

Rappresentazione degli indici climatici in un sistema informativo geografico per la caratterizzazione geoambientale del paesaggio dell'Appennino Sannita (Campania)

A. Di Lisio, S. Lo Curzio*, F. Russo & M. Sisto

Dipartimento di Studi Geologici e Ambientali, Università del Sannio
Via dei Mulini, 59/A – 82100 BENEVENTO
*Locurzio@hotmail.com

Riassunto

È nota in letteratura la chiara relazione esistente tra gli indici climatici e la caratterizzazione geoambientale del paesaggio. La notevole varietà di indicatori consente di analizzare, di volta in volta, delle peculiarità ambientali attraverso la correlazione di parametri morfoclimatici (temperatura, piovosità, escursione termica, latitudine, altimetria, ecc.). Nel caso specifico, sono stati calcolati 25 indici geoclimatici, verificando *a posteriori* l'applicabilità di alcuni di essi per la descrizione paesaggistica di un territorio complesso come quello dell'Appennino sannita.

Tra tutti questi indici sono stati individuati quelli più significativi nella valutazione del rischio incipiente di desertificazione, analizzando le informazioni relative all'aridità e all'evapotraspirazione (per l'aridità: indice IA di de Martonne, IG di Gottmann, IC di Crowther, UNEP; per l'evapotraspirazione: relazioni empiriche di Turc, Santoro, Thornthwaite ed evaporazione idrologica di Keller) e della capacità aggressiva della pioggia (indice di Fournier, mod. FAO e fattore R della RUSLE). Utilizzando le tecniche proprie dei sistemi informativi geografici, si è proceduto poi alla spazializzazione dei dati puntuali, in maniera tale da ottenere una distribuzione continua nello spazio, attraverso procedure afferenti al campo della geostatistica.

Le informazioni ottenute da ciascuna procedura di calcolo e di cartografia di ogni singolo indicatore selezionato hanno definito in maniera areale le indicazioni sullo stato ambientale dell'area di studio. L'*overlay* finale ha infine restituito informazioni sul grado di "rischio geoclimatico", attraverso l'elaborazione di una carta riassuntiva (denominata "Carta della suscettibilità all'erosione idrica") utile negli studi di pianificazione per una più corretta gestione territoriale.

Abstract

This study is based on historical trends of temperature and rainfall of a large sector of Southern Apennines (Appennino Sannita, Campania), obtained by 84 meteorological stations. Then well-know climatic indexes (25) have been calculated and selected for the study of aridity, evapotranspiration and rainfall erosivity. The results of initially calculations have been spatialized of data by means of GIS techniques, allowing the realization of thematic maps. Finally, the "Water Erosion Map" drawn through *map overlay* allowed the possibility of evaluating the tendency of desertification and water erosion of soils in the areas of study.

Key Words: *Climate, Spatial interpolation, Aridity, Evapotranspiration, Rainfall erosivity, Desertification, thematic Cartography.*

Inquadramento geografico e geologico dell'area di studio

Il territorio dell'Appennino sannita corrisponde in massima parte alle province amministrative di Avellino e Benevento, nel settore più orientale della Regione Campania. L'estensione totale dell'area è di 4863 km² (rispettivamente 2792 km² e 2071 km²) ed è compresa tra le coordinate geografiche WGS84 (quale zona 33T del sistema UTM-ED50) di latitudine minima 40° 42' N e latitudine massima 41° 29' N, e tra la longitudine minima 14° 21' E e la longitudine massima 15° 36' E.

Il territorio è suddiviso, dal punto di vista tettono-stratigrafico, in due ambiti nettamente differenti. La regione occidentale è contraddistinta dalla presenza di rilievi carbonatici di età meso-cenozoica con diffuse fenomenologie carsiche, caratterizzati da elevata altimetria e costituenti importanti acquiferi. La regione orientale, invece, è per gran parte caratterizzata da litologie prevalentemente argilloso-sabbioso-marnose di età mio-pliocenica, ricoperte da materiali conglomeratico-sabbioso-limosi di età quaternaria. Il paesaggio si presenta con modesti rilievi a pendenza attenuata e cospicua rete idrografica, sviluppata al punto da influenzare l'evoluzione dinamica dei versanti. Nell'insieme, però, tutta la regione è contrassegnata da un'elevatissima pericolosità sismica e idrogeologica.

H (m s.l.m.)	N.	%	stazioni considerate		Il clima è tipicamente mediterraneo a stagione secca, con precipitazioni irregolarmente distribuite nel corso dell'anno e spiccata variabilità interannuale. I massimi di precipitazione si concentrano nel semestre autunnale/invernale, le temperature medie più alte si registrano nel trimestre estivo: in media, il mese di novembre è il più piovoso, il mese di luglio il più secco. Luglio è anche il mese più caldo, mentre quello più freddo è gennaio.
0/250	9	16,4	84		
251/500	14	25,5	ricadenti nell'area di studio		
501/750	19	34,5	55		
751/1000	10	18,2	esterne all'area di studio		
1001/1250	1	1,8	29		
> 1250	2	3,6	H min	H max	
totali	55	100,0	27 m	1284 m	

Per quanto riguarda le stazioni di misura utilizzate, va sottolineato come la loro altitudine media sia pari a 557 m s.l.m., con una maggiore concentrazione tra quelle disposte nella classe 501/750 m s.l.m.. Nella stessa classe altitudinale ricade anche la maggior parte (41,4%) delle stazioni esterne all'area di studio, peraltro situata in contesti geomorfologici del tutto simili a quelli dell'area di studio. L'altitudine minima si registra nella stazione di Avella (28 m s.l.m.) e quella massima nella stazione di Montevergine (1284 m s.l.m.), situate entrambe nella provincia di Avellino.

Il totale di 84 stazioni che hanno fornito i dati meteoroclimatici sono così distribuite: 55 stazioni ricadono nell'area (36 con dati pluviotermometrici, 19 con soli dati pluviometrici). Altre 29 stazioni utilizzate per l'analisi meteoroclimatica sono esterne all'area di studio, ma sono collocate in prossimità dei confini amministrativi e condividono con le 55 precedenti le medesime condizioni di altimetria e di ambito geomorfologico (19 hanno restituito dati pluviotermometrici, 10 esclusivamente pluviometrici).

I dati utilizzati si riferiscono a serie temporali non omogenee, ma di durata mai inferiore al decennio; la gran parte delle serie è riferita ad oltre un cinquantennio e, in un caso, copre l'intervallo di 120 anni (Montevergine).

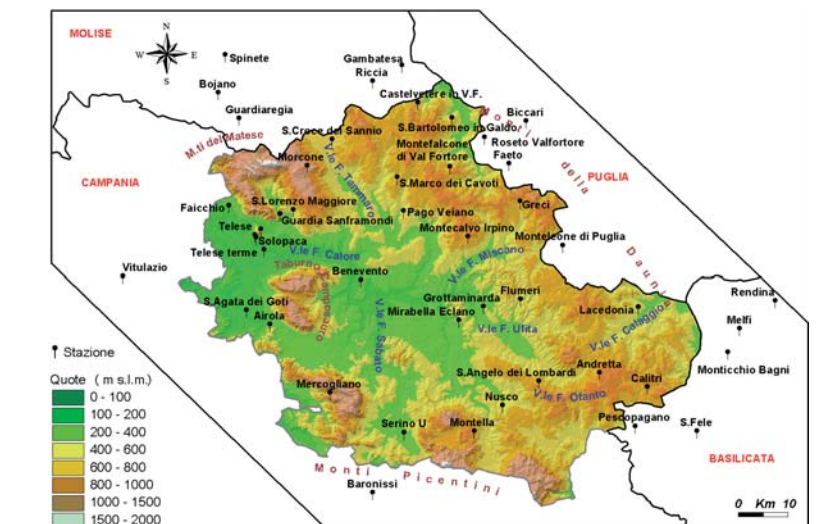


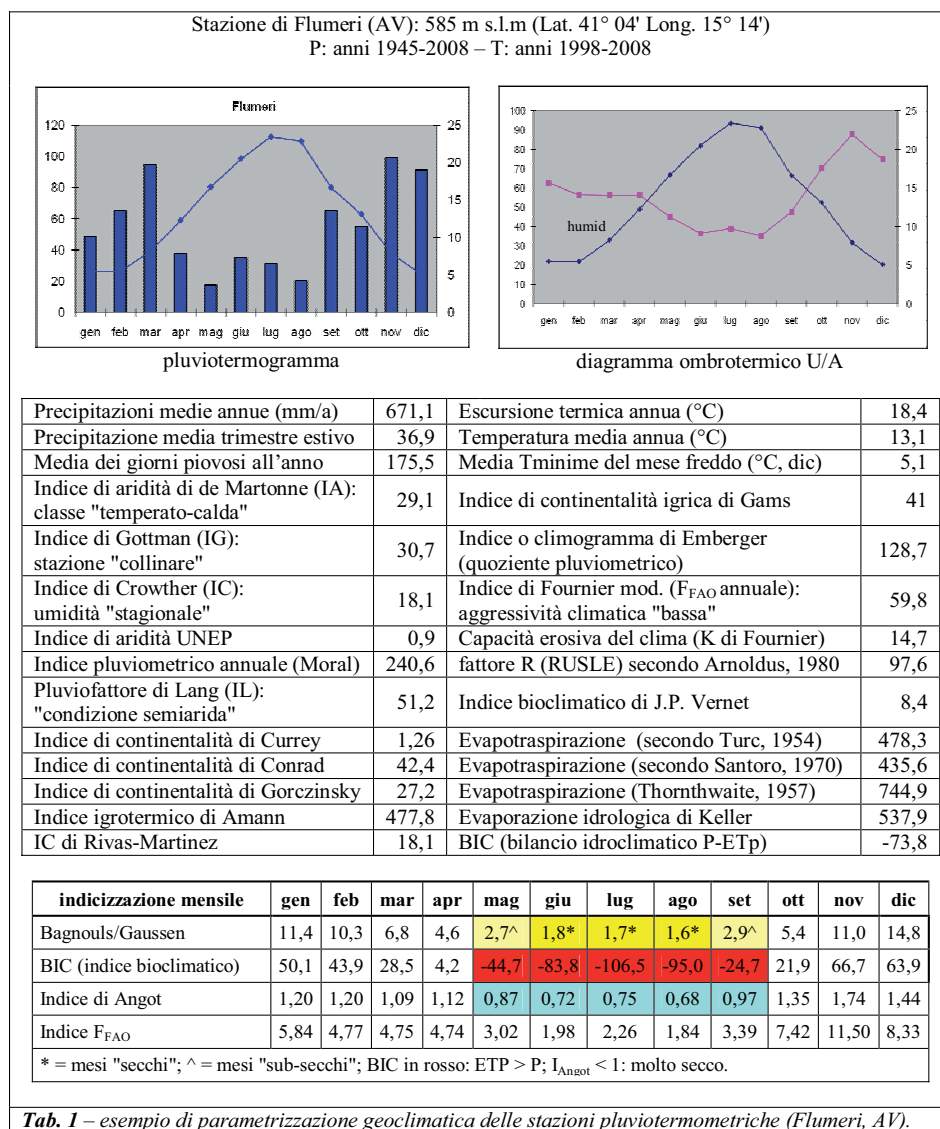
Fig. 1 – l'area di studio nella rappresentazione DEM (province di Avellino e Benevento), con indicazione di alcune stazioni pluviotermometriche e dei principali elementi fisiografici.

Analisi climatologica dei dati

La complessa orografia del territorio sannito-irpino ha una profonda influenza sul regime pluviometrico e sulla variazione delle temperature nel corso dell'anno.

Da una prima analisi della distribuzione delle precipitazioni è facilmente osservabile la forte variazione longitudinale, che porta i valori di P dagli oltre 2000 mm/a del settore NW-SE della catena appenninica, impostato sui massicci carbonatici, sino ai valori inferiori a 600 mm/a delle porzioni più orientali, presso i confini apulo e lucano.

Per meglio comprendere la reale situazione climatica dell'ampio areale è stato analizzato anche l'andamento delle temperature ($T_{media\ max}$, $T_{media\ min}$, $T_{media\ mensile}$, Escursione termica annua). Pur essendo in numero inferiore rispetto a quelli pluviometrici, i dati termometrici hanno consentito l'elaborazione degli algoritmi delle più significative relazioni proposte nella letteratura climatologica. Esse hanno riguardato l'adozione di 25 indici geobioclimatici per la gran parte delle stazioni studiate (*pluviofattore di Lang* (IL); *indice di aridità di de Martonne* (IA), di *Gottmann* (IG), di *Crowther* (IC); *capacità erosiva del clima* o indice di *Fournier* (K), modificato secondo *Arnoldus* (1980) come F_{FAO} ; *fattore R* o *erosività della pioggia* (RUSLE); *indice di continentalità igrica* di *Gams* (CI); *indici di continentalità* di *Gorczynsky* (Ic), di *Conrad*, di *Currey*, di *Rivas-Martinez*; *indice pluviometrico annuale* di *Moral*; *indice di Emberger* o *quoziente pluviometrico* (Q); *indice igrotermico* di *Amann* (H); *indice xerotermico* di *Bagnouls* e *Gausson*; *indice di Crowther* (IC); *evapotraspirazione* secondo *Turc*, *Santoro* e *Thornthwaite*; *bilancio idroclimatico*; *indice bioclimatico* (IB) di *J. L. Vernet*; *evaporazione idrologica* di *Keller*; *indice di Angot*; *indice di aridità UNEP*), elaborando schede riassuntive come quella di Tab. 1 e raccogliendo poi tutti i risultati ottenuti in un unico database.



Del resto, proprio questa complessità non consente di stabilire un nesso di semplice linearità tra l'altitudine delle stazioni di rilevamento e le precipitazioni in esse registrate. Il fenomeno, peraltro già noto in letteratura (Pinna, 1977), è da relazionare alla particolare morfologia del rilievo, alla posizione delle aree di studio presso lo spartiacque appenninico e al regime dei venti (prevalentemente atlantici). L'indice di correlazione di Pearson tra H e P è poco significativo ($r = 0,21$; deviazione standard = 343,1) ed il valore di $R^2 = 0,129$ confermano l'inesistenza di una relazione accettabile, come eloquentemente dimostra la dispersione dei dati illustrata dal grafico di fig. 2.

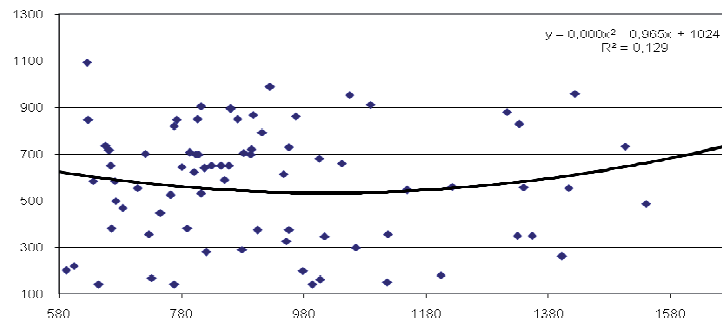


Fig. 2 – nel grafico sono confrontati l'altitudine delle stazioni di misura (in ordinata) e le precipitazioni medie annue in esse registrate (in ascissa).

Di tutt'altro segno è il rapporto H - T, che invece mostra una perfetta correlazione negativa (indice di Pearson $r = -0,92$) ed un alto valore di R^2 (Fig. 3), a conferma di una nota tendenza caratteristica dell'Appennino meridionale (Pinna, 1997; De Stefano & Lorusso, 2000).

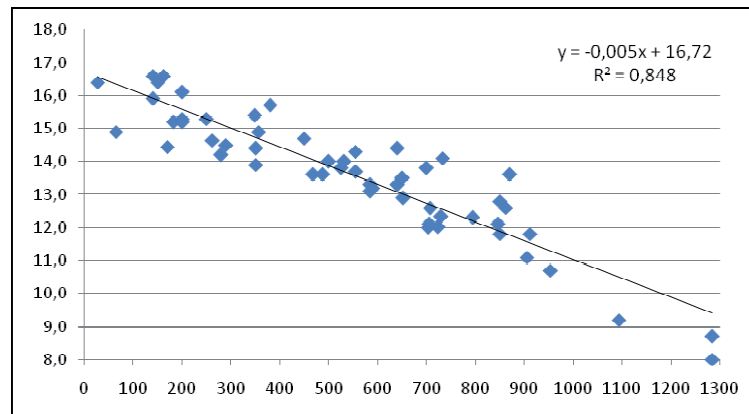


Fig. 3 – le temperature medie annue (in ordinata) confrontate con l'altitudine (in ascissa).

In ogni caso, pur a fronte di tale complessità, l'elevato numero di dati disponibili e la buona distribuzione di essi sul territorio possono consentire una descrizione accurata anche in presenza di una topografia articolata, accettando al minimo gli errori di stima derivanti dalle interpolazioni delle variabili nella spazializzazione dei dati (Fiorenzo *et al.*, 2008).

L'esigenza di una rappresentazione regolare nello spazio delle principali grandezze meteorologiche, al fine di avere una copertura continua del territorio, deriva dal fatto che tali informazioni sono di tipo puntuale, provenendo da stazioni meteorologiche distribuite sul territorio con una risoluzione spaziale non sempre sufficiente. L'interpolazione spaziale dei dati consiste nello stimare il più fedelmente possibile, a partire da valori noti delle variabili in alcune stazioni, i valori incogniti della stessa variabile su aree distribuite su un grigliato regolare.

Le precipitazioni, come detto, presentano sull'area una distribuzione spaziale e temporale molto irregolare per cui è difficile trovare una buona correlazione tra questa grandezza e le caratteristiche topografiche del territorio. Per tale motivo, dopo la preliminare fase di confronto tra i diversi metodi

di interpolazione spaziale (Collins, 2001), si è optato per la tecnica geostatistica dello *spline*, che in questo caso ha fornito i risultati migliori (Fig. 4).

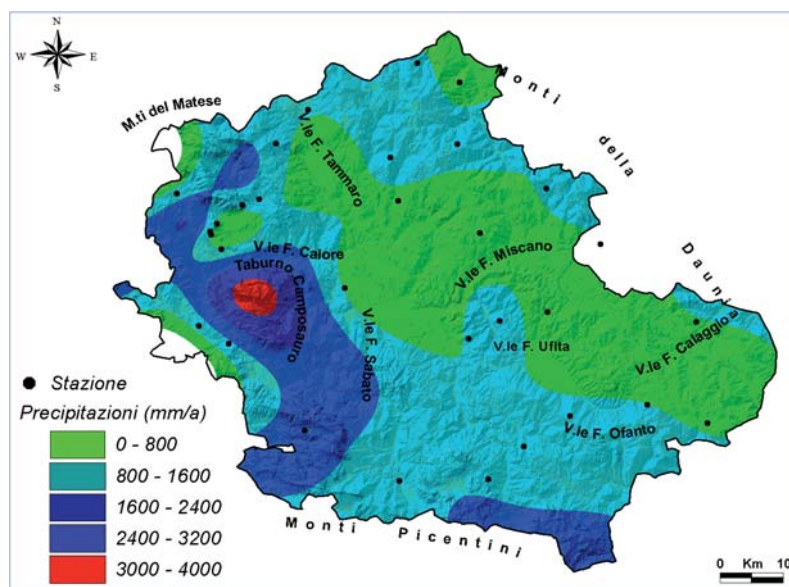


Fig. 4 – Carta delle precipitazioni medie annue

Stabilita, quindi, la scelta dell'interpolazione, l'attenzione è stata spostata sugli indici apparsi da subito più significativi. In effetti, tra i tanti parametri determinati per ciascuna delle 84 stazioni analizzate (per un esempio, cfr. Tab. 1), il metodo seguito è stato quello dell'accorpamento per famiglie di indici omogenei, focalizzando l'attenzione in particolare su tre macrofenomeni di notevole rilevanza nell'analisi geoambientale di un territorio: l'aridità, l'evapotraspirazione, l'aggressività della pioggia.

L'aridità

Per quanto concerne il primo indicatore, l'aridità, è ampiamente nota l'attenzione che negli ultimi decenni è riferita al fenomeno, sia in ambito locale che a livello globale. La vasta letteratura disponibile sull'argomento ha meglio precisato il significato del termine, inteso oggi come una caratteristica climatica determinata dalla contemporanea scarsità di piogge e dalla forte evaporazione che sottrae umidità al terreno (APAT, 2006). Essa, pertanto, differisce dalla siccità, che invece rappresenta una situazione occasionale e ricorrente di forte riduzione della disponibilità idrica rispetto ai valori normali, specie se si protrae per un tempo significativo e su un vasto territorio, per cui essa può colpire anche aree non aride e rappresenta una normale e ricorrente caratteristica del ciclo idrologico. Ancor più grave è l'accezione data al termine desertificazione, inteso come un processo di lungo termine (e in qualche modo irreversibile) riguardante la riduzione o la distruzione del potenziale biologico del suolo provocato da fattori antropici e fisici (APAT, 2006).

L'ambito sannito-irpino, sino al momento, era privo di uno studio di dettaglio riguardante il fenomeno. La contiguità territoriale dell'Appennino sannita, soprattutto nei quadranti orientali, con aree inserite nel programma nazionale PAN (Piano di Azione Nazionale contro la desertificazione) ha suggerito la possibile estensione del rischio di desertificazione ad aree sannito-irpine a torto ritenute immuni. Del resto, lo stesso PAN ha segnalato un rischio di esposizione all'inaridimento ed

alla cattiva gestione dei suoli in particolar modo in ampie zone delle regioni meridionali, per una estensione pari al 27% dell'intero territorio nazionale.

I parametri indicativi del fenomeno, stimati su base pluviotermometrica ed ampiamente accettati nella letteratura climatologica, sono stati i ben noti IA (indice di de Martonne), IG (indice di Gottmann), IC (indice di Crowther) e l'indice UNEP (convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione), fortemente suggerito dalla FAO¹ sintetizzati in quattro carte in formato raster derivate dall'interpolazione dei dati puntuali.

Infine, attraverso l'utilizzo della *Map Algebra* in ambiente GIS (BURROUGH P.A., McDONNELL R.A., 1998) è stata elaborata la "Carta dell'aridità" quale somma delle quattro carte relative ai quattro indici di aridità considerati, particolarmente significativa per le relazioni tra topografia, rischio e risvolti sul regime colturale/irriguo (Fig. 5).

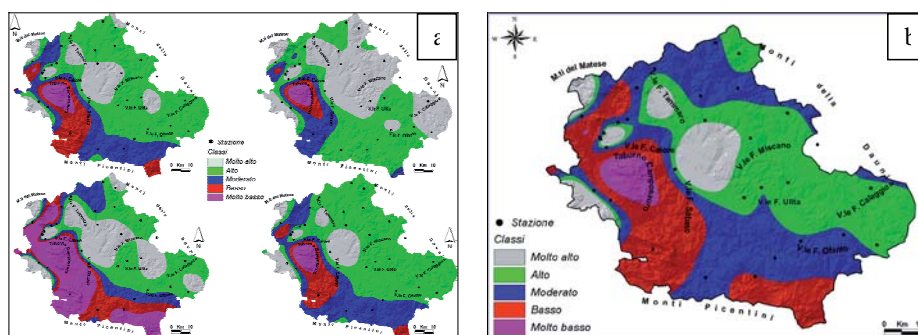


Fig. 5 – le carte ottenute dalla spazializzazione degli indici di aridità (a) e la finale "Carta dell'aridità" ottenuta per sommatoria (b).

L'evapotraspirazione

Lo studio delle condizioni di evapotraspirazione del territorio in esame ha seguito una metodologia indiretta, essendosi basato sull'adozione empirica di relazioni matematiche riferite alla grandezza fisica e non a metodi di misurazione diretta della variabile agrometeorologica.

La quantità d'acqua, riferita all'unità di tempo, che dal terreno passa nell'atmosfera attraverso la traspirazione dei vegetali e attraverso l'evaporazione diretta dal terreno è stata stimata attraverso la nota formula di Turc (1954), esprime l'evapotraspirazione reale media annua in mm. Utilizzando, poi, la modifica proposta da Santoro (1970) del fattore L della relazione di Turc (perfettamente applicabile nelle stazioni sannito-irpine), si è pervenuti ad una nuova serie di valori, comparabili coi precedenti. Infine, la formula proposta da Thornthwaite (1957) è servita a stabilire l'evapotraspirazione potenziale mensile ed annuale, mentre l'algoritmo di Keller ha fornito la stima dell'evaporazione idrologica.

Le singole carte derivate dall'interpolazione spline, come già per il fattore aridità, sono state confrontate quantitativamente in una nuova carta riassuntiva, assumendo come unità di misura comune i mm/annui. Pertanto, tale elaborato è stato definito "Carta indice dell'evapotraspirazione" (Fig. 6).

$$^1 IA = \frac{P_{medannua}}{T_{medannua} \# 10!}; IG = \frac{1}{2} \frac{(IA \# 12 P_{secco})}{(T_{secco} \# 10)}; IC = P - 3,3 T; UNEP = P/ETp.$$

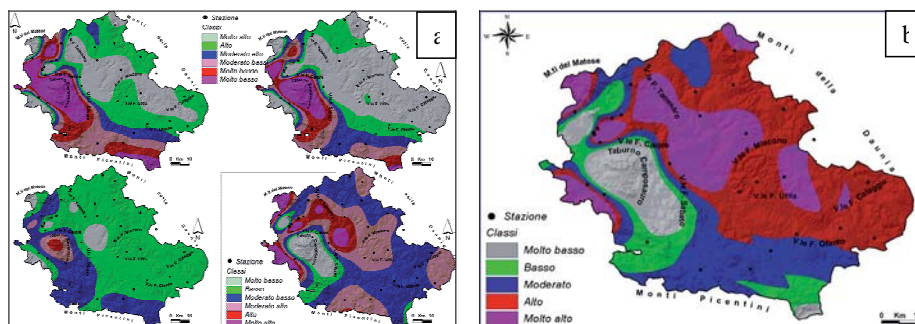


Fig. 6 – le carte ottenute dalla spazializzazione dell'evapotraspirazione calcolata su base empirica (a) e la finale "Carta indice dell'evapotraspirazione" ottenuta per sommatoria (b).

A questo punto, ottenute la "Carta dell'aridità" e la "Carta indice dell'evapotraspirazione", attraverso una nuova interpolazione si è passati all'elaborazione di un'ulteriore carta. Essa rappresenta la sommatoria delle due precedenti e può fornire un'utile indicazione sulle condizioni predisponenti al rischio di desertificazione (Fig. 7). Pertanto, a questo elaborato è stato assegnato il nome di "Carta della suscettibilità alla desertificazione".

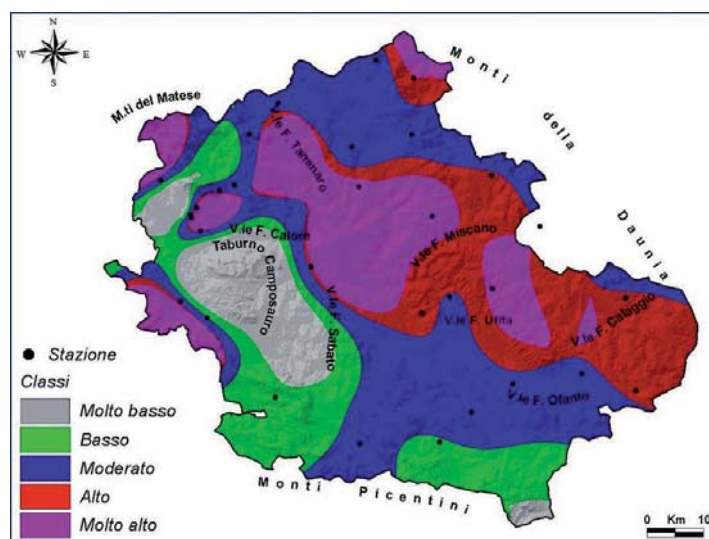


Fig. 7 – la "Carta della suscettibilità alla desertificazione", ottenuta per map overlay dalle carte dell'aridità e indice dell'evapotraspirazione.

L'aggressività della pioggia

Questo particolare fenomeno, di capitale importanza negli studi pedologici, può essere ben rappresentato dal fattore R, definito come indice di erosività delle piogge poiché direttamente collegato all'intensità e alla durata delle precipitazioni, per cui può rappresentare un indicatore qualitativo dell'energia cinetica della pioggia che può trasformarsi in energia meccanica all'impatto con la superficie.

Il fattore R è stato calcolato col metodo proposto da Arnoldus (1980)² che riprende i concetti dell'indice di Fournier e richiede i valori di pioggia mensile e annuale. Relazionando tra loro l'altezza H (in m s.l.m.) delle varie stazioni pluviometriche e il fattore R della RUSLE appare subito evidente l'assenza di ogni relazione diretta, ancora una volta a causa della complessa orografia del territorio sannito-irpino e la conseguente irregolarità della distribuzione delle precipitazioni (Fig. 8).

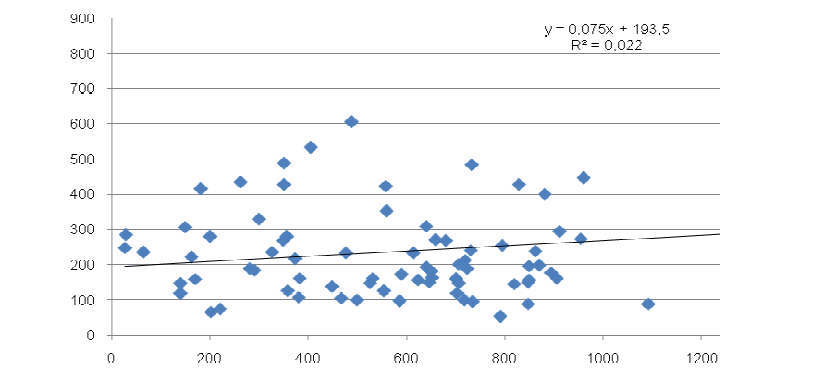


Fig. 8 – l'assenza di relazione tra l'altimetria e la distribuzione territoriale del fattore R.

Proprio perché il fattore R è stato ricavato attraverso il metodo di Arnoldus (1980) sulla base delle precipitazioni medie mensili è sembrato congruente un confronto di esso con l'indice F_{FAO} , derivato com'è noto dall'indice K di Fournier applicando un algoritmo matematico agli stessi dati pluviometrici medi mensili. L'indice F_{FAO} , nelle elaborazioni che hanno preceduto la spazializzazione, è risultato "molto basso" per l'8% delle località; "basso" per la maggior parte delle stazioni (47,5%); "moderato" per il 25% dei casi; "alto" per il 12,5% e "molto alto" per il restante 5%.

L'elaborato finale risultante dalla somma algebrica delle carte del fattore R e dell'indice F_{FAO} ha prodotto la "Carta dell'aggressività della pioggia", utile a definire un approccio quantitativo all'incidenza dell'aggressività climatica in rapporto alla superficie topografica (Fig. 9).

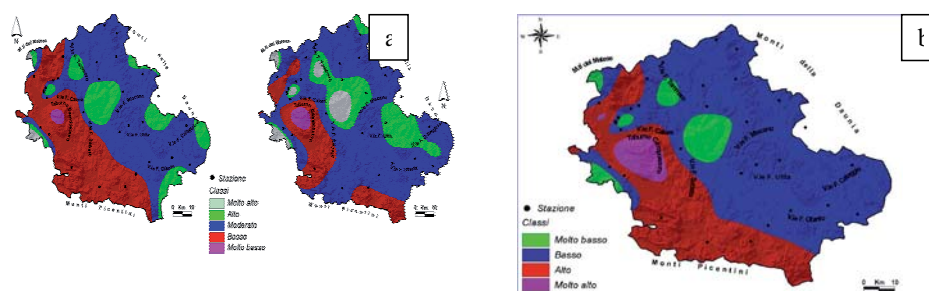


Fig. 9 – le carte dell'indice F_{FAO} e del fattore R (a) e "Carta dell'aggressività della pioggia" (b).

Dalle carte dell'aridità e dell'evapotraspirazione è stata elaborata, per somma algebrica, la carta definita "Carta della suscettibilità alla desertificazione". Nella definizione di questa carta è stato considerato valido il principio che il processo di desertificazione può essere amplificato dal

² $R = 4.17 \sum_{i=1}^{12} (p^2/P) - 152$, dove: p=pioggia mensile; P= pioggia annuale.

continuo ripetersi di impoverimento dell'umidità dei suoli dovuto allo scarso apporto meteorico e all'alta sottrazione per evapotraspirazione.

Infine, la sovrapposizione algebrica della "Carta dell'aggressività della pioggia" (Fig. 9 b) e della "Carta della suscettibilità alla desertificazione" (Fig. 7) ha portato all'elaborazione della carta finale del procedimento, denominata "Carta della suscettibilità all'erosione idrica" (Fig. 10).

In tal modo, è stato possibile ricavare un quadro ampiamente significativo della distribuzione spaziale di fenomeni come l'aridità, l'evapotraspirazione e l'aggressività della pioggia. Essi condizionano fortemente la struttura, la qualità e la sopravvivenza stessa dei suoli nell'area sannito-irpina e, per questo, possono fornire una stima della sensibilità ambientale al processo di lungo termine che definiamo desertificazione.

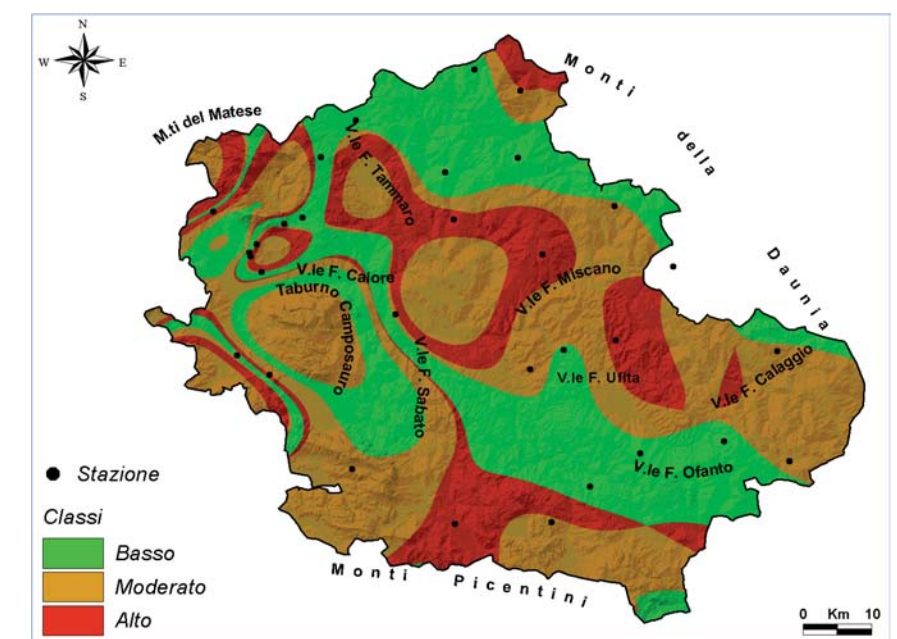


Fig. 10 – elaborato cartografico finale definito "Carta della suscettibilità all'erosione idrica".

Conclusioni

L'utilizzo della tecnologia GIS e della geostatistica hanno consentito l'implementazione di diverse metodologie di interpolazione spaziale dei dati climatici. È stato quindi possibile elaborare mappe tematiche attraverso la Map Algebra. Applicando le formule classiche degli indici climatici su dati raster, sono state realizzate delle carte intermedie di una sequenza logica, relative all'aridità e all'indice evapotraspirazione, le quali hanno prodotto per sommatoria la "Carta della suscettibilità alla desertificazione". Successivamente, elaborata la carta dell'aggressività della pioggia e sommata a quella della suscettibilità alla desertificazione, si è giunti alla definizione del prodotto cartografico finale, denominato "Carta della suscettibilità all'erosione idrica" del territorio sannito-irpino.

Tutte le mappe ottenute possono correttamente illustrare la variabilità spaziale delle caratteristiche climatiche a base subregionale e possono rappresentare – sia negli elaborati intermedi che in quelli finali – uno strumento descrittivo ed interpretativo di grande rilievo nella caratterizzazione geoambientale del paesaggio dell'Appennino sannita.

Bibliografia

- APAT (2006), *Linee guida per l'individuazione delle aree soggette a fenomeni di siccità*, Manuali e linee guida, 42/2006, Roma.
- BURROUGH P.A., McDONNELL R..A. (1998), *Principles of geographical information system*, Oxford University press, Oxford.
- COLLINS F. C. (2001), *A comparison of spatial interpolation techniques intemperature estimation*. Proceedings of the Third International Conference Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling. January 21-25 2001, Santa Fe, New Mexico, USA.
- DE STEFANO A., LORUSSO M. (2000), *L'analisi dei dati pluviometrici in Basilicata. Conoscere la Basilicata*, online URL: www.consiglio.basilicata.it/conoscerebasilicata/territorio.
- FIorenzo F., MANCINO G., BORGHETTI M. & FERRARA A. (2008), *Metodi per l'interpolazione delle precipitazioni e delle temperature mensili della Basilicata*, Forest@, 5, pp. 337-350, online URL: www.sisef.it/forest@.
- PINNA M. (1977), *Climatologia*, UTET, Torino.
- REGIONE LOMBARDIA (2000), *Carta delle precipitazioni medie, minime e massime annue del territorio alpino lombardo*, allegato 2, Milano.

