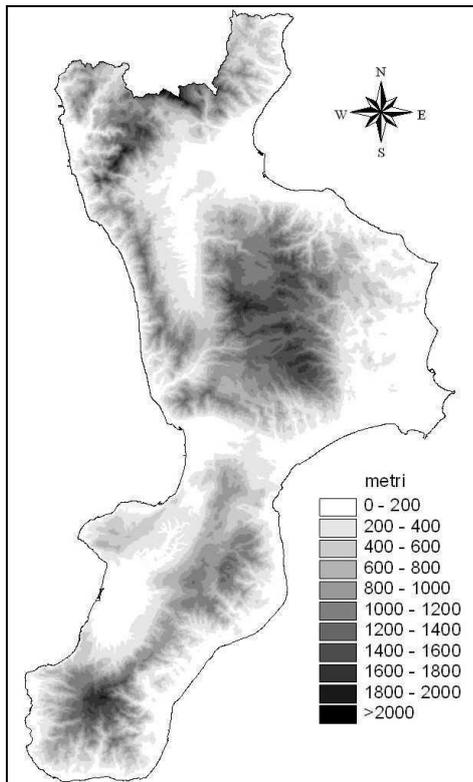


Fig. 1 - Andamento altimetrico della Calabria

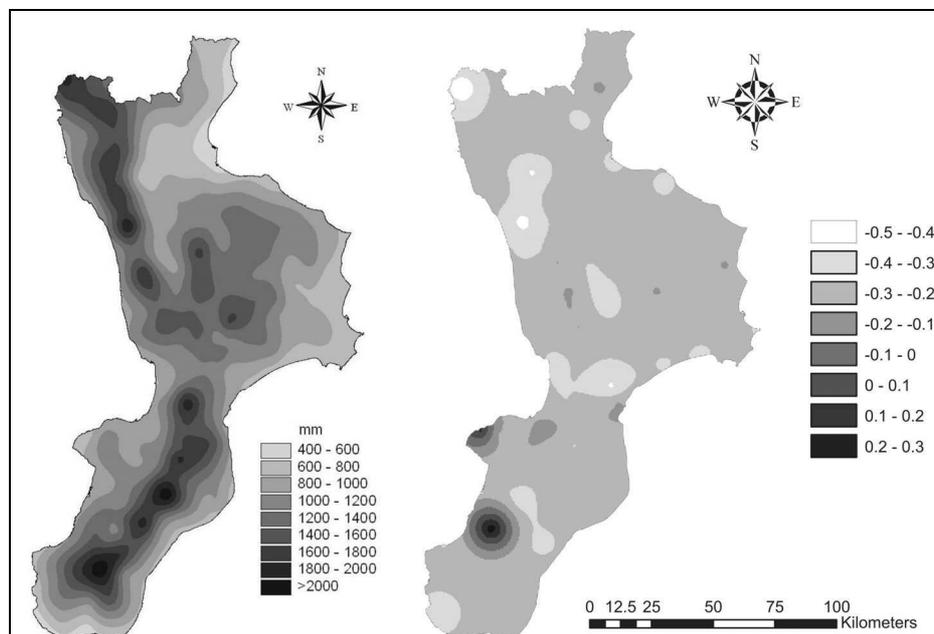


Fig. 2 - Distribuzioni spaziali delle precipitazioni medie annue registrate in Calabria e dell'indice del test di Mann-Kendall (da Buttafuoco et al., 2007)

Infatti, se da una parte nelle zone litoranee e nei versanti che si affacciano sul mare si riscontra un clima tipicamente mediterraneo con inverno mite ed estate calda e siccitosa, dall'altra nelle zone interne, con l'aumentare dell'altitudine, il clima può definirsi montano-mediterraneo, con inverni freddi, spesso caratterizzati dalla presenza di neve, ed estati fresche.

Inoltre, mentre la fascia ionica è esposta maggiormente alle influenze meteorologiche di origine africana presentando temperature medie più elevate e precipitazioni brevi ma molto intense, la fascia tirrenica è soggetta alle correnti occidentali e quindi con temperature meno elevate della ionica e piogge di tipo orografico molto frequenti (Caloiero D. et al., 1990; Capra et al., 1994; Versace et al., 1989).

Per quanto riguarda il trend delle precipitazioni, studi effettuati da Buttafuoco et al. (2007) sulla mappatura a scala regionale dei valori dell'indice del test di Mann-Kendall hanno evidenziato in generale una chiara tendenza negativa delle precipitazioni (Fig. 2).

Da un punto di vista idrologico l'area di studio del progetto "ISPARIDE" ricade all'interno della fascia compresa tra i bacini del Trionto e del Neto (Fig. 3).

In detta fascia, fino al 2006, hanno funzionato 13 stazioni pluviometriche e 2 stazioni termometriche installate dall'ex Servizio Idrografico Italiano (Caloiero T., 2006), ora Centro Funzionale della Regione Calabria (Fig. 3 e Tab. 1).

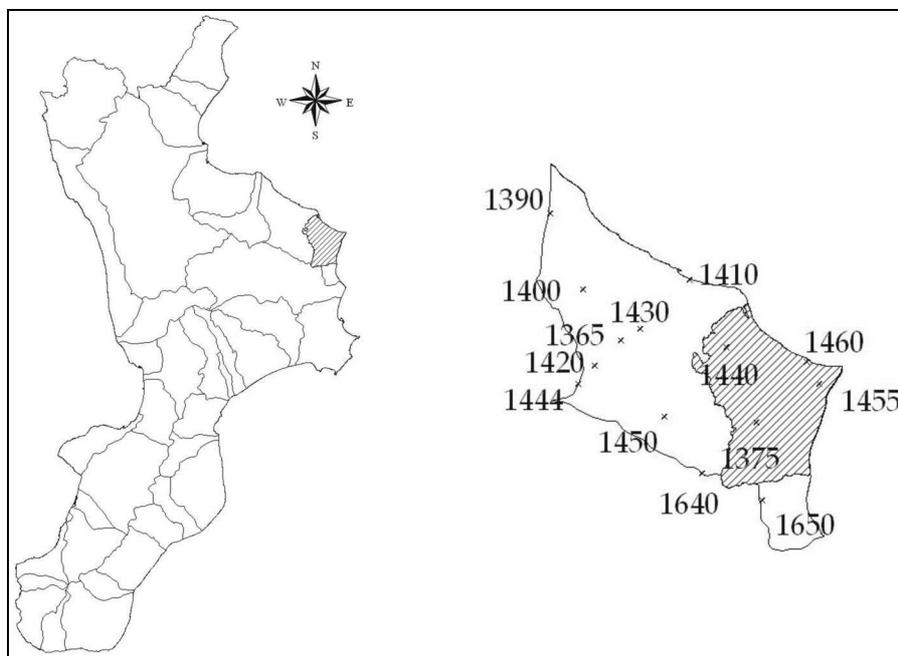


Fig. 3 – Bacini idrografici calabresi e distribuzione delle stazioni pluviometriche considerate

Codice	Nome	Provincia	Quota	Anni	Tipo
1365	Cozzo Carbonella	CS	600	1916-1930	Pluviometro
1375	Macchia di Pietra	CS	1309	1921-1927	Pluviometro
1390	Crosia	CS	279	1922-2001	Pluviometro
1400	Pietrapaola	CS	400	1940-1981	Pluviometro
1410	Cariati Marina	CS	10	Dal 1918	Pluviometro
1420	Campana	CS	570	1958-1980	Pluviometro
1430	Scala Coeli	CS	330	1953-2001	Pluviometro e Termometro
1440	Crucoli	KR	367	Dal 1922	Pluviometro
1444	Montagna	CS	600	1932-1950	Pluviometro
1450	Umbriatico	KR	385	1922-1992	Pluviometro
1455	Cirò Marina Volvito	KR	10	Dal 1989	Pluviometro
1460	Cirò Marina	KR	6	1923-1988	Pluviometro e Termometro
1640	San Nicola dell'Alto	KR	576	1922-1971 Dal 2002	Pluviometro
1650	Strongoli	KR	342	1922-2001	Pluviometro

Tab. 1 – Caratteristiche delle stazioni pluviometriche considerate

Per le precipitazioni si sono utilizzate le serie storiche aventi numero di anni d'osservazione sufficientemente elevato e, possibilmente, continuità nell'acquisizione dei dati. Pertanto, soltanto 4 serie pluviometriche sono state considerate nelle presenti applicazioni per la stima dei trend.

Per le temperature, poiché la stazione di Scala Coeli ha avuto un periodo di funzionamento molto limitato, è stata utilizzata la sola serie storica relativa alla stazione di Cirò Marina.

4. Elaborazioni

4.1 Temperature

A causa della scarsa numerosità di dati di temperatura, la valutazione dei trend col metodo delle medie mobili risulterebbe poco significativa. Conseguentemente, si procede a una valutazione di possibili trend con il solo metodo dei minimi quadrati.

Si sono analizzati i massimi e minimi valori delle temperature medie mensili. Per ciascuna stazione e per ogni anno infatti, noti il massimo, $T_{k,max}$, e il minimo, $T_{k,min}$, valore della temperatura nel k-esimo giorno, è possibile ricavare il valore medio mensile per il j-esimo mese:

$$\bar{T}_{j,max} = \frac{\sum_{k=1}^{l_j} T_{k,max}}{l_j} \quad \text{e} \quad \bar{T}_{j,min} = \frac{\sum_{k=1}^{l_j} T_{k,min}}{l_j} \quad (11)$$

dove l_j è il numero di giorni del j-esimo mese.

Dai risultati ottenuti per la stazione di Cirò Marina si evince (Fig. 4) un trend positivo di $T_{i,min}$, con un concomitante trend negativo di $T_{i,max}$, risultato opposto a quanto rilevato in precedenti studi effettuati da Coscarelli et al. (2004a) relativi al bacino del fiume Crati, dai quali emergeva un predominante trend positivo di $T_{i,max}$, con un concomitante trend negativo di $T_{i,min}$.

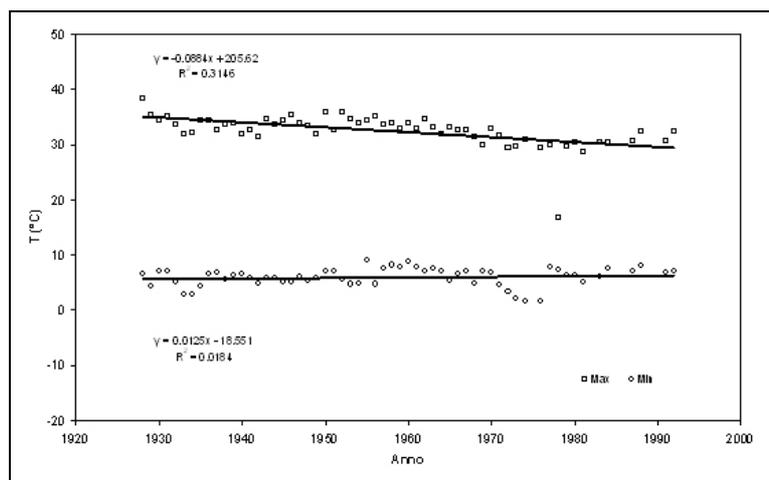


Fig. 4 – Dati sperimentali e rette dei minimi quadrati per le temperature massime e minime estreme (Stazione di Cirò Marina)

Questa tendenza opposta rispetto agli studi precedenti è tuttavia condizionata dal basso coefficiente di correlazione della retta interpolante che presenta valori non molto significativi.

4.2 Precipitazioni

L'analisi statistica di base condotta sulle serie storiche delle precipitazioni annue registrate nelle stazioni di Cirò Marina, Crosia, Crucoli e Strongoli ha evidenziato un valore medio di precipitazione di circa 800 mm, con valore massimo nella stazione di Crucoli e minimo in quella di Strongoli (Tab. 2).

Per la stazioni di Crosia e Strongoli, che tra quelle in esame sono quelle che presentano serie storiche più continue, è stato calcolato il rapporto percentuale, $R_{n/x}$ (con $n=10, 20$ e 30 anni e $x=2000$), relativo all'altezza di pioggia annua, h , al numero di giorni piovosi, NGP , e al rapporto h/NGP , ricavando il trend attraverso il metodo dei minimi quadrati. Le figure 5÷10 mostrano alcuni esempi di dette elaborazioni.

Nome	N° Dati	Media	SD	V	CV	CS	CK	Max	Min
Cirò Marina	58	733,9	167,5	28060	0,228	0,434	0,041	1154,6	404,5
Crosia	71	791,7	247,2	61128	0,312	0,991	1,548	1642,1	401,1
Crucoli	66	941,8	293,8	86289	0,311	0,207	-0,008	1817,4	296,9
Strongoli	70	737,3	211,5	44716	0,286	0,159	-0,491	1248,8	225,9

Tab. 2 – Statistiche relative alle serie storiche delle stazioni oggetto di studio (SD = Deviazione Standard, V = Varianza, CV = Coefficiente di variazione, CS = Coefficiente di asimmetria, CK= coefficiente di curtosi)

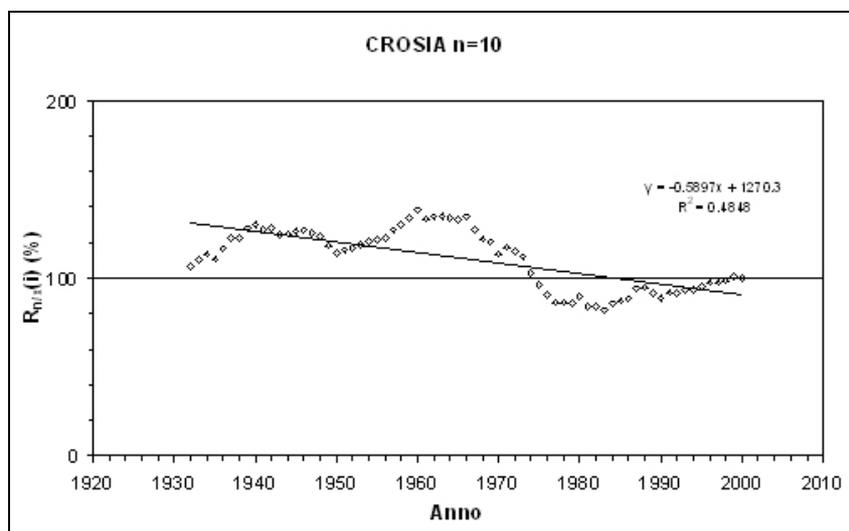


Fig. 5 – Trend del rapporto percentuale per l'altezza di pioggia annua, h , con $n=10$ anni e $x=2000$ (stazione di Crosia)

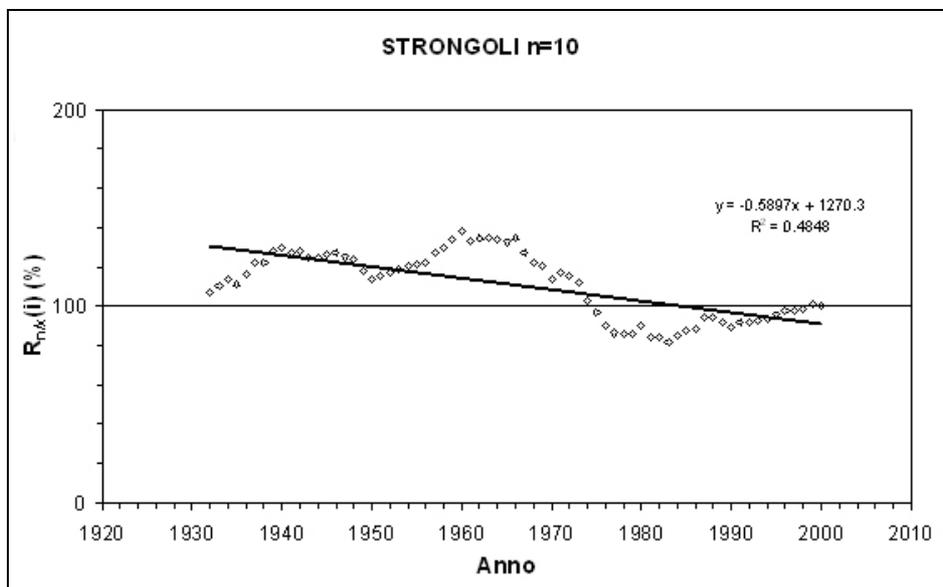


Fig. 6 – Trend del rapporto percentuale per l'altezza di pioggia annua, h , con $n=10$ anni e $x=2000$ (stazione di Strongoli)

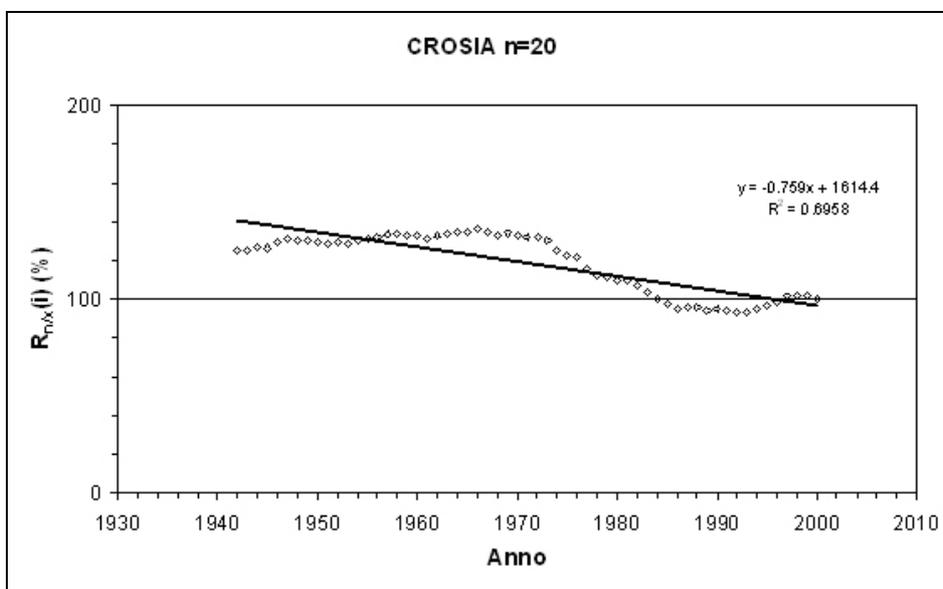


Fig. 7 – Trend del rapporto percentuale per il numero di giorni piovosi, NGP , con $n=20$ anni e $x=2000$ (stazione di Crosia)

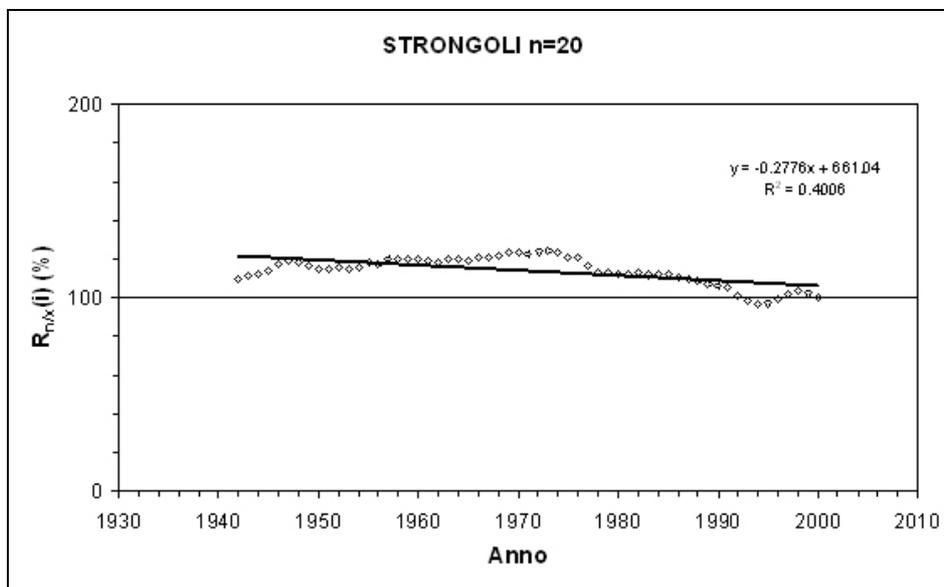


Fig. 8 – Trend del rapporto percentuale per il numero di giorni piovosi, NGP, con $n=20$ anni e $x=2000$ (stazione di Strongoli)

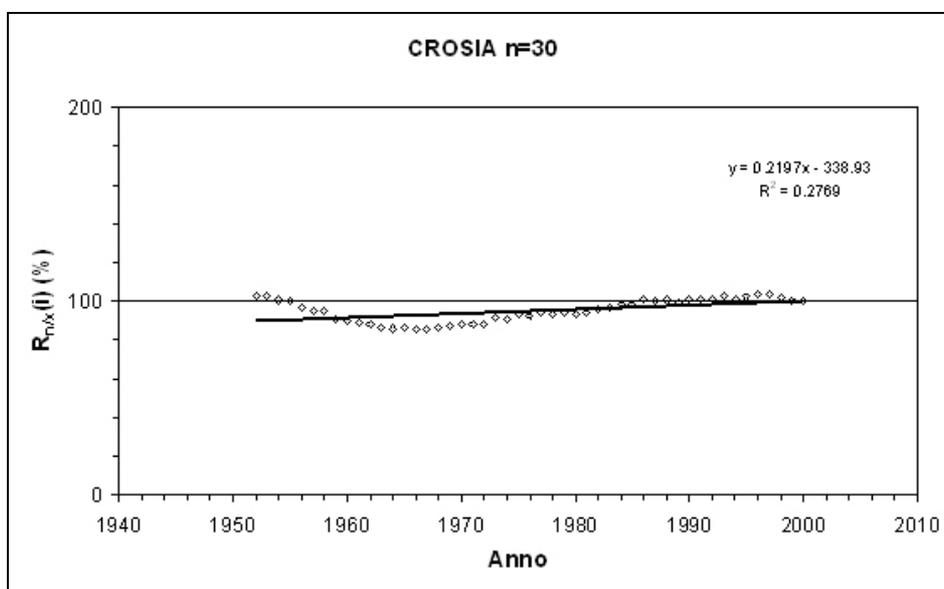


Fig. 9 – Trend del rapporto percentuale per h/NGP , con $n=30$ anni e $x=2000$ (stazione di Crosia)

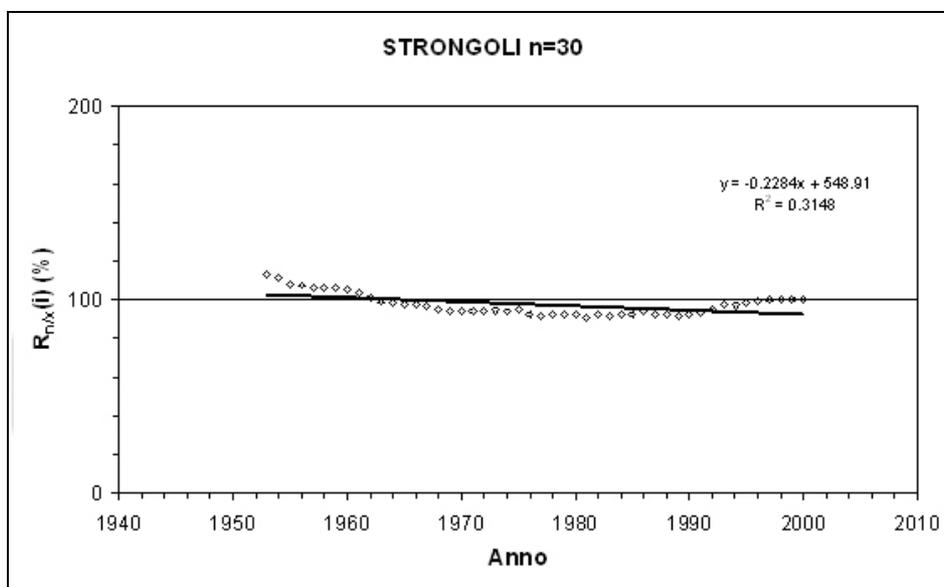


Fig. 10 – Trend del rapporto percentuale per h/NGP , con $n=30$ anni e $x=2000$ (stazione di Strongoli)

Sia per quanto riguarda l'altezza di pioggia annua, sia per il numero di giorni piovosi (NGP), per ciascuno dei tre valori di n , risultano evidenti i trend negativi.

Per il rapporto h/NGP , invece, il trend è negativo per la stazione di Strongoli e non ben definito per la stazione di Crosia che presenta trend negativo per $n=10$ e positivo per $n=20$ e $n=30$.

Dall'analisi dei principali test statistici applicati alle serie storiche prescelte emerge che, per le stazioni di Crosia, Crucoli e Strongoli, l'analisi del trend, effettuata sia con una semplice regressione lineare (retta con coefficiente angolare b_1) sia con l'applicazione del test di Mann-Kendall (MK), evidenzia risultati statisticamente significativi per un livello di significatività $\alpha=5\%$ (Tab. 3).

Il trend relativo ad un'analisi di regressione lineare a scala decennale (Trend/10) evidenzia forti riduzioni di precipitazioni, per le tre stazioni citate, che vanno dai 31,3 mm della stazione di Strongoli ai 53 mm della stazione di Crosia.

Nome	b_1	Trend/10	MK	MWP
Cirò Marina	-0,0304	-0,304	-0,008	1961
Crosia	-5,2991	-52,991	-0,331	1961
Crucoli	-4,6503	-46,503	-0,186	1945
Strongoli	-3,1290	-31,290	-0,184	1961

Tab. 3 – Risultati dei principali test statistici per le stazioni oggetto di studio (in corsivo risultati statisticamente significativi)

Per quanto concerne l'individuazione dei punti di shift (o change points), ossia anni in cui i dati delle serie storiche mostrano una variazione più o meno marcata delle tendenze, dall'applicazione del test di Mann-Whitney-Pettitt (MWP) si nota come per le stazioni di Cirò Marina, Crosia e Strongoli si abbia un change point relativo all'anno 1961. Per la stazione di Crucoli il change point è invece relativo all'anno 1945.

Gli studi sui trend sono stati condotti nell'ipotesi di indipendenza seriale dei dati campionari e, in particolare, di assenza di correlazione tra le misure rilevate in due anni successivi (autocorrelazione di lag 1). Questa ipotesi è, però, frequentemente violata, essendo noto che soprattutto alcune serie temporali di variabili idrologiche possono mostrare una correlazione seriale di lag 1 statisticamente significativa. Von Storch (1995) ha dimostrato che l'esistenza di una correlazione seriale positiva determina un incremento della probabilità che il test di MK riveli l'esistenza di un trend quando invece non c'è trend. In presenza di una correlazione seriale negativa, cresce invece la probabilità che l'ipotesi nulla di assenza di trend non venga rifiutata quando, invece, lo dovrebbe (Yue e Wang, 2002). Von Storch (1995) ha proposto una tecnica di rimozione dell'autocorrelazione dal campione di dati (pre-whitening) con l'intento di affinare la metodologia di riconoscimento del trend. La sequenza originaria viene quindi sostituita dalla seguente sequenza, detta "pre-whitened":

$$y_2 - r_1 y_1, y_3 - r_1 y_2, \dots, y_n - r_1 y_{n-1} \quad (12)$$

Nel caso in studio, anche dopo aver effettuato l'operazione di pre-whitening è evidente come esistano trend negativi, statisticamente significativi ($\alpha=5\%$), in tre delle quattro stazioni (Tab. 4).

Nome	MK
Cirò Marina	-0,071
Crosia	-0,374
Crucoli	-0,209
Strongoli	-0,182

Tab. 4 – Risultati del test di Mann-Kendall per le serie pre-whitened (in corsivo risultati statisticamente significativi)

Di notevole rilevanza è la tendenza opposta che si registra tra le precipitazioni invernali ed estive, infatti un trend negativo delle precipitazioni invernali si contrappone ad uno positivo delle precipitazioni estive.

Dall'analisi effettuata per le stazioni di Crosia (Fig. 11) si evidenzia una riduzione media delle precipitazioni invernali di 1,7 mm/anno ed un aumento delle precipitazioni estive di 0,11 mm/anno. Per quanto concerne la stazione di Strongoli (Fig. 12), si ha una riduzione delle precipitazioni invernali di 1,6 mm/anno ed un concomitante aumento delle precipitazioni estive di 0,8 mm/anno.

Anche il test di Mann-Kendall è stato applicato alle serie storiche dei dati aggregati a scala stagionale e semestrale. I risultati ottenuti (Tab. 5), dopo aver effettuato l'operazione di pre-whitening, evidenziano, anche se con significatività a volte scarsa, una generale tendenza negativa per le precipitazioni inver-

nali, primaverili, autunnali e autunnali-invernali e una tendenza opposta per le precipitazioni estive e primaverili-estive. Con una buona significatività sono invece i risultati relativi alla stazione di Strongoli che presenta trend negativi per le precipitazioni autunnali e autunnali-invernali e positivi per quelle estive.

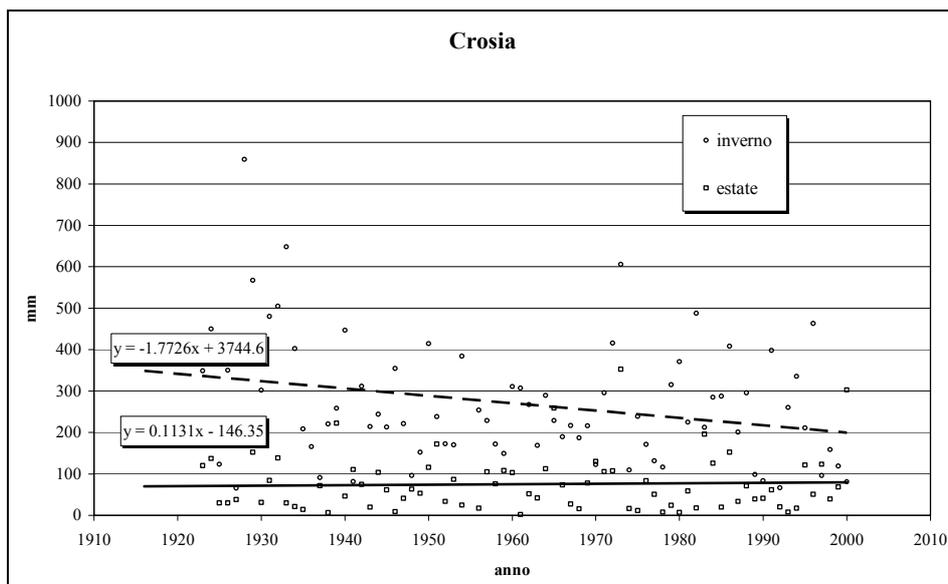


Fig. 11 – Confronto tra le precipitazioni invernali ed estive (stazione di Crosia)

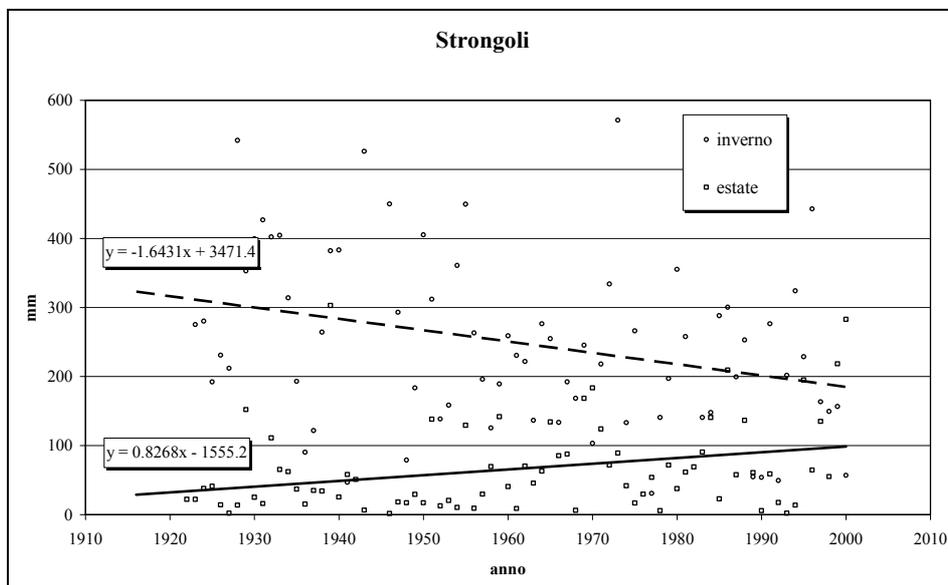


Fig. 12 – Confronto tra le precipitazioni invernali ed estive (stazione di Strongoli)

Nome	MK _{inv}	MK _{pri}	MK _{est}	MK _{aut}	MK _{aut-inv}	MK _{pri-est}
Cirò Marina	0,008	0,026	0,143	-0,089	-0,086	0,153
Crosia	-0,136	-0,192	0,012	-0,257	-0,287	-0,120
Crucoli	-0,022	-0,055	0,081	-0,190	-0,203	0,043
Strongoli	-0,146	-0,093	0,180	-0,231	-0,246	0,128

Tab. 5 – Risultati del test di Mann-Kendall pre le serie pre-whitened relative alle precipitazioni stagionali e semestrali (in corsivo risultati statisticamente significativi)

5. Conclusioni

Nelle valutazioni riguardanti il fenomeno della desertificazione riveste sicuramente un ruolo importante la stima degli andamenti climatici. I risultati ottenuti per un'area del versante ionico della Calabria, in cui ricade il territorio oggetto di indagine del progetto "ISPARIDE", confermano le tendenze pluviometriche già riscontrate in altri studi riferiti alla stessa regione e ad altre aree del bacino del Mediterraneo. Il trend negativo delle precipitazioni annue è evidente per tutte le stazioni pluviometriche oggetto di analisi. Detta tendenza è in parte confermata, anche se con minore significatività, utilizzando aggregazioni stagionali e semestrali, limitatamente però ai periodi invernali e autunnali. Il trend invece positivo per le precipitazioni estive, già rilevato in altre indagini, può essere determinato dall'aumento di frequenza, e spesso anche di entità, degli eventi di pioggia breve e intensa, che caratterizzano detto periodo dell'anno. Ai fini dei fenomeni di degrado del suolo, è da sottolineare che entrambi gli opposti trend, se confermati anche con elaborazioni scientificamente più rigorose e più estese a livello temporale, non possono che essere considerati fattori peggiorativi per un territorio, da questo punto di vista, già abbastanza fragile.

Bibliografia

- Burn D.H. (1994). *Hydrologic effects of climatic change in West-Central Canada*. Journal of Hydrology 180, pp.53-70.
- Buttafuoco G., Caloiero T., Coscarelli R. (2006). *Variabilità spaziale e persistenza temporale delle precipitazioni annue in Calabria*. Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma, 10-14 settembre 2006.
- Buttafuoco G., Caloiero T., Coscarelli R., Ferrari E., Mancini M. (2007). *Trend analysis of historical rainfall data and correlation with global scale climatic indicators: a case study in Southern Italy (Calabria)*. Atti European Geosciences Union General Assembly, Vienna, Austria, 15-20 aprile 2007.
- Caloiero D., Niccoli R., Reali C. (1990). *Le precipitazioni in Calabria (1921-1980)*. Geodata N. 36.
- Caloiero T. (2006). *Le stazioni pluviometriche gestite dall'ex Servizio Idrografico di Catanzaro*, Rapporto interno n. 648, CNR-IRPI – Sezione di Cosenza.
- Capra A., Indelicato S., Li Destri Nicosia O., Scicolone B. (1992). *Evaluation de la sécheresse d'après les données de précipitation. Une application au Sud d'Italie*. Atti 16th European Regional Conference, ICID, Budapest, Ungheria, 12-16 ottobre 1992.
- Capra A., Li Destri Nicosia O., Scicolone B. (1994). *Application of fuzzy sets to drought classification*. Atti Second Intern Conf. on Advances in Water Resources Technology and

- management, Lisbona, Portogallo, 14-18 giugno 1994.
- Capra A., Malara L., Scivolone B. (2004). *Analisi delle temperature e delle piogge mensili in Calabria nell'ultimo cinquantennio*. *Economia Montana*, 36(3), pp. 31-36.
- Chen T.S., Chen J.M., Wikle C.K. (1996). *Interdecadal variation in US Pacific coast precipitation over the past four decades*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(6), pp.1197-1205.
- Coscarelli R., Gaudio R., Caloiero T. (2004a). *Andamenti climatici nel bacino del Crati (Calabria)*, Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, 7-10 settembre 2004.
- Coscarelli R., Gaudio R., Caloiero T. (2004b). *Climatic trends: an investigation for a Calabrian basin (Southern Italy)*", IAHS Publ. 286, 255-266.
- Cotecchia V., Castrano D., Polemio M. (2004). *Characterization of rainfall trend and drought periods in Southern Italy from 1821 to 2001*. Atti 1st Italian-Russian Workshop New Trends in Hydrology, Rende, 24-26 settembre 2002.
- Ferrari E., Terranova O. (2004). *Non-parametric detection of trends and change point years in monthly and annual rainfalls*. Atti 1st Italian-Russian Workshop New Trends in Hydrology, Rende, 24-26 settembre 2002.
- Hirsch R.M., Slack J.R., Smith R. A. (1982). *Techniques of trend analysis for monthly water quality data*. *Water Resources Research*, 18(1), pp. 107-121.
- Kendall, M.G. (1962). *Rank Correlation Methods*, 3rd ed. Hafner Publishing Company, New York.
- Kendall M.G. (1975). *Rank correlation methods*. 4th ed. Charles Griffin, London.
- Kiely G., Albertson J.D., Parlange M.B. (1998). *Recent trends in diurnal variation of precipitation at Valencia on the west coast of Ireland*. *Journal of Hydrology*, 207, pp.270-279.
- Kiely G. (1999). *Climate change in Ireland from precipitation and streamflow observations*. *Advances in Water Resources*, 23(10), pp.141-151.
- Kertész A., Mika J. (1999). *Aridification – Climate change in South-Eastern Europe*. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A*, 24(10) pp.913-920.
- Mann H.B. (1945). *Non-parametric tests against trend*. *Econometrica* 13, pp.245-259.
- Mendicino G., Versace P. (2002). *Space-Time Analysis of Water Deficit*. Atti 5th International Conference Water Resources Management in the Era of Transition, Athens, 4-8 settembre 2002.
- Morrissey M.L., Graham N.E. (1996). *Recent trends in rain gauge precipitation measurements from the Tropical Pacific*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(6) pp.1207-1219.
- Pettitt, A.N. (1979). *A non-parametric approach to the change point problem*. *Appl. Statist.*, 28(2), pp.126-135.
- Quian W., Lin X. (2005). *Regional trends in recent precipitation indices in China*. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 90, pp. 193-207.
- Simeone V. (2001). *Variazioni climatiche, rischi di depauperamento delle falde e desertificazione in provincia di Taranto*. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 2, pp.23-32.
- Spiegel M.R., (1961). *Statistics*. McGraw-Hill, New York.
- Versace P., Ferrari E., Gabriele S., Rossi F. (1989) *Valutazione delle piene in Calabria*. CNR-IRPI, Geodata, Cosenza.
- von Storch H. (1995) *Measures of statistical analysis in climate research*. In: *Analysis of climate variability: application of statistical techniques*. Storch H., Navarra A. Eds. Berlin, Springer, pp. 11-26.
- Yue S., Wang C.Y., (2002). *Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test*. *Water Resour. Res.* 38(6), 1068.